

DOI 10.15589/jnn20170313
УДК 725.74
Б68

DEVELOPMENT OF THE WATER DECONTAMINATION PLANT FOR SWIMMING POOLS AND STUDY OF ITS EFFICIENCY

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УСТАНОВКИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ПЛАВАЛЬНИХ БАСЕЙНІВ

Volodymyr V. Blahodatnyi
ntvv@online.ua
ORCID: 0000-0003-0462-2651

Volodymyr I. Bieliavskiy
interprodukt@bk.ru
ORCID: 0000-0002-7724-4834

Anna S. Bashmakova
anna-bogdanova-00@mail.ru
ORCID: 0000-0003-1458-2489

В. В. Благодатний,
канд. техн. наук, доц.¹

В. І. Бєлявський
²

А. С. Башмакова,
студ.¹

¹*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

²*Ltd. Industrial and commercial enterprise «Interprodukt», Mykolaiv*

¹*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

²*ТОВ Виробничо-комерційне підприємство «Інтерпродукт», м. Миколаїв*

Abstract. Development of high-efficiency systems for cleaning recycled water is a relevant task in the construction of new individual and public swimming pools and reconstruction of the existing ones. There has been developed a silver ionization water plant, which consists of two electrolyzers and a circulating pump. The silver ionator has a hanging structure, which allows using the plant both on its own and as a part of the systems for complex processing of recycled water. A technique is developed to determine the parameters of the plant for maintenance of swimming pools with the volume ranging from 10 to 3600 m³. As a result of the study of the plant's operating modes, it is determined that the most appropriate duration of a change in the electrode polarity makes up 6 min, and the steady mode is established in 2 min. Measurement of the concentration of silver by means of a photometric colorimeter has shown that the ions concentration in the water at the outlet of the ionator increases significantly when the voltage level reaches 8...9 V and hardly depends on the current strength in the range of 100...200 mA. The use of the electrodes of the length corresponding to the working length of the ionator provides the required concentration of silver in the wide range of water consumption. It is advisable to apply the electrodes occupying one or two thirds of the working length of the device in individual pools of a small volume. To prevent contamination of electrodes, it is reasonable to include the decontamination plant to the pool's recycled water cleaning systems.

Key words: water decontamination; swimming pool; silver ionator; water cleaning system; water quality.

Анотація. Розроблено установку для іонізації води сріблом, яка складається з двох електролізерів та циркуляційного насоса. На основі розробленої методики визначено параметри установок для обслуговування басейнів об'ємом від 10 до 3600 м³. Визначено, що найбільш доцільною є тривалість зміни полярності електродів 6 хв., а стійкий режим встановлюється протягом 2 хв.

Ключові слова: знезараження води; плавальний басейн; іонатор срібла; системи водоочищення; якість води.

Аннотация. Разработана установка для ионизации воды серебром, которая состоит из двух электролизеров и циркуляционного насоса. На основе разработанной методики определены параметры установок для обслуживания бассейнов объемом от 10 до 3600 м³. Определено, что наиболее целесообразной является продолжительность смены полярности электродов 6 мин., а устойчивой режим устанавливается в течение 2 мин.

Ключевые слова: обеззараживание воды; плавательный бассейн; ионатор серебра; системы водоочистки; качество воды.

REFERENCES

- [1] Bidevkina M. V. *Ispolzovanie kombinatsii nanokompozita srebra i perekisi vodoroda dlya obezzarazhivaniya vody basseynov* [Using a combination of silver nanocomposite and hydrogen peroxide for disinfection of pool water]. *Dezinfektsionnoe delo — Disinfection Affairs*, 2016, no. 2, pp. 12–17.

- [2] Harkavyi S. I. *Hihienichna otsinka yakosti vody plavalnykh basiniv pry navchalno — vykhovnykh zakladakh z pozytsii harmonizatsii vitchyznianykh vymoh z mizhnarodnyimi rekomendatsiyami* [Hygienic assessment of the water quality in the swimming pools at educational institutions from the standpoint of harmonization of national requirements with international recommendations]. *Hihiena naselenykh mist — Hygiene in Populated Places*, 2012, no. 60, pp. 86–92.
- [3] Zharkov A. V. *Osobennosti primeneniya tekhnologiy ochistki i obezzarazhivaniya vody v basseynе* [Special features of application of the technologies for cleaning and disinfection of the swimming pool water]. *Santekhnika — SANTECHNIKA magazine (water supply — pipes — fittings)*, 2013, no. 1, pp. 10–54.
- [4] Kedrov V. S., Kedrov Yu. V., Chukhin V. A. *Plavatelnye basseyny: Vodospabzhenie i vodootvedenie, 3-e izd., pererab. i dop.* [Swimming pools: water supply and disposal]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2002. 184 p.
- [5] Kul'skiy L. A. *Serebryanaya voda* [Silver water]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1987. 136 p.
- [6] Perikova Ye. S. *Problemy obezzarazhivaniya vody plavatelnykh basseynov* [Challenges of water disinfection in swimming pools]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury — Theory and Practice of Physical Culture*, 2008, no. 2, pp. 87–90.
- [7] Sinitsina O. O. *Otsenka informativnosti indikatorykh pokazately sanitarno — ekologicheskoy bezopasnosti plavatelnykh basseynov* [Assessment of the informative value of the sanitary and ecological safety indicators of swimming pools]. *Gigiena i sanitariya — Hygiene and Sanitation*, 2012, no. 5, pp. 84–87.
- [8] Strutynska L. R., Andrusiv S. V. *Kryterii otsiniuvannia efektyvnosti tekhnolohii vodopidhotovky vodoim hromadskoho vykorystannia* [Criteria for assessing the effectiveness of a technology of water treatment for public water bodies]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Lohistyka — Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Logistics*, 2016, no. 846, pp. 165–170.
- [9] Tikhonova N. A., Ruchkinova O. I. *Sravnitelnyy analiz metodov obezzarazhivaniya vody v basseynе* [Comparative analysis of the methods for water disinfection in the swimming pool]. *Vestik PNIPU. Urbanistika — Urbanity Bulletin of the Perm State Technical University*, 2013, no. 4, pp. 155–176.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Значна кількість нових індивідуальних і лікувальних басейнів, що вводяться в експлуатацію, а також реконструйованих старих спортивно-оздоровчих і навчально-спортивних робить актуальним завдання пошуку високоефективних засобів очищення оборотної води, що в них використовується. Останнім часом спостерігається тенденція до вдосконалення чинних нормативів якості таких вод: розширення номенклатури показників якісного стану, уведення жорсткіших вимог до вмісту окремих речовин [2].

Технологія нормального функціонування штучних плавальних басейнів, особливо спортивних й оздоровчих, є дуже специфічною. У процесі прийому водних процедур, плавання й купання вода може потрапляти людині до рота, носу, очей, вух, тому вона повинна мати такі самі високі санітарно-гігієнічні показники, як і питна вода. Це стосується головним чином органолептичних, токсикологічних і мікробіологічних показників якості води, що забезпечують високу санітарно-гігієнічну надійність, яка виключала б будь-які епідемічні захворювання [6, 7].

Завдання забезпечення дотримання вимог санітарних норм вирішується шляхом встановлення систем і засобів очищення, знезараження і підігрівання води, а також пристроїв й обладнання допоміжних приміщень для обслуговування відвідувачів [4]. У той же час брак дослідницьких даних про склад і характеристики таких систем істотно ускладнює

завдання розробки раціональних засобів знезараження оборотної води.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогодні найпоширенішим способом знезараження оборотної води плавальних басейнів залишається хлорування. Утім, проведені дослідження складу води в басейнах навчальних закладів м. Києва свідчать про наднормативні величини кількості хлоридів і перманганатної окиснюваності, а також перевищення значень кольоровості й залишкового зв'язаного хлору над граничними значеннями цих показників відповідно до стандартів країн Євросоюзу [2].

Тому останнім часом ведуться розробки технологій і систем знезараження води плавальних басейнів, альтернативних хлоруванню. Здебільшого як раціональний варіант розглядається озонування [3, 9]. Проте слід зауважити, що озонування є доволі коштовним способом очищення, крім того, за високих концентрацій озону спостерігаються ураження дихальних шляхів, легенів і слизової оболонки. Вибухонебезпечність чистого озону вимагає ретельного контролю й суворого дотримання норм техніки безпеки, що не завжди є можливим у процесі експлуатації індивідуальних плавальних басейнів.

Загалом проблему порівняльної оцінки систем знезараження води плавальних басейнів не можна вва-

жати розв'язаною. У роботі [8] критерій ефективності цих систем пропонується визначати за формулою:

$$K_e = \left[\frac{k \cdot T}{k_n (B + 3z_y)} \right] \cdot 100\% \rightarrow \max,$$

де B — витрати на очищення одиниці об'єму води, грн/дм³; 3_y — витрати на утилізацію супутніх очищенню одиниці об'єму води продуктів та осадів, грн/дм³; k — досяжний для конкретного методу ступінь очищення води, у частках від одиниці; k_n — ступінь небезпеки очисних реагентів для здоров'я користувачів басейнів і водних процедур; T — тривалість збереження з часом водою набутих очищенням властивостей, діб.

Утім серед варіантів, що піддавалися порівняльному аналізу, знезараження води за допомогою іонів срібла авторами не згадується. Можливою причиною цього є брак даних про математичне моделювання й експериментальне дослідження процесів іонізації води сріблом, хоча останнім часом у цій царині й намітився певний прогрес.

Зокрема, російськими вченими досліджувалися процеси знезараження води нанокompозитами на основі оксиду алюмінію й з'єднань срібла, у тому числі спільно з пероксидом водню [1]. Автори зазначають, що завдяки розвиненій поверхні таких композитів досягається максимальний бактерицидний ефект.

Отже, під час проектування установок іонізації води сріблом, які останнім часом набувають усе

більшого поширення, керуються залежностями й експериментальними даними, наведеними в роботах Л. А. Кульського, виданих ще в минулому сторіччі [5]. Незважаючи на безумовну цінність поданої в цих публікаціях інформації, вона на сьогодні є недостатньою для розробки раціональних схемних рішень систем знезараження води плавальних басейнів, тому виникає потреба в проведенні досліджень характеристик засобів знезараження води.

МЕТОЮ СТАТТІ є розробка раціональних засобів знезаражувального обладнання систем очищення води плавальних басейнів і дослідження їхніх показників.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Базуючись на багаторічному досвіді проектування систем очищення води плавальних басейнів, ТОВ Виробничо-комерційне підприємство «Інтерпродукт» розробило установку для знезараження води іонами срібла, технологічну схему якої показано на рис. 1.

Установка працює таким чином. Вода з басейну через всмоктувальний трубопровід надходить до циркуляційного насоса, який під тиском подає воду в електролізер срібла. Проходячи між електродами, вода насичується іонами срібла й далі через форсунки подається в басейн.

Стабільність процесу електролізу забезпечується пультами автоматики шляхом регулювання робочого струму. Час роботи насоса іонатора і, відповідно, час роботи насоса встановлюється за допомогою реле часу.

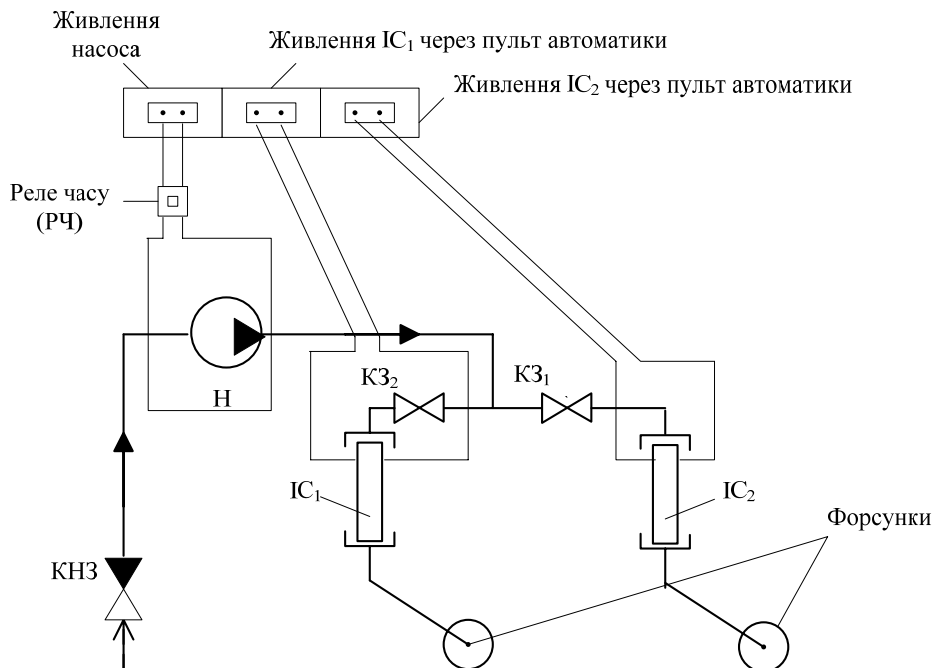


Рис. 1. Принципова технологічна схема установки знезараження води плавальних басейнів:

H — насос; $KЗ_1, KЗ_2$ — запірні крани; IC_1, IC_2 — іонатори срібла; $КНЗ$ — клапан незворотньо-запірний

Іонатор срібла має навісну конструкцію, що дозволяє використовувати установку як автономно, так і в складі систем комплексної обробки оборотної води. Він має Г-подібний корпус, виконаний з листових полімерних матеріалів, закріплених на каркасі з нержавіючого профілю. Усередині корпусу, на його горизонтальній частині, розміщений циркуляційний насос, всмоктувальний патрубок якого за допомогою трубопроводу з'єднується з водою басейну. Для запобігання його спорожненню в нижній частині всмоктувального трубопроводу встановлено незворотньо-запірний клапан.

Напірний трубопровід насоса через трійник розділяється на два трубопроводи. На горизонтальній частині трубопроводів після електролізерів прилаштовано форсунки подачі обробленої води до басейну, для регулювання обсягу подачі обробленої води в басейн перед електролізерами – запірні клапани.

З метою визначення технологічних параметрів установки на базі залежностей, наведених у [5] з урахуванням особливостей проектування плавальних басейнів [4] розроблено методику розрахунку іонаторів срібла, яка складається з таких етапів.

Обчислюємо масу срібла для першого заповнення басейну, г, за формулою:

$$M_{\text{зап}} = C_{\text{Ag}} \cdot V_6,$$

де C_{Ag} — ГДК срібла у воді басейну, мг/л; V_6 — об'єм басейна, м³.

Тривалість обробки басейну при першому заповненні, год:

$$t = V_6 / Q_{\text{н}},$$

де $Q_{\text{н}}$ — годинна продуктивність насоса, м³/год.

Робочий струм електролізера, mA знаходимо за залежністю:

$$I = m / (k_{\text{AG}} \cdot t \cdot n \cdot n_1),$$

де k_{AG} — електрохімічний еквівалент срібла, мг/(А·с); n — коефіцієнт електропровідності води; n_1 — коефіцієнт виносу іонів за час між переполюсовкою електродів.

Втрати води на випаровування, винесення води на тілі тих, що купаються, винос переливу із бризками тощо, м³/добу, розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{вип}} = 0,0064 \cdot V_6 / H_6,$$

де H_6 — середня глибину басейну, м.

Витрата води на промивку фільтрів становитиме:

$$Q_{\text{пр}} = 4,2 \cdot F_{\text{ф}} \cdot n_{\text{пр}},$$

де $F_{\text{ф}}$ — площа фільтрації фільтра, м²; $n_{\text{пр}}$ — кількість промивок на добу.

Визначаємо витрату срібла на поповнення басейну, г/добу, з урахуванням компенсації зниження його концентрації в басейні за рахунок відкладення іонів

на стінках басейну, трубопроводах і поверхні фільтруючого завантаження:

$$m_{\text{поп}} = 1,1(Q_{\text{вик}} + Q_{\text{пр}})C_{\text{AG}}$$

Маса електродів, що витрачається на обробку води для поповнення басейну, г, буде дорівнювати:

$$M_{\text{поп}} = m_{\text{поп}} \cdot N_{\text{екс}},$$

де $N_{\text{екс}}$ — тривалість експлуатації басейну протягом року, діб.

Загальна робоча маса електродів на рік експлуатації басейну, г, складатиме:

$$M_{\text{ел}} = M_{\text{зап}} + M_{\text{поп}}.$$

Для визначення будівельної маси електродів прийемо коефіцієнт збільшення 1,2. Тоді:

$$M_{\text{ел.буд}} = 1,2 \cdot M_{\text{ел}}.$$

Знаходимо робочий струм, А, у режимі заповнення басейну:

$$I_{\text{поп}} = M_{\text{поп}} / (k_{\text{AG}} \cdot 24 \cdot 3600 \cdot n \cdot n_1).$$

Визначаємо площу електродів, м², виходячи з гранично допустимої густини струму $i = 5$ mA/cm²;

$$F_{\text{ел}} = I_{\text{поп}} / i.$$

Ураховуючи аналіз споживчого ринку басейнів спортивного, оздоровчого й комбінованого призначення, за наведеною методикою було визначено необхідну кількість електродів для басейнів об'ємом 10 м³, 75 м³, 500 м³, 900 м³ та 3500 м³. Результати засвідчують, що при використанні електродів площею 45 см² їхня кількість повинна складати від 2 до 124. Однак важливим є також питання схеми розташування електродів у корпусі іонатора. Чим більшу частку його корисного об'єму займатимуть електроди, тим більшим буде й вихід за сріблом, проте суттєво зросте гідравлічний опір. Тому було виконано експериментальні дослідження характеристик іонаторів срібла з метою виявлення раціонального компоновання електродів.

Дослідженню піддавались іонатори з електродами розмірами 25×60 мм, 25×120 мм та 25×180 мм, що відповідає 1/3, 2/3 і повній робочій довжині іонатора експериментальної установки. Вимірювання сили струму, напруги й витрат води проводилося за допомогою вимірювального блоку «ION-IPS», який під'єднувався до відповідних електродів. Живлення іонатора здійснювалося через вимірювальний блок. Діапазон вимірювання сили струму дорівнював 0...200 mA, напруги — 0.0...10,5 В, витрат води — 0.0...100,0 л/хв, точність установки струму — 2 mA.

Оскільки протягом роботи іонатора відбувається періодична одночасна зміна полярності електродів (переполюсовка), для пропонованої системи вона може складати від 2 до 6 хв. Після переполюсовки

напруга різко знижується й набуває стійких значень протягом певного часу, тому важливим є визначення тривалості усталеного режиму, під час якого слід проводити вимірювання концентрації срібла у воді. У результаті встановлено, що найбільш стабільні значення напруги забезпечується за тривалості переполусовки 6 хв., а вихід на стійкій режим триває протягом 2 хв. (рис. 2).

Визначення концентрації срібла на виході з іонатора проводилось за допомогою фотометричного колориметра «Аква-тест». Об'єм проб води становив 20 см^3 . Для встановлення концентрації до проби додавали декілька кристалів сухого препарату натрію сірчистоокислого, $0,8 \text{ см}^3$ розчину поверхнево-активних речовин і $0,1 \text{ см}^3$ розчину тіокетона Міхлера. Як «калібрувальний» розчин використовували необроблену воду, до якої вносили всі реагенти, необхідні для визначення масової концентрації срібла. Верхньою межею концентрації срібла є $0,2 \text{ мг/дм}^3$, за її перевищення аналіз повторювався з розведеною пробю води.

Результати досліджень підтвердили можливість застосування електродів усіх зазначених розмірів для

зnezараження води плавальних басейнів. При цьому концентрація іонів срібла у воді істотно зростає після досягнення значення напруги $8 \dots 9 \text{ В}$ (рис. 3). У той же час проведені експерименти не виявили суттєвого впливу сили струму (у діапазоні $100 \dots 200 \text{ мА}$) на концентрацію срібла у воді.

Доведено, що застосування електродів, довжина яких відповідає робочій довжині іонатора, не призводить до суттєвого зниження витрат води в системі, у той же час забезпечуючи необхідну концентрацію срібла в широкому діапазоні витрат (рис. 3). Що ж до електродів, які займають одну або дві третини робочої довжини апарату, то їх використання є доцільним в індивідуальних басейнах об'ємом $10 \dots 25 \text{ м}^3$, оскільки значення концентрації срібла стають меншими від рекомендованих у [5] за порівняно низьких витрат води (рис. 4).

Важливе значення також має утворення осадів на електродах у процесі їхньої роботи. За достатньої кількості циклів продуктивність апарату за сріблом починає значно зменшуватися, тому періодично необхідно проводити очищення електродів. Доцільнішим

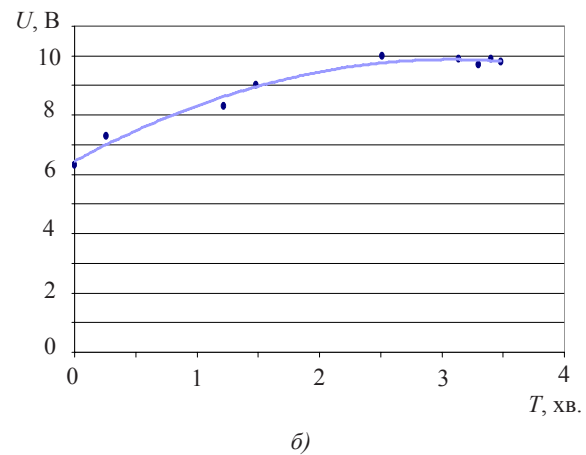
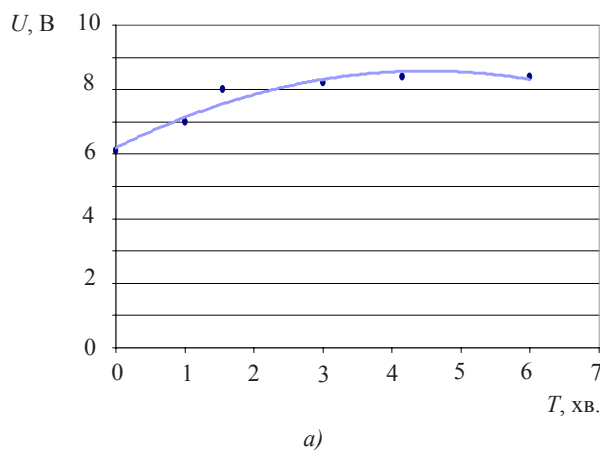


Рис. 2. Динаміка зміни напруги за інтервалу переполусовки 6 хв. і розміру електродів $25 \times 180 \text{ мм}$: а) сила струму 200 мА , витрата води $1,73 \text{ м}^3/\text{год}$; б) сила струму 180 мА , витрата води $0,32 \text{ м}^3/\text{год}$

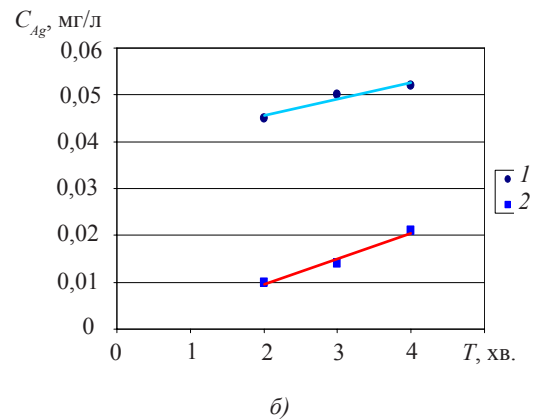
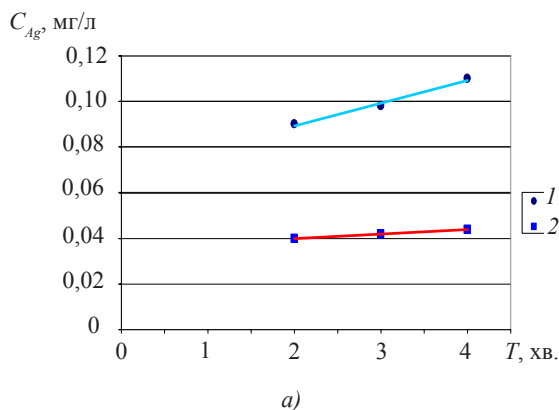


Рис. 3. Динаміка зміни напруги за інтервалу переполусовки 6 хв. і розміру електродів $25 \times 180 \text{ мм}$: а) сила струму 200 мА , витрата води $1,73 \text{ м}^3/\text{год}$; б) сила струму 180 мА , витрата води $0,32 \text{ м}^3/\text{год}$

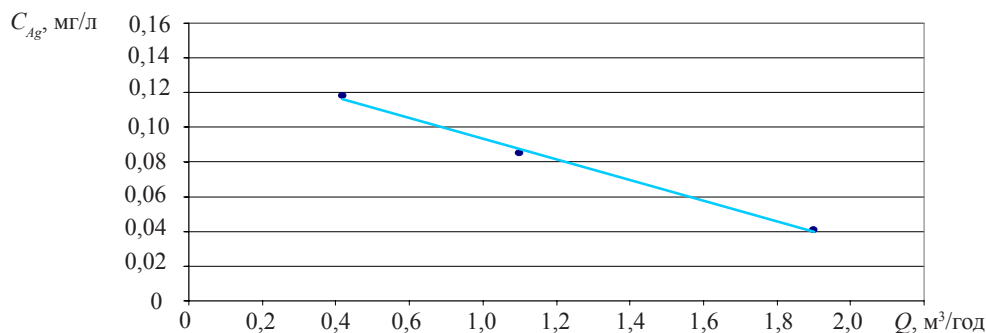


Рис. 4. Залежність концентрації срібла від витрат води за сили струму 100 мА і розмірів електрода 25×120 мм

є включення установки знезараження до системи очищення оборотної води в басейні, де проводилося б попереднє видалення речовин, здатних утворювати осад.

Загалом дослідження підтвердили достатньо високу ефективність розробленої установки й можливість її використання для знезараження води в басейнах різного призначення.

ВИСНОВКИ. Розроблено установку для знезараження води плавальних басейнів шляхом її іонізації сріблом. Конструкція установки дозволяє експлуатувати її як автономно, так і в складі систем комплексної обробки оборотної води. На основі запропонованої

методики визначено параметри установок для обслуговування басейнів об'ємом від 10 до 3600 м³.

Проведено експериментальні дослідження характеристик установки при використанні електродів розмірами. Встановлено, що найбільший вплив на продуктивність іонатора за сріблом справляє величина напруги, максимальний ефект досягається за значень 8...9 В.

Визначено діапазони об'ємів басейнів, де можна ефективно застосовувати створену установку з різними схемами компонування електродів. Рекомендовано включення установки знезараження до системи очищення оборотної води в басейні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Бидевкина М. В. Использование комбинации наноконструкта серебра и перекиси водорода для обеззараживания воды бассейнов [Текст] / М. В. Бидевкина и др. // Дезинфекционное дело. — 2016. — № 2. — С. 12–17.
- [2] Гаркавий С. І. Гігієнічна оцінка якості води плавальних басейнів при навчально — виховних закладах з позицій гармонізації вітчизняних вимог з міжнародними рекомендаціями [Текст] / С. І. Гаркавий та ін. // Гігієна населених місць. — 2012. — № 60. — С. 86–92.
- [3] Жарков А. В. Особенности применения технологий очистки и обеззараживания воды в бассейне [Текст] / А. В. Жарков // Сантехника. — 2013. — № 1. — С. 10–54.
- [4] Кедров В. С. Плавательные бассейны: Водоснабжение и водоотведение [Текст]: 3-е изд., перераб. и доп. / В. С. Кедров, Ю. В. Кедров, В. А. Чухин. — М.: Стройиздат, 2002. — 184 с.
- [5] Кульский Л. А. Серебряная вода [Текст] / Л. А. Кульский. — К.: Наукова думка. — 1987. — 136 с.
- [6] Перикова Е. С. Проблемы обеззараживания воды плавательных бассейнов [Текст] / Е. С. Перикова // Теория и практика физической культуры. — 2008. — № 2. — С. 87–90.
- [7] Синицина О. О. Оценка информативности индикаторных показателей санитарно — экологической безопасности плавательных бассейнов [Текст] / О. О. Синицина и др. // Гигиена и санитария. — 2012. — № 5. — С. 84–87.
- [8] Струтинська Л. Р. Критерії оцінювання ефективності технології водопідготовки водоєм громадського використання [Текст] / Л. Р. Струтинська, С. В. Андрусів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Логістика. — 2016. — № 846. — С. 165–170.
- [9] Тихонова Н. А. Сравнительный анализ методов обеззараживания воды в бассейне [Текст] / Н. А. Тихонова, О. И. Ручкинова // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. — 2013. — № 4. — С. 155–176.

© В. В. Благодатний, В. І. Белявський, А. С. Башмакова

Надійшла до редколегії 23.05.17

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. М. І. Радченко