

разностной сетке. Время расчета одного варианта задачи составляет несколько секунд. Выдаются результаты проведенного вычислительного эксперимента.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, очистные сооружения, горизонтальный отстойник.

**Kozachyna V.A., Shynkarenko V.I., Gabrinets V.O., Horiachkin V.M. MATHEMATICAL MODELING IN WASTE WATER TREATMENT TASKS.** This paper describes the development of numerical models for evaluating the performance of horizontal settlers in wastewater treatment systems. A feature of the proposed numerical models is the possibility of modeling the velocity field and the process of pollutant transfer taking into account the geometric shape of horizontal settlers, usage of additional elements such as plates. The process of pollutant mass transfer in horizontal settlers is calculated on the basis of the two-dimensional equation of pollutant distribution. This equation takes into account the convective transfer of pollutants and the transfer of

pollutants due to diffusion. The uneven velocity field is calculated on the basis of two hydrodynamic models. The first hydrodynamic model is a system of equations for the vortex flows of an inviscid fluid. The second hydrodynamic model is a system of Navier-Stokes equations written in the variables «eddy-current function». For numerical integration of the modeling mass transfer equation, difference splitting schemes are used. First, the basic mass transfer equation is split into an equation that takes into account only the convective transfer of pollutants in the settler, and into an equation, that takes into account the transfer of impurities due to diffusion. For the numerical integration of the modeling equations of hydrodynamics, implicit difference splitting schemes are used. The numerical calculation is carried out on a rectangular difference grid. The calculation time for one variant of the problem is several seconds. The results of a computational experiment are given.

**Keywords:** mathematical modeling, wastewater treatment plant, horizontal settler.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-97-3-109-113

УДК 556.15

**Назаренко О.М., Назаренко І.А., Бахтін В.І., Шеремет'єв Е.О., Серебряков Ю.В.**

*Інженерний інститут Запорізького національного університету  
(пр. Соборний, 226, 69006, м. Запоріжжя; e-mail: [teplogidroenergetika@gmail.com](mailto:teplogidroenergetika@gmail.com);  
[orcid.org/0000-0003-3738-1129](http://orcid.org/0000-0003-3738-1129), [orcid.org/0000-0003-1086-1675](http://orcid.org/0000-0003-1086-1675))*

## РОЗРОБКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА

В роботі аналізується система виробничих компонентів будівель для створення сприятливих можливостей для підвищення енергоефективності міста. Досліджено шляхи відтворення атмосферних вод з локальним механічним доочищенням надкритичною течією для відцентрового осадження завислих речовин. Розраховано потенційні обсяги води та кількість циклів кавітаційного генератора для керованого кондиціонування умовно брудної води. Досліджено апаратне відновлення дощових вод для повторного використання. Отримано зразки експериментальних осадів для будівельного господарства при різних режимах роботи генератору. Виявлено резерви виробництв для підвищення конкурентоздатності товарної продукції.

**Ключові слова:** дощові води, акумулювання, кавітаційний генератор, завислі речовини, механічна ерозія, водоймище, річний стік, температура, каламутність, вологість осаду.

**Вступ.** Екосистеми складаються з дивовижних взаємодій живих організмів і абіотичного середовища, створюючи динамічні цикли поживних речовин і енергії. Здатність людини витіснити і формувати природні процеси покращилася, але громада продовжує залежати від товарів і послуг, що надаються екосистемами. Структура екосистемних послуг уточнює

зв'язок між добробутом людини та функцією екосистеми. Екосистемні послуги надаються екосистемі підтримувати і покращувати добробут громади. Технологія екосистемної послуги створює контур зворотного зв'язку, який служить сприянням як екосистемі, так і благополуччю громади. У цьому контексті очевидно, що ризики для природних ресурсів подібні

грунтам і водним ресурсам мають прямі наслідки для громади.

Дослідження поповнення водного балансу підприємства вкрай важливо, особливо в південних регіонах України, де ефекти засухи порушують стабільність технологічних процесів та приводять до соціального напруження в громаді.

**Матеріали і методи досліджень.** В роботі продовжується гідрологічні дослідження та математичні пошукування таких вчених, як Прандтль Д., Хосокава Т., Івасакі М., Рябенко О.А., Цхай А.А., Епоян С.М., Пантелят Г.С., Малько В.Г., Кравчук С.М., Стольберг Ф.З., Карагяур А.С. Традиційно гідрологічні вимірювання проводяться в природних умовах, автори пропонують використання техногенних потоків для підвищення енергоефективності системи водопостачання.

**Мета та завдання.** Дана робота виконувалась у відповідності до вимог надійності систем водопостачання та забезпечення прогнозу сталості економічного розвитку підприємства. Враховані вимоги забезпечення сталості розвитку прісноводних ресурсів програми «Інтегроване управління водними ресурсами».

**Мета роботи** – Дослідження можливостей поповнення балансу системи водопостачання та зниження техногенного навантаження на річковий басейн.

**Завдання роботи** – Оптимізація умов використання техногенних стоків для поповнення балансу водної системи.

**Результати дослідження.**

Структура екосистемних послуг є інструментом, який можна використовувати в межах стратегічного керування водоспоживанням підприємств та регулювання басейнів річок. Інструмент допомагає регуляторам оцінити види землекористування та заходи зменшення або заборони техногенного впливу на розвиток громади. Підхід екосистемних послуг не має залучення грошової оцінки, але шляхом створення рамки, в якій це зробити, він розширює інструменти, що знаходяться у розпорядженні регулятора [11]. Обговорення наслідків техногенних сценаріїв різними групами експертів та зацікавлених сторін, може бути достатньо для

знаходження компромісів при різних сценаріях використання землі.

Дослідження поповнення балансу водосховища (виробничої системи) вкрай важливо для розуміння меж технологічної схеми для запобігання ризиків по стабілізації водного середовища.

В дослідженні розглядається технологія збирання дощової води для підживлення підземних вод в обмеженому водноносному горизонті через нагнітальні свердловини, які також використовують видобуток підземних вод. Пропонується система збиральних насосів, що збирають дощову воду з дахів будівель міського кварталу. До цих будівель входять державні установи, установи комерційні будівлі або багатоквартирні будинки.

Набір даних для кожного насосу, площі даху та кількість дощової води, представлені в табл. 1. Дані опадів розглядаються в чотирьох часових кроках три місяці кожного. Квітень - червень (період 1), липень – вересень (період 2), жовтень – грудень (період 3) і січень-березень (період 4) з кумулятивними опадами 108, 132, 18 і 20 см відповідно. Для зручності моделювання кожен з цих періодів часу приймається за 90 днів.

Таблиця 1- Площа даху та кількість дощової води.

Поповнення системи	Кількість ділянок	Загальна площа даху, м <sup>2</sup>	Кількість дощової води по місячно, м <sup>3</sup>			
			Період 1	Період 2	Період 3	Період 4
Система 1	6	1765	516	631	86	95
Система 2	5	1727	505	618	84	93
Система 3	4	1318	376	459	62	69
Система 4	6	2260	661	809	110	83
Система 5	5	1781	512	627	85	94

Основною метою дослідження є забезпечення населенням об'єктів питної води понад 75 тисяч осіб, що проживають у міській місцевості. Норма

водопостачання на одну особу в Україні становить, як зазначено для міст з водопровідною водою без системи каналізації 110 л/добу. Отже витрата 8250 м<sup>3</sup> є цільовим показником на добу.

Цільова функція вирішується як квадратична різниця обсягу водопостачання і попиту:

$$f(x) = (Q_d^t - \sum_n^N Q_{pn}^t)^2 \quad (1)$$

де  $Q_d$  - потреба у воді (м<sup>3</sup>);  $Q_p$  - кількість перекачаної води (м<sup>3</sup>);  $n$  - індекс насосу;  $N$  - кількість свердловин;  $t$  - індекс часу.

При заборі води проходить локальне кавітаційне очищення та в разі необхідності хімічне втручання для корегування рН (промислові райони) (табл. 2).

Таблиця 2 – Показники якості води при обробці соплом Вентурі (кавітаційний генератор)

Показник	Кут 5°
Жорсткість початкова, мг-екв/л	4,21
Жорсткість остаточна, 1 цикл, мг-екв/л	3,3
Жорсткість остаточна, 7 цикл, мг-екв/л	2,88
Лужність початкова, мг-екв/л	3,2
Лужність остаточна, 1 цикл, мг-екв/л	2,42
Лужність остаточна, 7 цикл, мг-екв/л	2,03
рН початкова	7,4
рН 7 цикл	6,4
Солевміст, мг/л	275
Солевміст, 1 цикл, мг/л	221
Солевміст, 7 цикл, мг/л	238

Результати дослідження доводять можливості відтворення хімічних показників якості води на 1...3 циклах). При збільшенні кількості циклів очищення до 7, жорсткість зменшується до 2,88 мг-екв/л, лужність дорівнює 2,03 мг-екв/л, підвищується солевміст до 238 мг/л.

Новоутворення озону при температурі (105...107)°С (кут 5градусів), який в ході реакції багаторазово взаємодіє в умовах турбулентної реакції з молекулами забруднювача та знешкоджує їх в стадії адсорбції.

Пропонується дистанційне вимірювання жорсткості, лужності води, рН,

солевмісту та концентрацію можливих токсичних речовин за допомогою електронного блоку Arduino. При виникненні ризиків в збірних водоводах система дає сигнал та надає гнучку хімічну допомогу в районних насосних станціях. Відновлення атмосферних вод в насосних станціях відбувається подвійною фільтрацією крізь зернисті цеоліти.

Вибір того чи іншого сценарію поповнення балансу водопостачання міського кварталу залежить від керівництва регуляторів. Більш справедливо для прийняття важливих рішень залучення експертів зовнішніх та наукового середовища для моделювання сценаріїв водних ризиків та ступіню техногенного навантаження на квартал та регіон.

Особливо в індустріальних містах має місце фактор невизначеності чи невідтверджених даних. Суперечливий етап у процесі управління ризиками передусім прийняттю рішення управління ризиками. Оцінка ризиків балансує витрати та вигоди, оцінює більш широкі ціннісні або інтересні питання і передбачає прийняття політичних рішень. Це надає необхідну основу для прийняття рішення про прийнятність, допустимість або великий ризик (рис. 1). Прийнятні заходи пропонують переваги з незначними ризиками зниження та навіть його відсутність. Оцінка ризиків застосовує соціальні цінності та норми до судження про переносимість і прийнятність. Оцінка ризику також визначає необхідність зниження ризику заходів.

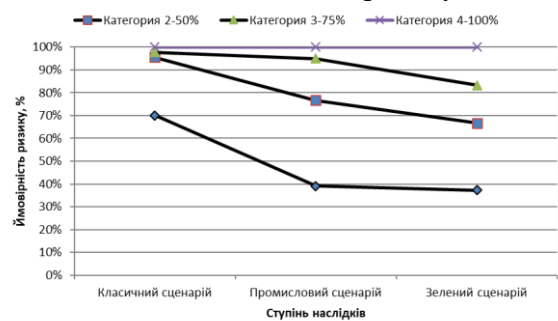


Рис. 1. Наслідки ризиків водопостачання по сценаріях.

**Обговорення результатів.** Надання екосистемних послуг є корисним для керівників басейнових департаментів, оскільки забезпечується узгоджений контекст

для включення зацікавлених сторін і складних біофізичних процесів у послідовну, керовану навчанням схему управління. Межі зв'язують процеси екосистем з людьми, створюючи контур зворотного зв'язку, який сприяє розвитку екосистеми та благополуччя громади. Деякі ключові переваги використання системи екосистемних послуг у річці управління басейном:

- Інструмент може враховувати численні послуги, що надаються однією екосистемою.
- Інструмент підтримує спілкування між зацікавленими сторонами в різних країнах секторів.
- Структура проектує зворотний зв'язок для виконавців захисту екосистеми.
- Екосистемні послуги гнучкі.

Використання послуг не вимагає механізму оплати, але дозволяє людям вибрати тип захисту навколишнього середовища. Таким чином, додана цінність структури екосистемних послуг полягає в знаходженні кращих комплексних рішень проблем басейнів річок, нові можливості фінансування заходів, більшу підтримку землевласників і громадськості.

**Висновки.** Пропонується використання дощових вод для поповнення дебету артезіанських вод. Застосування локального механічного доочищення знижує жорсткість на 46%, лужність на 57%, солевміст на 24%. В разі необхідності можливо додавання хімічних агентів для покращення кондиціонування. Пропозиція надає поповнення балансу води до 1330 м<sup>3</sup>/рік та 0,754 м<sup>3</sup> води з м<sup>2</sup> дахової поверхні.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. ДБН В.2.6-220:2017 *Покриття будівель і споруд*. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2017. 43 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. *Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану*. К.: ДП «УкрНД-НЦ», 2017. 45 с.
3. Jorgensen S.E. *Handbook of Ecological Models Used in Ecosystem and Environmental Management*. CRC Press University Denmark. Copenhagen, 2011. 600 p.
4. Назаренко О.М. *Ризик менеджмент водокористувачів річки Дніпро*: монографія. Запоріжжя: СТС Групп, 2018. 208 с.
5. Олійник О. Я., Айрапетян Т. С. Розрахунок кисневого режиму при біологічному

очисненні стічних вод в аеротенках-змшувачах з закріпленим і зваженим біоценозом. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. 2019. №1(94). С.187-191.

6. Авраменко Ю. О., Лещенко М. В., Магас Н. М. [та ін.] *Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель*: посібник / за ред. О. В. Семка. Полтава: ТОВ «Астрая», 2017. 238 с.
7. Marker V.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. *Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and application*. Handbook. Elsevier Science Ltd, 2003. 1017 p.
8. Вавуло Н.М., Харьковский А.Е., Зарилов Р.Ф., Рогачевский О.Л., Желнинский В.А., Дегтярев И.М., Лычиц А.Н., Фисюренко Д.А. *Ремонт и эксплуатация рулонных кровель*: Практическое пособие для работников ЖКХ. М.; СПб.: ООО «АТМ», 2011. 86 с.
9. Syvitski J., Cohen S., Miara A., Best J. River temperature and the thermal-dynamic transport of sediment. *Global and Planetary Change*. 2019. Volume 178. 7. p. 168-183.
10. Elgueta M., Astaburuaga M., Hassan A. Sediment storage, partial transport, and the evolution of an experimental gravel bed under changing sediment supply regimes. *Geomorphology*. 2019, Volume 330. 4. p. 1-12.
11. Kehui Xu, Samuel J., Bentley J., Day W., Freeman A. A review of sediment diversion in the Mississippi River Deltaic Plain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2019, 5. 235 p.
12. Kuprienko P., Lapowska S., Kuprienko N. Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. *Underwater technologies*, 2017. Vol. 05. P. 74-83.
13. Яркин В.А., Эпоян С.М., Сухоруков Г.И. Определение эффективности работы перегородчатого смесителя коридорного типа усовершенствованной конструкции. *Науковий вісник будівництва*. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. 2018. Т.91. №1. С.210-214.
14. Эпоян С.М., Сухоруков Г.И., Яркин В.А. Метод повышения эффективности смешения природной воды с реагентом и методика проведения исследований. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. №1(83). С.187-193.
15. Проскурнин О. А., Захарченко Н. И., Капанина О. И. Нормирование состава теплообменных сточных вод. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2018. №4(92). С.226-231.

**Назаренко А.Н., Назаренко И.А., Бахтин В.И., Шереметьев Е.О., Серебряков Ю.В. РАЗРАБОТКА ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА.** В работе

анализируется система производственных компонентов зданий для создания благоприятных возможностей повышения энергоэффективности квартала. Исследованы способы кондиционирования атмосферных вод с локальной механической доочисткой сверхкритическим течением для центробежного осаждения взвешенных веществ. Рассчитаны потенциальные объемы воды и количество циклов кавитационного генератора для управляемого кондиционирования условно грязной воды. Исследовано аппаратное восстановление дождевых вод для повторного использования. Получены образцы экспериментальных осадков для строительного хозяйства при различных режимах работы генератора. Выявлены резервы производств для повышения конкурентоспособности товарной продукции. **Ключевые слова:** дождевые воды, аккумуляция, кавитационный генератор, взвешенные вещества, механическая эрозия, водоем, годовой сток, температура, мутность, влажность осадка.

**Nazarenko A.N., Nazarenko I.A., Bakhtin V.I., Sheremetyev E.O., Serebryakov Yu.V. DEVELOPMENT OF ECOSYSTEM SERVICES TO ENHANCE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE CITY WATER SUPPLY SYSTEM.** The paper analyzes the system of buildings components to create favorable opportunities for increasing energy efficiency of the quarter. The ways of atmospheric water reproduction with local mechanical extraction with supercritical flow for centrifugal deposition of suspended substances are investigated. The potential water volumes and the number of cavitation generator cycles for controlling conditioned dirty water are calculated. The hardware recovery of rainwater for re-use is explored. The samples of experimental sediments for the construction industry under different operating conditions of the generator have been obtained. The reserves of plant for increasing the competitiveness of commodity products are revealed.

**Key words:** rainwater, accumulation, cavitation generator, suspended matter, mechanical erosion, reservoir, annual runoff, temperature, turbidity, precipitation humidity

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-97-3-113-121

УДК 628.35

**Олійник О.Я.<sup>1</sup>, Айрапетян Т.С.<sup>2</sup>, Калугін Ю.І.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Інститут гідромеханіки НАН України

(вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03057, Україна; e-mail: [kurganska@ukr.net](mailto:kurganska@ukr.net), [forkalugin@ukr.net](mailto:forkalugin@ukr.net), [orcid.org/0000-0002-9110-1709](https://orcid.org/0000-0002-9110-1709), [orcid.org/0000-0003-0720-0665](https://orcid.org/0000-0003-0720-0665))

<sup>2</sup> Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

(вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: [tamara78kh2008@rambler.ru](mailto:tamara78kh2008@rambler.ru), [orcid.org/0000-0002-8834-5622](https://orcid.org/0000-0002-8834-5622))

## МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНКИ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ-ЗМІШУВАЧАХ ЗАВИСЛИМ І ЗАКРІПЛЕНИМ БІОЦЕНОЗОМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЛІНІЙНОЇ КІНЕТИКИ МОНО

Ефективність вилучення органічних забруднень в аеротенках біологічними методами можна значно підвищити, якщо поряд з завислим біоценозом (активним мулом) забезпечити влаштування в об'ємі аеротенка споруди додаткового завантаження (сіток, насадок тощо) на поверхні яких утворюється біоплівка з високою концентрацією мікроорганізмів. Робота передбачає виконання розрахунку біологічної очистки стічних вод в аеротенках-змішувачах з завислим біоценозом (активним мулом) і закріпленим біоценозом (біоплівкою) за допомогою математичної моделі, в якій кінетика реакцій вилучення органічних забруднень описуються нелінійним рівнянням Моно. Для обґрунтування підвищення ефективності роботи аеротенків за рахунок впровадження додаткового завантаження з закріпленим біоценозом (біоплівкою) побудовано математичні моделі, що враховують одночасне окислення органічних забруднень завислим і закріпленим біоценозом. На основі цих моделей розроблені методи розрахунку параметрів очищення. Чисельними методами на основі розробленої програми побудовані графіки для визначення концентрацій на зовнішній та внутрішній поверхні біоплівки, що дозволяє визначити значення потоків забруднення на вході та виході з споруди та тим самим оцінити можливий ефект очистки. Науково обґрунтовано методи розрахунку біологічної