

УДК 66.011, 628.3

І. М. Джигирей, асп;

О. О. Квітка, к. х. н., доц.

ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Запропоновано використання математичних моделей процесів очищення на прикладі електрокоагулятора, що дозволяє проводити проектування очисних систем. Методика синтезу розподілених систем очищення стічних вод розроблена на основі концептуальних методів і нелінійного програмування. Показано, що розподілені очисні схеми мають низку переваг у порівнянні з наявними системами каналізування стічних вод промислових підприємств.

Вступ

Висока водоемність та відсутність досконалих схем очищення стічних вод характерні для більшості вітчизняних промислових підприємств. Світовий досвід показує, що одним із перспективних напрямків екологічно і економічно доцільного очищення стічних вод є використання розподілених схем очищення стоків промислового підприємства. Схема з потоками стічних вод, що оптимально розподілені у процесах очищення, дозволяє зменшити концентрацію забруднювальних речовин до допустимої норми перед скиданням очищених стоків з мінімальними капітальними і експлуатаційними витратами.

Актуальність

Акценти стимулювання вкладення коштів у вдосконалення систем очищення стічних вод усе більше зміщуються в сторону економічної доцільності. Це обумовлює створення й подальшу модернізацію систем каналізування стічних вод промислових підприємств. Під час проектування систем очищення стічних вод промислових підприємств питання розділення чи об'єднання потоків стічних вод вирішують у більшості випадків в залежності від виду оброблюваних стічних вод, забруднювальних речовин та їх концентрації, кількості стоків, їх місцезтворення. Ні раніше, ні у наш час при створенні чи модернізації систем каналізування промислових підприємств не враховували оптимальний розподіл потоків стічних вод у системі очищення.

Висока водоемність та відсутність досконалих схем очищення стічних вод характерні для більшості вітчизняних промислових підприємств. Одним з можливих рішень проблеми економічної ефективності очищення стоків підприємства є створення децентралізованої схеми каналізування стічних вод. Схема з потоками стічних вод, що оптимально розподілені у процесах очищення, дозволяє зменшити концентрацію забруднювальних речовин до допустимої норми перед скиданням очищених стоків з мінімальними капітальними і експлуатаційними витратами. Відсутність вітчизняних досліджень і розробок у цій галузі, обумовлює актуальність питання створення вітчизняної методики проектування розподілених схем очищення стічних вод промислових підприємств.

Останні дослідження і невирішені частини проблеми

Відомо ряд методів проектування розподілених схем очищення стічних вод, які можна поділити на два основні напрями: концептуальні методи та математичне програмування [1]. Незважаючи на те, що і концептуальні методи, і методи оптимізації узагальненої технологічної схеми очищення стічних вод є досить привабливими, аналіз літературних джерел свідчить, що вони мають суттєві недоліки [2]. Труднощі застосування концептуальних методів полягають у неможливості

отримання результату, оптимального з математичної точки зору. Методи математичного програмування приводять до формування задач, розв'язання яких вимагає використання складних методів оптимізації, реалізовуваних за допомогою комерційних математичних пакетів. Крім того, жоден із методів обох напрямів не дозволяє врахувати зміну ефективності процесів очищення в залежності від витрат стічних вод у потоці, що очищається, та концентрації забруднювача у ньому.

Постановка задачі і методи її розв'язання

За останні роки в Україні відбулися суттєві зміни структури виробництва, перехід на економічні важелі управління, зміна нормативної бази. В проектуванні, будівництві та експлуатації очисних споруд на перший план виходять вимоги скорочення витрат на очищення за безумовного забезпечення необхідної якості очищених стічних вод. Схеми каналізування і очисні споруди промислових підприємств можуть відрізнятися, але вони мають спільний недолік — у випадку об'єднання двох та більше потоків стічних вод виникає недоцільне змішування, впливом якого на вартість очищення стоків не можна нехтувати [3].

Оптимальний перерозподіл потоків стічних вод у схемі очищення дозволяє зменшити об'єм стічних вод, що обробляються у процесах очищення і підвищити концентрацію цільового виду забруднення на вході у очисні процеси. Капітальні витрати на більшість процесів очищення пропорційні об'єму стічних вод, що очищаються у процесах. Експлуатаційні витрати збільшуються із зменшенням концентрації заданої кількості забруднювальної речовини. Тому, роздільне очищення потоків стічних вод, що містять різні забруднювачі, приводить до зменшення витрат на очисну систему. І навпаки, роздільне очищення потоків стічних вод, що містять один і той же забруднювач, приводить до підвищення витрат на очисну систему. Схема з потоками стічних вод, що оптимально розподілені між процесами очищення у схемі каналізування, дозволяє зменшити концентрацію забруднювальних речовин до допустимої норми перед скиданням очищених стоків з мінімальними грошовими витратами на встановлення і підтримку роботи системи. Синтез розподіленої схеми каналізування стічних вод припускає, що відомі характеристики потоків стічних вод і процесів очищення, і необхідно визначити оптимальний розподіл потоків між процесами з врахуванням заданих обмежень за концентрацією забруднювальних речовин на виході із очисної системи, на вході у процеси очищення тощо.

У роботі пропонується методика, яка включає дві стадії, концептуальну і оптимізаційну, що дозволяє врахувати переваги і недоліки обох напрямів у проектуванні децентралізованих схем каналізування стічних вод промислових підприємств [4—6]. Конкретно була приділена увага створенню математичних моделей статички процесів очищення, що дають змогу врахувати зміни коефіцієнтів видалення процесів очищення під час пошуку оптимального розподілу потоків стічних вод у схемі, а також зміни витрат стічних вод у очисних процесах, інші специфічні параметри.

Процеси очищення характеризуються ефективністю по кожному виду забруднення, вміст якого у стічній воді необхідно зменшити до допустимого значення перед скиданням у водойму чи каналізаційну мережу. Перерозподіл потоків стічних вод у процесах очищення приводить до значних змін об'ємних витрат потоків і концентрації забруднювальних речовин у них, що впливає на заданий ефект очищення стічних вод. Існуючі методи проектування розподілених систем каналізування не враховують залежності ефективності технології очищення стічних вод по заданій забруднювальній речовині від її початкової концентрації у стічних водах і їх витрати. Зниження початкової концентрації забруднювального компонента у більшості випадків зменшує ефективність його видалення до заданого значення навіть без врахування ефектів взаємодії забруднювальних речовин, що ускладнюють очисний процес [7]. Доцільно побудувати залежність коефіцієнта видалення забруднювальної речовини від таких параметрів як витрати оброблюваних стічних вод і концентрація забруднювача в очищуваному потоці.

З метою врахування фізико-хімічної природи процесів очищення, і, таким чином, підвищення точності розрахунків, на другій стадії процедури синтезу пропонується використовувати математичні моделі процесів очищення. Вхідними змінними є витрати потоку, що обробляється у проце-

сів очищення, концентрація забруднювача і його характеристики, конструкційні і технологічні параметри конкретної очисної установки. Вихідними змінними — ефект очищення стічних вод від забруднювальної речовини, параметри очисних процесів. Застосування математичних моделей процесів очищення у вигляді рівнянь статистики процесів для синтезу систем каналізування стічних вод промислових підприємств дозволяє врахувати фактори специфічні для окремих методів очищення.

Апробація методики

У роботі наведено приклад використання описаного двостадійного підходу для модернізації системи очищення стічних вод м'ясопереробного комбінату [8]. Стічні води даного підприємства перед скиданням у міську каналізаційну мережу послідовно проходять відстійник, пневмофлотатор, електрокоагулятор та біофільтр, де очищуються від завислих речовин, жирів, БСК₅ та хлоридів. На першій стадії розрахункової процедури за допомогою водного пінч-аналізу був проведений перерозподіл водних потоків. Перерозподіл дозволив зменшити витрати стічних вод у відстійнику на 40,4 % і у пневмофлотаторі на 22,3 % у порівнянні із централізованим очищенням без порушення вимог до якості води на виході із системи водовідведення. Були зроблені припущення, що коефіцієнти видалення забруднювачів процесами очищення і витрати стічних вод у системі є постійними величинами. Однак, відомо що зміна початкової концентрації забруднювального компонента і витрати оброблюваних стічних вод у більшості випадків впливають на ефективність його видалення. Тому на другій стадії синтезу схеми очищення були використані моделі відстійника безперервної дії, пневмофлотатора, електрокоагулятора з алюмінієвими електродами, біофільтра із площинним завантаженням.

Наприклад, математичну модель електрокоагулятора з пластинчастими електродами безперервної дії можна сформулювати на основі рівнянь статистики цього процесу. Оскільки процес електрокоагуляції відноситься до складних хіміко-технологічних процесів і час обробки стічної води при відповідній силі струму обирають експериментально згідно зі ступенем її освітлення, то визначення коефіцієнта видалення за допомогою рівнянь статистики процесу без залучення експериментальних даних неможливе. Але рівняння статистики дозволяють визначити зміну деяких параметрів роботи установки електрокоагуляції, що залежать від початкової концентрації забруднювача і витрат стічних вод, що обробляються. Тому математична модель електрокоагулятора — це не стільки залежність коефіцієнта видалення забруднювальної речовини від витрат оброблюваних стічних вод і концентрації забруднювача у потоці, що очищується, скільки залежність параметрів роботи установки від цих змінних.

Вхідними змінними математичної моделі електрокоагулятора-флотатора були прийняті: загальний об'єм електродного блока, початкова товщина електродних пластин, міжелектродний простір, об'єм камери флотації, концентрація жирів і витрати стічних вод на вході у електрокоагулятор. Вихідними параметрами є витрати електрики на очищення стічної води, анодна (катодна) щільність струму, навантаження по струму, необхідна потужність електрообладнання і тривалість освітлення. З формул визначення загального об'єму електродного блока, об'єму рідини у міжелектродному просторі, об'єму електродів [10] можна одержати величину діючої поверхні анодів (катодів)

$$f_{ek} = \frac{V_0}{\delta + b},$$

де V_0 — загальний об'єм електродного блока, м³; δ — початкова товщина електродних пластин, м; b — міжелектродний простір, м. Питомі витрати електрики на очищення стічної води, q_{cur} , можна прийняти згідно зі значенням концентрації жирів на вході у електрокоагулятор, $C_{ж}^{EK}$ [табл. 57, 9].

Оскільки залежність питомих витрат електрики від концентрації жирів подана таблично, то необхідно буде проводити повторювані процедури інтерполяції чи екстраполяції (залежно від того, чи

значення концентрації жирів належить інтервалу $2000 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \leq \left(C_{\text{ж}}^{\text{ЕК}} \right) \leq 10000 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}}$, які є досить громіздкими. Тому доцільно провести апроксимацію залежності $q_{\text{cur}} = f\left(C_{\text{ж}}^{\text{ЕК}} \right)$, тоді

$$q_{\text{cur}} = \frac{C_{\text{ж}}^{\text{ЕК}}}{4,62 \cdot 10^{-5} \cdot C_{\text{ж}}^{\text{ЕК}} + 10,98}, \text{ А} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Додатково можна визначити анодну (катодну) щільність струму спираючись на формулу визначення поверхні анодів (катодів)

$$i_a = \frac{Q_{\text{in}}^{\text{ЕК}} \cdot q_{\text{cur}}}{f_{\text{ек}}}, \text{ А} / \text{м}^2,$$

де $Q_{\text{in}}^{\text{ЕК}}$ — витрати стічних вод на вході у електрокоагулятор, м^3 . Навантаження за струмом складе [10]

$$I_{\text{cur}} = Q_{\text{in}}^{\text{ЕК}} \cdot q_{\text{cur}}, \text{ А} \cdot \text{год},$$

а необхідна потужність електрообладнання [10]

$$N = \alpha \cdot \frac{I_{\text{cur}} \cdot U}{1000}, \text{ кв} \cdot \text{А},$$

де $\alpha = 1,3—1,5$ — коефіцієнт запасу потужності; U — падіння напруги між пластинами електродів, що визначають за даними вольт-амперних характеристик виробничих стічних вод, або приймають $U = 1,5—2,0$. Тривалість освітлення [11]

$$t_{\text{ф}} = \frac{V_{\text{ф}}}{Q_{\text{in}}^{\text{ЕК}}},$$

де $V_{\text{ф}}$ — об'єм камери флотації, м^3 .

Застосування математичних моделей процесів очищення на другій стадії процедури пошуку оптимального розподілу потоків стічних вод у схемі каналізування дозволило врахувати не лише зміну ефективності процесів очищення, але і зміну витрат стічної води (вода, що була відібрана із осадом відстійника, пінним продуктом та осадом пневмофлотатора і камери флотації електрокоагулятора). Перерозподіл дозволив зменшити витрати стічних вод у відстійнику на 41,8 % і у пневмофлотаторі на 22,3 % у порівнянні із централізованим очищенням без порушення вимог до якості води на виході із системи каналізування.

Висновки

Застосування комбінованого підходу з використанням математичних моделей процесів очищення для проектування схем каналізації стічних вод дозволяє значно скоротити навантаження на процеси очищення. За допомогою розробленої методики були побудовані системи очищення стоків підприємств різних галузей промисловості, у т. ч. харчовий, нафтопереробної, машинобудівної і т. д. Розрахунки показують, що можливе зниження витрат стічних вод, що очищуються, до 70 % у порівнянні з централізованим очищенням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bagajewicz M. A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants // Computers and Chemical Engineering. — 2000. — N. 24 — P. 2093—2113.
2. Квитка А. А., Джигирей И. Н. Проектирование систем канализирования сточных вод промышленных предприятий: Комбинированный подход // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2006. — № 2. — С. 72—77.

3. Кутепов А. М., Мешалкин В. П., Невский А. В., Шарнин В. А., Шорманов В. А. Термодинамический подход к проектированию систем водопотребления и водоотведения промышленного предприятия // Экология и промышленность России. — 2002. — Апрель. — С. 12—15.

4. Статюха Г. А., Квитка А. А., Шахновский А. М., Джигирей И. Н. Проектирование ресурсосберегающих технологических схем водного хозяйства промышленных предприятий // Сборник тезисов докладов II Международной конференции. «Сотрудничество для решения проблемы отходов»: — Харьков, 2005. — С. 185—187.

5. Statyukha Gennady, Kvitka Olexander, Dzhygyrey Iryna. The Wastewater Treatment Systems Modelling by Combined Approach // SSCHE—2005: Proceedings of 32th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering. — Slovakia, 2005.

6. Статюха Г. О., Квітка О. О., Джигирей І. М. Моделювання локальних схем очищення стічних вод в харчовій промисловості // Пр. III міжнародного водного форуму «Аква Україна». — К., 2005. — С. 274—276.

7. Кутепов А. М., Мешалкин В. П., Невский А. В. Модифицированный водный пинч-метод для проектирования ресурсосберегающих химико-технологических систем // Доклады Российской Академии Наук. — 2002. — № 6. — Т. 383. — С. 786—790.

8. Статюха Г. О., Квітка О. О., Джигирей І. М. Моделювання розподілених схем очищення стічних вод промислових підприємств на основі методів Інтеграції Процесів // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2005. — № 1. — С. 27—37.

9. СНиП 2.04.03 — 85. Канализация. Наружные сети и сооружения. — М.: 1986.

10. Долина Л. Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для физико-химической очистки производственных сточных вод. — Днепропетровск: Континент. — 2004. — 127 с.

11. Мацнев А. И. Водоотведение на промышленных предприятиях: Учебн. пособ. — Львов: Вища школа, 1986. — 200 с.

Джигирей Ірина Миколаївна —аспірант, *Квітка Олександр Олександрович* —доцент.

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»