

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 628.126

*Сергій Мартинов, Наталія Мінаєва, Сергій Куницький*

### ОЧИСТКА ПІДЗЕМНИХ ВОД ДЛЯ ПИТНИХ ЦІЛЕЙ У БАШТОВИХ ВОДОЗНЕЗАЛІЗНЮЮЧИХ УСТАНОВКАХ

*Сергей Мартынов, Наталия Минаева, Сергей Куницкий*

### ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ НУЖД В БАШЕННЫХ ВОДООБЕЗЖЕЛЕЗИВАЮЩИХ УСТАНОВКАХ

*Sergii Martynov, Nataliya Minaeva, Sergiy Kunitskyi*

### GROUNDWATER PURIFICATION FOR DRINKING PURPOSES IN TOWER DEFERRIZATION INSTALLATIONS

*На підставі аналізу сучасного стану забезпечення сільських населених пунктів якісною питною водою та вирішення проблеми суміщення існуючих споруд на водопровідній мережі та очисних фільтрів запропонована конструкція башти-колони з пристроєм для знезалізнення води, що дозволяє проводити реконструкцію металевих водонапірних башт та є відносно дешевою, легкою у проектуванні та експлуатації.*

*Проведено експериментальні дослідження на працюючій баштовій установці та отримано результати, що підтвердили ефективність роботи запропонованої конструкції.*

**Ключові слова:** *питна вода, знезалізнення, баштова установка, металева водонапірна башта, плаваюча засипка, пінополістирольний фільтр.*

*Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 10.*

*На основании анализа современного состояния обеспечения сельских населенных пунктов качественной питьевой водой и решения проблемы совмещения существующих сооружений на водопроводной сети и очистных фильтров предложена конструкция башни-колонны с устройством для обезжелезивания воды, что позволяет проводить реконструкцию металлических водонапорных башен и является относительно дешевой, легкой в проектировании и эксплуатации.*

*Проведены экспериментальные исследования на работающей башенной установке и получены результаты, которые подтвердили эффективность работы предложенной конструкции.*

**Ключевые слова:** *питьевая вода, обезжелезивания, башенная установка, металлическая водонапорная башня, плавающая засыпка, пенополистирольный фильтр.*

*Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 10.*

*On the reasons of contemporary condition analysis of ensuring qualitative drinkable water in village and the problem of combining existing edifice at water supply system and cleaning filters decision; and to install the construction of tower-column with de-ironing water device. It allows to conduct reconstruction of water pumping tower; it is relatively cheap in design and exploitation.*

*Experiments at working tower unit were conducted and results of the offered device effectiveness were confirmed.*

**Key words:** *drinking water, iron removal, tower installation, metal water tower, floating filling, expanded polystyrene filter.*

*Fig.: 3. Tabl.: 1. Bibl.: 10.*

**Постановка проблеми.** Питання про якість питної води давно набуло глобального характеру. Проблема забезпечення населення безпечною для здоров'я людини якісною питною водою є особливо актуальною, оскільки її вирішення впливає на здоров'я людей і кардинальним чином впливає на ступінь екологічної й епідемічної безпеки цілих регіонів.

Відомо, що на значній території нашої країни основним джерелом забезпечення населення технічною та питною водою служать підземні води, використання яких для цілей водопостачання, в порівнянні з поверхневими водами, має багато суттєвих переваг технологічного й економічного характеру. Якість водопровідної питної води, залежить від різних чинників, основними з яких є стан та якість води джерела питного водопостачання, ефективність роботи водоочисних споруд та технології водопідготовки, санітарно-технічний стан водопровідних мереж.

У зв'язку зі складною економічною ситуацією в Україні, знищенням інфраструктури, руйнуванням існуючих водопроводів на сході країни гостро постало питання забезпечення населення якісною питною водою. При цьому потрібно, щоб процес водопідготовки

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

був простим та дешевим. Найкраще для цих цілей підходять підземні води, які часто не потребують ніяких водоочисних заходів. Проте здебільшого підземні води не відповідають вимогам [1], оскільки, особливо в західних областях України, потужні водоносні горизонти, які залягають на глибинах 50...150 м мають підвищену концентрацію заліза (до 5 мг/л), сірководню та вільного вуглекислого газу, та потребує подальшої очистки [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досвід розроблення та впровадження станцій знезалізнення води та будівництво станцій баштового типу дозволив створити (залежно від призначення) станції баштового типу [3–5], де як фільтрувальний матеріал використовувалися як звичайні важкі, так і пінополістирольні засипки. Проте більшість із запропонованих установок мають певні недоліки, такі як складність у будівництві та експлуатації конструкції, виніс пінополістиролу, велика металоємність та ін.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Згідно з картою забезпечення України питною водою (рис. 1) використання підземних вод є можливим майже по всій території країни [6]. Зважаючи на те, що побудова комплексу очисних споруд є порівняно дорогою справою та враховуючи постійне підвищення цін на енергоносії, необхідно запроваджувати такі установки, де будуть суміщатися водоочисні фільтри з іншими спорудами систем водопостачання. Тобто, нині, найбільш перспективними є реконструкція металевих водонапірних башт, для створення установок баштового типу з фільтром, завантаженим плаваючою пінополістирольною засипкою [7]. Це дасть змогу створити місцеві схеми водопостачання невеликих населених пунктів, окремих підприємств чи групи об'єктів.

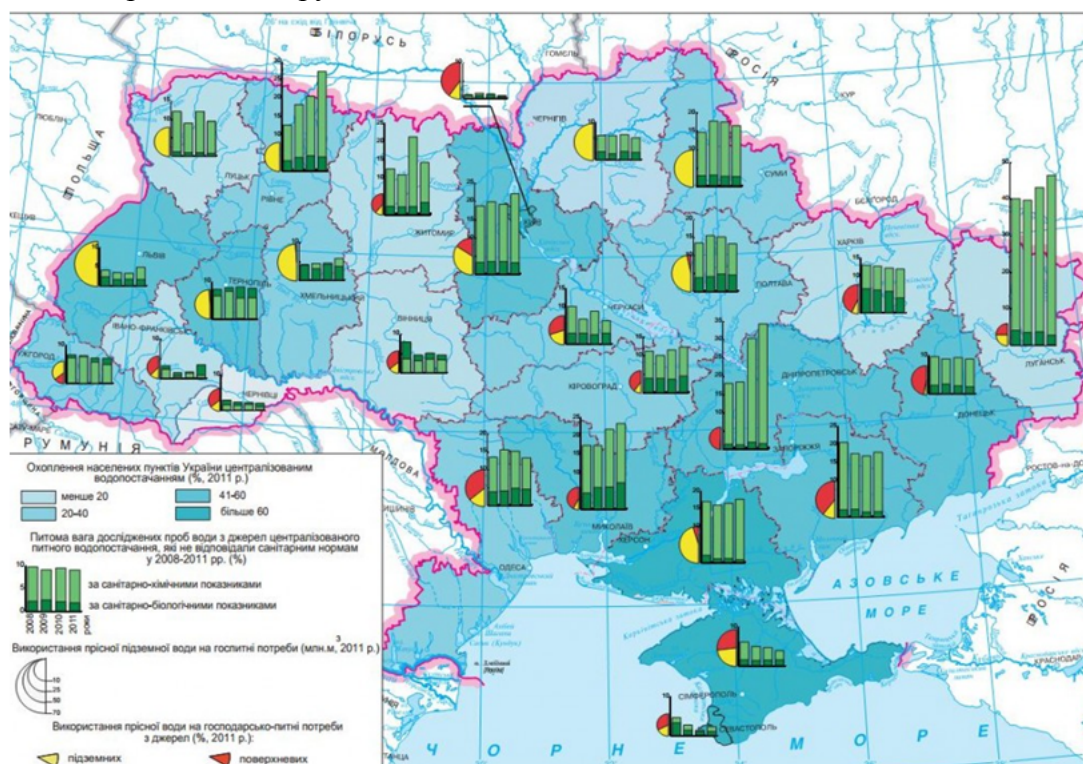


Рис. 1. Стан забезпечення України питною водою

**Мета статті.** Створення простої в будові та експлуатації установки, що дозволить не тільки з найменшими затратами отримувати питну воду, а й містить значний регулюючий об'єм для зменшення нерівномірності водоспоживання.

**Виклад основного матеріалу.** Науковцями Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне) під керівництвом д-ра техн. наук, професора В. О. Орлова була розроблена баштова установка, яка дозволяє не тільки якісно

очищувати воду, а й створює регулюючий об'єм та необхідний напір у водопровідній мережі [8]. Така установка може застосовуватися при вмісті заліза у вихідній воді до  $5 \text{ мг/дм}^3$ , при цьому двовалентного повинно бути не менше 70 %; рН більше 6,8; лужність не менше  $(1 + \text{Fe}^{2+}/28) \text{ мг/дм}^3$ ; вільної вуглекислоти  $\text{CO}_2$  менше  $80 \text{ мг/дм}^3$ .

Впровадження такого об'єкта проводилося на реконструйованій башті з пінополістирольним фільтром, яка розташована у с. Бохоники Вінницького району Вінницької області. До основних елементів установки баштового типу для знезалізнення води належать: водонапірна металева башта; трубопроводи подачі вхідної, забору очищеної та відводу промивної води; повітрявідділювач; утримуюча решітка; пінополістирольна засипка.

На рис. 2 наведено загальний вигляд основних елементів конструкції та самої башти.

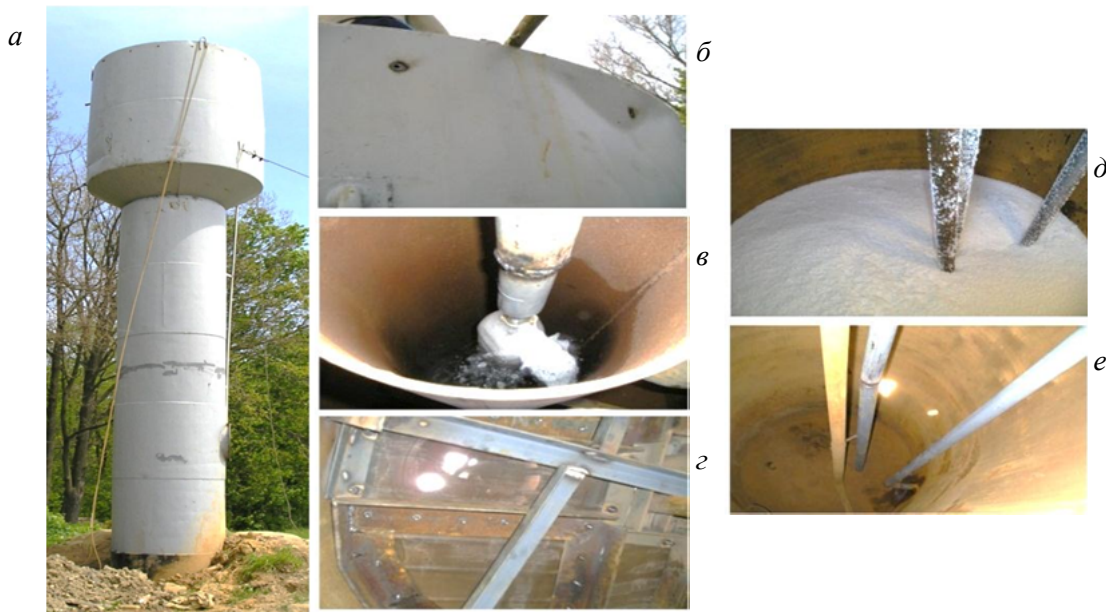


Рис. 2. Загальний вигляд башти та її деталей:

*а – водонапірна металева башта; б – трубопровід подачі вихідної води; в – повітрявідділювач; г – утримуюча решітка; д – пінополістирольна засипка; е – розміщення трубопроводів*

Баштова установка включає: бак башти з вентиляційними отворами, стовбур башти, усередині якого проходить трубопровід подачі вихідної води, на якому знаходиться засувка, на кінці трубопроводу розміщено аератор, звідки вода поступає у повітрявідділювач-регулятор швидкості фільтрування, який з'єднано з нижньою частиною башти, де знаходиться пінополістирольна засипка. Для утримання пінополістиролу в притопленому стані, зверху над фільтром встановлена утримуюча решітка, виконана у вигляді коміркової конструкції. Комірки закриваються рамками, які затягнуті нержавіючою сталлю сіткою.

У стовбурі башти проходить трубопровід забору профільтрованої води з засувкою, у нижній частині стовбуру башти розташовано трубопровід відводу промивної води з засувкою. Бак водонапірної башти із зовнішньої та внутрішньої сторони обладнають сходами, люком, датчиками рівня і водозливною трубою, що виключає перенаповнення бака водою.

Основним параметром управління в такій установці є рівень води в баку башти, контрольований електродними датчиками рівня, чи тиск води в напірному трубопроводі, який контролюється електроконтактним манометром. Отже, робота фільтра безпосередньо пов'язана з роботою насоса і дорівнює подачі води насосним агрегатом, тобто фільтр працює в перервному режимі.

У башті-колоні застосовується фільтр з одношаровою комбінованою засипкою зі спінених гранул полістиролу. Установка працює з висхідним фільтраційним потоком та низхідним потоком при промивці. Максимальна тривалість фільтроциклу не повинна

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

перевищувати 3 доби, що пов'язано із можливістю цементації засипки. Швидкість фільтрування у нормальному режимі становить 5–5,5 м/год.

Установка діє таким чином: вода від водозабірної свердловини подається на аератор, де насичується киснем повітря, в результаті чого утворюються пластівці заліза, а також відбувається видалення із води розчинених газів. Після аерування вихідної води повітрям вода потрапляє у повітрявідділювач. Виходячи з нижньої частини повітрявідділювача вода профільтровується через пінополістирольну засипку, де затримуються пластівці заліза. Очищена вода забирається у стовбурі над утримуючою решіткою та в баку, звідки відводиться споживачу. Оптимальна тривалість фільтраційного циклу становить 24–72 год, після цього необхідно провести промивку плаваючої засипки.

Регенерація засипки проводиться за допомогою водяної промивки. Для цього очищена вода з надфільтрового простору опускається по стовбуру донизу розпушуючи засипку, при цьому гранули вдаряються одна об одну і забруднення видалюються. Після промивки фільтра башта-колона переводиться в режим фільтрування.

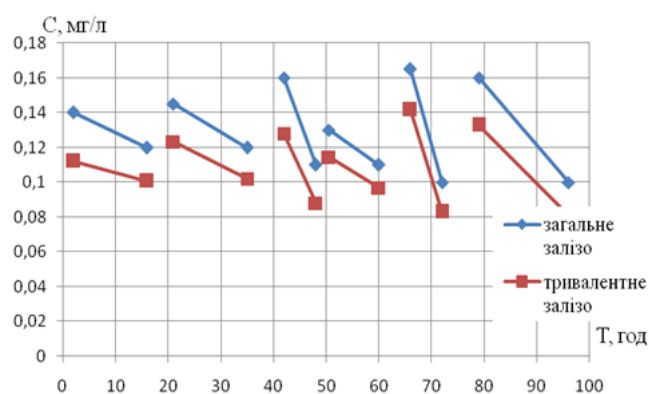
У період початкового запуску установки ефективність очистки недостатня. Це триває доти, поки на зернах фільтраційної засипки не з'явиться каталітична плівка, яка складається, в основному, зі сполук заліза. Після промивки каталітична плівка з поверхні не вимивається, тобто зарядка засипки проводиться одноразово.

У процесі роботи установки були проведені натурні дослідження параметрів роботи пінополістирольного фільтру в режимі фільтрування та промивки. Результати досліджень наведені в таблиці.

Таблиця

*Результати хімічного аналізу проб води до та після знезалізнення, взятих безпосередньо із відбірника проб після башти*

Показники	Одиниці виміру	Підземна (артезіанська вода)	Очищена
pH	од. pH	7,35	7,3
Лужність	моль/м <sup>3</sup>	8,1	7,8
Жорсткість	моль/м <sup>3</sup>	6,8	6,7
Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	2,17	0,05
Залізо трьохвалентне	мг/дм <sup>3</sup>	0,85	0,05
Залізо двошвалентне	мг/дм <sup>3</sup>	1,32	-
Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	1,93	1,72
Окисність перманганатна	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	0,74	0,88
Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	510	505



*Рис. 3. Графіки вмісту загального та тривалентного заліза в очищеній воді протягом фільтраційного циклу*

очищеною водою у водопровідну мережу населеного пункту.

Згідно з дослідженнями за весь період роботи впровадженої баштової установки концентрація заліза у фільтраті не перевищувала допустиму норму 0,2 мг/л, причому

На рис. 3 наведені результати процесу знезалізнення у башті-колоні (тривалість фільтраційного циклу становила 96 год). Оскільки установка працює в перервному режимі, то можна спостерігати як після тривалих зупинок (у нічну пору) спостерігається незначне погіршення якості фільтрату. Проте регулюючий об'єм установки досить великий, що забезпечує інтенсивне перемішування води в баку башти і сприяє зниженню концентрації гідроксиду заліза, що потрапляє з

концентрація заліза у вихідній воді коливалась від 1,25 до 3,04 мг/л, а ефект знезалізнення становив 96...98 % [9; 10].

**Висновки і пропозиції.** Впровадження башт-колон з фільтром із пінополістирольною засипкою, а також реконструкція існуючих водонапірних башт в башти-колони є досить прогресивною і перспективною тенденцією, оскільки дозволяє при порівняно невеликих капітальних затратах, а в подальшому й експлуатаційних витратах отримати воду питної якості. Перевагами цієї установки є простота конструкції та експлуатації, що не потребує складних операцій при виготовленні та монтажі деталей, економія матеріалів, що дозволяє проводити оснащення існуючих водонапірних башт та впровадити установку в серійне виробництво, при будівництві та реконструкції систем водопостачання.

### Список використаних джерел

1. *Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10)* : Наказ МОЗ № 400 від 12.05.2010.
2. *Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування*: ДБН В.2.5-74:2013. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013.
3. *Орлов В. О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням : монографія* / В. О. Орлов. – Рівне, 2006. – 159 с.
4. *Gruett G. Removing Problem Iron* / G. Gruett // *Water Technology*. – 1993. – № 16 (3). – Рр. 48–51.
5. *Orlov V. Water defferrization in polystyrene foam filters with sediment layer* / V. Orlov, S. Martynov, S. Kunitsky. – Saarbrucken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 94 с.
6. *Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах : [монографія]* / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, А. М. Орлова та ін. ; за заг. ред. В. О. Орлова. – Рівне : НУВГП, 2012. – 172 с.
7. *Якість води з джерел централізованого водопостачання в Україні [Електронний ресурс]* // Асоціація бутильовані води України. – Режим доступу : <http://abwua.com/pro-vodu/yakist-vodiz-dzherel-tsentralizovanogo-vodopostachannya-v-ukrayini/>.
8. *Орлов В. О. Впровадження установок для знезалізнення води баштового типу в системи водопостачання сільських населених пунктів* / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, Н. Л. Мінаєва // *Вісник НУВГП: Збірник наукових праць*. – 2007. – Вип. 2 (38). – С. 257–263.
9. *Orlov V. O. Simulation the process of iron removal the underground water by polystyrene foam filters* / V. Orlov, A. Safonyk, S. Martynov, S. Kunitskyi // *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. – 2016. – Vol. 9, №4. – Рр. 881–888.
10. *Мінаєва Н. Л. Баштові установки для очистки підземних вод* / Н. Л. Мінаєва, С. О. Куницький // *Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації» (29–30 вересня 2016 року)*. – Переяслав-Хмельницький, 2016. – С. 245–248.

### References

1. *Derzhavni sanitarni norm ta pravyla «Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoiu» [State sanitary rules and regulations “Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption”]* (STATE STANDARDS 2.2.4-171-10) (2010) from 12<sup>th</sup> May 2010. Kyiv: Ministry of Health (in Ukrainian).
2. *Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia [Water supply. External services and facilities. The main provisions of the design]*: DBN V.2.5-74:2013 (2013). Kyiv: The Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukrainian).
3. Orlov, V.O. (2006). *Znezaliznennia pidzemnykh vod sproshchenoiu aeratsiieiu ta filtruvanniam [De-ironing underground water with simple aeration and filtration]*. Rivne (in Ukrainian).
4. Gruett, G. (1993). Removing Problem Iron. *Water Technology*, no. 16 (3), pp. 48–51.
5. Orlov V., Martynov S., Kunitskyi S. (2016). *Water defferrization in polystyrene foam filters with sediment layer*. Saarbrucken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Orlov V.O. (ed.), Martynov S.Yu., Orlova A.M. et al. (2012) *Ochyshchennia pryrodnoi vody na pinopolistyrolnykh filtrakh [Purification natural water on polystyrene filters]*. Rivne: NUWMNR, pp.172 (in Ukrainian).
7. *Yakist vody z dzherel tsentralizovanoho vodopostachannia v Ukraini [The water quality of centralized water supply in Ukraine]*. Asotsiatsiia butylovani vody Ukrainy [Bottle Water Association of Ukraine]. Retrieved from <http://abwua.com/pro-vodu/yakist-vodi-z-dzherel-tsentralizovanogo-vodopostachannya-v-ukrayini>.
8. Orlov V.O., Martynov S.Yu., Minaeva N.L. (2007). Vprovadzhennia ustanovok dlia znezaliznennia vody bashtovoho typu v systemy vodopostachannia silskykh naselenykh punktiv [The introduction of iron removal plants for water tower in villages water supply]. *Visnyk NUVHP – Bulletin NUWMNR*, no. 2 (38), pp. 257–263 (in Ukrainian).
9. Orlov V., Safonyk A., Martynov S., Kunytskyi S. (2016). Simulation the process of iron removal the underground water by polystyrene foam filters. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 9, no. 4, pp. 881–888.
10. Minaeva N. L., Kunytskyi S.O. (2016). Bashтови ustanovky dlia ochystky pidzemnykh vod [Tower installation for cleaning groundwater]. Proceedings from *Materialy XVII Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi internet-konferentsii «Tendentsii ta perspektyvy rozvytku nauky i osvity v umovakh hlobalizatsii» – Materials 17th International scientific and practical Internet conference “Trends and prospects of development of science and education in the context of globalization”* (Pereiaslav-Khmelnyskyi, September, 29–30, 2016). Pereiaslav-Khmelnyskyi, pp. 245–248 (in Ukrainian).

**Мартинов Сергій Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

**Мартынов Сергей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и бурового дела, Национальный университет водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33028, Украина).

**Martynov Sergii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Water, Wastewater and Drilling Business, National University of Water Management and Nature Resources Use (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** s.y.martynov@nuwm.edu.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6790-8900>

**Мінаєва Наталія Леонідівна** – кандидат технічних наук, викладач, голова циклової комісії «Будівництво», Технічний коледж Національного університету водного господарства та природокористування (вул. Орлова, 35, м. Рівне, 33028, Україна).

**Минаева Наталья Леонидовна** – кандидат технических наук, преподаватель, председатель цикловой комиссии «Строительство», Технический колледж Национального университета водного хозяйства и природопользования (ул. Орлова, 35, г. Ровно, 33028, Украина).

**Minaeva Nataliya** – PhD in Technical Sciences, lecturer, Technical College National University of Water Management and Nature Resources Use (35 Orlova Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** MinaevaN-82@mail.ru

**Куницький Сергій Олегович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

**Куницкий Сергей Олегович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный университет водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33028, Украина).

**Kunitskyi Sergiy** – PhD in Technical Sciences, Senior Research Fellow, National University of Water Management and Nature Resources Use (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** s.o.kunyskiy@nuwm.edu.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0318-6149>