УДК 628.3 **DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-12**

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ І СКЛАДОВИХ ОДИНИЦЬ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мовчан С. І., к.т.н. ORCID: 0000-0001-8665-482X
Дереза О. О., к.т.н, доц. ORCID: 0000-0001-8933-782X
Дереза С. В., інж. ORCID: 0000-0001-9797-0967
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного.
E-mail:serhii.movchan@tsatu.edu.ua

Постановка проблеми. У водогосподарському комплексі країни використання води є важливою умовою розвитку суспільства у цілому і окремих його галузей. Дбайливе і раціональне використання водних ресурсів пов'язане із виснаженням водних об'єктів, погіршенням їх екологічного стану за рахунок забруднення. Особливо це стосується промислового сектору країни, в якому вода використовується в переважній більшості технологічних процесів і операцій.

З одночасним розвитком промислового сектору країни, потребує ретельного, дбайливого і оптимального використання води і водних ресурсів. Тому не дивно, що найбільше за все приділяється уваги оптимізації кількісного і якісного складу води в системах оборотного водопостачання.

Моделювання – це опосередковане дослідження тих об'єктів пізнання, безпосереднє вивчення яких іншими методами утруднене або неможливе [1, с. 21].

Моделювання включає ряд взаємопов'язаних етапів:

1) формування теорії чи гіпотези;

2) розробка еколого-безпечної моделі, для перевірки, уточнення або удосконалення теорії чи гіпотези;

3) оцінка параметрів обраної моделі;

4) перевірка моделі, статистичні висновки;

5) прогнозування на основі отриманої моделі;

6) апробація, перевірка в лабораторних та промислових умовах;

7) застосування моделі (для контролю)[1, стор. 169].

Отже, метод моделювання завжди передбачає наявність трьох складових елементів – об'єкт пізнання (оригінал), дослідник (суб'єкта) і сама модель.

© Мовчан С. І., Дереза О. О., Дереза С. В.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз літературних джерел (Степаненко Д.С., Тарасюк І.О. та ін.) з даної тематики моделювання свідчить, що, з врахуванням проблеми, сьогодення у галузі водогосподарського комплексу переважно залежить від скорочення термінів проєктування до експлуатації систем водопостачання: промислового, оборотного та ін.

Питаннями забезпечення надійності і ефективності систем оборотного водопостачання займались провідні науковці і спеціалісти у галузі водогосподарського комплексу країни (Епоян С.М., Орлов В.О., Новохантій В.Г. та ін.).

Однак, використання моделювання при розробленні окремих елементів і складових одиниць, не знайшло прикладного використання для систем оборотного, повторного промислового і господарсько-питного водопостачання.

За результатами використання математичного моделювання систем промислового водопостачання отримані результати розподілу води для питного використання водних ресурсів. Система розподілу води дозволяє проводити проєктування резервуарів до систем водопостачання, що сприяє покращенню гідравлічних характеристик, які залежать від перепадів тиску, зменшення або відсутності води в системі водопостачання, що дозволяє враховувати «форсмажорні» обставини при експлуатації водопостачання [2].

Імітаційне моделювання, яке використовується як для стаціонарних і динамічних умов, дозволяє використовувати його до різних комбінацій руху водного потоку, хімічних реакцій, які в них відбуваються, кінетики протікання технологічних процесів та ін. [3].

В роботі наведено результати еколого-безпечних методів оброблення стічних вод, які проводять з урахування початкової вологи з використанням активованого вугілля. При застосуванні приладу атомно-адсорбційної спектрометрії та ін. технологічного обладнання отримано мікропористі характеристики, які наочно свідчать про ефективність використання комбінованих адсорбентів для видалення Cu, Pb і Cr, які входять до складу промислових стічних вод. Використання комбінованих адсорбентів, які задовольняються по ціновій політиці, легкодоступні і ефективні при видаленні Cu, Pb й Cr, сприяють використанню еколого-безпечних методів оброблення стічних вод [4].

З розвитком нових технологій існуючі установки очищення стічних вод повинні бути переглянуті, щоб зробити їх більш ефективними і знизити навантаження на них в даний час. Найбільш ефективним є використання мобільних установок, які проєктуються з урахуванням потужності очисних споруд. Таким чином, існує гостра необхідність в розробці і впровадженні новітньої методології

проектування для визначення і видалення шкідливих домішок з джерел води [5].

Авторами запропоновано створення моделей водорозподільних мереж, які широко використовуються в різних галузях науки і техніки. Для цього використано розширення програмне забезпечення, яке дозволяє обробляти незначні об'єми вхідних параметрів (витрати води), що створює умови для визначення діаметрів трубопроводів, конфігурацію для планування подальшої роботи водопідвідних мереж [6].

Розглянуто використання реакторів-концентраторів біомаси як альтернатива технології очищення стічних вод, яке посилюється з використанням електричного поля при різних органічних навантаженнях з використанням кисню, що сприяє більш енергоємній тенденції до забруднення в порівнянні з контрольним реактором. При комбінованому обробленні стічних вод електричним струмом, оптимальному застосуванні хімічного споживання кисню підвищується ефективність оброблення стічних вод і отримання оптимальних затрат електричного струму [7].

Успіхи, досягнуті в останні роки в сфері використання обчислювальної техніки, математичного моделювання та методів оптимізації, відкривають нові можливості для здійснення високоефективної автоматизації робіт з проєктування і моделювання елементів трубопроводів промислового водопостачанн. Авторами розглянуто можливості комп'ютерного моделювання для використання фахівцями різних будівельних спеціальностей, що значно розширює вирішення інженерних задач і завдань, які враховують комплексний підхід. Наприклад, в будівельних спорудах розглянуто прокладання інженерних комунікацій – систем водопостачання, теплових мереж та ін. [9].

Розглянуто застосування системи КОМПАС-2D та КОМПАС-3D зметою пошуку оптимальної будівельної конфігурації, що використовується здобувачами освіти будівельної спеціальності. Переваги, які визначені, при використанні системи КОМПАС в будівельний конфігурації, можливо застосовувати в інших інженерних розробках: для автоматизованого проєктування в будівництві, пошуку раціонального розташування об'єктів подачі води, тепла та ін. із окремими споживачами або між розподільниками [10].

Перспективним напрямком є використання моделювання в інженерній геодезії, в якому наочно використовуються моделі не лише в площині, а й у просторі і використовуються об'ємні тривимірні моделі у форматі 3D моделювання [9].

З наведеного огляду літературних джерел за обраним напрямком додосліджень необхідно відзначити наступне. Як правило, математичне програмування використовується для моделювання

об’єктів із значними, суттєвими витратами, наприклад, води для систем водопостачання, або використання окремих реагентів чи комплексу хімічних речовин, що використовуються в системах підготовки та використання води.

Переважна більшість розроблених математичних моделей вирішує суто технічні задачі й завдання. В яких не передбачено вирішення еколого-економічних питань. Таких, як наприклад, зменшеня капітальних витрат, зниження рівняантропогенного навантаження та ін.

При цьому не використовується моделювання для всього технологічного обладнання або для окремих елементів або складових будь-яких технологічних операцій чи процесів. Тому використання сучасних методів математичного моделювання, у поєднанні зпрограмуванням й прогнозуванням, вирішує низку важлиих взаємопов’язаних інженерно-технічних задач і завдань водогосподарського комплексу країни. Насамперед, пошук оптимальних рішень, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки водних об’єктів країни.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Моделювання елементів і складових одиниць в системах промислового водопостачання визначає мету наукових досліджень, яка є основою для вирішення декількох взаємопов’язаних задач і завдань.

Використання сучасних технічних і технологічних рішень, спрямованих на підвищення рівня проєктування, розроблення нових і удосконалення існуючих інженерних розробок, ставить за мету виконання декілька взаємопов’язаних задач і завдань.

Насамперед, це стосується забезпечення більш високого рівня проєктування окремих елементів і складових одиниць, при розробленні нових і удосконаленні існуючих розробок.

Крім вирішення суто інженерних задач й завдань, сучасні засоби моделювання дозволяють зменшити еколого-економічне навантаження на водні об’єкти за рахунок попередження й зменшення невиробничих витрат для будь-якої системи водопостачання.

Основні матеріали дослідження. Згідно обраного напрямку досліджень, інтенсифікація систем оборотного водопостачання при розробленні окремих елементів та складових одиниць, проєктування з використанням сучасних напрямків моделювання, розроблено низку інженерно-технічних рішень у наступних напрямках:

- основне обладнання в системах спеціальної водопідготовки, оброблення стічних вод окремих підприємств: фільтр-сепаратор, роздільний, коаксіальний та ін.;

- допоміжне і основне обладнання в системах спеціальної водопідготовки і водокористування: змішувачі, апарат-змішувачі

різного конструктивного виконання;

- допоміжне обладнання: ущільнювачі, що використовуються на заключних етапах оброблення рідинних відходів систем промислового водовикористання.

Загальна блок-схема функціональних зв'язків між окремими елементами і складовими одиницями наведена на рис.1.

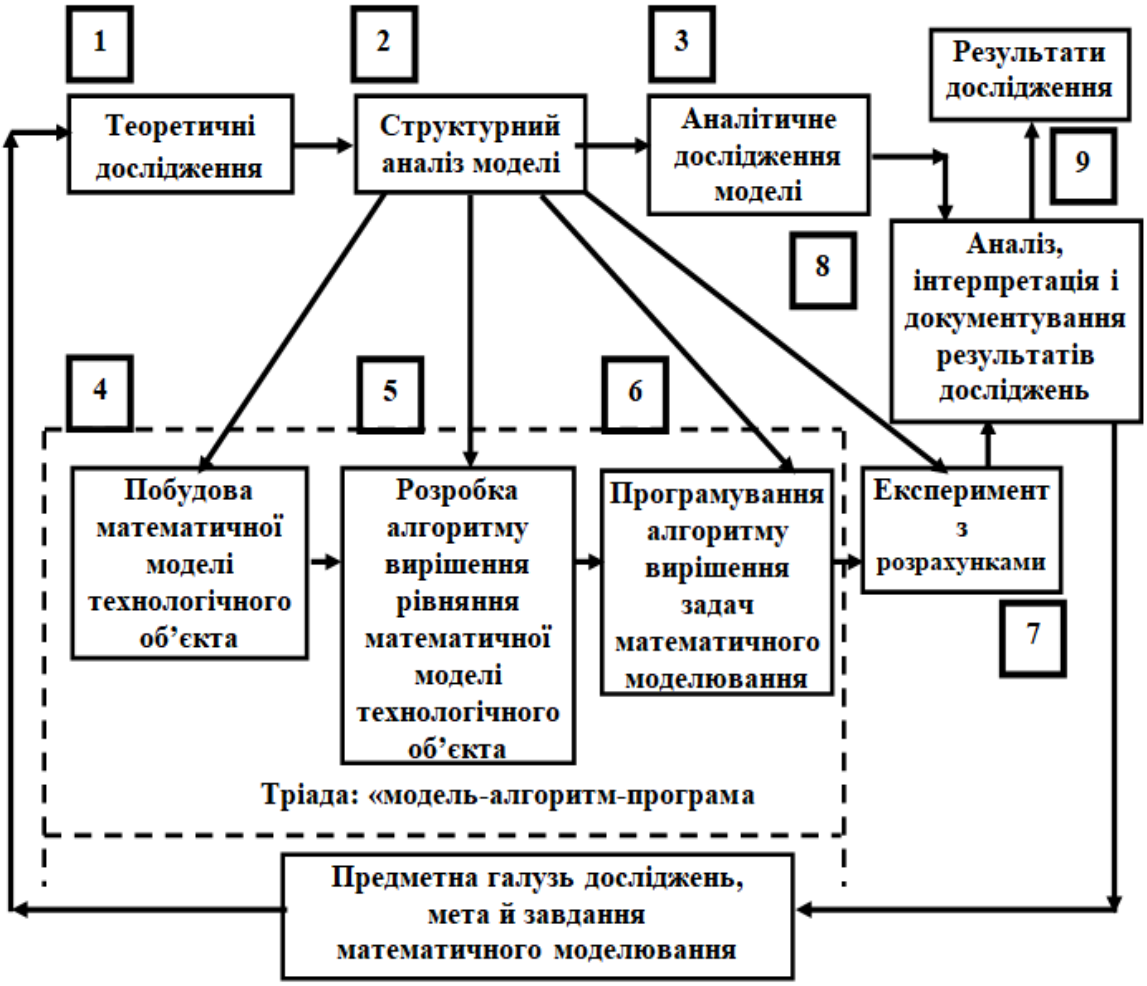


Рис. 1. Блок-схема функціональних зв'язків між окремими елементами і складовими одиницями структурного моделювання

В системах оборотного промислового водопостачання важливою складовою ланкою є використання реагентів при обробленні стічних вод, нейтралізації шкідливих речовин, вилученні цінних та/або шкідливих компонентів та ін. Зокрема змішувачі стічних вод, за різним конструктивним виконанням, є важливим джерелом впливу на процес використання води в промисловому секторі країни.

При змішуванні водних розчинів і реагентів, які відповідають сучасним умовам інтенсифікації в системах промислового водопостачання,використовується низка розроблениих інженерно-технічних рішень.Наприклад, в апараті для змішування водних розчинів застосовано змішувач із коаксіальними ємностями, який

дозволяє забезпечитибільшповнерозчиненнякомпонентів реагенту у водному розчині [8, с. 3-5, 6].

Крім того, розроблення й впровадження мобільних засобів з підвищенням рівня інтенсифікації використовується в наслідок певної низки переваг. По-перше, впровадженнямобільних засобів і комп'ютерного моделювання суттєвоприскорюєпроцес створення кінцевого продукту.По-друге, даютьзмогулюдиніуспішніше й швидше адаптуватися до нових технічних розробокі технологій. І, на кінець,активне й ефективне впровадження цих технологій увиробництво є важливим чинником вирішення певних завдань, які відповідають сучасним умовам інтенсифікації в системах промислового водопостачання.

Одним із головних елементів змішувачів водних розчинів є камери змішування. Їх використання при очищенні стічних вод промислових підприємств потребує обґрунтованого вибору оптимальної конфігурації і форми (рис. 2, а і б).

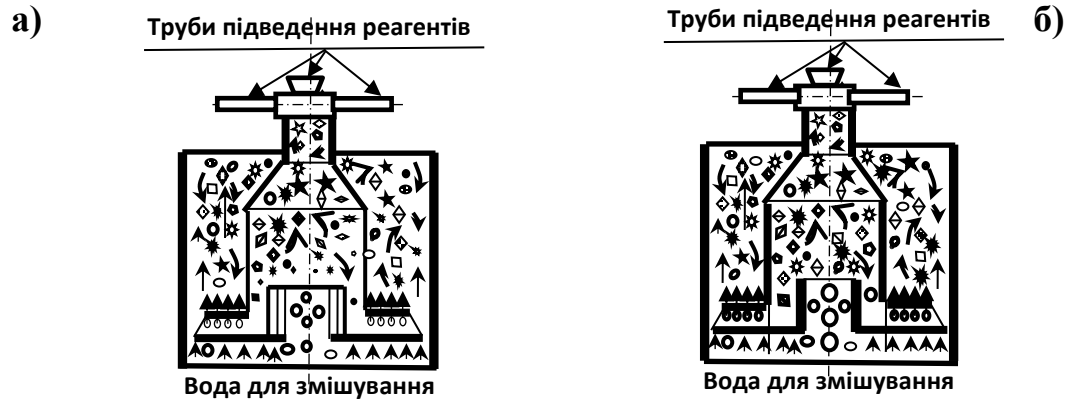
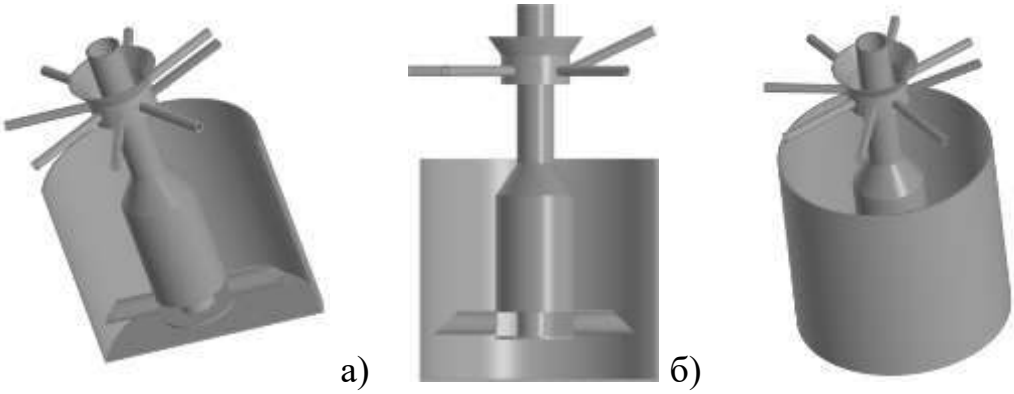


Рис. 2. Змішувач водних розчинів і реагентів з трьома (а) і двома (б) циркуляційними патрубками

Оптимальне співвідношення розмірів між головними камерами наочно довело, щовикористання моделі, наприклад, апарат-змішувача водних розчинів (рис. 3), забезпечує швидкість і легкість в процесі внесення змін і коригувань в моделі. До одної з найголовніших переваг даної технологіївідноситься й автоматичне формування креслень при оформленні технічної та технологічної документації.

Однім із напрямків оптимізації геометричних розмірів і забезпечення ефективності підготовлення реагентів є моделювання й розроблення конструкцій з тривимірних технологій (рис. 3, а, б і в).

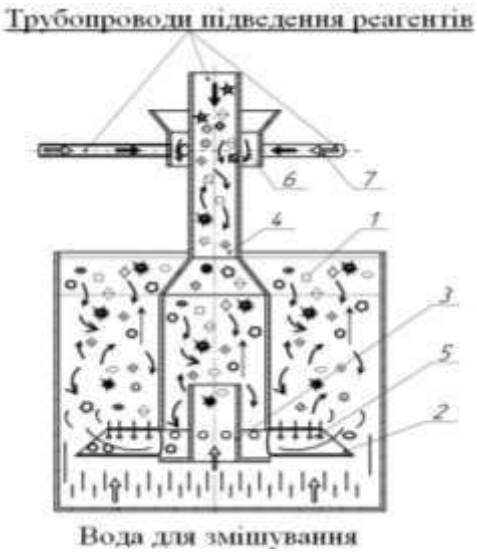
Розроблені моделі окремих елементів і апаратів змішування із застосуванням сучасних тривимірних технологій дозволяють наочно поглянути на об'єкт досліджень, скоротити час на підготовлення й випробування в промислових умовах і забезпечити ефективність перемішування реагентів у разі, коли виконується операція використання реагентів в системах оборотного водопостачання.



а) б) в)

Рис. 3. Апаратне оформлення моделювання змішувача водних розчинів – корпусних деталей:

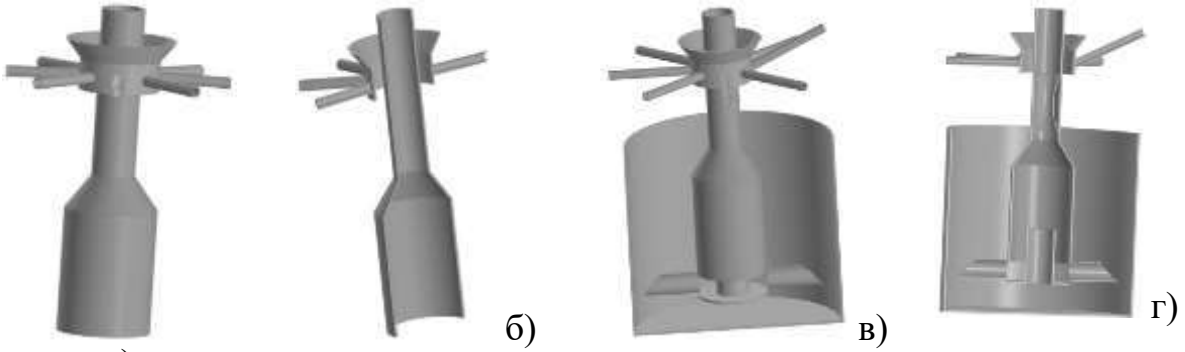
а – модель апарат-змішувача із повздовжнім вертикальним розрізом; б – загальний вигляд моделі апарат-змішувача водних розчинів із вертикальним розрізом корпуса відносно вертикальної осі; в – модель апарат-змішувача, повернутого верхньою площиною під кутом до вертикальної осі.



1 – корпус;
2 – променеві перфоровані труби відведення суміші;
3 – циркуляційний патрубок;
4 – патрубок подачі реагенту;
5 – отвір для виходу реагенту;
6 – камера змішування реагенту;
7 – трубопроводи тангенційного підведення реагентів.

Рис. 4. Змішувач водних розчинів і реагентів в системах оборотного водопостачання:

Тривимірні технології сьогодні широко використовуються в найрізноманітніших галузях. Високо деталізована 3D-модель – це не просто можливість поглянути на об’єкт без його реального виготовлення [5]. Відомі конструкції апаратів для змішування водних розчинів і реагентів [3, 4, 5]. Для кращого уявлення конструкції змішувача і процесів, що протікають у водних розчинах, дуже корисним буде використання сучасногоЗD-моделювання, яке наочно представлено нарис. 3, а, б і в.

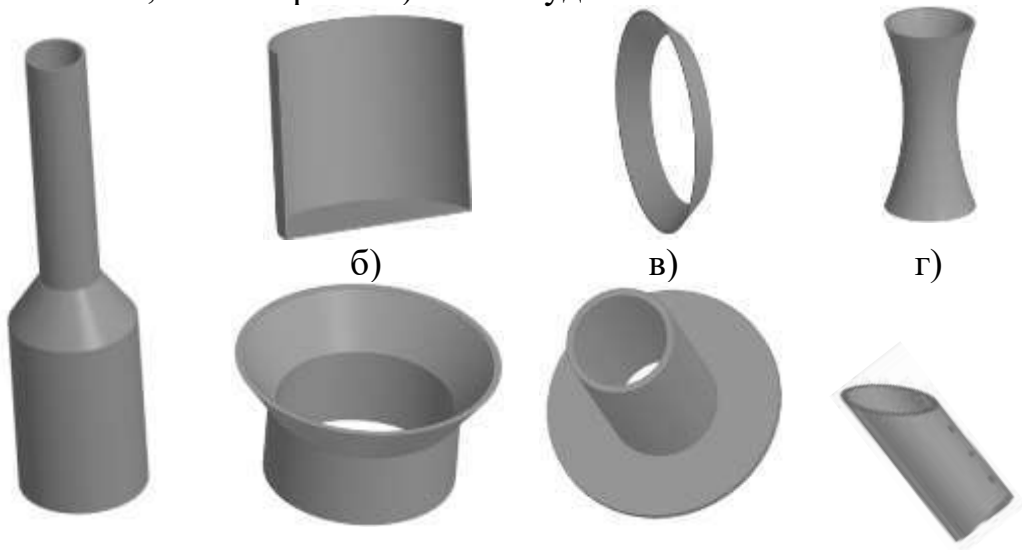


а) б) в) г)

Рис. 5. Моделювання апарата змішувача водних розчинів: а – за пат. № 132976; б, г – апарата за пат. № 137138; в – апарата за пат. № 122533

Використання моделювання окремих елементів (рис. 5, а, б) та апарат-змішувачів (рис. 5, в, г) у цілому дозволить скоротити стадії проєктування, спростити пошук відповідних технологічних операцій, забезпечити надійність і ефективність підготовлення реагентів в системах оборотного водопостачання.

Створення одиночного тіла починається з побудови одного тіла простої форми (прямокутна призма, сферичне тіло, циліндричне тіло, конічне тіло тощо) (рис. 6) або побудови тіла на базі поверхонь (тіло видавлювання, тіло обертання) або побудови тіла на базі ліній.



а) б) в) г) д) е) ж)

Рис. 6. Окремі елементи апарат-змішувачів

Сучасне програмне забезпечення дозволяє використовувати незалежно від алгоритму моделювання різноманітні підходи для побудови моделі.

Моделювання за допомогою простих геометричних фігур правильної форми (циліндри, тори, конуси тощо)використовується як цеглинки при побудові складніших об'єктів – корпусів, патрубків, камер. Перевагою методу є швидка та легка побудова, а також те що

моделі є математично визначені і точні. Добре підходить до технічногомоделювання, зокрема апаратів змішувачів водних розчинів, які мають певні розрахункові розміри.

Для створення моделі застосовується також переміщення (якщо поверхня грана) або обертання (якщо поверхня обертання) плоских контурів. В результаті переміщення плоского контуру утворюється об'ємне тіло – модель, що є проекцією основи моделі. Ці операції дозволяють змінювати параметри побудови, а отже і самої моделі. В контур можна скопіювати зображення з раніше створенного кресленика або фрагмента.

Побудова моделі починається зі створення ескізу основи за розрахованими розмірами. Далі вибирається команда обертання або видавлювання і створюється об'єкт – 3Dмодель. З об'ємної моделі створюється кресленик. Можливості програми дозволяють будувати автоматично проекції всіх видів і аксонометрію деталі по її готової моделі.

При необхідності змінити розміри одного елементу апарата змішувача водних розчинів, наприклад, форму та розмір отвору для виходу реагенту у трубі (рис. 6, ж), вносяться зміни тільки в модель цього елемента. Надалі програма сама внесе зміни і перебудує модель апарата змішувача. Це значно скорочує процес моделювання змішувачів водних розчинів зі схожими конструкціями.

Найбільш зручним для створення моделей змішувачів водних розчинів є твердотільне моделювання. Тривимірна модель апарат-змішувача із застосуванням сучасних технологій виглядає більш ніж реалістично. Види, перерізи, розрізи моделі, анімація дають можливість наочно уявити процеси, які відбуваються при змішуванні водних розчинів і реагентів в середині обладнання з урахуванням матеріалів елементів.

Створення твердотільних моделей як ніколи сьогодні актуально. Твердотільне моделювання дає змогу швидко створювати об'єкт і так само швидко редагувати його. Швидкість моделювання позитивно впливає на швидкість повернення вкладених інвестицій, що досить важливо при оптимізації кількісного і якісного складу води в системах оборотного водопостачання.

Висновки. Збільшення вартості на воду, енергоносії та ін. витратні матеріали, потребує ретельного ставлення до проєктування, розроблення і подальшого удосконалення окремих елементів щодо їх моделювання з використанням сучасних технологій.

Серед основних висновків необхідно відзначити наступне.

1. Для надійної і ефективної роботи технологічного обладнання необхідно виконати всі складові одиниці з використанням 3D-моделювання, яке дозволить вже на попередньому етапі звести до

мінімуму витрати руху водного потоку в середині обладнання.

2. Відношення гідродинамічних умов і характеристик водного потоку в середині технологічного обладнання не повинно перевищувати ламінарний режим руху на будь-якому етапі течії рідинного середовища.

3. Найбільш перспективним використанням 3D-моделювання, окремих елементів і складових одиниць є виконання конструктивних елементів, які не лише технологічно, а й функціонально спрямовані на зменшення гідравлічних опорів.

Список використаних джерел

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. Petr Ingeduld, Ajay Pradhan, Zdenek Svitak, Ashok Terrai DHI a.s.. *Prague, Czech Republic, Modelling Intermittent Water Supply Systems with EPANET. Conference: Eighth Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium (WDSA),* March 2008. DOI:10.1061/40941(247)37.

3. Alemtsehay G. Seyoum & Tiku T. Tanyimboh. Integration of Hydraulic and Water Quality Modelling in Distribution Networks: EPANET-PMX. *Water Resources Management,* 2017. Vol. 31, pp. 4485–4503 ().

4. Fayomi O. S. I. Olukanni D. O., Fayomi G. U., Joseph, O. O. In situ assessment of degradable carbon effusion for industrial waste water treatment, *Cogent Engineering.* 2017. Vol. 4, № 1. DOI:10.1080/23311916.2017.1291151.

5. Advanced Design of Wastewater Treatment Plants: Emerging Research and Opportunities. 2019. 350 p. DOI: 10.4018/978-1-5225-9441-3.

6. WaterNetGen: an EPANET extension for automatic water distribution network models generation and pipe sizing / J. Muranho et al. *Water Supply*. 2012. Vol. 12, № 1. P. 117–123. DOI:10.2166/ws.2011.121.

7. Cecconet D, Salè E. O., Callegari A., Capodaglio A. G.**.** Wastewater treatment with a new electrically enhanced biomass concentrator reactor: trial application and technological perspectives. *Environmental Technology*. 2019. Vol. 40, № 7. P. 896-902. DOI: 10.1080/09593330.2017.1410581.

8. Апарат для змішування водних розчинів і дозування реагентів: патент 132976 Україна: МПК (2019.01) B01 F5/00, C02 F1/46 (2006.01), C02 F103/02 (2006.01). № u 2018 07994; заявл. 18.07.2018; опубл. 25.03.2019, Бюл. № 6.

9. 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.

10. Тарасюк І. О. Впровадження системи КОМПАС-3D для здобувачів освіти будівельної спеціальності. *Технології та еколого-економічні рішення в сучасних умовах господарювання*: матеріали XI наук.-практ. конф., (м. Дніпрорудне, 02 липня 2020 р.). Дніпрорудне, 2020. С. 95–98.

11. 3D-моделювання місцевості та об’єктів. URL: https://skb25.com.ua/services/3d-modeli-mestnosti-i-obektov/ (дата звернення: 20.10.2020).

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ І СКЛАДОВИХ ОДИНИЦЬ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мовчан С.І, Дереза О.О., Дереза С.В.

Анотація

Розглянуто питання моделювання окремих елементів і складових одиниць, яке використовується в системах водопостачання. Системи господарсько-питного водопостачання, системи оборотного й повторно-обівого використання води є важливою галузю водогосподарського комплексу країни. Від раціонального вибору гідавлічних параметрів і характеристик трубопроводів, запірно-регулюючої арматури, напірно-регулюючих споруд і резервуарів залежить надійна і безперебійна робота будь-якої системи.

Вирішення багатьох задач і експлуатаційних характеристик в роботі систем водопостачання можливо передбачити вже на стадії проєктування з використанням сучасних засобів і методів програмування, моделювання і прогнозування.

Саме моделювання окремих елементів і складових одиниць систем водопостачання вирішить не лише практичну задачу продовження строку експлуатації вищеозначених систем, а й дозволить оптимізувати економічні показники при експлуаації переважної більшості систем використання і розподілення води на об’єктах водогосподарського призначення.

Ключові слова: системи оборотного водопостачання, гідравлічний опір, змішувач водних розчинів, 3D-моделювання, твердотільне моделювання.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Мовчан С.И., Дереза Е.А., Дереза С.В.

Аннотация

Рассмотрены вопросы моделирования отдельных элементов и сборочных единиц, которое используется в системах водоснабжения. Системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, системы оборотного и повторно-обивого использования воды является важной отраслью водохозяйственного комплекса страны. От рационального выбора гидавличних параметров и характеристик трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, напорно-регулирующих сооружений и резервуаров зависит надежная и бесперебойная работа любой системы.

Решение многих задач и эксплуатационных характеристик в работе систем водоснабжения возможно предусмотреть уже на стадии проектирования с

использованием современных средств и методов программирования, моделирования и прогнозирования.

Именно моделирования отдельных элементов и сборочных единиц систем водоснабжения решит не только практическую задачу продления срока эксплуатации вышеуказанных систем, но и позволит оптимизировать экономические показатели при експлуаации подавляющего большинства систем использования и распределения воды на объектах водохозяйственного назначения.

Ключевые слова: системы оборотного водоснабжения, гидравлическое сопротивление, смеситель водных растворов, 3D-моделирование, твердотельное моделирование.

SIMULATION OF ELEMENTS AND COMPONENT UNITS IN REVERSE WATER SUPPLY SYSTEMS

Movchan S., Dereza O., Dereza S.

Summary

The issue of modeling of separate elements and constituent units, which is used in water supply systems, is considered. Systems of economic and drinking water supply, systems of circulating and repeated water use are an important branch of the water management complex of the country. Reliable and uninterrupted operation of any system depends on a rational choice of hydraulic parameters and characteristics of pipelines, shut-off and regulating fittings, pressure-regulating constructions and tanks.

The solution of many problems and operational characteristics in the work of water supply systems can be predicted at the design stage using modern tools and methods of programming, modeling and forecasting.

It is the modeling of individual elements and components of water supply systems that will solve not only the practical problem of extending the service life of the above systems, but also allow optimizing economic performance in the operation of the vast majority of water use and distribution systems.

Increasing the cost of water, energy and other consumables requires careful attention to the design, development and further improvement of individual elements for their modeling using modern technologies.

The most convenient for creating models of mixers of aqueous solutions is solid modeling. Types, sections, sections of the model, animation provide an opportunity to visualize the processes that occur when mixing aqueous solutions and reagents in the middle of the equipment.

Creating solid models is more important than ever today, as it allows you to quickly create an object and edit it just as quickly. The speed of modeling has a positive effect on the rate of return on investment, which is very important in optimizing the quantitative and qualitative composition of water in circulating water supply systems.

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