

ДО РОЗРАХУНКУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ ДЛЯ ПОВІЛЬНОГО ФІЛЬТРУВАННЯ ЧЕРЕЗ ШАР СОРБЕНТУ

Подано результати досліджень впливу використання фільтрувального шару сорбенту на допустимі швидкості фільтрування. В статті показано модель фільтрування для паралелепіпеда з в умовах. Виявлено, що внаслідок збільшення швидкості сорбції досягаються найбільш якісний хімічний склад водопровідної води та зменшення шкідливих домішок. За допомогою математичного моделювання обчислено швидкість фільтрування. Використовуючи рівняння для отримання диференціального рівняння руху рідини в потоці, що рухається по каналу (пора фільтру), плоский елементарний паралелепіпед і розглядають його одновимірний рух з початковими і граничними умовами, визначено середню швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда. Використовуючи другий закон механіки для одновимірного руху, отримано критеріальне рівняння для різних форм частинок сорбенту. Приведена математична модель фільтрувального процесу досліджувалась з застосуванням методу кінцевих різниць та програмного забезпечення ANSYS. Показано, що швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда, та вздовж його осі. Отримано, чим більша швидкість фільтрування, тим темніша штриховка області. З допомогою програм ANSYS отримані графічні результати розподілу діапазону фільтрування та швидкості фільтрування через шар сорбенту, що підтверджують математичні обчислення. Для детального аналізу фільтрування через плоску поверхню у вигляді паралелепіпеда, так і для тонкостінних втулок використано процедури числового моделювання Steady-State Filter, метод скінченних елементів та кінцевих різниць в програмному забезпеченні ANSYS. Отриманий розв'язок швидкості методом та альтернативний розв'язок з допомогою пакету ANSYS дає можливість порівняти збіжність обчислень. Застосування чисельних та аналітичних методів надає можливість комплексно проаналізувати технологічні та фізико-хімічні процеси.

Ключові слова: фільтрування, моделювання, швидкість фільтрування, метод кінцевих різниць, метод скінченних елементів, ANSYS.

TO CALCULATE AND MODELING FILTRATION SPEED FOR SLOW FILTERING ON THE SORBENT LAYER

Abstract. It was presented the results of researches of influence of use of a filtering layer of sorbent on admissible filtration speeds are. It was investigated a filtering model for a parallelepiped with in conditions. It was found that due to the increase in the sorption rate, the highest quality chemical composition of tap water and the reduction of harmful impurities are achieved. It was calculated the filtration rate with the help of mathematical modeling. It was determined the average filtration rate along the parallelepiped using the equation to obtain the differential equation of motion of the fluid in the flow moving through the channel (filter time), a flat elementary parallelepiped and consider its one-dimensional motion with initial and boundary conditions. It was obtained the criterion equation for different forms of sorbent particles using the second law of mechanics for one-dimensional motion. It was received and investigated mathematical model of the filtering process with using the finite difference method and ANSYS software. It was shown that the filtering speed along the parallelepiped and along its axis. It was obtained, the higher the filtering speed, the darker the hatching area. It was obtained graphical results of the distribution of the filtration range and filtration rate through the sorbent layer, which confirm the mathematical calculations using ANSYS programs: Steady-State Filter numerical simulation procedures, finite element method, and finite differences in ANSYS software. It were used for detailed analysis of flat-surface filtering in the form of a parallelepiped and for thin-walled bushings. It was obtained speed solution by the method and the alternative solution using the ANSYS package make it possible to compare the convergence of calculations. The use of numerical and analytical methods provides an opportunity to complex analyze technological and physicochemical processes.

Key words: filtering, simulation, filtering speed, finite difference method, finite element method, ANSYS.

Аналіз останніх джерел. Сорбційні технології використовуються в водопідготовці для освітлення води та поліпшення її органолептичних якостей шляхом видалення розчинених органічних речовин та газів. В технології очищення води активоване вугілля та інші сорбенти застосовуються для зниження кольоровості та запахів води [1,2]. Ці процеси дозволяють використовувати його в цукровій, харчовій та спиртовій промисловості, в складних хімічних виробництвах [1,4]. Процес фільтрування дуже поширений в харчовій промисловості [1-5]. По цільовому призначенню процес фільтрування може бути очисним або продуктовим.

Постановка проблеми та мета роботи. Запропоновано математичну модель процесу фільтрування на стрічкових фільтра та досліджено процес фільтрування з допомогою математичного моделювання, 3D моделювання кінцевих різниць при оптимальній швидкості фільтрування через шар сорбенту.

Виклад основного матеріалу.

Матеріали та методи. Для покращення якості води та для порівняння концентрацій міді застосовували фільтрування. Етапи підготовки води включає: попереднє фільтрування через тонкі сита або сітки з метою видалення грубих механічних домішок та власне фільтрування. Наночастинки активованого вугілля отримували механічним способом. Макроскопічні або мікроскопічні частинки активованого вугілля засипали у млинок із твердими кульками й сточували до найменш можливих розмірів. Отриманий порошок фільтрували, відбираючи з нього мікрочастинки та насипали на фільтрувальний папір. Перед подачею води у трубопровід воду обробляли реагентами. Вода після таких етапів очищення є прозорою, без кольору, присмаку і безпечна для споживання. Для досліджень концентрації мікрокількості міді

використовували лабораторний фотоколориметр або ж спектрофотометр, ділильні лінійки та мірні циліндри і колби [4-7].

Результати та їх обговорення. Для повільного фільтрування дозволяють повільний розподіл фільтрату (рис.1). Середній час завантаження фільтрувального шару - 0,25-0,5 м, швидкість фільтрування - 0.3-0.4 м/год. На практиці час фільтрування, як правило, визначається необхідністю отримання заданої товщини шару осаду: для фільтрів з плоскою горизонтальною перегородкою - 50-250 мм, - для фільтрів - 10-40 мм.

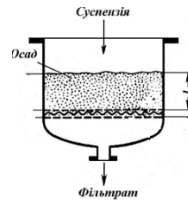


Рис.1 Схема повільного фільтра

Швидкість фільтрування можна розрахувати через константи фільтрування:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{K}{2(V+C)}, \text{ м3/м2с} \quad (1)$$

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu \cdot c \cdot r} \quad (2)$$

C - константа фільтрування, яка характеризує гідравлічний опір фільтрувальної перегородки (м3/м2), K - константа фільтрування, яка враховує режим процесу і фізико-хімічні властивості осаду і рідини (м2/с), V - об'єм фільтру, отриманий з одного м² поверхні фільтру за час τ .

Час, потрібний для утворення осаду товщиною l (час фільтрування), визначають за (рис.1.) і (4.18).

Час, потрібний для проведення допоміжних операцій, визначають за виробничими даними. $\tau_{\text{зар.}} = \tau + \tau_{\text{д.}}$

Кількість фільтрату V , що утворився за цей час, визначають з (1), а середня продуктивність фільтру дорівнює [7,8].

$$V_{\tau \text{ сеп}} = \frac{V_{\text{та}}}{Fl} \quad (3)$$

За заданою продуктивністю фільтрувального агрегату $V_{\text{та}}$ знаходять по таблицях (нормалях) фільтрувальну поверхню одного фільтру і товщину шару осаду. Далі розраховують кількість циклів фільтрування, котрі треба здійснити [7,8].:

$$a = \frac{V_{\text{та}} x}{Fl} \quad (4)$$

Для отримання диференціального рівняння руху рідини виділяють в потоці рідини, що рухається по каналу (пора фільтру), плоский елементарний паралелепіпед і розглядають його одновимірний рух. На паралелепіпед діють сили [7,8].:

1) тяжіння

$$G_{\tau} = g \, dx \, dy \, dz \quad (5)$$

2) тиску:

$$G_{\text{тис}} = -\frac{\partial p}{\partial x} \, dx \, dy \, dz \quad (6)$$

1) тертя:

$$T = \mu \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} \, dx \, dy \, dz \quad (7)$$

Використовуємо другий закон механіки для одновимірного руху та рівняння Нав'є - Стокса для виведення рівняння фільтрування [7,8]:

$$\rho g - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} = \rho \frac{\partial \omega_x}{\partial \tau} \quad (8)$$

З (9) отримуємо критеріальне рівняння фільтрування. Для цього (9) ділимо на праву частину.

$$\frac{\rho g \partial \tau}{\rho \partial \omega_x} - \frac{\partial p \partial \tau}{\partial x \rho \partial \omega_x} + \frac{\mu \partial \tau \partial^2 \omega_x}{\rho \partial \omega_x \partial y^2} = 1 \quad (9)$$

1 2 3

1 складова:

$$\frac{g \partial \tau}{\partial \omega_x} \rightarrow \frac{g \tau}{\omega} \cdot \frac{l}{l} \rightarrow \frac{gl}{\omega^2} = Fr \quad (10)$$

Fr - критерій Фруда; характеризує відношення сил тяжіння до сил інерції.

2 складова:

$$\frac{\partial p \partial \tau}{\partial x \rho \partial \omega_x} \rightarrow \frac{p \tau}{l \rho \omega} \rightarrow \frac{p}{\rho \omega^2} = Eu \quad (11)$$

Eu - критерій Ейлера; характеризує відношення сил тиску до сил інерції.

3 складова

$$\frac{\mu d \tau \partial^2 \omega_x}{\rho \partial \omega_x \partial y^2} \rightarrow \frac{\mu \tau \omega}{\rho \omega l} \rightarrow \frac{\mu}{\rho \omega l} = \frac{1}{Re} \quad (12)$$

В критеріальне рівняння фільтрування Fr не вводять, оскільки при фільтруванні сили тяжіння малі у порівнянні з силами тиску і тертя, але вводять параметричний критерій l/d_e , який характеризує геометричні особливості системи [7,8].

Критеріальне рівняння:

$$Eu = C Re^n \left(\frac{l}{d_e} \right)^m \quad (13)$$

Для сферичної форми сорбенту

$$d_e = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} d_3 \quad (14)$$

Для неправильної форми сорбенту

$$d_e = \Phi \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} d_3 \quad (15)$$

Φ – коефіцієнт форми.

Приведена математична модель фільтрувального процесу досліджувалась з застосуванням методу кінцевих різниць та програмного забезпечення ANSYS. Показано, що швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда, та вздовж його осі. Отримано, чим більша швидкість фільтрування, тим темніша штриховка області. З допомогою програм ANSYS отримані графічні результати розподілу діапазону фільтрування та швидкості фільтрування через шар сорбенту, що підтверджують математичні обчислення. Для детального аналізу фільтрування через плоску поверхню у вигляді паралелепіпеда, так і для тонкостінних втулок використано процедури числового моделювання Steady-State Filter, метод скінченних елементів та кінцевих різниць. Отриманий розв'язок швидкості математичним методом та альтернативний розв'язок з допомогою пакету ANSYS дає можливість порівняти збіжність обчислень. (рис.2).

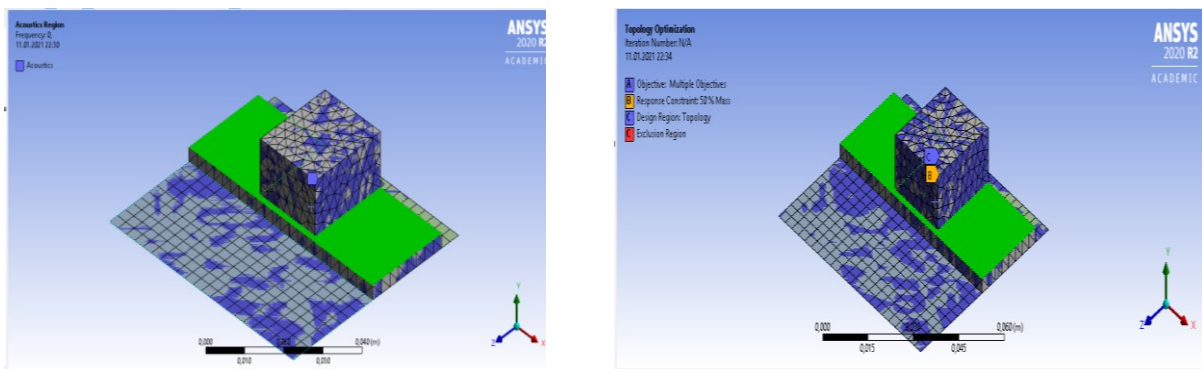


Рис.2. Математична модель фільтрування з допомогою пакету ANSYS

Висновки

В статті показано модель фільтрування для паралелепіпеда з в умовах повільного фільтрування. Використовуючи рівняння для отримання диференціального рівняння руху рідини, що рухається через канал (пора фільтру), плоский елементарний паралелепіпед і розглядають його одновимірний рух з початковими і граничними умовами, при цьому визначено середню швидкість фільтрування вздовж паралелепіпеда. Використавши другий закон механіки для одновимірного руху, отримано критеріальне рівняння фільтрування для різних форм частинок сорбенту. Приведена математична модель фільтрувального процесу досліджувалась з застосуванням методу кінцевих різниць та програмного забезпечення ANSYS. Показано, що швидкість фільтрування вздовж осі паралелепіпеда змінюється, при чому, чим більша швидкість фільтрування, тим темніша штриховка області.

Література

1. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води – К.: Вища школа, 2005. – 67 с.
2. Кульський Л.А., Гороновський І.Т., Когановський А.М., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. – К.: Наук. думка, 1980. – Ч. 1, 2. – 1206 с.

3. Жужиков В.А. Фильтрование. – М.:Химия, 1968. – 412с.
4. Айнс Э. Л. Обыкновенные дифференциальные уравнения / Айнс Э. Л. – Харьков : Гос. научно-тех. изд-во Украины, 1939. – 718 с.
5. Бомба А. Я. Математичне моделювання процесу фільтрування та регенерації фільтру /А. Я. Бомба, В. М. Сівак, А. П. Сафоник // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : Зб. наук. пр. – Вип. 2 (42). – Рівне : НУВГП. – 2008. – С. 263–268.
6. Венецианов Е. В. Математическое описание фильтрационного осветления суспензий / Венецианов Е. В., Сенявин М. М. // Теорет. основы хим. технологии – 1976 – № 4. – С. 584–591
7. Горелкин В. Н. Вычисление силы взаимодействия макроскопических тел, разделенных тонкой пленкой электролита / Горелкин В. Н., Смилга В. П. // Коллоид. журн. – 1972. – Т. 34, № 5. – С. 685–695.
8. Грабовский П. А. Математическая модель регенерации скорых фильтров / Грабовский П. А. // Химия и технология воды. – 1989. – Т. 11, № 4. – С. 296–300.

References

1. Zapolsky A.K. Water supply, drainage and water quality. – Kiev: Higher School, 2005 – 67 p.
2. Kulsy L.A., Goronovsky I.T., Koganovsky A.M., Shevchenko M.A. Handbook of properties, methods of analysis and water purification. - Kiev: scientific opinion, 1980. – Part 1, 2. – 1206 p.
3. Zhuzhikov V.A. Filtering. – Moscow: Chemistry, 1968. – 412с.
4. Ains E. L. Ordinary differential equations / Ains E. L. – Kharkiv: State scientific and technical publishing house of Ukraine, 1939. – 718 p.
5. Bomba A.Y. Mathematical modeling of the filtration process and filter regeneration / A. J. Bomba, V.M. Sivak, A.P. Safonyk // Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Sciences: Coll. Science. etc. – N. 2 (42). – Rivne: National University Vodnogo Gospodarstva - 2008. - P. 263–268.
6. Venetsianov E.V. Mathematical description of filtration clarification of suspensions / Venetsianov E.V., Senyavin M.M. // Theoretical basics of chemistry technologies. – 1976 – № 4. - P. 584–591
7. Gorelkin V.N. Calculation of the force of interaction of macroscopic bodies separated by a thin film of electrolyte / Gorelkin V.N., Smilga V.P. // Colloid magazine. – 1972. – V. 34, № 5. - P. 685–695.
8. Grabovsky P.A. Mathematical model of regeneration of fast filters / Grabovsky P.A. // Chemistry and technology of water. – 1989. – N. 11, № 4. – P. 296–300.

Рецензія/Peer review : 21.01.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.