

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФІЛЬТРУВАННЯ ВОЛОГИ ЧЕРЕЗ ПОРОВИЙ ПРОСТОР ОСАДІВ

Выполнено исследование особенностей фильтрации влаги под действием перепада давлений в поровой среде осадков с применением методов численного моделирования процесса.

WATER FILTRATION PECULIARITIES INVESTIGATION THROUGH THE PORE MEDIA OF SEDIMENTS

A peculiarities of water filtration flows have been investigated through pores media of sediments with numerical modelling.

За останні десятиліття збільшилася зольність і вміст мілкового класу 0–1 мм у вугіллях, що надходять на збагачувальні підприємства. Це пов'язане з переходом вугледобувної галузі на розробку більш тонких пластів, які глибоко залягають, та переподрібнюванням вугілля. При цьому визначальне значення набуває збагачення і зневоднювання дрібних і тонких класів.

Для зневоднення флотаційних концентратів застосовуються механічні методи на першій стадії, що є найбільш дешевими. На другій стадії застосовують термічне зневоднення для видалення залишків капілярної вологи та приведення товарного продукту до стану, в якому його можна транспортувати. При цьому слід відзначити, що термічне зневоднення є екологічно небезпечним та коштовним методом.

Серед всіх процесів, які використовуються при збагаченні вугілля, собівартість сушіння є найбільш високою після так званих водно-шламових процесів, що поєднують в собі всі технологічні операції, пов'язані з обробкою шламових вод та шламів.

Зниження вмісту вологи у флотаційному концентраті, який надходить до сушіння разом з крупнозернистим шламом та концентратом крупністю 0.5-13 мм, дозволить зменшити витрати палива на термічне зневоднення або зовсім відмовитися від нього.

Все вказане вище обумовило широкий розвиток досліджень, що направлені на підвищення ефективності відносно мало коштовних механічних способів зневоднення.

Одним з досить широко розповсюджених різновидів механічного зневоднення є фільтрування під дією перепадів тиску, яке створюється в свою чергу двома способами: створенням перепаду між атмосферним тиском та розрідженням та перепаду між надлишковим тиском та атмосферним. Перший спосіб відомий під назвою вакуумного фільтрування й застосовується для шламів та флотаційних концентратів, другий – для важкофільтруємих осадів відходів флотації.

В роботах таких відомих вітчизняних дослідників як Бейлін М.Й., Жужіков В.О., Клешнін О.А., Майдуков Г.Л., Полулях О.Д. та багатьох інших розглянуто залежності швидкості фільтрування від властивостей порового середо-

вища осаdів, гранулометричного складу живлення, різних технологічних параметрів від властивостей твердої фази. Закордонні вчені також мають значний внесок в вивчення складних процесів, що відбуваються при фільтруванні (Fat I, King P. R., Mellor D. W.).

Не зважаючи на широкий спектр досліджень в цьому напрямку, існує багато складних проблем, що пов'язані з властивостями порової структури, якою є осаd тонкого вугілля або шламу.

Метою даної роботи є дослідження особливостей фільтрування вологи через поровий простір осаdів.

Рішення поставленої задачі виконувалось чисельним моделюванням, для чого використано дві моделі.

Перша модель зображує осаd у вигляді розгалуженої мережі каналів та розширень, яка може бути представленою як чергування куль та стрижнів, що періодично повторюються [1]. Кульки представляють пору, а стрижні – вузькі протоки (шпарки або горловини пор).

Ця модель одержала найбільше розповсюдження у дослідників та запобігла успішному моделюванню кривих капілярного витікання вологи, результати яких добре збігаються з експериментальними даними.

Така мережа може охоплювати всі властивості капілярів, зокрема співвідношення між насиченням вологою з капілярним тиском. Пори та вузькі протоки в такій моделі в вигляді мережі розглядались як випадково розподілені.

Дослідженнями встановлене, що просторове співвідношення між ними має значний вплив на поведінку потоку вологи при його пересуванні в поровому середовищі [2, 3]. При моделюванні таке порове середовище може бути представленим у вигляді графа. Приклад побудови графа наведено на рис. 1.

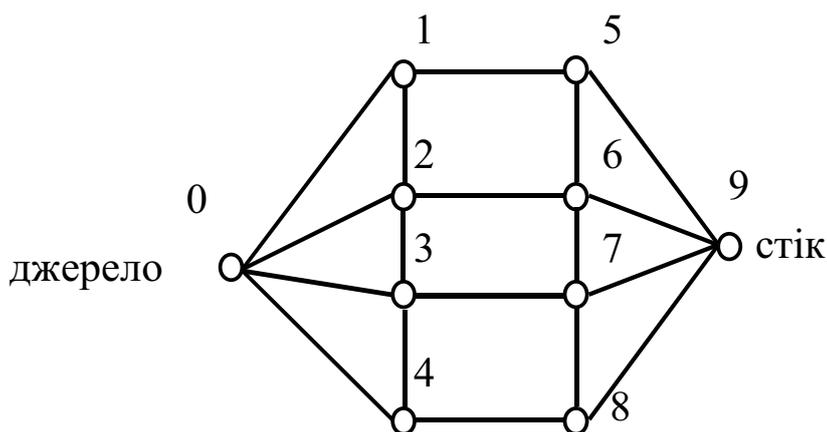


Рис. 1 - Граф порового середовища осаdу

Вершини або шпилі графу моделюють окремі пори порового середовища. В графі, який представлено на рис. 1, пора, що має номер нуль являється джерелом, а пора, що має номер дев'ять – стоком.

Горловина пори являє собою стрижень, що зв'язує дві кульки на кінцях. Діаметр стрижня дорівнює радіусу найменшої із зв'язаних кульок. Таким чином, діаметр горловини пори завжди є меншим, ніж розмір зв'язаних пор.

Вказаний граф має наступні властивості та особливості.

Ребра або дуги графу мають напрямок, тобто є орієнтованими. В поровому середовищі це шпарки або канали, які з'єднують окремі пори. Всі потоки в реальному поровому середовищі осаду мають однозначний напрямок, що виникає під дією перепаду тиску. Таким чином цей граф є орієнтованим і всі його ребра уявляють собою дуги.

Пара вершин в графі може бути з'єднаною більш, ніж однією дугою. Таке з'єднання являється типовим для порового середовища осадів в процесі фільтрування тому, що вони формують складну структуру з великою кількістю великих та малих каналів, частка з яких є ізольованими. В даному разі граф вважається мультіграфом.

Найбільший інтерес з точки зору вивчення властивостей графу як моделі порового середовища, в якому йде складний процес переносу вологи, представляють собою прості шляхи. Прості шляхи дозволяють просліджувати кінетику переміщення вологи в поровому середовищі. Шлях в графі – це така послідовність дуг, коли кінець попередньої дуги являє собою початок наступної. Шлях вважається простим, якщо по одній і тій же дузі не проходять двічі.

Кожний шлях має вагу, що дорівнює сумарної ваги всіх дуг, які складають його. Шлях вважається Ейлеревим, якщо по одній дузі проходять один раз. Таким чином, аналіз переміщення вологи базується на виділенні Ейлеревих шляхів на графі порового середовища осаду.

В тому разі, коли всі шпиль графу мають зв'язки в прямому та зворотному напрямках, граф вважається симетричним. Але в реальних умовах такий стан як правило ніколи не має місця. Тому граф, що описує властивості порового середовища осаду являється антисиметричним.

В тому випадку, коли кожний шпиль графу з'єднується зі всіма іншими шпильми, граф вважається повним. Але ж реальні системи осадів уявляють собою неповні аналоги графів. Таке становище виникає тому, що реальні системи складаються з десятків та сотень вузлів, де на кожний вузол приходиться від одного до десяти зв'язків (дуг). Крім всього, в поровому середовищі осаду є в наявності ізольовані канали, які не зв'язані з іншими.

Таким чином, виконаний аналіз дозволяє розглядати систему порового середовища осаду як неповний антисиметричний орієнтовний мультіграф.

При моделюванні пересування вологи в поровому середовищі спочатку мережа насичувалася фазою, яка змочує, та зв'язується з джерелом, яке не змочується та стоком, який змочується. В такому разі волога або рідина повинна рухатися в напрямі від джерела до стоку. В результаті моделювання одержані криві залежності капілярного тиску від насичення порового середовища рідиною та проникності середовища [4].

Для чисельного моделювання складних процесів, які протікають при вакуумному зневоднюванні мілкового вугілля, розроблена комп'ютерна модель. Ця модель дозволяє досліджувати кінетику взаємодії фаз та базується на дискрет-

них елементах. Досить докладно робота моделі та необхідні параметри для її роботи описані в монографії [5]. В основі моделі – розглядання взаємодії частинок при їх контакті [6].

В моделі підбиралися коефіцієнти тертя, в'язкісного опору та інші параметри, кількість яких досягає майже тридцяти, з урахуванням властивостей осадів вугільного концентрату, що утворюються на поверхні фільтрувальної сітки або тканини.

В процесі чисельного моделювання процесу фільтрування вугільного шламу під дією перепаду тиску визначалося змінювання координат центрів ваги кожного з 2000 елементів, які уявляли собою рідину. Також обчислювалась швидкість його переміщення в різних напрямках.

Дані, які були одержані в результаті роботи комп'ютера, оброблялись спеціально розробленою програмою Vectors. Ця програма дозволяє на умовному графічному зображенні моделі виділяти різними кольорами осередки, що мають однаковий напрям переміщення. Також графічно зображується напрямок та величина швидкості переміщення. Результати обробки даних в графічній формі приведені на рис. 2.

Окремі точки на рис. 2 уявляють собою групи елементів, які моделюють рідину. Від точок відходять лінії, які по величині та напрямку відповідають пересуванню центрів ваги елементів. Кольором виділені наступні напрямки пересування центрів ваги: зелений – вверх ліворуч, червоний – вверх праворуч, синій – вниз вліво, фіолетовий – вниз вправо. Для забезпечення ефективного зневоднення особливе значення мають останні два випадки пересування.

Аналіз графічних зображень моделі в різні моменти часу свідчать про те, що в процесі витікання рідини під дією різниці тиску в поровому середовищі осадів утворюються канали. Ці канали і є основними магістралями для видалення значної частини вологи. Це підтверджує зроблений раніше висновок про питому вагу цих каналів в поровому середовищі [7]. Майже 95% всієї рідини, яка видаляється, пересувається через ці канали.

Слід особливо відзначити, що об'єм цих каналів не перевищує кількох відсотків від всього об'єму середовища, яке фільтрується.

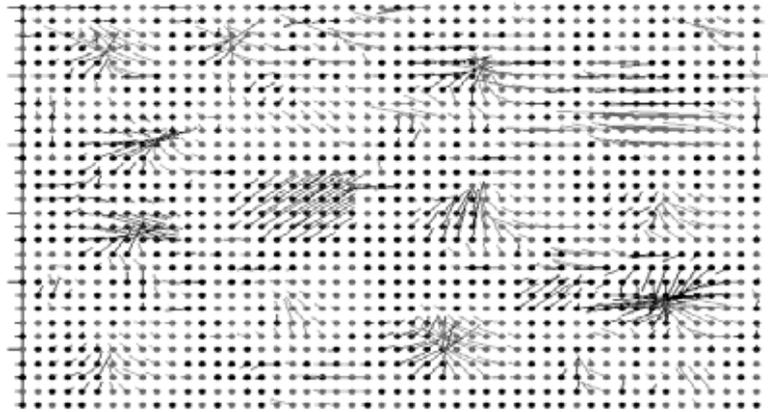
Крім того, з порівняння моментів часу, які зображені на рис. 2а, б та в слідує, що в рідині формуються ділянки. Ці знов утворені ділянки умовно можна назвати кластерами.

Кластери, що зазначені вище, мають єдиний напрямок пересування елементів. При цьому в різні моменти часу відбувається переформування або перебудова кластерів. Одні кластери зникають, на їхньому місці з'являються інші з іншим напрямком пересування, що має перевагу.

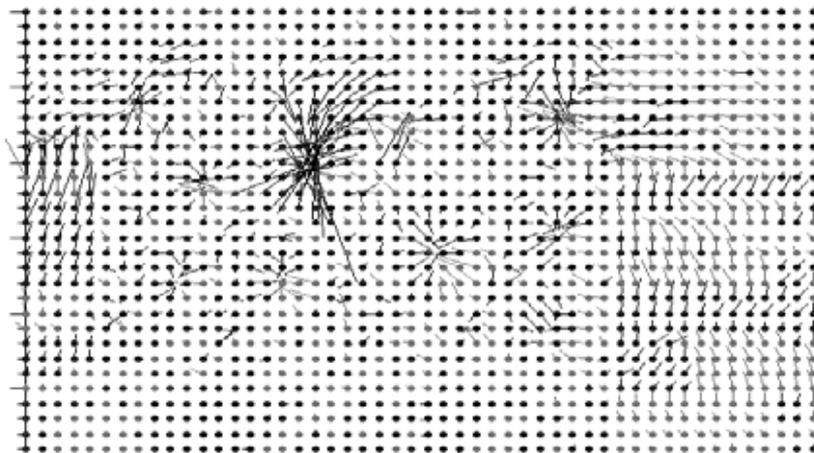
В той же час на іншій ділянці моделі відбуваються аналогічні процеси. На деяких етапах течії процесу зневоднення виникає рух рідини вбік або іноді навіть вгору. Це викликає “заклинювання” вологи в стислих умовах порового середовища осаду та утворювання зв'язаних «пробок» з рідини.

При переформуванні структури осаду відбувається змінювання мережі каналів в об'ємі осаду. Канали, які були глухими, перетворюються на такі, що проводять рідину, й волога може видалятися більш повно.

a)



б)



в)



а – 0.8, б - 2, в – 3.2 с

Рис. 2 Пересування кластерів рідини в різні моменти часу:

Виповнене дослідження особливостей видалення рідини через порове середовищі осаду під дією перепаду тиску з використанням методів чисельного моделювання процесу дозволяє зробити наступні висновки.

Видалення рідини з порового середовища осаду відбувається як би по черзі. При цьому починається виникнення умовно названих кластерів, які є особливими ділянками в каналах осаду. На одних ділянках волога видаляється відносно вільно, тому що канали осаду, по яким вона рухається, є такими, що проводять рідину. В той же час на інших ділянках волога утримується в глухих каналах.

Для підвищення ефективності зневоднення осадів тонких вугільних концентратів або відходів флотації необхідно використовувати динамічний вплив на осад, як найбільш дешевий засіб. Це повинно прискорити процес переформування кластерів і як наслідок підвищити швидкість пересування рідини. Одним з напрямків використання динамічної дії на осад може бути накладення зсувних деформацій або зсувних полів. Але необхідно подальше дослідження поведінки осаду на різних фазах процесу фільтрування та визначення оптимальної тривалості дії динамічного впливу, часу дії, параметрів прикладеного зсувного поля.

Моделювання та дослідження складних процесів взаємодії фаз при зневодненні продуктів збагачення вугілля при різних способах діяння на них дозволяє визначити шляхи підвищення ефективності використання шламів в промисловості.

Передбачається продовжити дослідження складних процесів, що відбуваються при фільтруванні осадів під дією перепаду тиску для різних умов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Fat I. The network model of porous media (in three parts). Trans. AIME., 1956. - p. 144–181.
2. Jerauld G. R., Salter S. J. The effect of pore-structure on hysteresis in relative permeability and capillary pressure: pore level modeling. Transport in Porous Media, 5, 1990. – p. 103–151.
3. Bryant S., King P. R., Mellor D. W. Network model evaluation of permeability and spatial correlation in a real random sphere packing. Transport in Porous Media, 11, 1993. – p. 53–70.
4. Гарковенко Е.Е. Моделирование перемещения границы раздела смачивающей и несмачивающей фаз в поровой среде осадка // Геотехническая механика. – 2003. - № 41. – с. 193-199.
5. Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Самойлов А.И., Папушин Ю.Л. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. Донецк: Норд-Пресс. – 2002. – 266 с.
6. Гарковенко Е.Е. Взаимодействие фаз при обезвоживании тонких клас сов углей. // Збагачення корисних копалин. – 2001. - № 13(54). – с. 116-121.
7. Е.И. Назимко, Е.Е. Гарковенко Микроструктура кека флотоконцентрата и ее роль в процессах обезвоживания // Збагачення корисних копалин. - 2000. - №9 (50). - С. 93-98.