

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ВОДООЧИЩЕННЯ

Куроченко Максим Олексійович

студент групи МАМм-1-24-1.4д,

Київського столичного університету імені Бориса Грінченка,

науковий керівник – к.ф.-м.н., доц. Семеняка С.О.

Математичне моделювання є фундаментальним інструментом сучасної науки й техніки для дослідження складних процесів, які важко вивчати експериментально. Його суть полягає у відтворенні реальних явищ у вигляді систем рівнянь або статистичних залежностей, що дає змогу прогнозувати поведінку об'єкта в різних умовах. У природничих науках моделювання поєднує експериментальні дані з аналітичними методами дослідження [1-5]. Це особливо актуально для задач, де об'єкти дослідження мають складну багатофакторну природу – наприклад, у водопідготовці, де одночасно діють різної природи: гідродинамічні, масообмінні, хімічні тощо.

Вплив військових дій, зростання техногенного навантаження на довкілля, поява нових органічних і мікробіологічних забруднень у джерелах водопостачання та посилення екологічних норм зумовлюють необхідність підвищення ефективності систем очищення природної води. У цьому контексті математичне моделювання дозволяє:

- оптимізувати структуру технологічної схеми водоочищення та її окремі етапи (коагуляцію, фільтрацію, знезараження) залежно від характеристик води;
- зменшити витрати на проведення експериментів, оскільки моделі дають змогу скоротити кількість дорогих досліджень з реагентами;
- прогнозувати ризики, аварійні режими та поведінку системи за умов різних змін параметрів (наприклад, при зростанні бактеріального забруднення);
- оцінювати ефективність нових технологій і реагентів, як-от діоксиду хлору, у порівнянні з традиційними засобами.

Отже, застосування математичного моделювання у сфері очищення природної води має важливе наукове й практичне значення для забезпечення безпечного та економічно ефективного водопостачання.

У дослідженні проаналізовано потенціал математичного опису процесів у технологічних схемах із використанням детермінованих (фундаментальних) та емпіричних (експериментально-статистичних) моделей. Детерміновані моделі базуються на рівняннях матеріального й теплового балансу, кінетики реакцій та гідродинаміки, що забезпечує їх універсальність і можливість екстраполяції за межі експериментальних даних, але ускладнює врахування побічних факторів і визначення численних параметрів. Емпіричні моделі, здебільшого у формі багатофакторних поліномів другого чи третього порядку, описують залежність показників якості води від доз реагентів, часу контакту, температури та рН, проте не відображають фізичну суть процесів і мають обмежену здатність до екстраполяції.

Для низки практичних завдань у водопідготовці доцільним є використання емпіричних моделей, оскільки вони дозволяють швидко

отримати функціональні залежності між умовами обробки й результатами очищення. Інструментом отримання емпіричних моделей є планування експерименту (Design of Experiments, DOE), що забезпечує мінімізацію кількості лабораторних дослідів при одночасному вивченні впливу багатьох факторів, а також виявлення значущих факторів і їхніх взаємодій, побудову моделей у вигляді поліномів, оцінку статистичної надійності отриманих залежностей тощо. У випадку знезараження води діоксидом хлору метод планування експерименту дозволяє визначити оптимальну дозу реагенту залежно від характеристик вихідної води та умов експлуатації, враховуючи водночас вплив супутніх факторів – кислотності рН, температури, ступеню забрудненості води та інших технологічних параметрів.

У випадку дослідження систем типу «технологія-властивість» загальний вигляд багатофакторної емпіричної моделі можна подати як:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^k b_{ij} X_i X_j + \varepsilon,$$

де Y – показник ефективності процесу (наприклад, ступінь знезараження, залишкова концентрація реагенту, зниження кількості коліформних бактерій); X_i – керовані фактори (доза діоксиду хлору, рН, температура, час контакту тощо); b_0 , b_i , b_{ii} , b_{ij} – коефіцієнти регресії, що визначаються за результатами експериментів; ε – випадкова похибка.

Застосування емпіричних поліноміальних моделей разом із методами планування експерименту забезпечує адекватний опис роботи підсистеми знезараження, виявлення критичних факторів і визначення оптимальних режимів. Така модель дозволяє встановити області оптимальних параметрів, враховувати взаємодію факторів і прогнозувати результати для недосліджених комбінацій умов.

ДЖЕРЕЛА

1. Abramov, V., Astafieva, M., Boiko, M., Bodnenko, D., Bushma, A., Vember, V., Hlushak, O., Zhyltsov, O., Ilich, L., Kobets, N., Kovalyuk, T., Kuchakovska, H., Lytvyn, O., Lytvyn, P., Mashkina, I., Morze, N., Nosenko, T., Proshkin, V., Radchenko, S., & Yaskevych, V. (2021). Theoretical and practical aspects of the use of mathematical methods and information technology in education and science. <https://doi.org/10.28925/9720213284km>.

2. Liudmyla Ilich, Oksana Hlushak, Svetlana Semenyaka, Yaroslav Shestack «Modeling of Structural Changes in the Employment as the Direction of Economic Security Risk Management» // Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, 2023, 3421. p p. 46-55. ISSN 1613-0073.

3. Ilich L.M., Hlushak O.M., Semenyaka S.A. Modeling of employment structural transformations. Financial and credit activity: problems of theory and practice. ISSN (print) 2306-4994, ISSN (on-line) 2310-8770, 1(32), 2020, P.251-259.

4. Астаф'єва М.М. Задача мінімізації функціонала в теорії керування. Фізико-математична освіта: наук. журнал. 2017. Вип. 4 (14). С. 143–148.

5. Астаф'єва М. М. (2021) Оптимізаційні функції керування в математичному моделюванні еволюційних процесів / Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті й науці: колективна монографія. Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, С. 194-209.