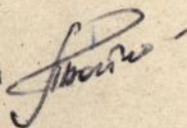


КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

БОЯКО ТЕТЯНА ВЛАДИСЛАВІВНА



УДК 53.073:601.3:66.0

МОДЕЛЮВАННЯ ІОНООБМІННИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ
СТІЧНИХ ВОД ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Спеціальність 05.17.08 – Процеси і апарати
хімічної технології

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

К и ї в - 1 9 9 3



ЛБ 28966

Дисертація є рукопис.

Робота виконана у Київському політехнічному інституті

Науковий керівник : доктор технічних наук, професор
Статуха Геннадій Олександрович.

Офіційні опоненти :

1. Доктор хімічних наук, професор
Тарасенко Мрія Олександрович.
2. Доктор технічних наук, професор
Навлізер Марат Іванович.

Провідна організація : Науково-виробниче об'єднання
„Карбонат“ (м. Харків)Захист дисертації відбудеться 10 01 1994 р.
о 14³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 069.14.06 у Київському політехнічному інституті за
адресом : 252056, м. Київ - 56, проспект Перемоги, 37.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий 17 11 1993 р.Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради*Варш* В. Я. КРУГЛИЦЬКА

АНОТАЦІЯ

Дисертаційна робота присвячена розробці математичних моделей процесів, функціонуючих у системах іонообмінного очищення стічних вод хімічних виробництв, а також алгоритмів їх розв'язання та створення обчислювальних модулів, забезпечуючих роботу системи автоматизованого проектування схем очищення стічних вод довільної структури.

У роботі надані математичні моделі процесів іонного обміну різного призначення, регенерації та відмивки іоніту, декарбонізації, також методи розрахунку параметрів моделей без додаткових експериментальних досліджень, узагальючі накопичений теоретичний і практичний досвід роботи іонообмінних апаратів. Поставлена і розв'язана задача оптимізації роботи іонообмінного фільтру. Алгоритмізовано розрахунок карбонатної рівноваги для контролю зміни компонентного складу в стічних водах. Надані приклади та результати практичного використання розробленого програмного забезпечення, отримані технічні рішення.

Автор захищає: математичні моделі технологічних процесів основного комплексу іонообмінного очищення стічних вод хімічних підприємств; алгоритм оптимізації роботи іонообмінного обладнання; методику організації роботи із програмним забезпеченням розрахунку схем іонообмінного очищення довільної структури на етапі технологічного проектування; технічні рішення окремих задач розрахунку систем очищення стічних вод.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

А к т у а л ь н і с т ь р о б о т и. Питання охорони навколишнього середовища від забруднення його шкідливими речовинами, які знаходяться у стічних водах промислових підприємств, мають велике соціально-економічне значення. Очищення стічних вод є обов'язковим елементом сучасних хімічних виробництв і підприємств, які мають у своєму складі цеха хімічного профілю. Сукупність методів, які об'єднуються у технологічну схему очищення стічних вод, визначається характером домішок та вимогами до якості очищення залежною від напрямку подальшого використання оброблених стічних вод. Очищення стічних вод методом іонного обміну отримало широке розповсюдження, тому що він дозволяє утилізувати цінні домішки та забезпечує очищення до гранично допустимих концентрацій, що дає можливість використовувати очищені стічні води у виробничих процесах чи системах зворотнього водопостачання.

Метод іонного обміну досить добре вивчен за своєю фізико-хімічною природою. Однак існуючі методи проектування практично не використовують потенціалу накопиченої науково-дослідної інформації. З одного боку не формалізовані результати багатьох досліджень не дозволяють їх безпосередньо використовувати у проектних розробках, а з іншого - існуюча практика проектування виключає таку можливість.

Комп'ютеризація інженерної праці у галузі проектування дозволяє системно зберігати, аналізувати та використовувати великий науково-практичний матеріал з метою розробки якісних проектів при створенні нових та реконструкції діючих схем очищення стічних вод. Приблизні методи розрахунку, які використовують проєктувальники, не дозволяють проводити оптимізацію режимів функціонування окремого обладнання та технологічних схем у цілому на стадії проектування. Цю задачу дозволяють розв'язувати методи математичного моделювання, які через обсяги проведених розрахунків безпосередньо зв'язані з упровадженням обчислювальної техніки у процес проектування. У зв'язку з цим задача математичного моделювання процесів та технологічних схем іонообмінного очищення стічних вод є актуальною.

Робота проводилась відповідно із комплексною цілевою науково-технічною програмою 0.80.03.85 "Створити нові та розвинути діючі системи автоматизованого проектування (САПР) і автоматизовані системи наукових досліджень (АСНД) у народному господарстві", затверджену Постановою ДКНТ СМ СРСР та Президію АН СРСР від 10.11.1985 р. № 573/137, додаток № 78 і планів НДР кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Київського політехнічного інституту за темою № 315 "Розробити і впровадити II чергу системи автоматизованого проектування комплексних схем очищення та використання стічних вод (№ державної реєстрації 01860011808), і також за темою № 382 "Розробка математичних моделей і оптимізація режиму системи очищення стічних вод для виробництва етилену" (№ державної реєстрації 81104082).

М е т а р о б о т и. Розробка на основі системного підходу математичних моделей, алгоритмів їх розв'язання та програм розрахунку процесів і апаратів, які входять у хіміко-технологічну систему іонообмінного очищення стічних вод, призначених для використання у САПР комплексних схем очищення стічних вод. Використання розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення для проектування нових і реконструкції діючих іонообмінних хімі-

ко-технологічних систем. Отримання оптимальних технологічних режимів функціонування обладнання.

Наукова новизна. На базі загальної стратегії системного аналізу та принципів моделювання сформовані моделі типових процесів схем іонообмінного очищення стічних вод: модель іонного обміну у нерухомому шарі іоніту, яка враховує подовжнє перемішування під час контролю за найменш сорбційним іоном і під час контролю за іонами жорсткості; модель іонного обміну при контролі за важкими металами; модель багатокomпонентного іонного обміну; модель регенерації іоніту; модель відмивки іоніту; модель насадкового десорберу. Поставлена і розв'язана задача оптимізації процесу функціонування іонообмінного фільтру.

Практична цінність та реалізація результатів роботи. На базі дослідження технологічних процесів та схем іонообмінної обробки стічних вод підприємств і розроблених математичних моделей процесів, які забезпечують функціонування іонообмінного обладнання за змінними характеристиками забруднювачих домішків і методів відновлення сорбційних здібностей іонітів створена бібліотека обчислювальних модулів процесів іонообмінних схем очищення стічних вод, яка увійшла до підсистеми автоматизованого проектування технологічної частини проекту схем фізико-хімічного очищення стічних вод (БАЛАНС), котра є частиною САПР-ЕКОЛОГІЯ. Розроблений комплекс програм дозволив швидко і якісно зробити передпроектні розрахунки для підготовки обґрунтовувачих матеріалів по реконструкції очисних споруд на Рівнянському радіозаводі, а також проектні розрахунки по реконструкції очисних споруд на заводі "Іскра" (м. Запоріжжя), оптимізувати роботу іонообмінного фільтру в замкненій системі водопостачання нафтопереробного заводу (м. Місiчанськ). Розроблена система обчислювальних модулів впроваджена в експлуатацію у наступних проєктних організаціях: Кишинівський Державний проектний інститут (КДПІ, м. Кишинів), НПО "Технологія" (м. Кишинів), Вінницький Державний проектний інститут (ВДПІ, м. Вінниця).

Економічний ефект від впровадження результатів роботи склав 151,59 тис.крб. (у данях на червень 1992 року).

Апробація роботи. Основні результати дисертації докладались і обговорювались на: другій Всесоюзній нараді-семінарі молодих вчених " Методи кібернетики в хімії і хімічній технології " (м. Грозний, 1984 р.); обласних науково-технічних семінарах " САПР і АСУТП у хімічній промисловості "

(м. Черкаси, 1987 р. і 1989 р.); науково-технічному семінарі "Вдосконалення і автоматизація технології утилізації відходів очищення стічних вод та газових викидів хімічних виробництва" (м. Черкаси, 1987 р.); республіканській науково-практичній конференції "Актуальні проблеми вдосконалення управління природокористуванням та охорони навколишнього середовища" (м. Черкаси, 1988 р.); республіканській конференції "Регіональні екологічні проблеми та шляхи їх розв'язання" (м. Черкаси, 1990 р.); науково-технічної конференції "Проблеми екології та ресурсозберігання" - "Екресурс-1" (м. Чернівці, 1991 р.); VII Всесоюзній конференції "Математичні методи хімії" - ММХ-7 (м. Казань, 1991 р.); шкільно-семінарі "Технологія автоматизованого проектування санітарно-технічного розділу проекту" (м. Санкт-Петербург, 1992 р.); міжрегіональному науково-технічному семінарі "Застосування комп'ютерних технологій і систем для рішення сучасних науково-технічних та економічних задач" (м. Черкаси, 1993 р.).

П у б л і к а ц і я. Основні результати роботи викладено у 18 публікаціях.

С т р у к т у р а та **о б'є м** **д и с е р т а ц і ї**.

Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Робота викладена на 127 сторінках основного тексту, вміщає 26 малюнків, 9 таблиць. Список цитуємої літератури вміщає 78 найменувань. Додатки складають 89 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ.

На основі аналізу домішків, які вилучають методами іонного обміну, та існуючих схем вузлів іонообмінного очищення стічних вод виділено три основних елемента будь-якої схеми вузла іонообмінного очищення стічних вод: катіонірування, декарбонізація, аніонірування. Послідовність їх виконання нежорстка і залежить від типу домішків та використовуваного іоніту. Аналіз існуючих засобів технологічної організації коректування сілевого складу зворотних і стічних вод дозволив вилучити, як найбільш поширений, іонообмінний апарат з нерухомим шаром іоніту (іонообмінний фільтр). У результаті декомпозиції процесу його функціонування були визначені наступні складові (процеси): сорбція (вилучення домішків приготуванням іонітом), розпушування шару іоніту, регенерація відпрацьованого іоніту, відмивка від продуктів регенерації та надміру регенераційного розчину.

Відповідним чином із вищевикладеним були сформульовані наступні задачі роботи:

1. Розробити математичні моделі процесів, які забезпечують функціонування іонообмінного обладнання за змінними характеристиками забруднюючих домішків і методів відновлення сорбційних здібностей іонітів.
2. Розробити алгоритми рішення моделей в умовах проектування хіміко-технологічних систем іонообмінного очищення.
3. Розробити бібліотеку обчислювальних модулів процесів іонообмінних схем очищення стічних вод як компонентів підсистеми САПР технологічної частини проекту схем фізико-хімічного очищення стічних вод.
4. Розробити засіб оптимізації режиму функціонування іонообмінного обладнання на стадії проектування.
5. Упровадити розроблений пакет програм у практику проектування.

Вибір моделі, яка описує процес іонного обміну, залежить від наступних даних: типу апарату, у якому здійснюється процес (апарат з нерухомими або "затисненим" шаром; з кип'ячим шаром та ін.); характеристик домішків, які потрібно виділити, чи компонентів, необхідних до здобування із оброблюваної системи (і. органічні чи органічні сполуки; індивідуальний компонент чи суміш; взаємний вплив катіонів і протіонів та ін.); тип використовуваного іоніту (зернистий, гранульований, порошкоподібний, волокнистий та ін.; катіоніт, аніоніт, змішаної дії та ін.).

Загальніша математична модель у випадку сорбції домішків іонітом з початковими та граничними умовами при наступних припущеннях: частки іоніту мають сферичну форму; процес проводиться у ізотермічних та ізобаричних умовах; сорбція проходить у змішано-дифузійній області; ефективні коефіцієнти дифузії у порках і на поверхні не залежать від концентрації домішки (виключення - сорбція важких металів); дотримується принцип екімолярності (при умові електронейтральності рідкої фази); набухання іоніту не впливає на масоперенос; обмін будь-якої пари іонів відбувається незалежно від інших іонів, присутніх у системі, - включає наступні рівняння, які описують:

- перенесення речовини у рідкій фазі (воді)

$$D_{e,i} \frac{\partial^2 c_i}{\partial x^2} - v \frac{\partial c_i}{\partial x} - \beta_{1,i} (c_i - c_i^*) = \varepsilon \frac{\partial c_i}{\partial t}; \quad (1)$$

- перенесення речовини у твердій фазі (іоніті)

$$D_{2,i} \frac{\partial^2 a_i}{\partial x^2} + \beta_{1,i} (c_i - c_i^*) = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial a_i}{\partial t}; \quad (2)$$

- рівновагу у системі

$$c_i^* = f(\alpha_i, c_i, \alpha_j); \quad (3)$$

- перенос речовини у зерні іоніту

$$\alpha_i = \frac{3}{R^2} \int_0^R r^2 a_{r,i}(r, t) dr; \quad (4)$$

$$D_{R,i} \frac{\partial^2 a_{r,i}}{\partial r^2} + \frac{2 \cdot D_{R,i}}{R} \cdot \frac{\partial a_{r,i}}{\partial r} = \frac{\partial a_{r,i}}{\partial t}; \quad (5)$$

- еківалянтність системи (при умові електронейтральності рідкої фази)

$$\sum_{i \neq j}^n c_{ij} = c_0; \quad \sum_{i \neq j}^n a_{ij} = A; \quad (6)$$

Початкові та граничні умови :

$$t=0: c_i = c_{i0}; \quad \alpha_i = 0; \quad \alpha_j = A; \quad (7)$$

$$x=0: D_{e,i} \frac{\partial c_i}{\partial x} = v(c_i - c_{i0}); \quad D_{z,i} \frac{\partial \alpha_i}{\partial x} = \beta_{z,i}(\alpha_i - \alpha_i^*); \quad (8)$$

$$x=L: \frac{\partial c_i}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial \alpha_i}{\partial x} = 0; \quad (9)$$

$$z=0: \frac{\partial a_{r,i}}{\partial r} = 0; \quad (10)$$

$$z=R: D_{R,i} \frac{\partial a_{r,i}}{\partial r} = \beta_{z,i}(\alpha_i^* - \alpha_{r,i}); \quad (11)$$

для $i = (\overline{1, n})$, $j = (\overline{1, n})$, $i \neq j$.

У таблиці 1 надані варіанти використання математичного опису при деяких варіантах контролю за якістю. Для розрахунку коефіцієнтів моделей використовувались різні корелюючі емпіричні залежності, які носять найбільш узагальнюючий характер, отримані у результаті обробки експериментальних даних та накопиченої великої, але розрізненої інформації по кінетичним особливостям іонного обміну. Розв'язання математичних моделей здійснювалось за методом прогонки. Для реалізації математичного методу проводилась дискретизація початкової моделі шляхом заміни диференціальних вира-

Таблиця 1.

Варіанти використання математичного опису.

	при контролі за найменш сорбіру емим іоном; іона- ми жорсткості.	при контролі за наявністю важких металів.	при покомпонентному контролі.
умовних по- значень;	$n = 2;$ $z_i = 1, 2;$	$n = 1; a_i = \bar{a};$ $c_i = c; c_i^* = c^*;$	—
системи рів- нянь, почат- кових та гра- ничних умов;	(1), (2), (3), (6), (7), (8), (9).	(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11).	(1), (2), (3), (6), (7), (8), (9).
рівняння (3).	$\frac{a_i^{1/2}}{a_j} = K_{ij} \frac{(c_i^*)^{1/2}}{c_j}$	$c^* = k, \bar{a} \cdot t_2$	$\frac{a_i^{1/2}}{a_j^{1/2}} = K_{ij} \frac{c_i^{1/2}}{c_j^{1/2}}$

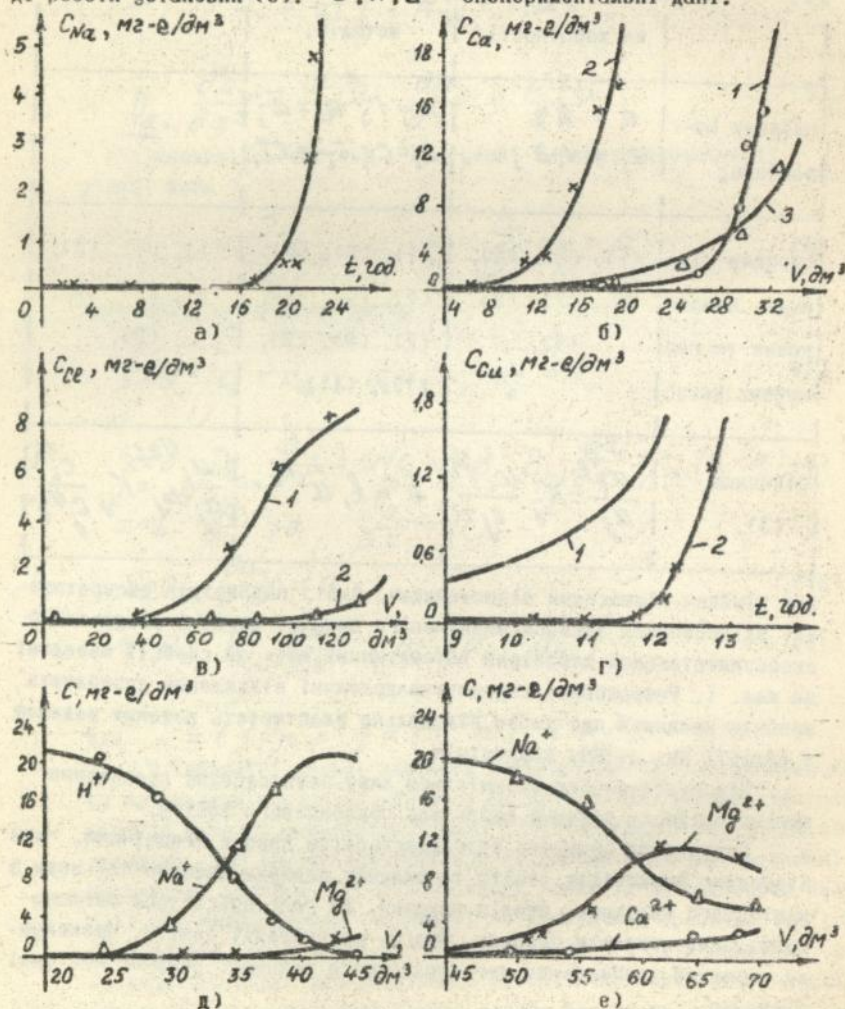
зів кінцево-різносними відношеннями. Вибір параметрів дискретизації здійснювався засобом адаптивного пошуку. Деякі з результатів експериментальної перевірки математичних моделей сорбції наведені на мал. 1. Розраховані середньоквадратичні відхилення дозволяють зробити висновок про добру відтворювальну властивість наданих моделей у області визначення параметрів.

Під регенерацією розуміється лише безпосереднє пропускання регенераційного розчину крізь шар оброблюваного іоніту.

Розпушувача промивка розглядається як процес механічний, який відновлює пористість іоніту та видаляє залишки неочищеної води з міжіонного простору. Аналіз показав, що спостерігається змішано-дифузійний механізм процесу. Модель регенерації іоніту, урахувавши первинне розбавлення регенераційного розчину, включає наступні рівняння:

$$\frac{\partial C_{R0}}{\partial t} = T_R (C_{R, \text{вх.}} - C_{R0}) ; \quad (12)$$

Експериментальна перевірка. Залежність концентрації іонів на виході із апарату при: а) Н-катіонуванні (контроль за найменш сорбіруемим іоном); б) Н-(1) і Na-катіонуванні (2,3) (контроль за іонами жорсткості); в) ОН-аніонуванні у послідовно працюючих колонках; г) Н-катіонуванні (контроль за Cu^{2+} -іоном; 1-ураховувачи внутрішню дифузію, 2-без неї); д) Н-катіонуванні багатоконпонентної системи до проскоку жорсткості 1 у завершальному періоді роботи установки (е). \circ, \times, Δ - експериментальні дані.



Мал. 1.

$$D_R \frac{\partial^2 c_R}{\partial x^2} - v_R \frac{\partial c_R}{\partial x} - \beta_R (C_{R0} - C_R^*) = \varepsilon \frac{\partial c_R}{\partial t}; \quad (13)$$

$$D_{\text{эф.}} \frac{\partial^2 a_R}{\partial x^2} + \beta_R (C_{R0} - C_R^*) = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\partial a_R}{\partial t}; \quad (14)$$

$$C_R^* = k_1 a_R^{k_2}; \quad (15)$$

Граничні і початкові умови :

$$x=0: D_R \frac{\partial c_R}{\partial x} = v_R (C_{R, \text{вх.}} - C_R); D_{\text{эф.}} \frac{\partial a_R}{\partial x} = \gamma (a_R^* - a_R); \quad (16)$$

$$x=L: \frac{\partial c_R}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial a_R}{\partial x} = 0;$$

$$t=0: C_R = C_{R0} = C_{R, \text{вх.}}; \quad a_R = 0.$$

Надана модель дозволяє предвистити профілі концентрації регенераційного розчину у шарі іоніту і на виході із фільтру.

За технологією відмивка здійснюється послідовно за регенерацією з метов вилучення надміру розчину реагенту і продуктів регенерації. Залежність, яка дозволяє розрахувати вихідну концентраційну криву, отримана на базі математичної моделі процесу відмивки, яка побудована на припущенні про водяну адсорбцію із випуклом ізотермом :

$$c(t) = c_0 e^{(k_{\text{ом.}} - 1) \left[1 + \beta_0 \left(\frac{L}{v_{\text{ом.}}} - \frac{c_0 t}{a_0} \right) \right]}; \quad (17)$$

Порівняння розрахованих режимів із із реальними умовами роботи фільтрів дозволяє зробити висновок про добру візувальну властивість рівнянь (12)-(16), (17).

Для насадкового десорберу побудована математична модель при умові незмінності питомих обсягів фаз та коефіцієнтів перемішування :

$$D_{z, \text{г.}} \frac{\partial^2 c_z}{\partial z^2} - w_z \frac{\partial c_z}{\partial z} + R_z [C_z^* (C_{\text{ж}}) - c_z] = \frac{\partial c_z}{\partial t}; \quad (18)$$

$$D_{\text{ж, г.}} \frac{\partial^2 c_{\text{ж}}}{\partial z^2} + w_{\text{ж}} \frac{\partial c_{\text{ж}}}{\partial z} - R_{\text{ж}} [C_z^* (C_{\text{ж}}) - c_z] = \frac{\partial c_{\text{ж}}}{\partial t}; \quad (19)$$

$$C_z^* = m_{\text{рж}} \frac{M_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} R T} \cdot c_{\text{ж}}; \quad (20)$$

Граничні та початкові умови:

по газовій фазі:

$$w_z c_{z,ox}(t) = \left[w_z c_z(z,t) + D_z \frac{\partial c_z(z,t)}{\partial z} \right] \Big|_{z=H};$$

$$\frac{\partial c_z(z,t)}{\partial z} \Big|_{z=0}; c_z(z,t) \Big|_{z=H, t=0} = c_{z,ox}(t);$$
(21)

- по рідкій фазі :

$$w_{жx} c_{жx,ox}(t) = \left[w_{жx} c_{жx}(z,t) - D_{жx} \frac{\partial c_{жx}(z,t)}{\partial z} \right] \Big|_{z=0};$$

$$\frac{\partial c_{жx}(z,t)}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0; c_{жx}(z,t) \Big|_{z=0, t=0} = c_{жx,ox}(t).$$
(22)

Розрахунок коефіцієнту масопередачі, віднесенного до газової фази, здійснювався засобом, який базується на послідовному розрахунку коефіцієнтів масовіддачі у газовій та рідкій фазах, а також константи фазової рівноваги. Ефективний коефіцієнт дифузії вилучасового компоненту у рідкій фазі визначається за залежностями напівемпіричної теорії розсіювання речовини у потоці рідини.

Зроблено алгоритмізацію розрахунку карбонатної рівноваги для стічних вод, які мають у сукупності компонентів карбонату і гідрокарбонату, з метою коректування покомпонентного складу очищеної води під час розрахунку матеріального балансу.

Надані у роботі математичні моделі для розрахунку систем іонообмінного очищення стічних вод покладені до основи алгоритмічного забезпечення програмного комплексу BALANS, який є складовою частиною САПР-ЕКОЛОГІЯ, розробленої на кафедрі кібернетики хіміко-технологічних процесів Київського політехнічного інституту і призначеної для проектувальників, які займаються дослідженнями та розрахунками (проектуванням) хіміко-технологічних схем та їх елементів. Програмний комплекс BALANS забезпечує багатоваріантний розрахунок матеріальних балансів та основних взаємозв'язаних елементів технологічних схем виробництва різних рівней та аспектів агрегації, дозволяє проводити як розрахунки технологічних схем довільної структури, так проектні, перевірочні та оптимізаційні для окремих апаратів.

Метою оптимізації процесу іонного обміну є визначення таких умов функціонування обладнання, коли забезпечується найбільш ефективно його використання. Тривалість фільтроциклу - обумовлюючий параметр під час експлуатації апаратів з нерухомих шаром іоніту. Критерієм оптимізації є кількість поглинутих шаром іоніту домішків за одиницю часу фільтроциклу :

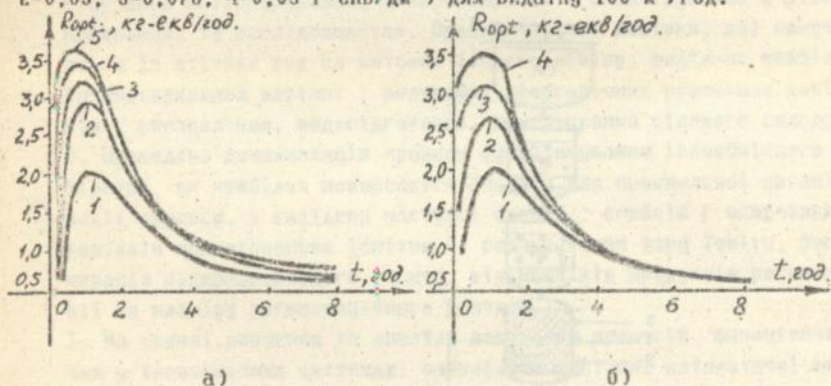
$$R_{opt} = \frac{t_n Q [C_{вх.} - \frac{1}{t_n} \int_0^{t_n} C_{вх.}(t) dt]}{t_n + t_p} \quad (23)$$

Для визначення критерія оптимізації за інтегральним рівнянням (23) використовувався метод трапецій. Для ілюстрації використання отриманих результатів на мал. 2 надані деякі аспекти імітації роботи іонообмінної установки у замкненій системі зворотнього водопостачання нафтопереробного заводу (фільтр аніонітний діаметром 3,4 м, завантажений аніонітом АН-31 шаром висотою 1 м).

Результати імітації роботи іонообмінної установки.

Залежності критерію оптимізації від часу роботи при:

а) деяких видатках очищеної води (1-50, 2-75, 3-100, 4-125, 5-150 м³/год.); б) різному сумарному утриманні аніонів (1-0,03; 2-0,05; 3-0,076; 4-0,09 г-екв/дм³) для видатку 100 м³/год.

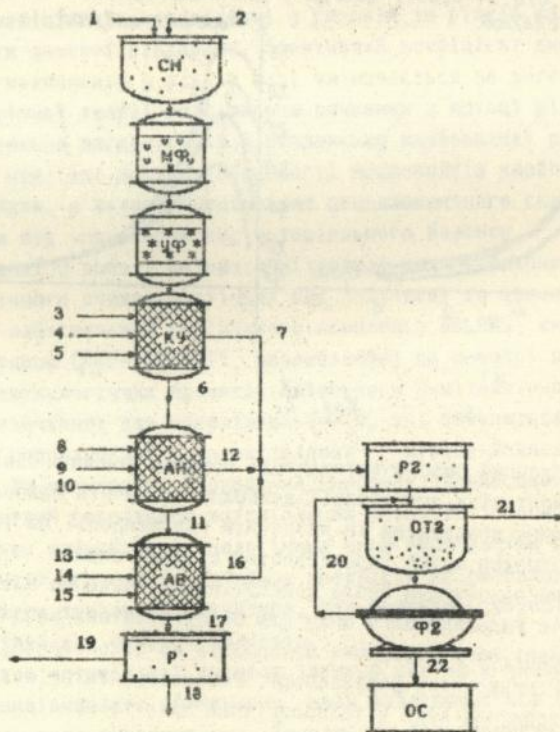


Мал. 2.

Розроблений спосіб оптимізації процесу іонного обміну за вказаним критерієм оптимізації дозволяє визначити найкращі умови функціонування обладнання та визначити рекомендації по їх коректуванню у випадку зміни характеристик стічної води.

Зроблено розрахунок вузла іонообмінного очищення кислотно-лужних стоків гальванічного цеху для передпроектних розрахунків при підготовці обґрунтовувачих матеріалів по реконструкції очисних споруд на Рівнянському радіозаводі. Реконструкція здійснювалась з метою повернення води у технологічний цикл та ліквідування скидів домішок важких металів у загальнозаводську систему каналізації. Принципова технологічна схема вузла іонообмінного очищення кислотно-лужних стоків надана на мал. 3.

Технологічна схема іонообмінного очищення кислотно-лужових стоків гальванічного виробництва. Апарати : СМ - змішувач; МФ - піщаний фільтр; УФ - вугільний фільтр; КУ - катіонітний фільтр; АН - аніонітний фільтр I ступеню; АВ - аніонітний фільтр II ступеню; Р - збірник очищеної води; Р2 - збірник електриту; ОТ2 - відстойник; Ф2 - барабанний фільтр; ОС - збірник осадку. Основні потоки: 1,2 - кислотний і лужовий потоки стічної води; 3 - розчин НСІ; 4,9,14 - вода на розпушування; 5,10,15 - вода на відмивку; 6 - очищуєма вода після катіонірування; 7,12,16 - електриту на обробку; 8,13 - розчин NaOH; 11,17 - очищенна вода після аніонітного фільтру I і II ступенів; 18,21 - очищенна вода на використання; 19 - вода на особисті потреби іонітних фільтрів; 20 - фільтрат; 22 - осадок.



Мал. 3.

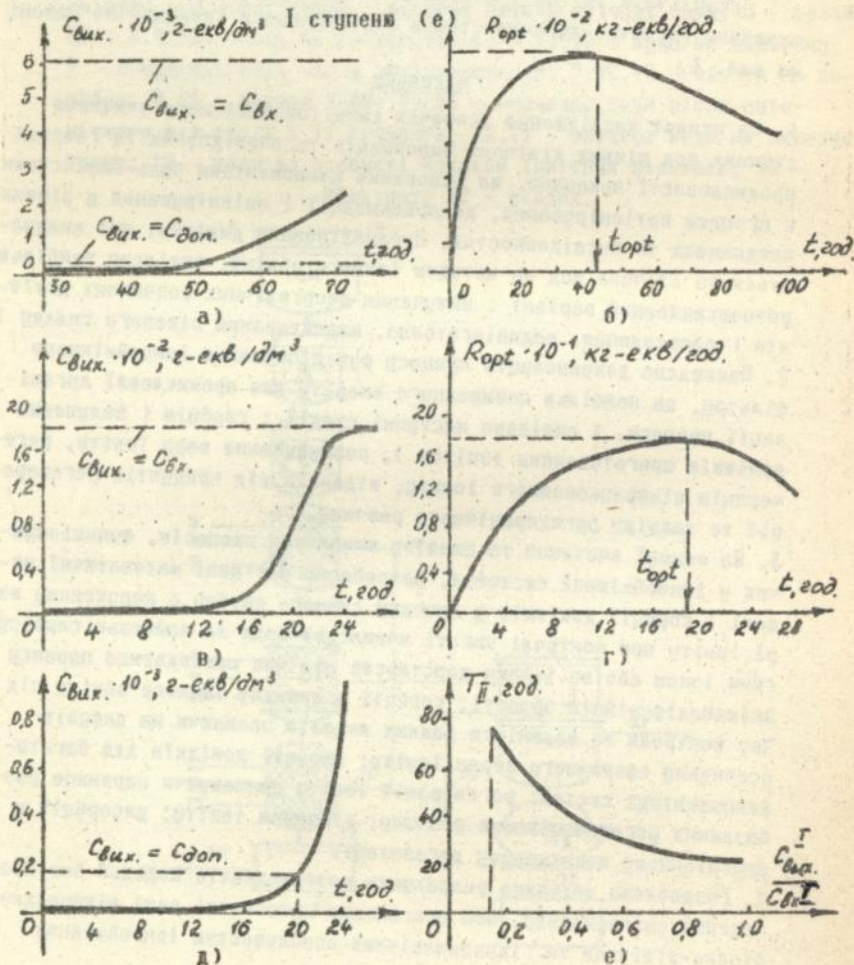
Запропанована технологічна схема враховує особливості компонентного складу води, яка надходить на очищення, що обумовлює використання двохступ'євого аніонування. Розв'язана задача із обмеженнями по набору апаратного і ресурсного оформлення технологічного процесу, засоба організації виробництва (двозмінна робота) та використовувасмої виробничої площі.

Результати імітації роботи іонообмінних фільтрів у схемі очищення кислотно-лугових стоків гальванічного виробництва надані на мал. 4.

ВИСНОВКИ

1. На основі дослідження існуючих схем іонообмінного очищення стічних вод різних хімічних виробництв та споріднених їм галузях промисловості показано, що основними компонентами будь-якої схеми є процеси катіонування, декарбонізації і аніонування у різних поєднаннях та послідовностях. Проаналізовано домішки, які вилучаються із стічних вод за методом іонного обміну, виділено найбільш розповсюджений варіант : вилучення неорганічних розчинних домішок (обезсолення, водопідготовка, коректування сілевого складу).
2. Проведена декомпозиція процесу функціонування іонообмінного фільтру, як найбільш поширеного апарату для промислової організації процесу, і виділено наступні стадії : сорбція (вилучення домішок приготованим іонієм), розпушування шару іоніту, регенерація відпрацьованого іоніту, відмивка від продуктів регенерації та надміру регенераційного розчину.
3. На основі вивчення та аналізу комплексу процесів, функціонуючих у іонообмінних системах, розроблено наступні математичні моделі : сорбції домішок у випадку іонного обміну у нерухомому шарі іоніту при контролі якості очищасмої води за найменш сорбуючим іоном або за іонами жорсткості під час проходження процесу у змішаної дифузійній області; сорбції у випадку іонного обміну під час контролю за наявністю важких металів зважаючи на дифузії усередину сферичного зерна іоніту; сорбції домішок для багатокомпонентних систем; регенерації іоніту урахувавши первинне розбавлення регенераційного розчину; відмивки іоніту; десорбції у протічному насадковому дегазаторі.
4. Розроблена методика розрахунку коефіцієнтів моделей без проведення експерименту, яка узагальнює накопичені дані відповідно фізико-хімічним та гідродинамічним особливостям іонообмінних фільтрів.
5. Проведено ідентифікацію параметрів та експериментальну пере-

Результати імітації роботи іонообмінних фільтрів у схемі очищення кислотно-лужових стоків гальванічного виробництва; вихідні концентраційні криві для катіонітного (а), аніонітних I (в) і II (д) ступенів фільтрів; визначення оптимального часу роботи катіонітного (б) і аніонітного I ступеня (г) фільтрів; визначення часу захисної дії шару іоніту фільтру II ступеня у залежності від відносної концентрації аніонів на виході із аніонітного фільтру



Мал. 4.

вірку математичних моделей, що дозволило зробити висновок про добру візувальну властивість наданих моделей у області визначення параметрів.

6. З метою розрахунку матеріального покомпонентного балансу в очищасій воді алгоритмізовано визначення карбонатної рівноваги при проектуванні технологічних схем очищення стоків, які мають у своєму складі карбонати, гідрокарбонати та вільну вуглекислоту.

7. Поставлена і розв'язана задача оптимізації роботи іонобмінного фільтру, розроблена методика її використання при виконанні проектних розрахунків.

8. На основі розроблених алгоритмів створено програмне забезпечення, яке функціонує у СМР ЕКОЛОГІЯ та КРОКУС. На підставі обчислювального експерименту отримані технічні рішення для проектів реконструкції очисних споруд ряду підприємств.

9. Розроблена система обчислювальних модулів впроваджена для експлуатації у ряді проектних організацій. Економічний ефект від впровадження результатів роботи склав 151,59 тис.руб.

Основний зміст дисертації викладено у наступних роботах :

1. Завершення I та створення II черги системи автоматизованого проектування комплексних схем очищення стічних вод / Стаття Г.О., Безносик В.О., Бойко Т.В. та ін. // Звіти по НДР. - 1981-1984, N 01812013200.

2. Розробка математичних моделей і оптимізація режиму системи очищення стічних вод для виробництва етилену / Корольов О.С., Бойко Т.В. та ін. // Звіти по НДР. - 1981-1984, N 81104082.

3. Бойко Т.В., Бондаренко С.Г. Математичне моделювання процесу іонобмінного очищення стічних вод // Тези доповідей Другої Всесоюзної наради-семинару молодих вчених "Методи кібернетики в хімії та хімічній технології", м. Грозний, 1984. - С. 24.

4. Розрахунок оптимального терміну фільтроциклу іонобмінного апарату на основі його математичної моделі / Бойко Т.В., Бондаренко С.Г., Корольов О.С., Криворуков М.К., Орлянський А.В., Статуха Г.О. // Хімічне машинобудування : Техніка, 1985. - 42. - С. 96-99.

5. Бойко Т.В., Бондаренко С.Г., Корольов О.С. Моделювання і оптимізація процесу іонобмінного очищення стічних вод у замкненій схемі зворотнього водопостачання // Нафтопереробка і нафтохімія : Наукова думка, 1986. - 42. - С. 71-72.

6. Бойко Т.В., Браженко В.В., Статуха Г.О. Автоматизований проектний розрахунок вузла іонобмінного очищення стічних вод //

Тези доповідей Другого обласного науково-технічного семінару "САПР і АСУТП в хімічній промисловості", м. Черкаси, 1987.- С. 20.

7. Бойко Т.В., Браженко Н.В., Статуха Г.О. Розрахунок вузлів та ліній очищення стічних вод // Тези доповідей обласного науково-технічного семінару "Вдосконалення і автоматизація технології утилізації відходів, очищення стічних вод і газових викидів хімічних виробництв", м. Черкаси, 1987.- С. 81-82.

8. Бойко Т.В., Статуха Г.О. Математичне моделювання процесу десорбції в насадковому дегазаторі // Тези доповідей республіканської науково-практичної конференції "Актуальні проблеми вдосконалення управління природокористуванням і охорони навколишнього середовища", м. Черкаси, 1988.- С. 103-104.

9. Бойко Т.В., Статуха Г.О. Особливості розробки обчислювальних модулів технологічних процесів вузла іонобірного очищення стічних вод // Тези доповідей Третійого обласного науково-технічного семінару "САПР і АСУТП в хімічній промисловості", м. Черкаси, 1989.- С. 24-25.

10. Бойко Т.В. Математичне моделювання процесу іонобірного очищення стічних вод від іонів важких металів // Тези доповідей Третійого обласного науково-технічного семінару "САПР і АСУТП в хімічній промисловості", м. Черкаси, 1989.- С. 40-41.

11. Бойко Т.В., Статуха Г.О. Досвід моделювання іонобірного очищення стічної води у системі автоматизованного проектування // Тези доповідей конференції "Регіональні екологічні проблеми та шляхи їх розв'язання", м. Черкаси, 1990.- С. 23.

12. Бойко Т.В.; Браженко Н.В., Статуха Г.О. Розробка та використання системи автоматизованного проектування для розрахунку схем очищення стічних вод // Тези доповідей конференції "Регіональні екологічні проблеми та шляхи їх розв'язання", м. Черкаси, 1990.- С. 23-24.

13. Бойко Т.В., Статуха Г.О. Математичне моделювання іонобірних систем при автоматизованому проектуванні схем водочищення і водопідготовки // Тези доповідей науково-технічної конференції "Проблеми екології і ресурсозберігання" ("Екокурс - 1"), м. Чернівці, 1991.- С. 78-79.

14. Бойко Т.В., Браженко Н.В., Статуха Г.О. Застосування методів штучного інтелекту під час розробки інструментального засоба BALANS для автоматизованого проектування ХТС // Тези доповідей VII Всесоюзної конференції "Математичні методи в хімії" (ММХ - 7), м. Казань, 1991.- С. 210-213.

15. Бойко Т.В., Браженко Н.В. Аналіз умов функціонування технологічної схеми очищення стічних вод виробництва азоборбувачів за допомогою САПР "ЕКОЛОГІЯ" // Тези доповідей третього обласного науково-технічного семінару " САПР і АСУП в хімічній промисловості ", м. Черкаси, 1991. - С. 10-11.

16. Бойко Т.В., Безносик М.О., Статуха Г.О. Розробка бази знань і бази даних експертної системи для моделювання процесів іонного обміну // Тези доповідей міжрегіонального науково-технічного семінару " Застосування комп'ютерних технологій і систем для рішення сучасних науково-технічних і економічних задач ", м. Черкаси, 1993. - С. 48.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

a, c - концентрація іонів; A - динамічна обмінна ємність іоніту; D_{e1} - ефективний коефіцієнт подовільної дифузії у рідкій фазі; D_2 - ефективний коефіцієнт дифузії домішків у пористому середовищі; β_1 - коефіцієнт зовнішнього масообміну; β_2 - коефіцієнт внутрішнього масопереносу; L - висота шару іоніту; T - мікрегенераційний період; \bar{a} - усереднена у зерні іоніту концентрація домішків; R - радіус зерна іоніту; z - координата по зерну іоніту; $D_{\text{ср}}$ - коефіцієнт самодифузії; n - кількість іонів у системі; T_R - параметр розведення розчину; ρ_c - коефіцієнт масопередачі, віднесений до газової фази; α_n - питома поверхня насадки; R_{opt} - критерій оптимізації.
Інші позначення загальноприйняті.

ІНДЕКСИ

i, j - обмінюваний і обмінювачий іони; * - рівноважне значення; R - регенерація; o - відмивка; x - рідка фаза (вода); g - газова фаза (повітря).

Підписано к печати 19.X.1993г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ.лист.1,0. Уч.-изд.лист.1,0.
Тираж 100. Закл. 936. Бесплатно

Поляграф. уч-к Института электродинамики АН УССР, 252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

464606

AB 28.966

AB 28.966