ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

УДК 628.126

Орлов В. О., д.т.н., проф., Мінаєва Н. Л., к.т.н., асистент кафедри водопостачання та бурової справи (Національний університет водного господарства і природокористування, м. Рівне)

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ПРОМИВКИ ФІЛЬТРУЮЧОЇ ЗАСИПКИ В БАШТАХ-КОЛОНАХ З ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОЮ ЗАСИПКОЮ

Проведено аналіз існуючих формул та отримані нові залежность для визначення змінної величини поруватості плаваючого зернистого фільтрувального матеріалу.
Ключові слова: пінополістирольна засипка, баштова установка, ефект знезалізнення, відносне розширення засипки.

Проведен анализ существующих формул и получены новые зависимости для определения переменного значения пористости плавающего зернистого фильтровального материала.
Ключевые слова: пенополистирольная загрузка, башенная установка, эффект обезжелезивания, относительное расширение загрузки.

The analysis of existing formulas was done and a new functional dependences for measuring a changing value of porous floating granular material was got.
Keywords: polystyrene filler, tower unit, the effect of de-ironing, filler's relative dilatation.

Зазвичай промивка фільтрів з плаваючою засипкою проводиться низхідним потоком промивної води з над фільтрового простору корпусу фільтра. При малих значеннях швидкості руху води цей процес можна розглядати як фільтрування в напрямку пониження крупності гранул засипки [1, 2]. При цьому гранули знаходяться в нерухомому стані. Напір води, яка проходить через пори зернистого середовища, частково втрачається на подолання сил тертя, що з'являються на границі вода – поверхня гранул. При досягненні величини падіння гідродинамічного тиску промивної води в засипці, рівному по величині її масі у воді, починається розширення фільтрувального шару, збільшення його пористості і перехід гранул з щільного стану в стан хаотичного руху в визначеному об'ємі.

Після закінчення процесу промивки засипка переходить в щільний стан. При цьому спостерігається гідравлічне сортування гранул: у верхніх шарах розташовуються крупніші, більш легкі гранули полістиролу, а нижніх – важчі, більш мілкі. Після промивки і ущільнення засипки фільтр переводять в режим фільтрування.

Для вивчення і характеристики розширення зернистих метеріалів в процесі промивки використовується наступна залежність [3, 4].

$$\mathrm{Re} = \frac{Ar \cdot m^{4.75}}{18 + 0.61 \cdot \sqrt{Ar \cdot m^{4.75}}}, \qquad (1)$$

де m – поруватість зернистого шару;

Re – критерій Рейнольдса: $\mathrm{Re} = v \cdot d / \upsilon$;

Ar – критерій Архімеда

$$Ar = \frac{d^3 \cdot (\rho_\beta - \rho_n) \cdot g}{\upsilon^2 \cdot \rho_\beta}, \qquad (2)$$

v – швидкість руху промивної води, м/год;

υ – кінематичний коефіцієнт в'язкості промивної води, м^2/с;

$\rho_в$, $\rho_п$ – густина води та питома маса спінених гранул полістиролу, кг/м^3;

g – прискорення земного тяжіння, м/с^2;

d – діаметр спінених гранул полістиролу, м.

Для підземних вод круглорічна температура води є стабільною і знаходиться в межах 8...13° С. Тому визначимо максимальну абсолютну похибку δ при вирахуванні критерію Архімеда для заданих нами умов t=8...13°С і $\rho_в$=1000...998,98 кг/м^3, d=0,6...5 мм. Значення абсолютної похибки δ_{Ar} при розрахунку критерію Архімеда не перевищує 0,26%.

Враховуючи вищесказане, формула (2) трансформується в

$$Ar = 5{,}8 \cdot 10^9 \cdot d^3 \cdot (1000 - \rho_n). \qquad (3)$$

Запишемо вираз для визначення числа Рейнольдса, замінивши в ньому швидкість на інтенсивність промивки та підставивши прийняте значення кінематичного коефіцієнта в'язкості промивної води υ=0,0000013 м^2/с для температури 10˚С. При цьому максимальна абсолютна похибка при вирахуванні числа Рейнольдса для заданих нами умов t=8...13°С і d=0,6...5 мм становить не більше 4,6 %.

Тоді отримаємо:

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d}{\upsilon} = \frac{I \cdot d}{1000 \cdot 0{,}0000013}. \qquad (4)$$

Отже,

$$\mathrm{Re} = \frac{I \cdot d}{0{,}0013}. \qquad (5)$$

В подальших розрахунках будемо користуватися формулами (3) і (5).

Для фільтрів із засипкою з плаваючих фільтрувальних матеріалів особливістю є те, що швидкість промивної води достатньо визначати тільки за значенням відносного розширення [5]. Вимиті із частково розширеного шару забруднення осідатимуть під дією гравітаційної сили навіть за мінімального значення швидкості руху промивної води. За такої умови проблема транспортування вимитих із фільтруючого шару забруднень дуже спрощується.

Після перетворень та вирішення рівняння (1) дослідники [6] наводять наступну залежність для визначення параметра змінної поруватості m, що опи-

сує процес промивки зернистих фільтруючих засипок, де напрямок фільтраційного потоку – низхідний:

$$m = \left[\left(0{,}186 \cdot \mathrm{Re}^2 + 0{,}61 \cdot \mathrm{Re}\sqrt{0{,}093 \cdot \mathrm{Re}^2 + 18 \cdot \mathrm{Re}} + 18 \cdot \mathrm{Re}\right) / Ar\right]^{0{,}21}. \quad (6)$$

Приведена залежність дозволяє визначити поруватість зернистого середовища в широкому діапазоні зміни його стану – від початку розширення і до моменту переходу його в завислий стан.

Існує інший різновид залежності (6) запропонований Тодесом [4], що через свою відносну простоту набув найбільшого поширення:

$$m = \left[\left(0{,}36 \cdot \mathrm{Re}^2 + 18 \cdot \mathrm{Re}\right) / Ar\right]^{0{,}21}. \quad (7)$$

Проте, це рівняння досить недосконале і потребує доопрацювання. Так, у роботі [6] Мягким Д.Д. для фільтрів з плаваючими фільтруючими засипками було запропоновано змінити показник степеня загального виразу на 0,18:

$$m = \left[\left(0{,}36 \cdot \mathrm{Re}^2 + 18 \cdot \mathrm{Re}\right) / Ar\right]^{0{,}18}. \quad (8)$$

Порівнюючи вирази (6) і (7), видно, що перші дві складові залежності (6) записано у вигляді першої складової залежності (7):

$$0{,}186 \cdot \mathrm{Re}^2 + 0{,}61 \cdot \mathrm{Re} \cdot \sqrt{0{,}093 \cdot \mathrm{Re}^2 + 18 \cdot \mathrm{Re}} = 0{,}36 \cdot \mathrm{Re}^2. \quad (9)$$

Тобто у всіх виразах є практично ті самі складові. Відношення між висотою розширеного шару та початковим її значенням можна записати

$$\frac{L}{L_0} = \frac{1 - m_0}{1 - m}, \quad (10)$$

де m, m_0 – відповідно змінна та початкова величина поруватості плаваючого зернистого шару. Для пінополістиролу m_0=0,43…0,45.

Чим більша швидкість потоку (інтенсивність промивки), тим більше розширюється засипка та більше її відносне розширення

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1, \quad (11)$$

де L – висота засипки після розширення, м;

L_0 – висота засипки в щільному стані, м.

Після підстановки (10) в (11) отримаємо:

$$e = \frac{L}{L_0} - 1 = \frac{1 - m_0}{1 - m} - 1. \quad (12)$$

За цих умов запишемо значення змінної величини поруватості m:

$$m = 1 - \frac{1 - m_0}{1 + e}. \quad (13)$$

Для кожної крупності зерен існує оптимальна інтенсивність промивки і відносне розширення засипки, при яких буде найкращий ступінь відмивання зерен фільтруючого шару.

На основі отриманих в лабораторних умовах та вирахуваних за емпіричними формулами даних побудуємо графіки залежності інтенсивності розширення фільтруючої засипки від інтенсивності промивки для пінополістиролу з d_e=1,246 мм і $\rho_п$=70 кг/м^3 (рис. 1). На графіку штриховими лініями нанесені кордони для дослідних даних з граничною імовірністю 0,95.

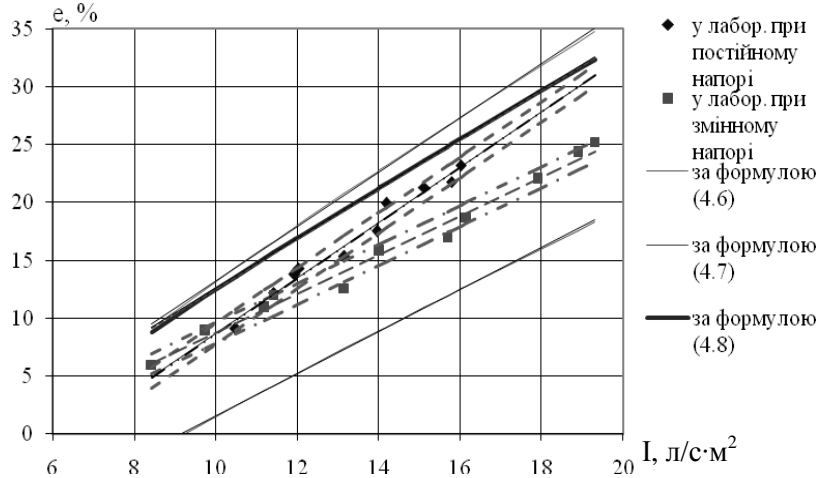

Рис. 1. Графіки залежності відносного розширення пінополістирольної засипки від інтенсивності промивки

За результатами отриманими в лабораторних дослідженнях за умов постійного та змінного напору води розрахована абсолютна похибка поруватості за формулами (6-8). Отже, розрахунки виконані за формулою (7) зовсім не співпадають із лабораторними значеннями $\delta_{макс}$=24,3...120,1%. Найкращу схожість із результатами, що були отриманні при дослідженні в лабораторних умовах, дає формула (8), проте і в такому випадку результати не є досить коректними. Такі розбіжності між розрахунками за теоретичними формулами та отриманими дослідними даними сталися тому, що залежності (6 – 8) виведені для фільтрів з важкими засипками, що працюють при постійному напорі, та у яких промивний потік є висхідним. В подальших дослідженнях будемо використовувати вираз (8), оскільки він був запропонований саме для плаваючих засипок.

Для корегування формули (8) методом підбору визначимо такий показник степеня загального виразу, при якому результати, отримані при розрахунках будуть максимально наближені до реальних. Для порівняння отриманих результатів на рис. 2 наведено графіки залежності відносного розширення засипки від інтенсивності промивки, отримані в лабораторних умовах та розра-

ховані за формулою (8) при різних показниках степеня загального виразу [7]. Необхідно враховувати, що в установках баштового типу процес регенерації засипки проходить із зміною рівня води над утримуючою решіткою.

На графіку штриховими лініями нанесені кордони для дослідних даних з граничною імовірністю 0,95.

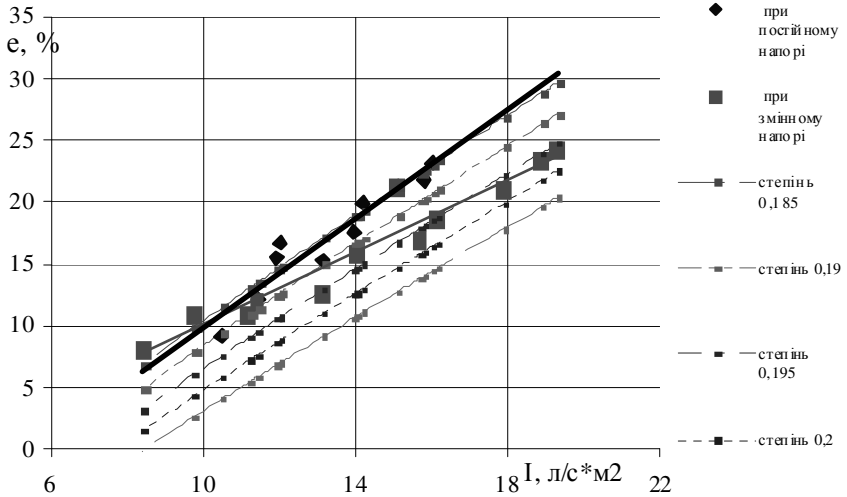

Рис. 2. Графіки залежності відносного розширення засипки від інтенсивності промивки, отримані в лабораторних умовах та розраховані за формулою (6) при різних показниках степеня

З графіків видно, що лінія, яка характеризує зміну відносного розширення пінополістиролу від інтенсивності промивки при постійному напорі в лабораторних умовах майже співпадає з прямою, що відповідає значенню показника степеня 0,185. Тоді

$$m = \left[\left(0{,}36 \cdot \mathrm{Re}^2 + 18 \cdot \mathrm{Re}\right) / Ar\right]^{0{,}185}. \qquad (14)$$

В дану формулу підставимо отримані вище залежності для визначення критерію Архімеда і числа Рейнольдса:

$$m = \left[\frac{0{,}36 \cdot \left(I \cdot d / 0{,}0013\right)^2 + 18 \cdot I \cdot d / 0{,}0013}{5{,}8 \cdot 10^9 \cdot d^3 \cdot (1000 - \rho_n)}\right]^{0.185} = \left[\frac{I \cdot d \cdot 10^4 \cdot \left(21{,}3 \cdot I \cdot d + 1{,}38\right)}{5{,}8 \cdot 10^9 \cdot d^3 \cdot (1000 - \rho_{n)}}\right]^{0.185}.$$

Поділивши даний вираз на $d \cdot 10^4$ отримаємо остаточну формулу для визначення змінної поруватості зернистої засипки:

$$m = \left[\frac{I \cdot (21{,}3 \cdot I \cdot d + 1{,}38)}{5{,}8 \cdot 10^5 \cdot d^2 \cdot \left(1000 - \rho_n\right)}\right]^{0{,}185}. \qquad (15)$$

Проте, для лінії, що характеризує дану залежність при змінному напорі у

лабораторних умовах, найбільш близьким, але не ідентичним є графік, що відповідає показнику степеня 0,195. Тому була отримана емпірична формула, що описує залежність $m = f(I)$ для випадків промивки плаваючої засипки із змінним напором:

$$m = \left[\frac{I \cdot (21{,}3 \cdot I \cdot d + 1{,}4)}{5{,}8 \cdot 10^5 \cdot d^2 \cdot (1000 - \rho_n)} \right]^{0{,}195}. \qquad (16)$$

Підставивши отримані формули у вираз для визначення відносного розширення пінополістирольної засипки, для випадку промивки фільтра з постійним напором формула (15) трансформується в

$$e = \frac{1 - m_0}{1 - \left[\frac{I \cdot (21{,}3 \cdot I \cdot d + 1{,}38)}{5{,}8 \cdot 10^5 \cdot d^2 \cdot (1000 - \rho_n)} \right]^{0{,}185}} - 1. \qquad (17)$$

Якщо ж промивка фільтра з плаваючою засипкою виконується із змінним напором над утримуючою решіткою, як і для випадку баштової установкидля знезалізнення, коректним буде вираз:

$$e = \frac{1 - m_0}{1 - \left[\frac{I \cdot (21{,}3 \cdot I \cdot d + 1{,}4)}{5{,}8 \cdot 10^5 \cdot d^2 \cdot (1000 - \rho_n)} \right]^{0{,}195}} - 1 \qquad (18)$$

В отриманих залежностях $e = f(I, d, \rho_n, m_0)$, тобто відносне розширення пінополістирольної засипки залежить лише від інтенсивності промивки, діаметра, питомої густини гранул фільтруючої засипки та початкової пористості. Це дає змогу використовувати вирази (17) та (18) в інженерних розрахунках процесу регенерації плаваючих засипок з будь-яким гранулометричним складом.

1. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д. М. Минц. – М.: Стройиздат, 1964. – 156 с. **2.** Орлов В. О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. Монографія / В. О. Орлов. – Рівне: НУВГП, 2005. – 163 с **3.** Девидсон И. Ф. Псевдоожижение твердых частиц / Девидсон И. Ф., Харрисон Д. – М.: Химия, 1965. – 465 с. **4.** Романков П. Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П. Г. Романков , М. И. Курочкина. – 3-е изд. перераб. – Л.: Химия, 1982. – 288 с. **5.** Гіроль М. М. Теоретичний аналіз параметрів розширення плаваючого фільтруючого завантаження водоочисних фільтрів при роботі їх в режимі промивки / М. М. Гіроль, А. М. Гіроль // Вісник УДУВГП. Випуск 4 (28). – Рівне, 2004. – С. 129-138. **6.** Мягкий Д. Д. Исследование процессов глубокой очистки отработавших вод станов горячей прокатки в фильтрах с пенополистирольной загрузкой: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.04 "Водопостачання, каналізація" / Д. Д. Мягкий. – М.: 1978. – 24 с. **7.** Мінаєва Н. Л. Дослідження режиму промивки фільтрів з плаваючою засипкою / Н. Л. Мінаєва // Вісник НУВГП: Збірник наукових праць. – Рівне, 2007. – Випуск 4 (41). – С. 169-176.

Рецензент: д.т.н., професор Филипчук В. Л. (НУВГП)