

УДК 628.316

І.А. Єрмакович<sup>1</sup>, Н.М. Самойленко<sup>2</sup>, С.О. Смірнова<sup>3</sup><sup>1</sup>Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків<sup>3</sup>Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Харків

## ЗНИЖЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ ЗА РАХУНОК ПРОВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ РЕЧОВИН В СТІЧНИХ ВОДАХ

У статті досліджується проблема антропогенного забруднення природної води фармацевтичними речовинами, що потрапляють у водні об'єкти зі стічними водами. Описується розроблений метод очищення стічних вод від розглянутих речовин, заснований на електрохімічній деструкції речовин у стічних водах перед їх надходженням в міську каналізаційну мережу. Наводиться приклад розрахунку екологічного ефекту від запропонованого методу очищення для р. Лопань нижче скиду стічних вод Диканівських очисних споруд.

**Ключові слова:** поверхневі води, фармацевтичні речовини, лікарні, стічні води, електрохімічна деструкція, моделювання, моніторинг.

### Вступ

Одним з найважливіших чинників екологічної безпеки та здоров'я населення є якість природної води, що використовується для господарсько-питних, комунально-побутових та рибогосподарських потреб. Проблемою економічно розвинутих країн є техногенне навантаження на водні об'єкти з боку промисловості та комунальних підприємств. Особливе занепокоєння викликає забруднення водних об'єктів фармацевтичними речовинами (ФР). Дані сполуки важко піддаються біологічній деструкції і накопичуються у навколишньому середовищі. Навіть незначні їх концентрації у воді ( $10^{-6}$  -  $10^{-9}$  г/л) негативно впливають на водну флору та фауну, а також на здоров'я людини при водокористуванні [1, 2].

На даний час в Україні ще недостатньо уваги приділяється дослідженням забруднення поверхневих вод фармацевтичними речовинами. Разом з тим, у країнах ЄС існує нормативна база, яка передбачає жорсткий контроль вмісту ФР у природній воді (табл. 1) [3].

Таблиця 1

Нормативні вимоги  
забезпечення екологічної безпеки природних  
водних об'єктів, що забруднені ФР

Речовина	Норматив, г/л
17альфа-етинілестрадіол	$3,5 \times 10^{-11}$
17бета-естрадіол	$4 \times 10^{-10}$
Диклофенак	$1 \times 10^{-7}$

У табл. 1 приведено список пріоритетних фармацевтичних речовин в галузі водної політики згідно Водної Рамкової Директиви Європейського союзу (2000/60 / ЕС), а також нормативні вимоги по забезпеченню екологічної безпеки природних водних об'єктів, що забруднені фармацевтичними речовинами.

Більшість використаних ФР від 5 до 95% у незмінному вигляді екскретується з організму людини та зі стічними водами поступає на муніципальні очисні споруди. Такі речовини практично не піддаються деградації активним мулом очисних споруд і транзитом надходять до водних об'єктів [4 – 6]. Найбільш небезпечними є стічні води лікарняних закладів, у тому числі й військових госпіталів, у

яких одночасно лікується велика кількість хворих і, відповідно, утворюються великі об'єми концентрованих стоків. Загалом потенційна небезпека стічних вод лікарень у 15 разів перевищує аналогічну для муніципальних стоків. При цьому ще одним видом забруднення стічних вод лікарень є наявність у них патогенної флори - збудників інфекційних чи паразитарних хвороб [7].

Виходячи з цього, актуальною екологічною задачею є розробка заходів по запобіганню надходження до муніципальних очисних споруд (та у подальшому до водних об'єктів) ФР та їх сумішей, що утворюються в умовах лікарських закладів. Тому доцільним є проведення попередньої очистки і знезараження стічних вод перед їх скидом у міську каналізацію. Універсальним способом очистки може стати електрохімічна деструкція ФР, яка дозволить в єдиному процесі очистити стічні води від даного роду речовин, а також знешкодити воду від збудників хвороб [8].

**Мета статті** полягає в обґрунтуванні доцільності проведення електрохімічної деструкції ФР у стічних вод для зниження антропогенного забруднення поверхневих водних об'єктів, що приймають стічні води.

### Основна частина

Метод очищення стічних вод від ФР з використанням електрохімічної деструкції полягає в обробці рідини в електролітичній комірці з нерозчинними в умовах анодної поляризації електродами (Pt, RuO<sub>2</sub>). Для здійснення електролізу необхідна наявність у воді хлорид-іонів певної концентрації, відповідний підбір анодного матеріалу і певні режимні параметри обробки. Процес може проводитися при таких параметрах: сила струму: 0,19-0,59 А (RuO<sub>2</sub>/Pt); напруга: 31,5 V (RuO<sub>2</sub>/Pt). Глибина мінералізації органічних речовин, тобто руйнування органічних молекул, при цьому визначається як катодними відновленнями і анодними окисленнями, так і об'ємними реакціями під впливом продуктів електролізу у самому розчині (ОН, Н<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, НСlО). Як показують результати дослідження, що проводились по обробці таким способом розчинів з вмістом 5 ФР, які не піддаються біологічній очистці, ступінь їх розкладу складає 100%. Концентрація кишкової палички при цьому падає з 106 КОЕ/см<sup>3</sup> до 0, що свідчить про виражений бактерицидний ефект [7, 9].

Розрахунок маси кожної ФР у стічних водах, що відводяться до каналізації за рік, розробляється згідно двох умов: при лікуванні хворих у стаціонарі та нестационарному режимах. Для першої умови маса ФР визначається за формулою

$$M_p = \sum_{i=1}^{N_A} E_i^A \cdot D_i^A \cdot h_i^A + \sum_{i=1}^{N_{II}} E_i^{II} \cdot D_i^{II} \cdot h_i^{II} + \sum_{i=1}^{N_{\Phi}} E_i^{\Phi} \cdot D_i^{\Phi} \cdot h_i^{\Phi}, \quad (1)$$

де  $M_p$  – річна маса ФР, що надходить у стічні води лікарень;  $E_i^A, E_i^{II}, E_i^{\Phi}$  – щорічне споживання і-го фармпрепарату відповідно в ампульній, пігулковій формах та у флаконах;  $D_i^A, D_i^{II}, D_i^{\Phi}$  – кількість діючої речовини відповідно у і-й ампулі, таблетці, флаконі;  $h_i^A, h_i^{II}, h_i^{\Phi}$  – коефіцієнт виведення і-го препарату з організму відповідно для фармречовини, що міститься в ампулах, пігулках, флаконах.

Розрахунок річної маси ФР у стічних водах при лікуванні захворювань у нестационарному режимі ведеться за формулою

$$M_p = (Q_v \cdot D_v + Q_d \cdot D_d) \cdot R, \quad (2)$$

де  $Q_a$  та  $Q_d$  - середня кількість дорослих та дітей, яка прикріплена до однієї поліклініки;  $R$  – поправочний коефіцієнт, що враховує епідемічний поріг, сезонні хронічні захворювання та припис лікарського препарату;  $D_a$  та  $D_d$  - кількість діючої речовини у одній ампулі, таблетці або флаконі для дорослих та дітей.

Був проведено приблизний розрахунок можливого екологічного ефекту від впровадження запропонованого методу очистки для умов м. Харкова, наприкладі фармацевтичної речовини диклофенак. Розглядався вміст цієї речовини, що надходить зі стічними водами до Диканьовських очисних споруд. У якості вихідних даних для розрахунку концентрації ФР у міських стічних водах при нестационарному лікуванні використовувались: чисельність населення м. Харкова – 1431 тис. чол., середня кількість людей, яка прикріплена до однієї поліклініки – 24634 дорослих ( $Q_a$ ), 8656 – дітей ( $Q_d$ ), а також проектна потужність Диканьовських очисних споруд на рівні 700 тис. м<sup>3</sup>/доб.

За вищезазначеними даними з урахуванням добової концентрації призначення фармацевтичних препаратів для дітей та дорослих, а також коефіцієнту їх виведення з організму, виконані розрахунки добової концентрації ФР у стічних водах, що надходять до очисних споруд.

Комплекс біологічної очистки «Диканьовський» обслуговує 6 з 9 основних адміністративно-територіальних районів у м. Харкові. Приблизно 40 міських державних стаціонарних медичних закладів приходяться на 6 цих районів, що відводять свої стічні води на Диканьовські очисні споруди.

Згідно з розрахунковими даними, які базуються на щорічній потребі споживання лікарських засобів (ЛЗ) у Харківській обласній клінічній лікарні (860 ліжок), диклофенак поступає з лікарняними стічними водами у міську каналізаційну мережу у кількості 8,575 г/доб [7]. За аналогією призначення ЛЗ хворим стоки з міської клінічної лікарні швидкої та невідкладної медичної допомоги № 4 ім. проф. А. І. Мещанінова (на 1000 ліжок), наприклад, будуть містити 9,970 г/доб, а з лікарні на 500 ліжок - 4,986 г/доб.

Таким чином, фактичними потребами населення в ФР, добова маса диклофенака, що надходить до

очисних споруд складає 241,6 г. Середня витрата води р. Лопань вище випуску стічних вод взята на рівні 2,2 м<sup>3</sup>/с.

Результат розрахунку наступний. При відсутності очистки стічних вод від ФР розрахункова концентрація диклофенака в воді р. Лопань нижче за течією випуску стічних вод Діканьовських очисних споруд дорівнює:

$$C = \frac{241,6 \text{ г / добу}}{700000 \text{ м}^3 / \text{добу} + 2,2 \cdot 3600 \cdot 24 \text{ м}^3 / \text{добу}} = \\ = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ г / м}^3 = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ г / л.}$$

Дана концентрація перевищує допустимий норматив (1 10<sup>-7</sup> г/л) приблизно у три рази.

При очищенні 60 % стічної води лікарень в рамках всього міста (що є економічно реальним на сьогоднішній день) концентрація диклофенаку в стічних водах, що надходять на Діканьовські очисні споруди, суттєво. Розрахункова концентрація ФР в річковій нижче за течією випуску стічних вод в цьому разі буде складати

$$C = \frac{241,6 \cdot 0,4 \text{ г / добу}}{700000 \text{ м}^3 / \text{добу} + 2,2 \cdot 3600 \cdot 24 \text{ м}^3 / \text{добу}} = \\ = 1,08 \cdot 10^{-4} \text{ г / м}^3 = 1,08 \cdot 10^{-7} \text{ г / л,}$$

що приблизно відповідає встановленому нормативу.

### ВИСНОВОК

Згідно теоретичних досліджень та проведеного розрахунку якості води р. Лопань, можна стверджувати про можливість зниження антропогенного забруднення річкової води фармацевтичними речовинами за рахунок їх електрохімічної деструкції в стічних водах, що надходять до міської каналізаційної мережі.

Напрямок подальших досліджень є аналогічні розрахунки з урахуванням сезонних змін гідрологічного режиму водотоків та річної нерівномірності захворювань населення.

### СНИЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ЗА СЧЕТ ПРОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

И.А. Ермакович, Н.Н. Самойленко, С.А. Смирнова

*В статье исследуется проблема антропогенного загрязнения природной воды фармацевтическими веществами, попадающими в водные объекты со сточными водами. Описывается разработанный метод очистки сточных вод от рассматриваемых веществ, основанный на электрохимической деструкции веществ в сточных водах перед их попаданием в городскую канализационную сеть. Приводится пример расчета экологического эффекта от предлагаемой очистки для р. Лопань ниже сброса сточных вод Диканевских очистных сооружений.*

**Ключевые слова:** поверхностные воды, фармацевтические вещества, сточные воды, электрохимическая деструкция, моделирование, мониторинг.

### REDUCTION OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON WATER BODIES BY THE PERFORMING ELECTROCHEMICAL DESTRUCTION OF PHARMACEUTICAL SUBSTANCES IN WASTEWATERS

I.A. Ermakovich, N.M. Samoilenko, S.O. Smirnova

*The article investigates the problem of anthropogenic pollution of natural water by pharmaceutical substances that go into the water bodies with sewage. The developed method of wastewater treatment from considered substances based on the electrochemical destruction of these substances in wastewater before their getting into the municipal sewer system is described. An example of the environmental effects calculation from the proposed treatment for river Lopan of downstream sewage discharge of Dikanevskiy wastewater treatment plant is given.*

**Keywords:** surface waters, pharmaceuticals substances, sewage waters, electrochemical destruction, modelling, monitoring.

### Список літератури

1. Самойленко Н.М. Очистка стічних вод від фармацевтичних забруднювачів протизапальної та гормональної дії // Н.М. Самойленко, І.А. Єрмакович // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірництво». – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – Вип. 27. – С. 132-139.
2. Ермакович И.А. Влияние фармацевтических препаратов и их производных на окружающую среду // Н.Н. Самойленко, И.А. Ермакович / Вода и экология: проблемы и решения. – 2014. – № 2. – С. 78 – 87.
3. Falås P. Occurrence and reduction of pharmaceuticals in the water phase at Swedish wastewater treatment plants / P. Falås, H.R. Andersen, A. Ledin, J. la Cour Jansen // Water Science and Technology. – 2012. – № 66. – С. 783-791.
4. Samoilenko N. Analysis of studies in the field of wastewater pollution by pharmaceutical contaminants / N. Samoilenko, I. Yermakovych // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія : Екологія. – 2014. – № 1140, вип. 11. – С. 101-106.
5. Lindqvist N. Occurrence of acidic pharmaceuticals in raw and treated sewages and in receiving waters / N. Lindqvist, T. Tuhkanen, L. Kronberg // Water Research. – 2005. – № 39. – С. 2219–2228.
6. Carballa M. Comparison of predicted and measured concentrations of selected pharmaceuticals, fragrances and hormones in Spanish sewage / M. Carballa, F. Omil, J.M. Lema // Chemosphere. – 2008. – Т. 72. – С. 1118–1123
7. Ермакович И. А. Использование электрохимической деструкции для обезвреживания сточных вод лечебных учреждений / Н.Н. Самойленко, И. А. Ермакович // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 70. – с. 18 - 21.
8. Basha C.A. Participation of Electrochemical Steps in Treating Tannery Wastewater / C.A. Basha, P.A. Solomon, M.Velan, N. Balasubramanian, R.L. Kareem // Industrial Engineering Chemistry Research. – 2009. – № 48. – С. 9786 - 9796.
9. Samoilenko N. Hospitals sewage treatment by method of electrochemical oxidation / N. Samoilenko, I. Yermakovych // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, 2015. – 1(79). – С. 183-186.

Надійшла до редколегії 1.10.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.