

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

<sup>2</sup>Канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

<sup>3</sup>Аспірант кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ РЕАКТОРІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ПРИ КОНТРОЛІ КОНЦЕНТРАЦІЇ КИСНЮ

**Актуальність.** Вирішено актуальну задачу розроблення математичних моделей процесів очищення стічних вод, з урахуванням автоматизованого керування.

**Мета роботи** – розробка математичної моделі процесу очищення стічних вод від біологічних речовин іммобілізованими мікроорганізмами при багатоступеневому анаеробно-аеробному способі очищення, яка б враховувала процеси окислення органічних речовин, розмноження і відмирання бактерій як сукупність взаємодії різних факторів в залежності від концентрацій розчиненого у воді кисню та забруднюючих органічних речовин.

**Метод.** У роботі використано методи математичної фізики та гідродинаміки для побудови математичних моделей процесів очищення рідин, загальні підходи до побудови модельних задач, у яких одні складові домінують над іншими. Побудовано математичну модель процесу біологічного очищення стічних вод, що враховує зміну концентрацій забруднення, активного мулу і кисню при розмноженні та відмиранні бактерій в біологічних реакторах різного типу.

**Результати.** Знайдено розв'язок відповідної модельної задачі з використанням функції рпере середовища MatLab. Наведені результати розрахунків розподілу концентрації забруднення, активного мулу та кисню протягом часу очистки рідини, які враховують здатність бактерій до розмноження та відмирання.

**Висновки.** Проведені експерименти підтвердили адекватність побудованої моделі. На основі отриманих результатів розроблено автоматизовану систему управління допустимою концентрацією забруднення у стічних водах, яка забезпечує енергозберігаючі принципи роботи установок.

**Ключові слова:** математична модель, біологічне очищення, зворотний вплив, контроль кисню, автоматизоване управління.

### НОМЕНКЛАТУРА

$C(x, t)$  – концентрація забруднення;

$B(x, t)$  – концентрація активного мулу;

$K(x, t)$  – концентрація кисню, необхідна для підтри-

мання життєдіяльності бактерій;

$\beta$  – коефіцієнт, який враховує конструктивні особливості фільтра та швидкість потоку рідини;

$V$  – об'єм реактора;

$k_i$  – коефіцієнт рециркуляції активного мулу;

$v_C$  – швидкість руху субстрату;

$D_C$  – коефіцієнт дифузії (забруднення);

$K_B(B)$  – функція, яка характеризує поглинання кисню бактеріями;

$v_B$  – швидкість руху активного мулу;

$D_B$  – коефіцієнт дифузії (активний мул);

$K_K(B)$  – функція, яка характеризує обмін кисню;

$K_0$  – концентрація насичення води киснем при заданих температурі та тиску;

$v_K$  – швидкість подачі кисню;

$D_K$  – коефіцієнт дифузії (кисень);

$\varepsilon, K_B, K_B^0, K_K, K_K^0, d_C, d_B, d_K$  – тверді параметри (характеризують відповідні м'які параметри  $K_B(B)$ ,

$K_K(B)$  тощо), що знаходяться експериментальним способом;

$\varepsilon$  – малий параметр (він враховує переваги одних складників процесу над іншими, а саме: явища міжкомпонентної взаємодії процесу і є малим порівняно з іншими його складниками).

### ВСТУП

Інтенсивний розвиток промисловості призводить до збільшення виробничих потужностей підприємств, що супроводжується погіршенням стану природних екосистем, зокрема, через недостатнє очищення промислових стоків, які є невід'ємною частиною харчового, мікробіологічного, фармацевтичного та багатьох інших виробництв. Кількість і різноманітність відходів залежать від профілю і асортименту продукції підприємства. Незалежно від типу всі стічні води потребують обов'язкового очищення, оскільки в них містяться забруднюючі речовини, які значно перевищують допустимі концентрації [1].

В залежності від концентрації забруднювачів у стічних водах для забезпечення відповідних допустимих показників і зменшення згубного впливу на довкілля використовують магнітні, механічні, біологічні та інші очисні системи. Одним з найчастіше застосовуваних методів є біологічне очищення [2, 3], де використовуються процеси аеробної очистки (додається повітря), анаеробної очистки (без доступу повітря).

В основі процесу біологічної очистки лежить деградація і окислення органічних речовин мікроорганізмами, а також здатність мікроорганізмів до розмноження та відмирання. При цьому активність бактерій і мікроорганізмів значно залежить від різних факторів, зокрема, від концентрації розчиненого в субстраті кисню. Сутте-

вим фактором, що впливає на ефективність очищення, є також концентрація активного мулу, яка регулюється рециркуляцією та відведенням надлишкового активного мулу для підтримання життєдіяльності мікроорганізмів.

### 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Для дослідження використаємо модельну задачу процесу очищення стічних вод від біологічних речовин іммобілізованими мікроорганізмами при багатоступеневому анаеробно-аеробному способі очищення запропонованому в [2]. Особливостями такої постановки задачі є те, що в системі рівнянь (1) введено ряд коефіцієнтів, які дозволяють описувати процеси окислення органічних речовин, розмноження і відмирання бактерій як сукупність взаємодії різних факторів в залежності від концентрацій розчиненого у воді кисню та забруднюючих органічних речовин з врахуванням конструктивних параметрів та граничних і початкових умов (2).

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = D_C \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + v_C \frac{\partial C}{\partial x} - \beta CB, \\ \frac{\partial B}{\partial t} = D_B \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} + v_B \frac{\partial B}{\partial x} + K_B(B)K, \\ \frac{\partial K}{\partial t} = D_K \frac{\partial^2 K}{\partial x^2} + v_K \frac{\partial K}{\partial x} + K_K(B) \cdot (K_H - K), \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} C|_{x=0} = C^*(t), \quad B|_{x=0} = B^*(t), \quad K|_{x=0} = K^*(t), \quad \frac{\partial C}{\partial x}|_{x=l} = 0, \\ \frac{\partial B}{\partial x}|_{x=l} = 0, \quad \frac{\partial K}{\partial x}|_{x=l} = 0, \end{aligned}$$

$$C|_{t=0} = C^*(x), \quad B|_{t=0} = B^*(x), \quad K|_{t=0} = K^*(x), \quad (2)$$

де  $\beta = (Q \cdot (1 + k_i) / V)$ ,  $D_C = d_C \varepsilon$ ,  $K_B(B) = \beta (K_B - \varepsilon K_B^0 B)$ ,  $D_B = d_B \varepsilon$ ,  $D_K = d_K \varepsilon$ .

### 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Основною задачею керування процесом біологічної очистки є вилучення та стабілізація концентрації забруднень на допустимому рівні у відпрацьованих рідинах. Проте немає засобів прямого неперервного вимірювання даного показника, а результати отримують лише дослідним шляхом. Тому для аналізу ефективності очищення рідин використовують вимірювання ряду технологічних параметрів, на основі яких можна приймати рішення про величину концентрації органічних домішок у стічних водах та виробляти відповідні керуючі впливи.

Для покращення якості очищення стічних вод та зменшення затрат на очищення застосовують системи автоматизованого керування установками. Сучасні програмні засоби автоматизації дозволяють реалізувати енергозберігаючі технології, які за рахунок програмного керування реалізують економічні режими роботи очисних установок в періоди різної інтенсивності та концент-

рації надходження стоків на очищення. Для автоматизації очисних систем розробляють алгоритми, які підтримують оптимальні співвідношення між продуктивністю всієї установки та кількістю підведеного повітря виробленого компресорними установками, стабілізацією та відведенням надлишкового активного мулу і твердого осаду в який випадають бактерії після завершення своєї активної фази. Для автоматизації біологічних реакторів запропоновано ряд технологічних і проектних [4–6] рішень на основі загальних математичних моделей [5–15], недоліками яких є те, що вони описують лише процеси активної фази очищення. При цьому нехтуючи вагомим чинником, який впливає на якість очищення стічних вод – впливом споживання кисню на процеси життєдіяльності аеробних бактерій. Відповідно мета даної роботи є побудова математичної моделі процесу біологічного очищення стічних вод, що враховує зміну концентрацій забруднення, активного мулу і кисню при розмноженні та відмиранні бактерій в біологічних реакторах різного типу і на основі отриманих результатів розробити автоматизовану систему управління допустимою концентрацією забруднення у стічних водах.

### 3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У роботі використано методи математичної фізики та гідродинаміки для побудови математичних моделей процесів очищення рідин, загальні підходи до побудови модельних задач, у яких одні складові домінують над іншими. Моделювання проведемо в програмному середовищі Matlab, використавши М-функцію *pdepe*, призначену для розв'язання одномірних крайових задач для систем параболічних і еліптичних диференціальних рівнянь в частинних похідних (PDE) першого порядку по одній просторовій змінній і часу.

### 4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Оскільки для процесів розмноження та відмирання коефіцієнти набувають різних значень для моделювання використаємо 4 етапи: розмноження / відмирання / розмноження / відмирання. Кожен із них характеризується такими особливостями: на початковому етапі по всьому реактору встановлено рівномірну концентрацію активного мулу за заданим законом розподілено забруднення, відповідно до граничних та початкових умов. Вихідні дані першого етапу є вхідними для другого і отримуються шляхом апроксимації стандартними засобами Matlab. Для отримання розв'язку системи (1) за умов (2) перетворимо вхідні дані у відповідні машинні змінні:

```
Q=7.2;
ki=1;
V=0.7;
KK=0.001;
KB=100;
K0=6;
b=Q*(1+ki)/V;
V1=1.26; V2=1.92; V3=1.53;
D1=0.721; D2=10^-5; D3=10^-5;
c1=1;
c2=1;
```

```

c3=1;
f1=D1*DuDx(1);
f2=D2*DuDx(2);
f3=D3*DuDx(3);
s1=V1*DuDx(1)-u(1)*u(2)*b;
s2=V2*DuDx(2)+u(3)*u(2)*b*KB;
s3=V3*DuDx(3)+u(3)*b+KK*u(1)*(K0-u(3));
c = [c1; c2; c3];
f = [f1; f2; f3];
s = [s1; s2; s3].
    
```

Для виклику функції *pdepe* виконаємо наступний код, в результаті якого отримуємо розрахунки першого етапу:

```

m = 0;
x = linspace(0,1,100);
t = linspace(0,0.1,100);
sol = pdepe(m,@pdex2pde,@pdex2ic,@pdex2bc,x,t);
u1 = sol(:,:,1);
u2 = sol(:,:,2);
u3 = sol(:,:,3).
    
```

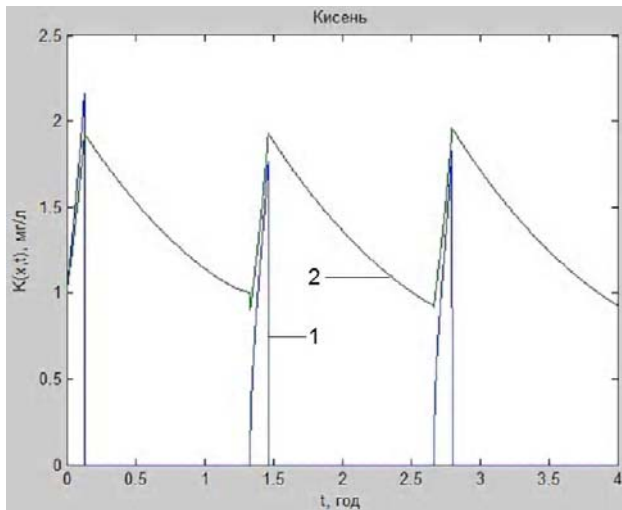
Після обчислень усіх етапів для наочності отриманих результатів їх представлено у вигляді графіків із застосуванням стандартних засобів побудови середовища Matlab.

**5 РЕЗУЛЬТАТИ**

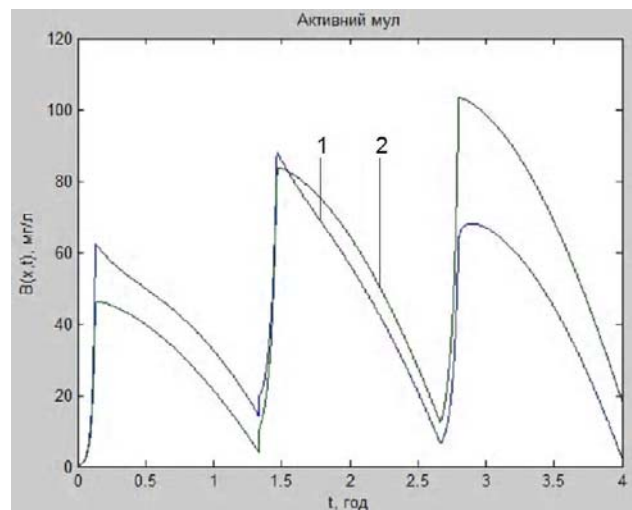
Шляхом комп'ютерного моделювання за наведеними вхідними даними:  $L|_{t=0} = 50 - 15 \cdot e^x$  г/л,  $X|_{t=0} = 0,1$  г/л,  $C|_{t=0} = 0,001$  г/л,  $Q = 7,2$  м<sup>3</sup>/год,  $V = 0,7$  м<sup>3</sup>,  $C_0 = 6$  мг/л,  $v_C = 1,26$  м/год,  $v_B = 1,92$  м/год,  $v_K = 1,26$  м/год,  $D_C = 0,721$ ,  $D_B = 10^{-5}$ ,  $D_K = 10^{-5}$ , отримали наступні результати (рис. 1–2).

**6 ОБГОВОРЕННЯ**

На рис. 1а показано, що на очищення поступають стоки з певною концентрацією забруднень і розчиненого у воді кисню. В реакторі за рахунок споживання кисню активним мулом його концентрація падає. Для забез-



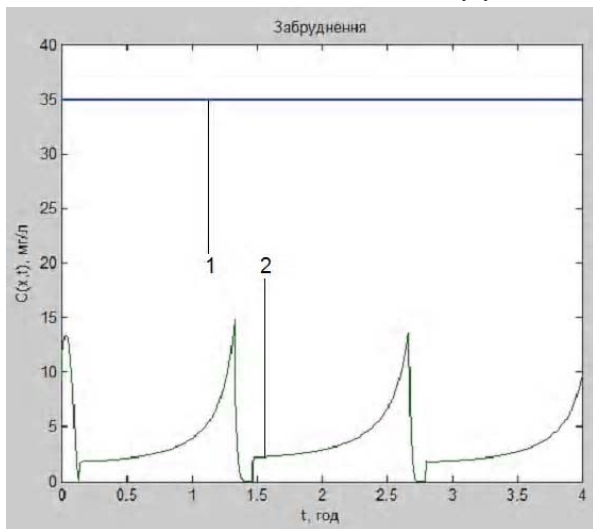
а



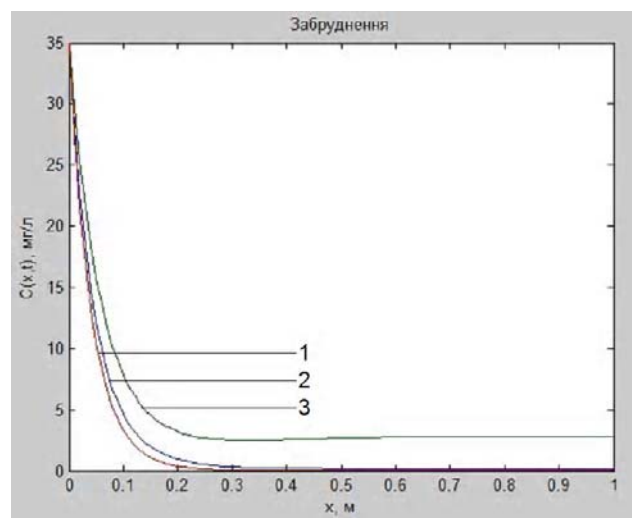
б

Рисунок 1 – Зміна концентрації кисню:

а – та активного мулу; б – із часом на вході – 1 та виході 2 – реактора



а



б

Рисунок 2 – Зміни концентрації забруднення:

а – з часом; б – та вздовж фільтра

печення життєдіяльності мікроорганізмів здійснюється періодична подача кисню зі стиснутим повітрям. Відповідно із змінами концентрації кисню відбуваються зміни концентрації активного мулу як показано на рис. 16. При постійному навантаженні забруднення на реактор отримано залежність зміни концентрації забруднюючих речовин на виході реактора рис. 2а (крива 2). По суті, отримані залежності є імпульсними перехідними характеристиками реактора за різними каналами зв'язків і характеризують динамічні властивості реактора як об'єкта управління. Вони є важливими результатами для розроблення алгоритму автоматизованого управління процесами в біологічних реакторах.

В очисних спорудах можуть використовуватися біологічні реактори різних типів (рис. 3). У залежності від кисневого режиму і виду мікрофауни активного мулу біологічні реактори виконують функції метатенків 2.1, окситенків 2.2 і аеротенків 2.3, яких може бути декілька. До складу технологічної схеми входять також приймальна камера 1, стабілізатор мулу 4, вторинний відстійник 2.4, вузол знезараження 8. Для ефективного контролю та оптимізації процесів біологічного очищення розроблена автоматизована система управління (АСУ). Дана система запроєктована на базі сучасних універсальних засобів автоматизації фірми Siemens, до складу якої входить контролер серії S7-300 і панель оператора, які

здійснюють функції вимірювання, контролю, регулювання, дискретного управління, візуалізації, архівування подій і параметрів процесу очищення стоків та формування аварійних повідомлень. Управління здійснюється за часовою програмою з корекцією за вимірюваними параметрами. Передбачено віддалений доступ з персонального комп'ютера.

До основних функцій АСУ відносяться підтримка заданих концентрацій розчиненого кисню та активного мулу у всіх резервуарах. Для забезпечення стабільної роботи очисної системи та управління використовуються сигнали не тільки вимірюваного кисню, але і витрати стічної води та швидкості споживання кисню в активній зоні аеротенків.

Автоматичне утримування необхідних параметрів біологічної очистки в умовах різких змін органічних і гідравлічних навантажень забезпечує високу якість очищення. В залежності від кількості стічних вод автоматично регулюється потужність установки, при цьому передбачено два рівні економних режимів, залежно від часу відсутності надходження стічних вод.

За допомогою керованих ерліфтів здійснюється багатоконтурна рециркуляція зворотного активного мулу, причому ступінь рециркуляції змінюється автоматично пропорційно кількості стічних вод, що надходять на установку для підтримки постійного навантаження на мул по

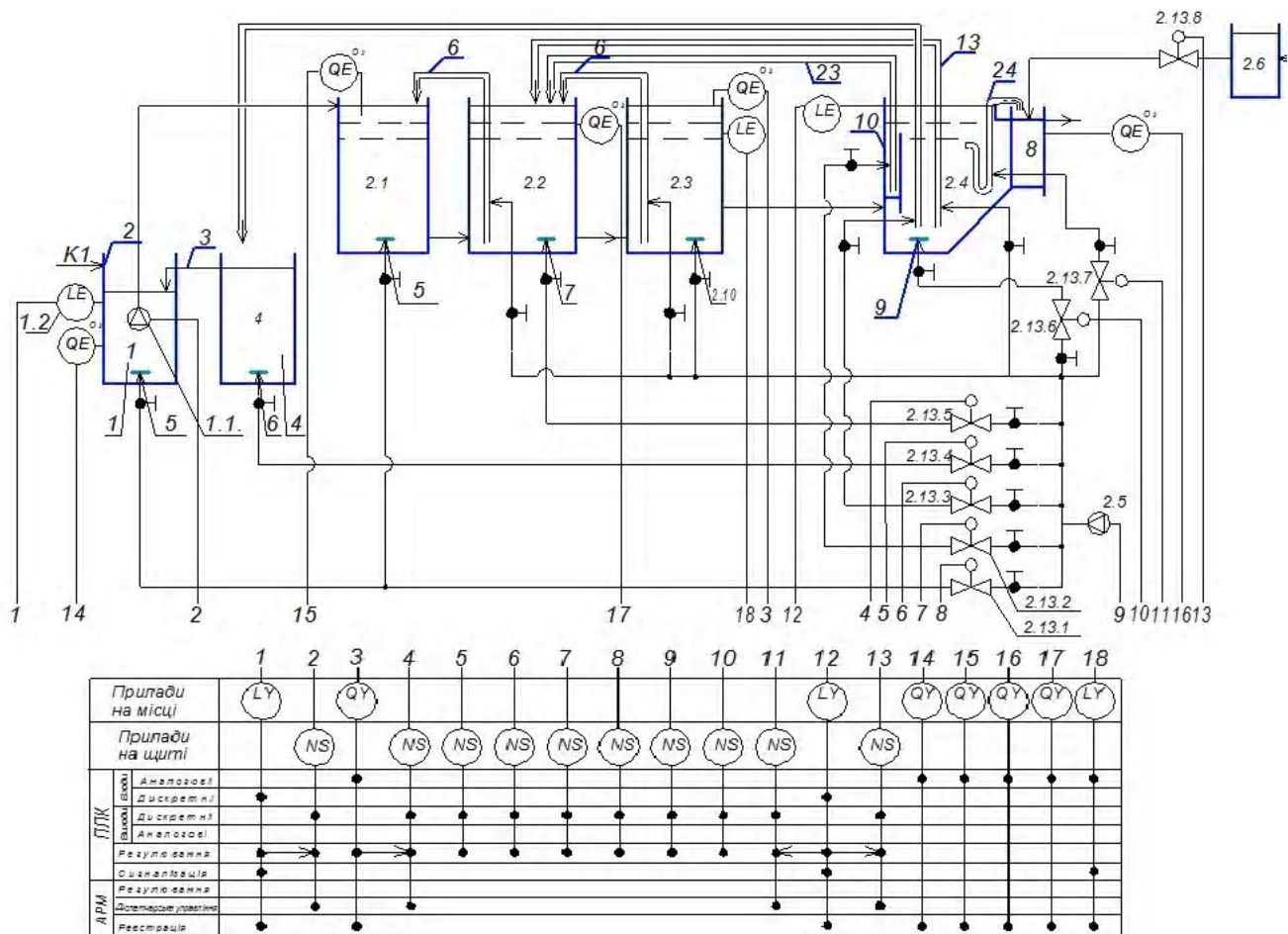


Рисунок 3 – Схема автоматизації установки біологічного очищення стічних вод

органічних речовинах. Видалення надлишкового активного мулу з вторинного відстійника забезпечує підтримку його оптимального віку.

### ВИСНОВКИ

Побудовано математичну модель, що описує закономірності процесів зміни концентрацій забруднення, активного мулу і кисню при розмноженні та відмиранні бактерій в біологічних реакторах різного типу. Знайдено розв'язок відповідної модельної задачі з використанням функції `ode` середовища `MatLab`. Наведені результати розрахунків розподілу концентрації забруднення, активного мулу та кисню протягом часу очистки рідини, які враховують здатність бактерій до розмноження та відмирання. На основі отриманих результатів розроблено автоматизовану систему управління допустимою концентрацією забруднення у стічних водах. В алгоритмі управління реалізовано енергозберігаючі принципи, передбачено два рівні економних режимів установки.

### ПОДЯКИ

Робота виконана у відповідності з планом науково-дослідних робіт Національного університету водного господарства та природокористування та Рівненського державного гуманітарного університету за темами: «Розвиток методів комплексного аналізу і теорії збурень моделювання нелінійних процесів з керуванням, ідентифікацією та оптимізацією» (№ держ. реєстр. 0116U00711), «Дослідження та удосконалення раціональної ресурсозберігаючої технології очищення підземних вод від сполук заліза для питного водопостачання» (№ держ. реєстр. 0116U003758).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Саблій Л. А. Багатоступенева анаеробно-аеробне очищення висококонцентрованих стічних вод / Л. А. Саблій // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2009. – Вип. 4. – С. 185–192.
2. Сафоник А. П. Комп'ютерне моделювання процесу аеробно-очищення стічних вод / А. П. Сафоник, І. М. Таргоній // Проблеми машиностроєння. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 31–36.
3. Козачек А. В. Исследование математической модели процесса аэробной очистки сточных вод как стадия оценки качества окружающей водной среды / А. В. Козачек, И. М. Авдашин, В. А. Лузгачев // Вестн. Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – Т. 19, Вып. 5. – С. 1683–1685.
4. Математическое моделирование и управление качеством очистки сточных вод / [С. А. Понкратова, В. М. Емельянов, А. С. Сироткин, М. В. Шулаев] // Вестн. Казанского технологического университета. – 2010. – № 5–6. – С. 76–85.
5. Нелінійні задачі типу фільтрація-конвекція-дифузія-масообмін за умов неповних даних / [А. Я. Бомба, В. І. Гаврилук, А. П. Сафоник, О. А. Фурсачик]. – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування, 2011. – 276 с.
6. Bomba A. Mathematical modeling of aerobic wastewater treatment in porous medium / Andrij Bomba, Andrij Safonyk // Zeszyty Naukowe WSInf. – 2013. – Vol. 12, Nr 1. – P. 21–29.
7. Adetola V. Adaptive estimation in nonlinearly parameterized nonlinear dynamical systems / V. Adetola, D. Lehrer, M. Guay // American Control Conf. on O'Farrell Street. – San Francisco, USA. – 2011. – P. 31–36.
8. Andrii Safonyk Mathematical design of process of water treatment by filter-clarifier with layer of hanging up sediment / Communications in Applied Analysis. – 2016. – 20. – P. 467–478.
9. Practical identifiability of ASM2d parameters-systematic selection and tuning of parameter subsets / [R. Brun, M. Kiihni, W. Gujer et al.] // Water Research. – 2002. – № 36. – P. 4113–4127.
10. Brune D. Optimal control of the complete-mix activated sludge process / D. Brune // Environmental Technology. – 1985. – № 6:11. – P. 467–476.
11. Dochain D. Dynamical modelling and estimation in wastewater treatment processes / D. Dochain, P. Vanrolleghem. – London : IWA Publishing, 2001. – 342 p.
12. Safonyk A. P. Modelling the filtration processes of liquids from multicomponent contamination in the conditions of authentication of mass transfer coefficient / A. P. Safonyk // International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. – 2015. – Vol. 9. – P. 189–192.
13. Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment. / M. Ilenze, W. Gujer, T. Mino et al. // Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. Scientific and Technical Report 9, IWA, London : IWA Publishing, 2000. – 122 p.
14. Knightes G. D. Statistical analysis of nonlinear parameter estimation for monod biodegradation kinetics using bivariate data / G. D. Knightes, G. A. Peters // Biotechnol. Bioeng. 69. – 2000. – № 2. – P. 160–170.
15. Ghai Q. Modeling, estimation and control of biological wastewater treatment plants / Q. Ghai // Doctoral Theses at NTNU 2008:108 at IIT, Porsgrunn. Telemark University College, – 2008. – 187 p.

Стаття надійшла до редакції 17.01.2017.  
Після доробки 06.03.2017.

Сафоник А. П.<sup>1</sup>, Клепач Н. И.<sup>2</sup>, Таргоний И. Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних і комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

<sup>2</sup>Канд. физ.-мат. наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних і комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

<sup>3</sup>Аспирант кафедри автоматизації, електротехнічних і комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

### ИССЛЕДОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕАКТОРОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОКОВ ПРИ КОНТРОЛЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА

**Актуальность.** Решена актуальная задача разработки математических моделей процессов очищения сточных вод, с учетом автоматизированного управления.

**Цель работы** – разработка математической модели процесса очистки сточных вод от биологических веществ иммобилизованными микроорганизмами при многоступенчатом анаэробно-аэробном способе очистки, которая бы учитывала процессы окисления органических веществ, размножение и отмирание бактерий как совокупность взаимодействий разных факторов в зависимости от концентраций растворимого в воде кислорода и загрязняющих органических веществ.

**Метод.** В работе использованы методы математической физики и гидродинамики для построения математических моделей процессов очистки жидкостей, общие подходы к построения модельных задач, в которых одни составные доминируют над другими. Построена

математическая модель процесса биологической очистки сточных вод, которая учитывает изменение концентрации загрязнения, активного ила и кислорода при размножении и отмирании бактерий в биологических реакторах разного типа.

**Результаты.** Найдено решение соответствующей модельной задачи с использованием функции рдере среды Matlab. Приведенные результаты расчетов распределения концентрации загрязнения, активного ила и кислорода на протяжении времени очистки жидкости, которые учитывают способность бактерий к размножению и отмиранию.

**Выводы.** Проведенные эксперименты подтвердили адекватность построенной модели. На основе полученных результатов разработана автоматизированная система управления допустимой концентрацией загрязнения в сточных водах, которая обеспечивает энергосберегающие принципы работы установки.

**Ключевые слова:** математическая модель, биологическая очистка, обратное влияние, контроль кислорода, автоматизированное управление.

Safonyk A. P.<sup>1</sup>, Klepach M. I.<sup>2</sup>, Targoniy I. M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dr. Sc., Associate Professor, Professor of Department of Automation, Electrical and Computer-Integrated Technologies, National University of Water and Environment Management, Rivne, Ukraine

<sup>2</sup>PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Automation, Electrical and Computer-Integrated Technologies, National University of Water and Environment Management, Rivne, Ukraine

<sup>3</sup>Postgraduate Student, Department of Automation, Electrical and Computer-Integrated Technologies, National University of Water and Environment Management, Rivne, Ukraine

## RESEARCH AND AUTOMATION OF BIOLOGICAL REACTORS OF EFFLUENT WITH THE OXYGEN CONCENTRATION CONTROL

**Context.** The actual problem of development of mathematical models of processes of wastewater treatment, subject to automatic control was resolved.

**Objective** to develop a mathematical model of the process of wastewater treatment from biological substances immobilized microorganisms in multistage anaerobic-aerobic method of purification which takes into account the oxidation of organic matter, reproduction and death of bacteria as a set of interaction of various factors, depending on the concentration of dissolved oxygen and pollutants organic matter.

**Method.** We used the methods of mathematical physics and hydrodynamics to build mathematical models of processes of cleaning fluids, common approaches to building model problems in which some components dominate over others. The mathematical model of biological wastewater treatment was built. It takes into account the changes in the concentrations of pollution, sludge and oxygen in reproduction and the withering away of the bacteria in biological reactors of various types.

**Results.** The solution of corresponding model problem was found by using functions pdepe environment MatLab. The results of calculations of concentration distribution of contamination, sludge and oxygen cleaning fluid over time were shown. It takes into account the ability of bacteria to multiply and dying.

**Conclusions.** The experiments confirmed the adequacy of the constructed model. Based on the results, the automated control system was developed. It controls permissible concentration of pollution in wastewater, which provides energy-saving principles of installation.

**Keywords:** mathematical model, biological treatment, the opposite effect, control of oxygen, automated control.

## REFERENCES

1. Sablii L. A. Bahatostupeneva anaerobno-aerobne ochyshchennia vysokontsentrovanykh stichnykh vod, *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*, 2009, Vyp. 4, pp. 185–192.
2. Safonyk A. P., Tarhoni I. M. Kompiuterne modeliuvannia protsesu aerobnoho ochyshchennia stichnykh vod, *Problemy mashinostroeniya*, 2016, Vol. 19, No. 2, pp. 31–36.
3. Kozachek A. V., Avdashin I. M., Luzgachev V. A. Isledovanie matematicheskoy modeli protsessa aerobnoy ochistki stichnykh vod kak stadiya otsenki kachestva okruzhayushey vodnoy sredy, *Vestn. Tambovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2014, Tom 19, Vyp. 5, pp. 1683–1685.
4. Ponkratova S. A., Emelyanov V. M., Sirotkin A. S., Shulaev M. V. Matematicheskoe modelirovanie i upravlenie kachestvom ochistki stichnykh vod, *Vestn. Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*, 2010, No. 5–6, pp. 76–85.
5. Bomba A. Ya., Havryliuk V. I., Safonyk A. P., Fursachy O. A. Neliniini zadachi typu filtratsiia-konveksiia-dyfuziia-masobmin za umov nepovnykh danykh. Rivne, Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, 2011, 276 p.
6. Bomba A., Safonyk A. Mathematical modeling of aerobic wastewater treatment in porous medium, *Zeszyty Naukowe WSInf*, 2013, Vol. 12, Nr 1, pp. 21–29.
7. Adetola V., Lehrer D., Guay M. Adaptive estimation in nonlinearly parameterized nonlinear dynamical systems, *American Control Conf. on O'Farrell Street*. San Francisco, USA, 2011, pp. 31–36.
8. Andrii Safonyk Mathematical design of process of water treatment by filter-clarifier with layer of hanging up sediment, *Communications in Applied Analysis*, 2016, 20, pp. 467–478.
9. Brun R., Kiihni M., Gujer W. et al. Practical identifiability of ASM2d parameters-systematic selection and tuning of parameter subsets, *Water Research*, 2002, No. 36, pp. 4113–4127.
10. Brune D. Optimal control of the complete-mix activated sludge process, *Environmental Technology*, 1985, No. 6:11, pp. 467–476.
11. Dochain D., Vanrolleghem P. Dynamical modelling and estimation in wastewater treatment processes. London, IWA Publishing, 2001, 342 p.
12. Safonyk A. P. Modelling the filtration processes of liquids from multicomponent contamination in the conditions of authentication of mass transfer coefficient, *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 2015, Vol. 9, pp. 189–192.
13. Ilenze M., Gujer W., Mino T. et al. Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment, Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. Scientific and Technical Report 9, IWA, London, IWA Publishing, 2000, 122 p.
14. Knights G. D., Peters G. A. Statistical analysis of nonlinear parameter estimation for monod biodegradation kinetics using bivariate data, *Biotechnol. Bioeng.* 69, 2000, No. 2, pp. 160–170.
15. Ghai Q. Modeling, estimation and control of biological wastewater treatment plants, *Doctoral Theses at NTNU 2008:108 at IliT, Porsgrunn. Telemark University College*, 2008, 187 p.