

УДК 628.3

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДОВИХ ОДИНИЦЬ  
ЗМІШУВАЧІВ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ**

**COMPUTER MODELLING OF COMPONENT UNITS OF WATER  
SOLUTION MIXERS**

**О. Є. Мацулевич**, канд. техн. наук, **О. О. Дереза**, канд. техн. наук,  
**С. В. Дереза**, **А. П. Чаплінський**

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

***Анотація.** У роботі досліджено аспекти цифрового моделювання специфічних деталей та вузлів, що інтегруються у водопровідні мережі. Комплекси господарсько-питного призначення, а також системи зворотного та повторного водокористування є стратегічним сегментом водогосподарської інфраструктури держави. Стабільне та безаварійне функціонування таких мереж безпосередньо зумовлене обґрунтованим визначенням гідравлічних показників, характеристик трубопровідних магістралей, регулювальної арматури, а також параметрів напірних об'єктів та накопичувальних резервуарів.*

*Прогнозування експлуатаційних властивостей та вирішення багатьох прикладних завдань у роботі систем водопостачання стає можливим ще на етапі розробки завдяки впровадженню актуальних інструментів програмування, методів симуляції та аналітичного прогнозування.*

*Створення моделей для окремих компонентів та технічних модулів водопровідної інфраструктури дозволяє не лише розв'язати питання збільшення ресурсу використання згаданих систем, а й забезпечує оптимізацію економічних витрат під час експлуатації більшості комплексів розподілу та споживання води на об'єктах водогосподарської сфери.*

***Ключові слова:** інженерні споруди, інженерні об'єкти, тривимірні системи, спеціалізоване програмне забезпечення, об'ємне проектування.*

## **Вступ**

У межах водогосподарського комплексу держави водоспоживання виступає ключовим чинником функціонування соціуму та його конкретних промислових напрямків. Необхідність ощадливого та науково обґрунтованого поводження з водними ресурсами зумовлена ризиками вичерпання джерел та деградацією їхнього екологічного балансу внаслідок антропогенного навантаження. Це питання є надзвичайно гострим для індустріального сектору, де водне середовище залучене до більшості виробничих циклів та технологічних етапів.

Паралельне зростання виробничих потужностей вимагає впровадження максимально точних та раціональних схем експлуатації природних багатств. З огляду на це, пріоритетним завданням стає вдосконалення кількісних і якісних показників середовища саме в межах систем замкненого (оборотного) циклу.

Моделювання розглядається як інструмент опосередкованого аналізу тих об'єктів дослідження [1], пряме вивчення яких стандартними засобами є занадто складним або практично нездійсненним.

Процес моделювання складається з декількох послідовних та взаємопов'язаних фаз [1]:

- висування теоретичних положень або припущень;
- побудова екологічно безпечної моделі, призначеної для верифікації, деталізації або поліпшення вихідної теорії;
- визначення та розрахунок показників обраної математичної чи фізичної схеми;

- тестування моделі та формування статистичних результатів; здійснення прогностичних розрахунків на базі створеного інструментарію;
- практичне випробування та перевірка отриманих даних у лабораторних або виробничих масштабах;
- впровадження моделі в експлуатацію (з метою моніторингу та управління).

Сучасний стан водогосподарської галузі значною мірою визначається можливістю мінімізації часових витрат на етапах від проектування до введення водопровідних мереж в експлуатацію [2, 3]. Проте впровадження моделювання під час розробки специфічних деталей та вузлів для систем зворотного, повторного та питного водозабезпечення промислових і побутових об'єктів досі не набуло широкого практичного застосування.

Використання математичного апарату для опису промислових мереж дозволило отримати дані щодо розподілу ресурсів для питних потреб. Застосування алгоритмів розподілу води дає змогу проектувати резервуари, що позитивно впливає на гідравліку системи, стабілізує тиск та запобігає дефіциту води, дозволяючи враховувати ймовірні аварійні ситуації під час роботи.

Імітаційні методи, придатні для аналізу як статичних, так і динамічних режимів, дозволяють досліджувати різноманітні сценарії руху потоків, перебіг хімічних взаємодій та кінетичні закономірності технологічних операцій.

### **Аналіз останніх досліджень**

У наукових працях представлено екологічно безпечні підходи [1] до очищення стічних вод із застосуванням активованого вугілля з урахуванням вихідної вологості. Завдяки методам атомно-адсорбційної спектроскопії та іншому аналітичному обладнанню було визначено характеристики мікропор, що підтверджують високу здатність комбінованих адсорбентів до вилучення іонів міді, свинцю та хрому з промислових стоків. Доступність за ціною та висока ефективність таких сорбентів сприяють інтеграції екологічних методів водоочищення у виробництво.

З огляду на технологічний прогрес, наявні очисні споруди потребують модернізації для підвищення їхньої продуктивності та зменшення поточного навантаження. Перспективним є впровадження мобільних комплексів, параметри яких адаптовані до потужності конкретних об'єктів. Відповідно, існує гостра потреба у формуванні новітньої методології проектування для виявлення та нейтралізації токсичних компонентів у водних джерелах.

Наукові дослідження у сфері моделювання компонентів та функціональних одиниць промислових водопровідних мереж спрямовані на розв'язання комплексу взаємозалежних інженерних питань [4].

Впровадження актуальних технічних та технологічних підходів [5, 6], що мають на меті підвищення якості проектування, а також створення нових та модернізацію наявних інженерних рішень, передбачає досягнення кількох стратегічних цілей. Передусім це стосується досягнення якісно нового рівня розробки специфічних елементів та складальних вузлів у межах інноваційної діяльності та вдосконалення традиційних конструкцій [7].

Окрім вирішення суто прикладних технічних завдань, залучення сучасного інструментарію моделювання сприяє зниженню еколого-економічного тиску на природні джерела. Це досягається шляхом прогнозування та мінімізації непродуктивних втрат ресурсів у будь-яких експлуатованих системах водопостачання.

### **Основний матеріал дослідження**

Відповідно до обраної наукової стратегії, що базується на інтенсифікації оборотних водопровідних мереж через розробку специфічних вузлів та компонентів із застосуванням сучасних методів цифрового моделювання, було сформовано комплекс інженерно-технічних

рішень за такими ключовими векторами:

Ключове устаткування для систем спеціалізованої підготовки та очищення промислових стоків, зокрема фільтри-сепаратори роздільного, коаксіального та інших типів конструкції.

Базове та допоміжне обладнання для процесів водопідготовки та промислового водокористування, що включає змішувачі та апарати-змішувачі різноманітних конфігурацій.

Допоміжні пристрої, як-от ущільнювачі, що задіюються на фінальних стадіях переробки рідких відходів у промислових циклах.

У структурах оборотного промислового водопостачання критично важливим етапом є введення реагентів для нейтралізації токсичних сполук, осадження шкідливих домішок або вилучення цінних фракцій. У цьому контексті змішувачі стічних вод різних конструкцій виступають визначальним фактором, що впливає на загальну ефективність водокористування в індустріальному секторі.

Для забезпечення сучасних вимог щодо інтенсифікації процесів під час змішування водних середовищ із реагентами впроваджено низку оригінальних розробок. Зокрема, використання апаратів із коаксіальними місткостями дозволяє досягти максимально повного розчинення хімічних агентів у робочому об'ємі води.

Крім того, проектування та впровадження мобільних комплексів інтенсифікації очищення має суттєві переваги. По-перше, поєднання мобільності з комп'ютерним моделюванням значно скорочує цикл створення готового інженерного продукту. По-друге, це полегшує процес адаптації персоналу до інноваційного обладнання. Зрештою, активна інтеграція таких технологій у виробничий процес є ключовим інструментом для виконання завдань, що стоять перед сучасними системами промислового водопостачання.

Центральним елементом будь-якого змішувального вузла є камера змішування. Її застосування в процесах очищення стоків вимагає науково обґрунтованого підходу до вибору оптимальної геометрії та внутрішньої конфігурації.

На рисунку 1 представлено схему змішувача водних розчинів і реагентів в системах оборотного водопостачання.

Визначення оптимальних пропорцій між основними камерами на практиці підтвердило, що застосування цифрових моделей, зокрема для апаратів-змішувачів водних розчинів, гарантує високу швидкість та простоту процесу внесення будь-яких правок чи коригувань у конструкцію. До ключових переваг такої технології належить також можливість автоматичного генерування креслень під час підготовки технічної та супровідної технологічної документації.

Одним із пріоритетних шляхів оптимізації геометричних параметрів та підвищення якості підготовки хімічних агентів є проектування та розробка конструкцій на основі тривимірних технологій.

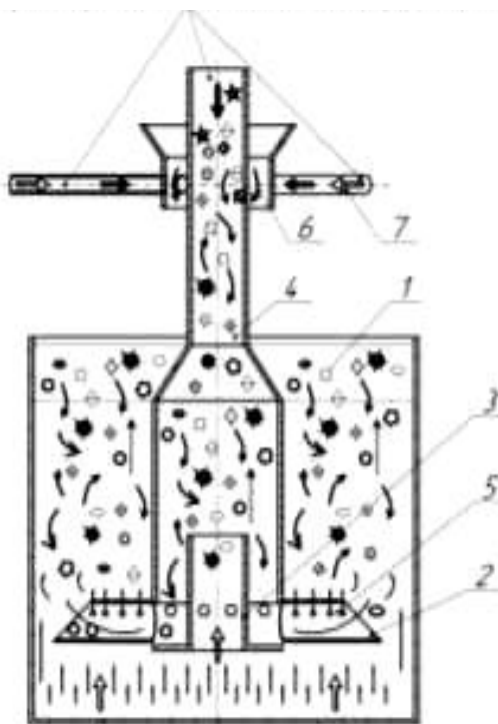
Створені моделі специфічних компонентів та обладнання для перемішування, розроблені із залученням сучасного 3D-інструментарію, дають змогу детально візуалізувати об'єкт дослідження. Це значно скорочує терміни підготовки до виробництва та проведення промислових випробувань, а також гарантує необхідну якість змішування реагентів у процесах оборотного водопостачання (рис. 2).

Актуальний програмний інструментарій надає можливість застосовувати різнопланові методи конструювання об'єктів незалежно від обраного алгоритму моделювання.

Використання базових геометричних примітивів правильної форми (таких як циліндри, тори, конуси тощо) слугує основою для створення складних технічних структур — корпусів, з'єднувальних патрубків та робочих камер. Головною перевагою такого підходу є оперативність і простота побудови, а також висока математична точність та визначеність отриманих моделей. Даний метод є оптимальним для технічного проектування, особливо при розробці апаратів-змішувачів водних розчинів, параметри яких базуються на чітких

розрахункових розмірах. На рисунку 3 продемонстровано тривимірні моделі окремих компонентів змішувача рідин (див. рис. 1).

Трубопроводи підведення реагентів



Вода для змішування

Рисунок 1 – Установка для змішування водних середовищ та реагентів у технологічних системах:  
 1 – основна оболонка (корпус); 2 – перфоровані розподільчі труби променевого типу для відведення суміші; 3 – патрубок циркуляційного контуру; 4 – вхідний вузол для подачі хімічного реагенту; 5 – вихідна форсунка (отвір) для вприскування реагенту; 6 – відсік (камера) для перемішування компонентів; 7 – магістралі для тангенційного підведення активних речовин

<p>Модель апарата-змішувача з виконаним поздовжнім вертикальним перерізом.</p>	<p>Загальний вигляд цифрової моделі змішувача водних розчинів із вертикальним розрізом основної оболонки відносно центральної осі.</p>	<p>Модель змішувального апарата, що відображена з нахилом верхньої площини під певним кутом до вертикальної осі.</p>

Рисунок 2 – Апаратне оформлення моделювання змішувача водних розчинів

			
	Променеві перфоровані труби відведення суміші;	Циркуляційний патрубок	Патрубок подачі реагенту
			
Корпус	Отвір для виходу реагенту	Камера змішування реагенту	Трубопроводи тангенційного підведення реагентів

Рисунок 3 – Окремі елементи апарат-змішувачів

Для формування об'ємної структури застосовуються методи переміщення (для отримання граней) або обертання (для створення тіл обертання) плоских геометричних контурів. У процесі лінійного переміщення плоского ескізу виникає тривимірне тіло, яке фактично є проекцією основи майбутньої моделі. Такі маніпуляції надають можливість гнучко коригувати параметри побудови та характеристики самого об'єкта. Крім того, робочий контур може бути сформований шляхом копіювання графічних даних із раніше розроблених креслень або окремих фрагментів документації.

### Висновки

Найбільш ефективним підходом до розробки цифрових копій змішувачів водних розчинів визнано твердотільне моделювання. Завдяки залученню передових інструментаріїв, тривимірна модель змішувального апарата набуває максимально реалістичного вигляду. Використання різних ракурсів, розрізів, перетинів та анімаційних сценаріїв дозволяє детально візуалізувати внутрішні процеси взаємодії водних середовищ із реагентами, враховуючи при цьому фізичні властивості матеріалів, з яких виготовлені деталі.

Впровадження твердотільного моделювання є надзвичайно затребуваним у сучасних умовах. Дана технологія забезпечує оперативність як у створенні нових об'єктів, так і в їхньому подальшому коригуванні. Висока швидкість проектування позитивно позначається на темпах окупності інвестицій, що є критично важливим чинником у процесах оптимізації кількісних та якісних показників води в межах систем оборотного водопостачання.

### Література

1. Степаненко Д. С., Тарусова Н. В., Мацюра О. В., Данченко О. О. Моделювання та прогнозування стану довкілля: навч. посіб. Мелітополь: МДПУ, 2011. 180 с.
2. Alemtsehay G. Seyoum & Tiku T. Tanyimboh. Integration of Hydraulic and Water Quality Modelling in Distribution Networks: EPANET-PMX. *Water Resources Management*, 2017. 31, 4485–4503.
3. Fayomi O.S. Olukanni D.O., Fayomi G.U., Joseph, O.O. in situ assessment of degradable carbon effusion for industrial waste water treatment, *Cogent Engineering*, 2017. 4. 1, doi: 10.1080/23311916.2017.1291151.

4. Дереза О.О. Моделювання елементів трубопроводів. *Технології та еколого-економічні рішення в сучасних умовах господарювання: матеріали XI наук.-практ. конф.*, (м. Дніпрорудне, 02 липня 2020 р.). Дніпрорудне, 2020. С. 68–72.

5. Мацулевич О.Є., Вершков О.О., Чаплінський А.П., Супрун М.В. Моделювання зубного мосту в пакеті програм DENTCAD / *Праці ТДАТУ*, 2025. Вип. 25, т2, С. 134-140

6. Мацулевич О. Є., Дереза О. О., Тетервак І. Р. Використання САД-системи UNIGRAPHICS для технологічної підготовки виробництва корпусних деталей. *Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти : збірник науково-методичних праць ТДАТУ*. 2023. Вип. 26. С. 166-175.

7. Мацулевич О.Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці ТДАТУ*, 2024. Вип. 24. Т. 1, doi: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-13.

UDC 628.3

### Computer Modelling of Component Units of Water Solution Mixers

**O. Matsulevych, O. Dereza, S. Dereza, A. Chaplinskyi**  
*Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University*

#### *Summary*

*The study examines the aspects of simulating specific components and assembly units integrated into water distribution networks. Utility and potable water supply infrastructures, along with recycling and closed-loop water systems, constitute a vital segment of the national water management sector. The consistent and fail-safe performance of such networks is contingent upon the strategic selection of hydraulic metrics and the technical properties of piping, valves, control fittings, pressure-regulating facilities, and storage reservoirs. Numerous challenges and operational behaviors inherent to water supply infrastructures can be anticipated during the engineering phase by leveraging contemporary programming tools, digital simulation, and predictive analysis.*

*Modeling separate elements and technical modules of water networks not only addresses the practical goal of prolonging the operational lifespan of these systems but also enables the enhancement of economic efficiency across most water allocation and utilization facilities. Rising costs for water resources, electricity, and other operational supplies necessitate a focused approach toward the engineering, design, and iterative refinement of individual components through advanced modeling technologies.*

*Solid modeling is identified as the most effective methodology for developing simulations of aqueous solution mixers. The generation of various views, cross-sections, and dynamic animations facilitates the visualization of internal processes occurring during the interaction of water and chemical reagents within the equipment. In the current engineering landscape, the development of solid-body models is essential, as it permits rapid prototyping and immediate design modifications. The acceleration of the modeling process contributes positively to the return on investment, which is a critical factor when managing the volumetric and qualitative parameters of water in recirculating supply systems.*

**Keywords:** *circulating water supply systems, hydraulic resistance, mixer of aqueous solutions, 3D modeling, solid modeling.*