

Ескізні схеми зусиль у системі показані на рис. 12.

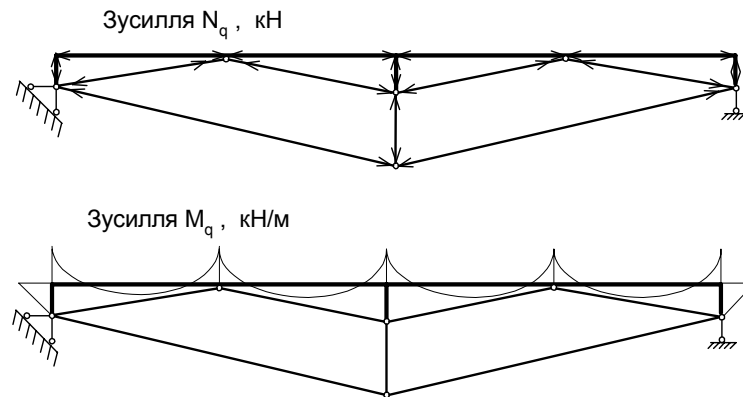


Рис. 12. Ескізні схеми зусиль у елементах системи

Із схем бачимо, що моменти у балці жорсткості кількакратно менші, ніж у звичайній балці, а кількість елементів значно менша, ніж у відповідній фермі. Отже, завдяки розрахунку за деформованим станом запропонована система є вигіднішою, ніж звичайна балка чи ферма.

Висновки. Розроблено інженерну методику розрахунку системи з врахуванням деформованого стану. Ця методика дозволяє рівномірніше розподілити зусилля по довжині балки жорсткості.

1. Нилов А.А., Пермяков В.А., Прицкер А.Я. *Стальные конструкции производственных зданий. Справочник.* – К.: Будівельник, 1989. 2. Беленя Е.И. *Обзор исследований предварительно напряженных металлических конструкций // III Междунар. конф. по предварительно напряженным металлическим конструкциям. Т. 5.* – М., 1971. 3. Гоголь М.В. *Работа стиснутих стальных стержней, які підсилюються під навантаженням з регулюванням зусиль в елементах, які напружуються: Автореф. дис. ...канд техн. наук.* – М., 1989. 4. Трохимович В.В., Пермяков В.А. *Оптимизация металлических конструкций.* – К.: Вища школа, 1983. 5. Чайка Б.С. *Розрахунки будівель та їх конструкцій.* – Львів: Край, 1995.

УДК 628.54:628.16:628.3

А.Я. Регуш, В.І. Желяк, В.М. Сівак*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра гідравліки та сантехніки

*Український державний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне, Україна,
кафедра водопостачання та бурової справи

ГІДРАВЛІЧНІ ПАРАМЕТРИ КЛИНОПТИЛОЛІТОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ АДСОРБЕРІВ

© Регуш А.Я., Желяк В.І., Сівак В.М., 2004

Наведені результати гідравлічних досліджень фільтрування на моделі адсорбера з клиноптилолітовим навантаженням.

The results of experimental researches of the filtration process on the model of adsorber with clinoptilolites load are presented.

Постановка проблеми. Впровадження клиноптилоліту Сокирницького родовища у адсорбційні технології очищення природних та стічних вод спричинене їх дешевизною порівняно із

штучними адсорбентами та значною поглинальною здатністю за токсичними речовинами. У роботі [1] експериментально доведено можливість ефективного використання клиноптилолітового завантаження фракції 1,0–1,25 мм для доочищення стічних вод гальванічних виробництв у адсорберах за типом швидких фільтрів.

Розрахунок технології адсорбції забруднюючих речовин на промислових адсорберах базується на відомих гідравлічних параметрах завантаження та гідродинамічних процесах в середині апарата [2]. Вивчення руху рідини в середині нерухомого шару завантаження, як відомо, становить змішану задачу гідродинаміки. Клиноптилолітове завантаження в цьому питанні досліджено недостатньо і вимагає проведення додаткових експериментальних робіт.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичному та експериментальному дослідженню фільтрування у стаціонарному зернистому шарі була приділена значна увага спеціалістів як у галузі хімічної технології, так і в галузі очищення природних та стічних вод. Найбільш повними та систематизованими працями, в яких вказані методологічні підходи вивчення течії рідини у пористому середовищі, слід вважати монографії [2, 4]. Ці монографії містять відомості про числові дані коефіцієнтів форми зерна α_{Φ} та факторів форми Φ таких традиційних фільтрувальних матеріалів, як кварцовий пісок, щебінь, гравій, алюмосилікати, антрацит, сланець, кокс, активоване вугілля. У зв'язку із зростанням останніми роками частки використання в фільтрувальних та адсорбційних технологіях місцевих штучних та природних матеріалів, визначені коефіцієнти α_{Φ} та Φ для дробленого керамзиту, алгопориту, шунгизиту, вулканічних шлаків, гранітного піску, піролюзиту [6]. На основі цих коефіцієнтів складені формули для визначення втрат напору в щільному зернистому шарі, які є основою гідравлічного розрахунку адсорберів за типом швидких фільтрів.

Задачі досліджень. У нашому випадку метою проведення експериментальних досліджень було визначення коефіцієнта фільтрації води K_{Φ} у клиноптилолітовому завантаженні моделі адсорбера, складеного фракцією 1,0–1,25 мм, а також визначення таких гідравлічних параметрів, як коефіцієнт форми зерна клиноптилоліту α_{Φ} , шпаруватості завантаження ϵ_0 , втрат напору у фільтрувальному шарі h_0 . Дослідження проводились за запропонованою у [4] методикою на лабораторній колонці діаметром 2 см із відстанню між точками підключення п'єзометрів 0,9 м. Підтримуючий шар складався із гравію фракцією 2,0–3,0 мм висотою 5 см. Напрямок фільтрування приймали зверху вниз.

Швидкість фільтрування V_{Φ} приймали рекомендованою для проведення адсорбційного процесу і змінювали від 2,5 до 12 м/год [3]. Втрати напору визначали за різницею показів п'єзометрів. Сумарна відносна похибка при вимірюваннях не перевищувала 2,5 %.

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами експериментів побудована залежність швидкості фільтрування V_{Φ} від гідравлічного похилу i_0 (рис. 1). У рекомендованому діапазоні швидкостей фільтрування функція $V_{\Phi} = f(i_0)$ є лінійною залежністю, яку можна подати у вигляді закону Дарсі [4]:

$$V_{\Phi} = K_{\Phi} \cdot i_0 \text{ м/год.} \quad (1)$$

Математичною обробкою експериментальних даних отримано значення коефіцієнта $K_{\Phi} = 16,292 \text{ м/год} = 0,0045 \text{ м/с}$.

Лінійна апроксимація експериментальних даних дає можливість для визначення гідравлічних параметрів завантаження використати формулу Д.М. Мінца, яка описує при ламінарній фільтрації на швидких фільтрах залежність коефіцієнта опору завантаження η від числа Рейнольдса Re для течії у пористому середовищі [4]:

$$\eta = \frac{5,1}{Re}. \quad (2)$$

Після елементарних перетворень формулу (2) можна подати у вигляді залежності коефіцієнта форми зерна α_{Φ} від коефіцієнта K_{Φ} та параметрів фільтрувального завантаження:

$$\alpha_{\Phi} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0^3}{(1 - \varepsilon_0)^2} \frac{d_e^2}{18,72K_{\Phi} \nu}}, \quad (3)$$

де ε_0 – шпаруватість завантаження, d_e – еквівалентний діаметр зерен завантаження, ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості води.

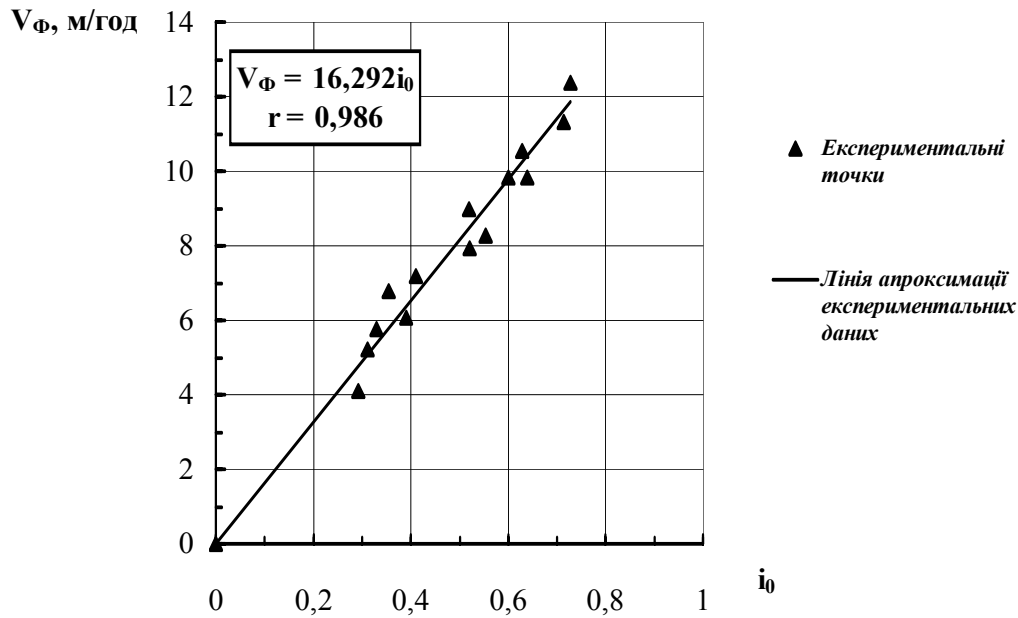


Рис. 1. Залежність швидкості фільтрування V_{Φ} від гідравлічного похилу i_0 при фільтруванні води у клиноптилолітовому завантаженні фракції 1,0–1,25 мм

В умовах проведення нашого експерименту отримано $\varepsilon_0 = 0,51$ (при уявній густині клиноптилоліту $\rho_y = 2,16 \text{ г/см}^3$ [8] та насипній густині $\rho_H = 1,058 \text{ г/см}^3$); $d_e = 1,13 \text{ мм}$, а також прийняте табличне значення $\nu = 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при $t_{\text{води}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$) [5]. При підстановці числових даних у формулу (3) отримано значення коефіцієнта форми зерна для Закарпатського клиноптилоліту $\alpha_{\Phi} = 2,59$ (для порівняння: Азербайджанський клиноптилоліт за даними І.С. Бабаєва та Г.Г. Руденка характеризується $\alpha_{\Phi} = 2,2$ [6]).

Отримане даним методом числове значення α_{Φ} є дещо завищеним, оскільки є не геометричним коефіцієнтом форми зерен, а гідравлічний коефіцієнт форми шару завантаження, оскільки не вся поверхня зерен вносить рівноцінний вклад в опір через часткове взаємне перекриття поверхонь суміжних частинок [6]. Крім цього формула (2) не враховує вплив адсорбційних сил, які діють між частинками пористого середовища та молекулами рідини. Як відомо, внаслідок дії цих сил на поверхні частинок пористого середовища утворюється плівка зв'язаної рідини, яка не бере участі у русі. Шар зв'язаної рідини зменшує дійсну шпаруватість і змінює величину поверхні завантаження, що омивається потоком при фільтрації [4]. Очевидно, цей чинник у нашому випадку має значний вплив при відхиленні числового значення α_{Φ} від істинного через значну гідрофільність природного клиноптилоліту.

У формулі (3) зручно об'єднати всі величини, які характеризують шпаруватість завантаження фільтра та в'язкість води у коефіцієнт

$$\Psi = 18,72\alpha_{\Phi}^2 v \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} \text{ м}\cdot\text{с}. \quad (4)$$

Тоді після елементарних перетворювань та підстановки числових значень у системі СІ у формулу (3) отримаємо

$$i_0 = 0,00028 \frac{v_{\Phi}}{d_e^2}. \quad (5)$$

Втрати напору у фільтрувальному шарі адсорбера становлять

$$h_0 = 0,00028 \frac{v_{\Phi} L}{d_e^2} \text{ м}. \quad (6)$$

Отже, втрати напору у клиноптилолітовому завантаженні адсорберів фракції 1,0–1,25 мм при швидкостях фільтрування 2,5–12 м/год слід приймати 0,15–0,73 м на 1 м висоти завантаження.

На величину об'ємного коефіцієнта масопередачі при адсорбції забруднюючих речовин визначальний вплив має гідродинамічний режим потоку рідини між шпарами завантаження [7]. У критеріальні рівняння адсорбції входить величина числа Рейнольдса для зернистого шару Re_3 , який визначається за формулою

$$Re_3 = \frac{2}{3} \frac{\Phi}{1 - \varepsilon_0} Re_0, \quad (7)$$

де Re_0 – модифікований критерій Рейнольдса, який визначають через швидкість фільтрування рідини V_{Φ} та еквівалентний діаметр частинок зерен завантаження d_e :

$$Re_0 = \frac{v_{\Phi} d_e}{v}, \quad (8)$$

Φ – фактор форми, який визначимо як величину, обернену до коефіцієнта форми зерна α_{Φ} . Тоді $\Phi = 0,39$.

Після підстановки числових значень Φ , ε_0 , у формулу (7) отримаємо для завантаження клиноптилоліту фракції 1,0–1,25 мм:

$$Re_3 = 0,0006 \frac{v_{\Phi}}{v}. \quad (9)$$

При розрахунку гідравлічного опору зернистих шарів можна використати залежність

$$h = \lambda \frac{L}{d_{\text{екв}}} \frac{v^2}{2g} \text{ м}, \quad (10)$$

де λ – загальний коефіцієнт гідравлічного опору зернистого шару, який враховує не тільки вплив опору тертя, але й додаткових місцевих опорів, які виникають при русі рідини по викривлених каналах у шарі завантаження та обтіканні нею окремих елементів зерен; $d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр каналів у зернистому шарі, м, який визначається за формулою

$$d_{\text{екв}} = \frac{2}{3} \frac{\Phi \varepsilon_0 d_e}{(1 - \varepsilon_0)}. \quad (11)$$

При $\Phi = 0,39$ та $\varepsilon_0 = 0,51$ отримуємо $d_{\text{екв}} = 0,00031$ м.

Якщо середню швидкість руху рідини у шпарах завантаження v визначити, як $V = V_{\Phi} / \varepsilon_0$, то після підстановки числових даних та елементарних перетворень отримаємо розрахункову формулу для визначення коефіцієнта λ :

$$\lambda = 0,00158 \frac{i_0}{v_{\Phi}^2}. \quad (12)$$

Після підстановки у формули (9) та (12) отриманих експериментальних даних отримаємо графічну залежність $\lambda = f(\text{Re}_3)$ (рис. 2), яка з достатньою точністю (коефіцієнт кореляції $r = 0,965$) апроксимується рівнянням (пунктирна лінія):

$$\lambda = \frac{172}{\text{Re}_3}. \quad (13)$$

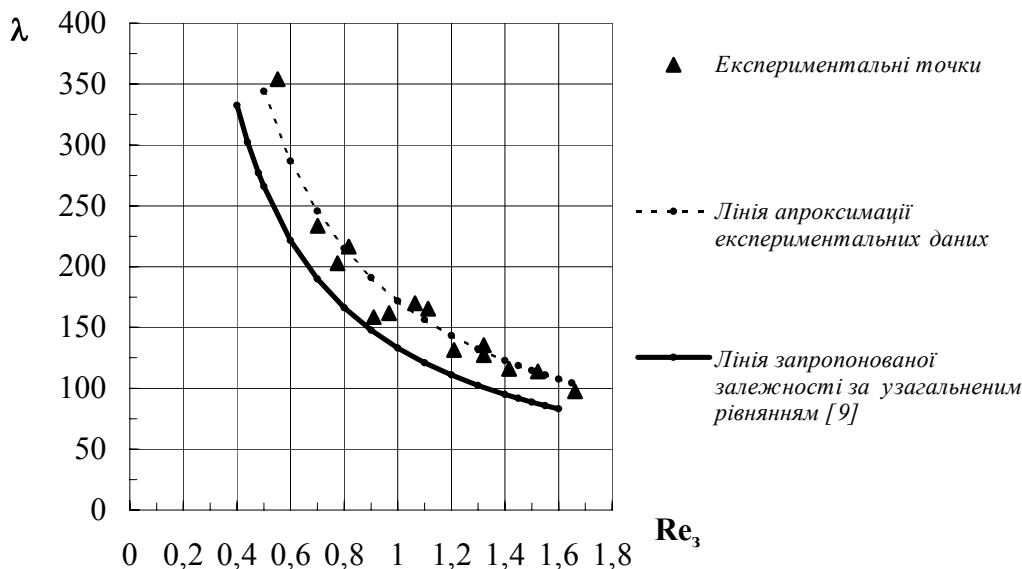


Рис. 2. Залежність загального коефіцієнта опору λ від числа Рейнольдса під час фільтрування води у клиноптилолітовому завантаженні фракції 1,0–1,25 мм (штрихова лінія) та обчисленого за узагальненим рівнянням [9] (суцільна лінія)

Залежність (13) відрізняється від запропонованого у [9] і розповсюдженого у інженерній практиці узагальненого рівняння

$$\lambda = \frac{133}{\text{Re}_3}, \quad (14)$$

яке отримане із рівняння Ергана при значенні константи Козені-Кармана $K=4,17$ [2]. Обчислена у нашому випадку константа Козені-Кармана становить $K=5,4$, що дає можливість зарахувати клиноптилоліт до II та III групи зерен нерегулярної форми за класифікацією М.Е. Аєрова та О.М. Тодеса (при значенні константи Козені-Кармана $K=5$ [2]).

Висновки. Отже, результати проведених досліджень дають можливість із максимальною точністю визначити втрати напору у адсорбері за типом швидкого фільтра із клиноптилолітовим завантаженням (формула (6)), і вказують, що клиноптилоліт володіє дещо більшим гідравлічним опором (формула 13) порівняно із традиційними фільтрувальними матеріалами через значну шорсткість, тріщинуватість та різко неправильну форму його поверхні.

1. Рогов В.М., Регуш А.Я., Сівак В.М. Доочищення стічних вод гальванічних виробництв природним клиноптилолітом // Зб. матеріалів VIII Міжнар. наук. конф. "Актуальні проблеми будівництва та інженерії доквілля, Львів-Кошице-Жешув", Львів, 6–11 жовтня 2003 р. – С. 183–186.
 2. Аєров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. – Л.: Химия, 1968. – 512 с. 3. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с. 4. Минц Д.М., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов. – М.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1955. – 111 с. 5. Справочник по гидравлике / Под ред. В.А. Большакова. – К.: Вища шк., 1984. – 343 с. 6. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды: Справочное пособие. – Л.: Стройиздат, 1985. – 120 с. 7. Веницианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких

сред. – М.: Наука, 1983. – 238 с. 8. Мацієвська О.О. Використання цеолітів карпатських родовищ у процесах очищення питної води від амонійного азоту: Дис. ...кан. тех. наук. – Ів.-Франківськ, 1998. 200 с. – Машинопис. 9. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 9-е изд., исп. – М.: Химия, 1973. – 784 с.

УДК 621.578 /088.8/

О.О. Савченко, І.С. Балінський
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання та вентиляції,

НАГРІВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РОЗДІЛЬНИКА НА ДІЮЧІЙ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНІЙ СТАНЦІЇ

© Савченко О.О., Балінський І.С., 2004

Встановлена аналітична залежність між значеннями критичної температури та температури на вході в газорозподільну станцію під час дроселювання. Визначено тепловий баланс енергетичного розділення природного газу.

Analytic dependence between values of critical temperature and natural gas temperature on entrance in to the gas-distributive installation at its throttling has been determined. Heating balance of the natural gas's energy separation was determined.

Постановка проблеми. На газорозподільних станціях (ГРС) відбувається дроселювання природного газу зі зниженням тиску від значень його в магістральних газопроводах до тиску в розподільних газопроводах, тобто в діапазоні від 10–3 МПа на вході до 1,2–0,1 МПа на виході регулятора тиску газу. Внаслідок дросель-ефекту Джоуля-Томсона відбувається зниження температури, яке визначається диференціальним температурним ефектом дроселювання, величина якого становить 5,5 °С на 1МПа зниження тиску. При цьому під час дроселювання через зниження температури і тиску змінюється вологовміст природного газу. У певному діапазоні значень тисків і температур відбувається конденсація водяної пари із газу при його насиченні з подальшим утворенням кристалогідратів, що є небажаним під час експлуатації ГРС. Утворення кристалогідратів, тобто комплексних сполук водяної пари з вуглеводнями, починається після початку конденсації за досягнення певної температури, яку надалі назвемо критичною температурою $t_{кр}$, а тиск – критичним $p_{кр}$. З метою запобігання цьому небажаному явищу здійснюється нагрівання природного газу перед дроселюванням. Нами розробляється метод нагрівання природного газу з використанням енергетичного роздільника [1–7, 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій показує відсутність даних про вологовміст і тепловий баланс енергетичного розділення природного газу на діючих газорозподільних станціях [8–10].

Мета роботи: встановлення залежності критичної температури початку конденсації водяної пари від температури на вході в ГРС для проведення інженерних розрахунків при проектуванні ГРС та встановлення теплового балансу енергетичного розділення природного газу.

У літературних даних наведені графічні залежності для зміни вологовмісту ідеального насиченого природного газу від тиску і температури. Вологовміст природного газу з відносною густиною $\bar{\rho} = 0,6$ можна визначити на основі формули Р. Бюкачека