

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД ТА МАТЕМАТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ЧЕРЕЗ ГРАНУЛЬОВАНИЙ МАТЕРІАЛ

Л.І.Челядин, Л.І.Григорчук, В.Л.Челядин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42183  
e-mail: chvl@inet.ua

*Описаны экологические и технологические аспекты очистки сточных вод нефтегазодобывающей, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности. Исследован метод интенсификации процесса очистки – фильтрования сточных вод с использованием углеродно-минеральных материалов. На основании аналитических исследований математического описания процессов фильтрования и адсорбции выведены математические формулы для определения параметров фильтрования через гранулированные углеродно-минеральные материалы, позволяющие проектирование аппаратов очистки сточных вод и автоматизирование этих процессов.*

Охорона гідросфери від забруднення є однією з проблем охорони довкілля, яка на даний момент тісно пов'язана з не менш важливою і актуальною проблемою – водоспоживанням, оскільки кількість водних запасів постійно зменшується. Для вирішення цієї проблеми пропонуються такі заходи: раціональне використання води на підприємстві, перехід на безводневі технологічні процеси, повторне використання побутових і промислових стічних вод. Це можна назвати також зворотним водозабезпеченням без скиду стічних вод у водойми.

Очистка води є особливо важливою проблемою нафтогазовидобувних об'єктів (НГДУ), де використовують воду для заводнення нафтогазових пластів з метою витіснення нафти і газу у великих кількостях, оскільки вода при цьому забруднюється шкідливими компонентами (нафта, сульфід, пуста порода та ін.).

Для забезпечення безпечних умов водокопсування встановлено вимоги щодо скидання стічних вод у водойми, зумовлені законом України «Про охорону навколишнього середовища» і регламентовані «Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» [1]. Згідно з цими правилами встановлено нормативи якості води для водойм, тобто гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин. Враховуючи необхідну якість води в існуючих водоймах, при скиданні стічних вод розраховують необхідний ступінь очистки стічних вод за вмістом різних забруднювачів, так щоб комплексна дія таких речовин на водойму була меншою від 1, за формулою

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{C_n}{C_{n \text{ ГДК}}} < 1, \quad (1)$$

де:  $C_n$  – концентрація речовини;  $C_{n \text{ ГДК}}$  – гранично допустима концентрація речовини у воді.

*The ecological and technological aspects of cleaning of sewages of oil-and-gas production, oil-processing and other industries of industry are described. The method of intensification of process of cleaning is explored - filtration of sewages with the use of carbon-mineral materials. On the basis of analytical researches of mathematical description of processes of filtration and adsorption mathematical formulas for determination of parameters of filtration through granular carbon-mineral materials which allow to design the vehicles of cleaning of sewages and to automatize these processes are shown out.*

Приведення до допустимих норм шкідливих компонентів зі стічних вод, що негативно впливають на якість водойм, в які їх скидають, використовують різні фізико-хімічні технології очистки [2], що включають один чи декілька з наведених методів: відстоювання, фільтрації, флотації, коагуляції, абсорбції чи адсорбції, ультрафільтрації, а також електрокоагуляційної і біологічної методи.

В нафтогазовидобувній галузі з метою їх повторного використання для закачки в нафтогазові пласти, підвищення пластового тиску та витіснення нафти і газу на поверхню землі використовуються методи гравітаційної очистки стічних вод (відстійники) [3].

Технологічні схеми очистки побутових (комунальних) стічних вод селищ і міст [4] в основному складаються з аналогічних процесів (стадій): механічного (відстій, фільтрування), фізико-хімічного (коагуляція, нейтралізація) та біологічного (аеротенки).

Для сумісної очистки стічних вод великих промислових підприємств та побутових стічних вод [5], що характерно для більшості міст України з населенням від 100 до 500 тис. жителів, використовуються комбіновані схеми очистки, які включають локальні установки на підприємствах та загальні міські очисні споруди.

На локальних установках використовуються процеси, які дають змогу зменшити вміст найбільш шкідливого компонента води, а на загальних очисних міських спорудах існують технологічні схеми, що включають такі три основні стадії очистки: механічну, фізико-хімічну та біологічну, які забезпечують очистку стічних вод до вмісту в них шкідливих інгредієнтів відповідно до нормативних показників для скиду у відкриті водойми. Ефективність очистки стічних вод в різних установках складає в середньому 75-90%.

Всі наведені вище схеми очистки стічних вод включають стадію фільтрації стічної води (відокремлення завислих частинок) через різні типи пористих перегородок. Очистка стічних вод методом фільтрації використовується в основному на початку технологічного процесу очистки стічних вод перед наступними методами, а також для доочистки після них з метою досягнення показників очистки від шкідливих компонентів згідно з нормативними вимогами.

В цьому методі важливе значення мають апарати та споруди, що працюють за принципом фільтрації. Вибір того чи іншого методу фільтрації, залежить від фізичних чи хімічних властивостей завислих частинок, що містяться в стічних водах, а також вимог до якості очищення води. Після завершення стадії фільтрування, що встановлюється на основі досягнення допустимого вмісту шкідливих компонентів на виході з фільтра та тиску на вході в фільтр або мінімальної швидкості потоку води, стічну воду спрямовують у другий фільтр, а в першому проводиться процес регенерації завантаженого фільтруючого матеріалу (відмивки твердих частинок). Час фільтрації та регенерації разом складають час фільтроциклу ( $\tau_{\phi}$ ), який орієнтовно складає 10-24 години і переважно залежить від забрудненості стічної води, а також швидкості фільтрування та матеріалу фільтруючої перегородки [6].

В технології очистки стічних вод переважно використовували як фільтруючий матеріал кварцовий пісок [7].

Одним з методів інтенсифікації фільтрування стічних вод є використання нових матеріалів для загрузки перегородки, через яку стічна вода очищається від нерозчинних і розчинних інгредієнтів. Загрузки фільтрів можуть мати різну хімічну природу і розміри матеріалів загрузки, що створюють фільтруючу перегородку, яка, крім виділення твердих інгредієнтів, може сорбувати і деякі розчинні шкідливі компоненти (сульфіди, нітрати, ціаніди, хроміди та інші).

За останні десятиріччя минулого тисячоліття на основі проведених досліджень [8] крім кварцового піску використовують активоване вугілля, цеоліт (клиноптиоліт) та інші природні (модерніт, горілі породи) і штучні (піностирол, дроблений керамзит, антрацит та ін.) матеріали.

Для визначення часу роботи фільтра автори [9,10] рекомендують різні формули, що зводяться до вирахування часу фільтрації через фільтруючу перегородку до моменту проскоку (вмісту) в воду шкідливого інгредієнта в концентрації більшій за допустиму для скиду в поверхневі водойми.

Автори [11,12] пропонують формули, що дають змогу після незначної кількості лабораторних експериментів визначити кількість відділених, завислих і розчинних органічних речовин. При механічному затриманні завислих в каркасно-засипних фільтрах, в яких як загрузка в першому шарі використовують гравій, а в другому – гравій + кварцовий пісок, контроль якості очистки проводили за величиною БПК,

яка є показником наявності завислих та біологічної деструкції органічних домішок.

Для розрахунку оптимальної роботи фільтра різні автори [13,14] рекомендують формули, що зводяться до вирахування часу фільтрації ( $\tau_{\phi}$ ). Так, згідно з [14] формула має вигляд

$$\tau_{\phi} = \frac{\beta}{K_{\alpha}} * \frac{\ell - \ell_0}{v^{1.7} d^{0.7}}, \quad (2)$$

де:  $K_{\alpha}$  – коефіцієнт, який залежить від відношення  $C/C_0$  ( $C_0$  і  $C$  – значення концентрацій завислих в початковій воді та фільтраті);  $\ell$  і  $\ell_0$  – висота зернистої перегородки (загрузки) та невикористаної загрузки відповідно;  $\beta$  і  $\alpha$  – параметри фільтрування, незалежні від швидкості фільтрування і діаметру зерен загрузки;  $d$  – еквівалентний діаметр, що визначається в [8] як

$$d = 100 / \left( \sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i \right),$$

де  $P_i$  – процентний вміст фракцій з вмістом  $d_i$ , що визначається як півсума суміжних сит.

При використанні формул для визначення  $\alpha$  і  $\beta$  згідно з [8] одержимо рівняння

$$\tau_{\phi} = \frac{K_{\beta}}{K \cdot K_{\alpha}} \frac{m_0^{1.7} [\alpha_{\phi}(1 - m_0)]^{0.7}}{v^{1.7} d_{екв}^{0.7}}, \quad (3)$$

де:  $K_{\beta}$  – параметр, що характеризує фізико-хімічні властивості суспензії;  $K_{\alpha}$  – параметр, що характеризує властивості загрузки;  $m_0$  – міжзерниста пористість загрузки;  $\alpha_{\phi}$  – коефіцієнт форми зерен.

Для процесів адсорбції шкідливих інгредієнтів на фільтрувальній перегородці (загрузка адсорбента) в публікаціях [15,16] пропонують використовувати формули, що визначають швидкість фільтрування (ШФ), висоту загрузки фільтруючого матеріалу та час фільтрування.

Автори [15] використовують загальне диференціальне рівняння для визначення ШФ

$$\frac{dV}{S d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{oc} + R_{\phi.n.})}, \quad (4)$$

де:  $V$  – об'єм фільтра,  $m^3$ ;  $S$  – поверхня фільтрування,  $m^2$ ;  $\tau$  – тривалість фільтрування,  $s$ ;  $\Delta P$  – різниця тисків,  $H/m^2$ ;  $\mu$  – в'язкість рідкої фази суспензії,  $H \cdot c/m^2$ ;  $R_{oc}$  і  $R_{\phi.n.}$  – опори шару осаду і фільтрувальної перегородки відповідно.

Провівши перетворення формули 4, отримаємо:

$$\frac{dV}{d\tau} = \Delta P \cdot S \cdot \frac{1}{\mu(R_{oc} + R_{\phi.n.})},$$

де  $\frac{1}{\mu(R_{oc} + R_{\phi.n.})}$  виражає щільність проходження процесу фільтрації;  $S$  – поверхня фільтрування через яку проходить процес.

Для визначення висоти ( $L$ ) адсорбційного шару загрузки фільтра припускаємо, що час роботи процесу очистки (масообміну адсорбції)

до проскоку адсорбуючого шкідливого інгредієнта в фільтрат і час відділення завислих (механічних домішок), є однаковим (рівним):

$$\tau_{np.ad.} = kL - \tau_0, \quad (5)$$

де:  $\tau_0$  – підготовчий час захищеної дії, а  $k$  – коефіцієнт захищеної дії шару, який визначається за формулою

$$K = \frac{a_0 + c_0}{v \cdot c_0}, \quad (6)$$

де:  $a_0$  – величина питомої адсорбції яка знаходиться по ізотермі адсорбції;  $c_0$  – рівноважна концентрація, віднесена до одиниці об'єму шару;  $v$  – середня швидкість потоку, що розрахована на повне січення фільтра (колони) з адсорбентом.

Аналіз наведених формул вказує на те, що в них (при вирахованні часу фільтрування або сорбції від шкідливих компонентів з стічної води) використовуються деякі однакові показники для визначення часу механічної затримки твердих домішок та сорбційної ємності шкідливих компонентів на використаних матеріалах загрузки фільтра.

При використанні як фільтруючої загрузки гранульованих вуглецево-мінеральних матеріалів [17] було встановлено, що крім очистки від механічних домішок в фільтрі проходить і сорбційне поглинання таких шкідливих компонентів як хром, амоній тощо.

Враховуючи те, що час фільтрації через фільтруючу перегородку фільтра до проскоку завислих і розчинних шкідливих компонентів при процесі досягнення нормативних величин цих компонентів для скиду водойми має бути однаковим, справедливо записати  $\tau_{np.f.} = \tau_{np.ad.}$ . Таким чином одержимо рівняння

$$\frac{K_\beta}{K \cdot K_\alpha} \frac{m_0^{1.7} [\alpha_\phi (1 - m_0)]^{0.7}}{v^{1.7} d_{екв}^{0.7}} = kL - \tau_0. \quad (6)$$

Проведемо математичні перетворення тожності і одержимо формулу для вираховання допустимої швидкості фільтрування, яка забезпечує очистку стічної води методом фільтрації до нормативних величин шкідливих компонентів.

$$v = \left( \frac{(kL - \tau_0) d_{екв}^{0.7} \cdot K K_\alpha}{m_0^{1.7} [\alpha_\phi (1 - m_0)]^{0.7} K_\beta} \right)^{\frac{10}{17}}. \quad (7)$$

Швидкість є змінною величиною в процесі фільтрації, яка залежить від різниці тиску на вході і виході фільтра (Р) та інших показників процесу фільтрації, наприклад, висота фільтруючої загрузки, яка може бути теж визначена з формули 4:

$$L = \frac{\tau_0}{k} + \frac{K_\beta}{k \cdot K K_\alpha} \cdot \frac{m_0^{1.7} \cdot [\alpha_\phi (1 - m_0)]^{0.7}}{v^{1.7} d_{екв}^{0.7}}. \quad (8)$$

В монографії [18] кількість рідини, яка проходить через поверхню  $\sigma$ , виражається поверхневим інтегралом другого роду

$$\Pi = \iint_{\sigma} P d_x d_z + Q d_y d_z + R d_x d_y; \quad (9)$$

$$\bar{F} = P \cdot \bar{i} + Q \cdot \bar{j} + R \bar{n},$$

що виражає швидкість проходження рідини через дану поверхню, яка еквівалентна нашій моделі проходження рідини в одному напрямку.

При використанні наведених і одержаних вище формул /7,8,9/ розраховали допустиму швидкість фільтрування, яка близька до практичної, що дає можливість стверджувати про її адекватність і можливість використання при автоматизації роботи фільтра та всієї технологічної схеми очистки, а також розрахунку конструктивних розмірів фільтра та його елементів залежно від складу стічної води, її кількості та досягнення необхідного ступеня очистки.

### Література

- 1 СанПіН № 4631-88. Правила охорони поверхневих вод від забруднення. – К., 1996. – 8 с.
- 2 Яковлев С.В. и др. Очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
- 3 Зубик С.В. Техноэкология. – Ивано-Франківськ: ІМЕ, 2004. – 450 с.
- 4 Запольский А.К. Фізико-хімічні основи технології очистки стічних вод. – К., 2000. – 245 с.
- 5 Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Стройиздат, 1964. – 156 с.
- 6 Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Справочное пособие. – Л.: Стройиздат, 1985. – 115 с.
- 7 Ярошевская Н.В., Кульский Л.А. Применение новых фильтрующих материалов при водоочистке // Химия и технология воды. – 1987. – Т. 9. – № 4. – С. 371-372.
- 8 Ярошевская Н.В., Накорчевская В.Ф. Зависимость параметров фильтрования от свойств зернистой загрузки фильтров // Журнал прикладной химии. – 1981. – Т. 54. – С. 1103-1109.
- 9 Шевчук Е.А., Мамченко А.В., Гончарук В.В. Технология прямоочного фильтрования природных и сточных вод через зернистые загрузки // Химия и технология воды. – 2005. – № 4. – С.369-384.
- 10 Шевченко Т.В., Манзий М.Р., Тарасова Ю.В. Очистка сточных вод нетрадиционными сорбентами // Экология и промышленность. – 2003. – № 5. – С. 35-38.
- 11 Смирнов А.Д.. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
- 12 Когановский А.М., Левченко Т.М., Рода И.Г., Маротовский Р.М.. Адсорбционная технология очистки сточных вод. – К: Техника, 1981. – 175 с.
- 13 Hashimoto K., Miura K., Tsukano M. Experimental verification of design methods for liquid phase fixed-bed adsorbers. – J. Chem Eng. Japan. – 1977. v10. – №1. – p. 27-34.

14 Руденко А.Г., Гороновский И.Т. Оценка грязеемкости фильтрующей загрузки по кинетике её промывки // Химия и технология воды. – 1987. – Т.9. – № 4. – С. 365-366.

15 Грабовский П.А.. Обоснование продолжительности промывки скорых фильтров // Химия и технология воды. – 1988. – Т.10. – №5. – С. 423-426.

16 Ярошевская Н.В., Шевчук Е.А., Кульский Л.А.. Обработка воды коагулянтom при её очистке в процессе двухступенчатого фильтрования // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 11.– №2. – С. 151-153.

17 Челядин Л.І. Дослідження екологічної ефективності очистки стічних вод при фільтрації через модифікований вуглецево-мінеральний матеріал // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2002. – № 4. – С.80-82.

18 Дубовик В.П., Юрик І.І. Вища математика. – К.: А.С.К., 2001. – 648 с.