

УДК [622.464:51.001.57]:622.271.06

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У ГРАВІЙНИХ ФІЛЬТРАХ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ

¹Дзюба С.В., ²Дреус А.Ю., ²Лисенко К.Є.

¹*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України,*

²*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара МОН України*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ГРАВИЙНЫХ ФИЛЬТРАХ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИЯХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

¹Дзюба С.В., ²Дреус А.Ю., ²Лисенко К.Е.

¹*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,*

²*Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара МОН Украины*

GRAVEL FILTERS MODELING PROCESSES USED IN FIELD DEVELOPMENT TECHNOLOGIES

¹Dziuba S.V., ²Dreus A.Yu., ²Lisenko K.Ye.

¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²Oles Honchar Dnipro National University MES of Ukraine*

Анотація. У статті приведено побудовану математичну модель дослідження тепло- та масообмінних процесів в дисперсному середовищі низькотемпературного гравійного фільтра при наявності в ньому фазових перетворень. Урахування переносу теплоти і вологи тільки в радіальному напрямку в якості основного припущення суттєво спрощує дослідження динаміки промерзання і розморожування гравійного фільтру, проте не враховує реальних конструктивних особливостей процесу виготовлення і експлуатації гравійних фільтрів в умовах діючих технологічних процесів при розробці родовищ корисних копалин і переробці вихідної мінеральної сировини. Обґрунтовано, що вугілля та марганцеві руди збагачується гравітаційними методами, а також частка гравітаційних методів постійно підвищується при переробці залізних і поліметалевих руд. У зв'язку з цим удосконалення технологій гравітаційного збагачення викликається необхідністю як аналізу і дослідженню гідродинамічних процесів, що протікають при розділенні мінеральних зерен в апаратах, так і обґрунтування параметрів технологічного устаткування. Функціонування сучасних технологічних процесів знешламлення, згущення, зневоднення і розподілу пульп ґрунтується на використанні наступного устаткування: струменевих зумпфів, згущуючих лійок, конусних сепараторів, а також стрічкових вакуум-фільтрів, які представлені на схемі ланцюгів апаратів технології рудопідготовки. Теплофізичні характеристики дисперсного водонасиченого середовища залежать від вологості, тому при моделюванні промерзання і розморожування гравійних фільтрів необхідно враховувати перенос теплоти і вологи. Під час експлуатації гравійного фільтру в технологіях розробки родовищ мінеральної сировини має місце процес розморожування монолітної структури фільтру. Визначення теплофізичних та масообмінних характеристик системи, що досліджується в роботі зведено до визначення ефективної теплоємності багатокомпонентного та багатозафазного середовища, яка є адитивною величиною.

Ключові слова: гравійні фільтри; технології розробки родовищ, математична модель дослідження тепло- та масообмінних процесів

Гірничодобувна галузь провідних країн світу останніми роками працює в умовах неухильного погіршення якості мінеральної сировини при тому, що потреба в ній постійно зростає. У більшості випадків збільшення обсягу переробки корисних копалин досягається за рахунок застосування гравітаційних методів збагачення на основі впровадження у виробництво нових високотехнологічних машин й апаратів. До 90% вугілля та марганцевих руд збагачується гравітаційними методами; частка гравітаційних методів постійно підвищується при переробці залізних і поліметалевих руд.

У зв'язку з цим удосконалюванню технологій гравітаційного збагачення приділяється все більша увага, що викликає необхідність як вивчення на високому науковому рівні гідродинамічних процесів, що протікають при розділлі мінеральних зерен в апаратах, так і обґрунтування параметрів технологічного устаткування.

Функціонування сучасних технологічних процесів знешламлення, згущення, зневоднення і розподілу пульп ґрунтується на використанні наступного устаткування: струменевих зумпфів, згущуючих лійок, конусних сепараторах, а також стрічкових вакуум-фільтрів. Після основних технологічних операцій метою яких є зневоднення вихідної мінеральної сировини, починається процеси фільтрації та очищення оборотної рідини з використанням різних фільтрів, зокрема і гравійних.

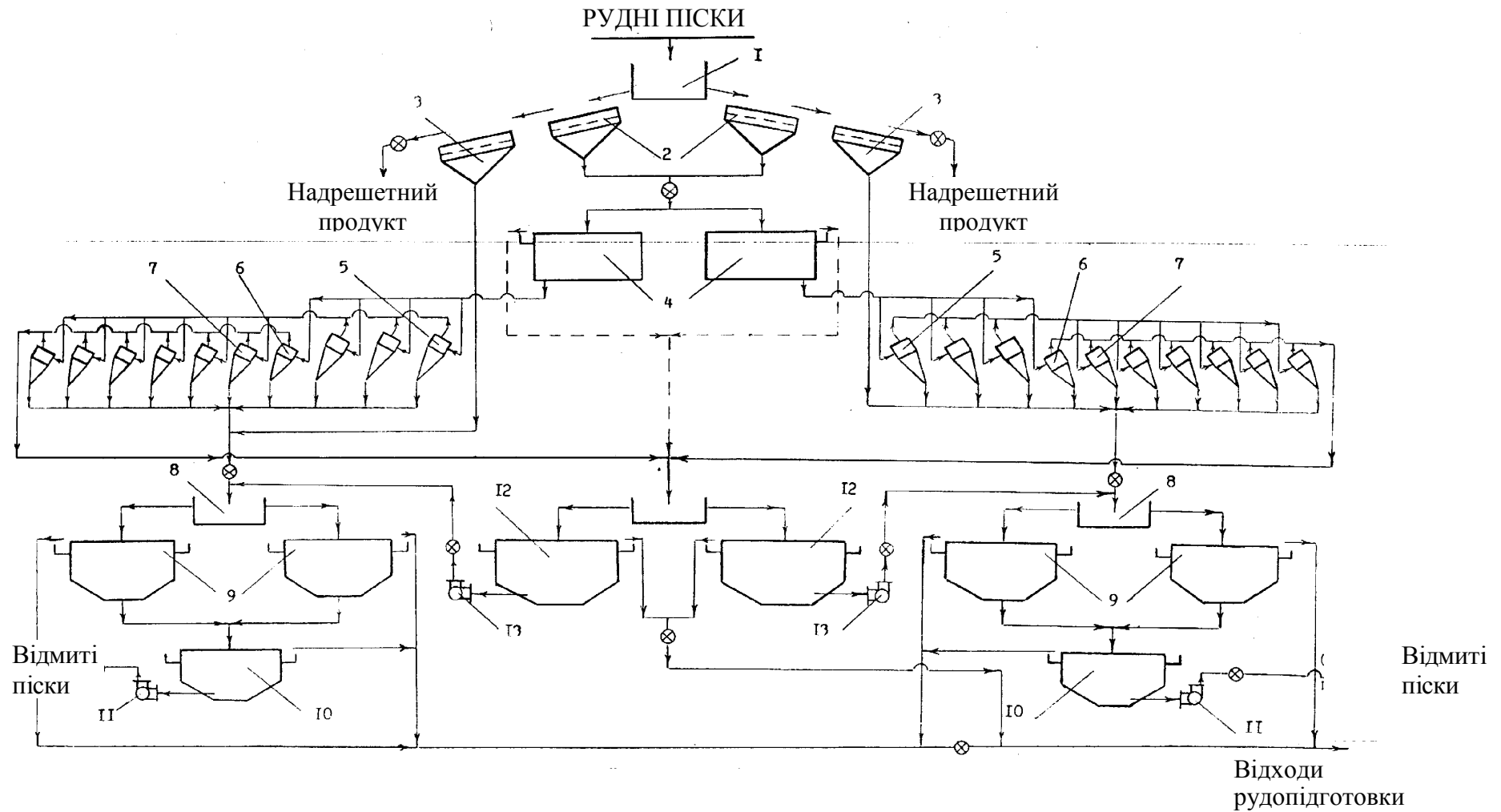
Струменеві зумпфи на збагачувальних фабриках гірничо-металургійних комбінатів використовуються як акумулюючі ємності, в яких здійснюється усереднення, а також знешламлювання рудних пісків. Досвід експлуатації цих апаратів [1-4] послідовно, паралельно з удосконаленням технологій доставки руди і її переробки, потребує використання зумпфів діаметрів 10 м, 15 м 18 м.

Спочатку, при конвеєрному способі доставки рудних пісків на збагачувальну фабрику струменеві зумпфи D10м були встановлені у відділенні дезінтеграції і призначалися насамперед для знешламлювання пісків, які пройшли процес дезінтеграції в протівоточному скрубєрі С-3,6 і лопатевою мийці, а також знешламлювання в гідроциклонах ГЦ750 і ГЦ500 (рис. 1). В результаті промислових випробувань [2-3] було встановлено, що зі зливами контрольних гідроциклонів ГЦ500 у відвал видаляється 65-75% глини. При вмісті глини в подачі струменевого зумпфа 3,5-7,5% з його зливом віддалялося 25-30% глини. При цьому глинистість відмитих пісків для гравітаційного відділення не перевищувала 0,5-1%.

Було також встановлено, що при навантаженні струменевого зумпфа D10м не більше 350 т/год вміст зернистої фракції в зливі становить не більше 6,8 г/л, а втрати зернистої фракції менше 0,9%.

Подальше вдосконалення технологічної схеми відділення дезінтеграції і знешламлювання (рис. 1) здійснювалося з використанням струменевих зумпфів D15м, які забезпечували знешламлювання пісків гідроциклону ГЦ1000. Реалізація цієї схеми потребує рішення ряду завдань [3], зокрема, визначення умов знешламлювання пісків в струменевих зумпфах в залежності від вмісту глини і твердого в подачі на переробку вихідної сировини і оцінки в'язкості пульпи і її граничного значення, при якому припиняється осідання пісків.

Основні технологічні завдання, які вирішуються в результаті застосування згущуючих лійок - це стабілізація навантаження на технологічне обладнання і згущення пульпи. Рішення обох завдань найістотніше для забезпечення ефективності збагачення на конусному сепараторі, на якому в залежності від його типорозміру отримують чорновий і колективний концентрати, а також поділяють циркон-дистеновий продукт.



- 1 – пульпоподільник; 2 – плоский нерухомий грохот 3×4 м; 3 – плоский нерухомий грохот 2×2,5 м; 4 – буферна ванна 35 м³;
 5 – гідроциклон ГЦ 1000; 6 – гідроциклон ГЦ 750 1-го знешламлення; 7 – гідроциклон ГЦ 750 1-го контрольного знешламлення;
 8 – пульпоподільник; 9 – струминний зумпф D15 м; 10 – струминний зумпф D10 м; 11 – ґрунтовий насос 8ГР-8;
 12 – струминний зумпф D18 м; 13 – ґрунтовий насос 1ГР Т400/40

Рисунок 1 – Схема ланцюга апаратів технології рудопідготовки

Згущуючи лійки знайшли також широке застосування при підготовці колективного та товарних концентратів до зневоднення на стрічковому вакуум-фільтрі. Конусні сепаратори на збагачувальній фабриці використовуються для первинного збагачення рудних пісків і подальшого збагачення різних продуктів їх переробки. Експлуатуються вони в умовах високих коливань параметрів, що характеризують їх продуктивність.

Основною функцією стрічкових вакуум-фільтрів є зневоднення різних продуктів перед сушінням. Від ефективності цієї операції залежить енергонапруженість збагачувального переділу, так як сушка на збагачувальних фабриках здійснюється в сушильних барабанах, повітря в яких нагрівається шляхом спалювання природного газу.

В даній роботі розглянуто математичне моделювання тепломасообмінних процесів у гравійних фільтрах, які можливо використовувати в технологіях зневоднення, а також при очистці оборотного водопостачання на збагачувальних фабриках при переробці мінеральної сировини.

Представимо гравійний фільтр як порожнистий циліндр кінцевих розмірів (рис. 2), тіло фільтру представляє собою суміш гравію та води. Під процесом виготовлення фільтру розуміємо його заморожування в морозильній камері в твердій непроникній формі заданих розмірів. Під час експлуатації гравійного фільтру має місце процес розморожування монолітної структури фільтру. Визначення режимних параметрів роботи низькотемпературних гравійних фільтрів зводиться до вивчення тепло- і масообмінних процесів фільтра при наявності фазових перетворень. Виходячи з аналізу математичних моделей дослідження тепломасообміну в дисперсних водонасичених системах, для дослідження промерзання і протавання гравійних фільтрів використовується метод ефективної теплоємності [5-8], без явного виділення фронту фазового переходу. Перевагою цього методу є врахування зони фазового переходу, що обумовлюється наявністю температурного діапазону замерзання та протавання зв'язаної вологи в порах матеріалу дисперсного середовища [5].

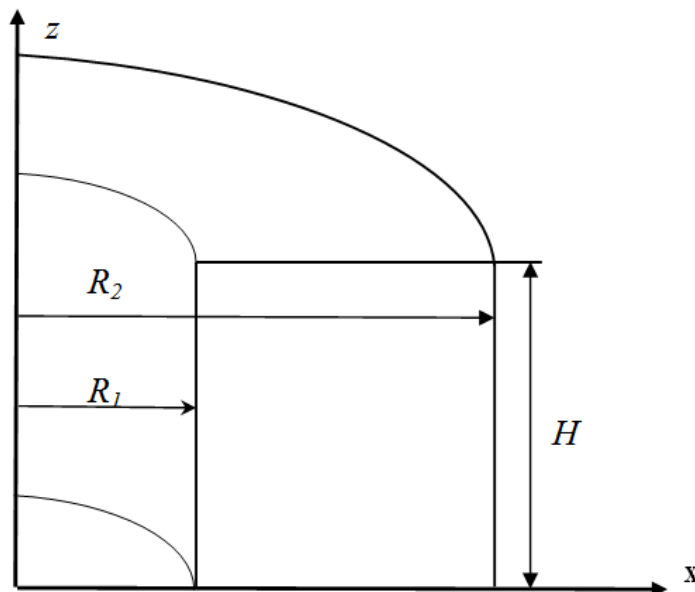


Рисунок 2 - Модель гравійного фільтра

У роботі [9] було проведено дослідження тепломасообмінних процесів у гравійних фільтрах з врахуванням переносу теплоти і вологи тільки в радіальному напрямку. Дане припущення суттєво спрощує дослідження динаміки промерзання і розморожування гравійного фільтра, проте не враховує реальні конструктивні особливості процесу виготовлення і експлуатації гравійних фільтрів [10]. Так як фільтр представляє собою циліндр кінцевих розмірів, його зовнішній радіус і висота є величинами одного порядку, при моделюванні необхідно враховувати перенос теплоти в радіальному і осьовому напрямку. Дослідження процесу переносу теплоти в низькотемпературних гравійних фільтрах без врахування вологопереносу було проведено в роботі [11]. Як зазначалося вище, теплофізичні характеристики дисперсного водонасиченого середовища залежать від вологості, тому при моделюванні промерзання і розморожування гравійних фільтрів необхідно враховувати перенос теплоти і вологи.

При побудові математичної моделі промерзання і розморожування гравійних фільтрів приймемо наступні припущення:

- матеріал гравійного фільтра складається з зерен гравію сферичної форми з фракціями 0,5 – 1 мм [12];
- приймемо, що укладка гравійного матеріалу є рівномірною і ущільненою [12];
- в якості зміцнюючої речовини використовується дистильована вода;
- фазове перетворення води, яка знаходиться в порах скелету фільтра, відбувається у вузькому діапазоні від'ємних температур, згідно даних З. А. Нерсесова;
- досліджувана система являється замкнутою відносно вологості;
- при побудові математичної моделі вважається, що температура навколишнього середовища постійна;
- коефіцієнти тепловіддачі визначаються на основі відомих емпіричних співвідношень [13];
- процесами морозного вспучування матеріалу фільтра знехтуємо;
- переносом вологи внаслідок термічного градієнта знехтуємо;
- міграцією вологи за рахунок сил тяжіння знехтуємо;
- будемо вважати, що теплообмін з навколишнім середовищем відбувається тільки за рахунок конвекції.

В загальному вигляді система рівнянь тепло- і масообміну для розв'язання задачі промерзання і розморожування моделі гравійного фільтра для циліндричних координат матиме вигляд (рис. 2):

$$C_{ef}(T,U)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\cdot\lambda(T,U)\cdot\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(T,U)\cdot\frac{\partial T}{\partial z}\right), \quad (1)$$

$$\tau > 0, R_1 < r < R_2, 0 < z < H,$$

$$T|_{\tau=0} = T_0, \quad (2)$$

$$\left[\mp \lambda_{R_1, R_2} \frac{\partial T}{\partial r} + \alpha_{R_1, R_2} T \right]_{r=R_1, R_2} = q_{R_1, R_2}, \quad (3)$$

$$\left[\mp \lambda_{0, H} \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha_{0, H} T \right]_{z=0, H} = q_{0, H}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot k(T, U) \cdot \frac{\partial(1-i(T))U}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k(T, U) \cdot \frac{\partial(1-i(T))U}{\partial z} \right), \quad (5)$$

$$U(r, z, 0) = U_0, \quad (6)$$

$$\left(k(T, U) \frac{\partial(1-i(T))U}{\partial r} \right) \Big|_{r=R_1} = \left(k(T, U) \frac{\partial U(1-i(T))}{\partial r} \right) \Big|_{r=R_2} = 0, \quad (7)$$

$$\left(k(T, U) \frac{\partial(1-i(T))U}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} = \left(k(T, U) \frac{\partial U(1-i(T))U}{\partial z} \right) \Big|_{z=H} = 0. \quad (8)$$

де R_1, R_2 – внутрішній та зовнішній радіуси зразка фільтру, H – висота фільтру, α – коефіцієнт теплообміну відповідної поверхні з навколишнім середовищем, q – тепловий потік, який підводиться до тіла або відводиться від нього.

Вид граничних умов (3), (4) та коефіцієнти теплопередачі з навколишнім середовищем визначаються в залежності від способу. Розглянемо рівняння вологопереносу (5). Враховуючи співвідношення між вологовмістом талої і мерзлої зон:

$$U_w = U - U_1 = (1-i(T))U, \quad (9)$$

бачимо, що в лівій частині (5) стоїть похідна сумарного вологовмісту U за часом, а в правій – похідні по просторовим координатам від вологовмісту в талій зоні U_w .

Використаємо схему фіктивного вологовмісту, запропоновану у [5]. Введемо замість істинного вологовмісту поняття фіктивного вологовмісту:

$$\tilde{U} = (1-i(T))U, \quad (10)$$

Тоді рівняння (5) з урахуванням (10) перепишемо у спрощеному вигляді:

$$\frac{\partial \tilde{U}}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot k(T, U) \cdot \frac{\partial \tilde{U}}{\partial \tau} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k(T, U) \cdot \frac{\partial \tilde{U}}{\partial z} \right), \quad (11)$$

Рівняння (11) співпадає з вихідним рівнянням (5) в талій зоні, а в зоні промерзання описує розподіл деякого фіктивного вологовмісту. При реалізації чисельного алгоритму для визначення вологовмісту в мерзлій зоні з рівняння (11) спочатку знаходимо фіктивний вологовміст $U \sim$, а потім, використовуючи

співвідношення (10) визначаємо реальне значення вологовмісту U в зоні промерзання.

Визначення теплофізичних та масообмінних характеристик досліджуваної системи. Для визначення ефективної теплоємкості багатокомпонентного та багатозафазного середовища, яка є адитивною величиною, використаємо залежність [5,6]:

$$C_{ef}(T)p(T) = (1-P)c_{sk}p_{sk} + P \cdot c_w \cdot p_w \cdot U_w + c_1 \cdot p_1 \cdot U_1 \pm p_1 \cdot P \cdot l \cdot \frac{di}{dT}, \quad (12)$$

де c_{sk} , c_w , c_1 - відповідно питомі теплоємкості скелету, води та льоду; ρ_{sk} , ρ_w , ρ_1 - відповідно густини скелету, води та льоду.

Враховуючи (9), перепишемо (12) у вигляді:

$$C_{ef}(T) = (1-P)c_{sk} + P \cdot (1-i(T))c_w \cdot U + P \cdot i(T) \cdot c_1 \cdot U \pm \frac{p_1}{p} \cdot P \cdot L \cdot \frac{di}{dT}, \quad (13)$$

Коефіцієнт теплопровідності середовища фільтру визначимо виразом виду

$$\lambda_f(T) = \lambda_m + (\lambda_l - \lambda_m)(1-i(T)), \quad (14)$$

де λ_m і λ_l для крупнодисперсного середовища визначаються емпіричними залежностями [5]:

$$\lambda_m = 1,7(p \cdot 10^{-3} + 0,1U - 1,1) - 0,1U, \quad \lambda_l = 1,5(p \cdot 10^{-3} + 0,1U - 1,1) - 0,1U.$$

$$k(T, U_w, U_1) = k_1(T) \cdot \exp(k_2 U_w - k_3 U_1) \quad (15)$$

$$k_1(T) = 1,4 \cdot 10^{-8}(1 + 0,4T), k_2 = 0,172, k_3 = 0,23.$$

$$i(T) = \begin{cases} 0, & T > T_p, \\ i_k \frac{1 - e^{n(T-T_H)}}{1 - e^{n(T_k-T_H)}}, & T_p \geq T \geq T_k, \\ i_k, & T > T_k, \end{cases} \quad (16)$$

де i_k - значення льодистості при температурі T_k , яке залежить від кількості міцнозв'язаної вологи; T_i T_k - температура початку та кінця фазового переходу відповідно (рис. 3); n - коефіцієнт, який характеризує ступінь зв'язаності води з твердим скелетом, і залежить від дисперсності, мінерального і хімічного складу пористого середовища.

Емпіричним шляхом було встановлено [5], що чим сильніше зв'язана вода в порах, тим менше n , а при замерзанні вільної води $n \rightarrow \infty$.

Висновки. Проведений аналіз сучасних методів моделювання процесів тепломасопереносу дозволив побудувати математичну модель тепло- та масообмінних процесів в дисперсному середовищі низькотемпературного гравійного фільтру при наявності в ньому фазових перетворень з метою

удосконалення технологічних процесів при розробці родовищ мінеральної сировини.

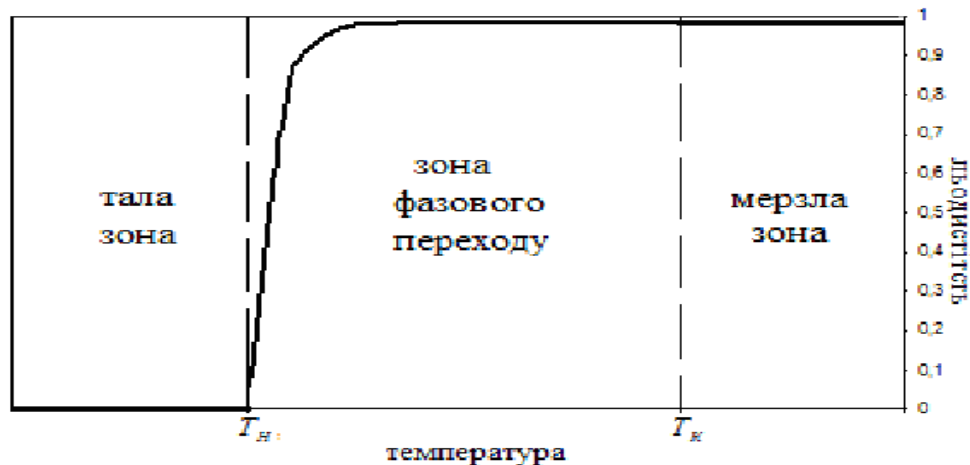


Рисунок 3 - Залежність функції льодистості від температури гравійного фільтра

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блюсс, Б.А., Сокил А.М., Гоман О.Г. Проблемы гравитационного обогащения титаново-циркониевых песков: Монография. Днепропетровск: Полиграфист, 1999. 190 с.
2. Булат, А.Ф., Витушко О.В., Семенов Е.В. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий: Монография Днепропетровск: Герда, 2010. 216 с.
3. Гуменик И.Л., Сокил А.М., Семенов Е.В., Шурыгин В.Д. Проблемы разработки россыпных месторождений. Днепропетровск: Січ, 2001. 224 с.
4. Блюсс, Б.О., Дзюба С.В., Семенов Е.В. Обґрунтування параметрів ефективності гідротехнічних систем в технологіях переробки мінеральної сировини *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Дніпро, 2018. Вып. 4. С. 58-65
5. Пермяков П.П., Романов П.Г., Степанов А.В. Математическое моделирование тепловлагодиспереноса при сезонном протаивании мерзлых грунтов. *ИФЖ*. 1989. т. 57. №1. С. 119—124.
6. Пермяков П.П. Идентификация параметров математической модели тепловлагодиспереноса в мерзлых грунтах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 86 с.
7. Поврезнюк Е.Б., Рядно А.А. Математическая модель промерзания (оттаивания) малопроницаемой водонасыщенной пористой среды, содержащей воздух. *Вісник Дніпропетровського університету, серія Механіка*. 1999. Вып. 2. т. 1. С. 89—94.
8. Приходько, А.А., Алексеенко С.В. Численное моделирование процессов фазовых переходов пористых сред на основе решения задачи Стефана и метода эффективной теплоемкости. *Вестник ДГУ, серия механика*. 2001. Вып. 5. Т.1. С.117—125.
9. Дреус А.Ю., Лысенко Е.Е. Математическая модель и алгоритм расчета тепловлагодиспереноса в промерзающей крупнодисперсной среде. *Системні технології*. 2011. № 2(73). С. 72 - 77
10. Кожевников А.А., Судаков А.К. К вопросу об оборудовании водоприемной части буровых скважин гравийными фильтрами. *Науковий вісник НГУ*. 2009. № 7. С.13 —16.
11. Дреус А.Ю., Кожевников А.А., Лысенко Е.Е., Судаков А.К. Математическое моделирование тепловых процессов в гравийных фильтрах гидрогеологических скважин. *Доповіді національної академії наук України, серія «Науки про Землю»*. 2011. № 9. С. 98—102.
12. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». 2003. 554 с.
13. Беляев Н. М. Основы теплопередачи: Учебник. К. : Вища школа, 1989. 343 с.

REFERENCES

1. Blyuss B.A., Sokil A.M. and Goman O.G. (1999), *Problemy gravitatsionnogo oboogascheniya titanovo-tirkonovykh peskov: Monografiya* [Problems of gravitation enrichment of titanium-zirconium sands: Monograph], Poligrafist, Dnepropetrovsk, UA.
2. Bulat A.F., Vitushko O.V. and Semenenko Ye.V. (2010), *Modeli elementov gidrotehnicheskikh sistem gornykh predpriyatiy: Monografiya* [Models of elements of the hydrotechnical systems of mining enterprises: Monograph], Gerda, Dnepropetrovsk, UA.
3. Gumenik I.L., Sokil A.M., Semenenko Ye.V. and Shurygin V.D. (2001), *Problemy razrabotki rossypanykh mestorozhdeniy* [Problems of exploitation of placer deposits], Sich, Dnepropetrovsk, UA.
4. Blyuss B.O., Dzyuba S.V. and Semenenko Ye.V. (2018), «Validation parameters of efficiency of the hydrotechnical systems in technologies of processing of mineral raw material», *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost.*, Dnepr, Vyip. 4, pp. 58-65.

5. Permyakov P.P., Romanov P.G. and Stepanov A.B. (1989), «Mathematical design of heat-moisture-salt-transfer at the seasonal thawing through of the frozen soils», *Engineering and Physical Journal*, Vol. 57, no. 1, pp. 119—124.
6. Permyakov P.P. (1989), *Identifikatsiya parametrov matematicheskoy modeli teplovlagoperenosa v merzlykh gruntakh* [Identification of parameters of mathematical model of heat-moisture-transfer in the frozen soils], Nauka. Sib. otd-nie, Novosibirsk, SU.
7. Povreznyuk E.B. and Ryadno A.A. (1999), « Mathematical model of the frozen solid (thawing) of the small-penetrable water-saturated porous environment containing air», *Visnyk Dniproperetrovskogo univrsytetu, seriya Mekhanika*, Vyp. 2, Vol. 1, pp. 89—94.
8. Prikhodko A.A. and Alekseenko S.V. (2001), «Numeral modelling of processes of phase transitions of porous environments on the basis of decision of task of Stephen and method of effective heat capacity», *Vestnik DGU, seriya mekhanika*, Vyp. 5, Vol.1, pp. 117—125.
9. Dreus A.Yu. and Lutsenko E.E. (2011), «Mathematical model and algorithm of calculation of heat-moisture transfer in a frozen solid great-disperse environment», *Systemni tekhnologii*, no. 2(73), pp. 72 - 77
10. Kozhevnikov A.A. and Sudakov A.K. (2009), «To the question about the equipment of water-receiving part of drillholes by gravel filters», *Naukovy vlsnik NGU*, no. 7, pp.13 —16.
11. Dreus A.Yu., Kozhevnikov A.A., Lytsenko E.E. and Sudakov A.K. (2011), « Mathematical modelling of thermal processes in the gravel filters of hydrogeological mining holes», *Dopovidi natsionalnoy akademii nauk Ukrainyi, seriya «Nauki pro Zemlyu»*, no. 9, pp. 98—102.
12. Bashkatov A.D. (2003), *Progressivnye tekhnologii sooruzheniya skvazhin* [Progressive technologies of building of mining holes], Nedra-Biznestsentr, Moscow, RU.
13. Belyaev N. M. (1989), *Osnovy teploperedachi: Uchebnik* [Bases of heat transfer: Textbook], Vyscha shkola, Kyiv, SU.

Про авторів

Дзюба Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу геодинамічних систем та вібраційних технологій, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, sergejdzuba@gmail.com

Дреус Андрій Юлійович, доктор технічних наук, доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу механіко-математичного факультету, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України (ДНУ МОНУ), Дніпро, Україна, dreus.andrii@gmail.com

Лисенко Катерина Євгенівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу механіко-математичного факультету, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України (ДНУ МОН України), Дніпро, Україна, dreus.andrii@gmail.com

About the authors

Dziuba Serhii Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher in the Department of Geodynamic System and Vibration Tehnologies, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, sergejdzuba@gmail.com

Dreus Andrii Yuliovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Accosiate Professor of Fluid Mechanics and Energy and Masstransfer Department, Oles Honchar Dnipro National University MES of Ukraine, Dnipro, Ukraine, dreus.andrii@gmail.com

Lisenko Katerina Yevgenivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Accosiate Professor of Fluid Mechanics and Energy and Masstransfer Department, Oles Honchar Dnipro National University MES of Ukraine, Dnipro, Ukraine, dreus.andrii@gmail.com

Аннотация. В статье представлена построенная математическая модель исследования тепло- и массообменных процессов в дисперсной среде низкотемпературного гравийного фильтра при наличии в нем фазовых превращений. Учет переноса теплоты и влаги только в радиальном направлении в качестве основного предположения существенно упрощает исследование динамики промерзания и размораживания гравийного фильтра, однако не учитывает реальных конструктивных особенностей процесса изготовления и эксплуатации гравийных фильтров в условиях действующих технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых и переработке исходного минерального сырья. Обосновано, что уголь и марганцевые руды обогащаются гравитационными методами, а также доля гравитационных методов постоянно повышается при переработке железных и полиметаллических руд. В связи с этим усовершенствование технологий гравитационного обогащения вызывает необходимость как анализа и исследования гидродинамических процессов, протекающих при разделении минеральных зерен в аппаратах, так и обоснования параметров технологического оборудования. Функционирование современных технологических процессов обесшламливание, сгущения, обезвоживания и распределения пульп основывается на использовании следующего оборудования: струйных зумпфов, сгущающих воронок, конусных сепараторов, а также ленточных вакуум-фильтров, которые представлены на схеме цепей аппаратов технологии рудоподготовки. Теплофизические характеристики дисперсного водонасыщенной среды зависят от влажности, поэтому при моделировании промерзания и размораживания гравийных фильтров необходимо учитывать перенос теплоты и влаги. Во время эксплуатации гравийного фильтра в технологиях разработки месторождений минерального

сырья имеет место процесс размораживания монолитной структуры фильтра. Определение теплофизических и массообменных характеристик исследуемой системы в работе сведено к определению эффективной теплоемкости многокомпонентной и многофазной среды, которая является аддитивной величиной.

Ключевые слова: гравийные фильтры; технологии разработки месторождений, математическая модель исследования тепло- и массообменных процессов

Annotation. The article presents a constructed mathematical model for studying heat and mass transfer processes in a dispersed medium of a low-temperature gravel filter in the presence of phase transformations in it. Accounting heat and moisture transfer only in the radial direction as the main assumption greatly simplifies the gravel filter freezing and thawing dynamics study, but does not take into account the actual design features of the manufacturing and operating gravel filters process in the current technological processes in the development of mineral deposits and processing of the raw mineral. It has been substantiated that coal and manganese ores are enriched by gravity methods, and the proportion of gravity methods is constantly increasing during the processing of iron and polymetallic ores. In this regard, the gravitational enrichment technologies improvement calls for both the analysis and research of hydrodynamic processes occurring during the separation of mineral grains in the apparatus, and the justification of the process equipment parameters. The modern technological processes functioning of pulps desliming, thickening, dehydration and distribution is based on the following equipment usage: jet sump, thickening funnels, conical separators, and also vacuum belt filters, which are presented on the ore preparation technology circuit diagram. Thermophysical characteristics of a dispersed water-saturated medium depend on humidity, therefore, when simulating freezing and thawing of gravel filters, it is necessary to take heat and moisture transfer into account. During the operation of the gravel filter in the technologies of development of mineral deposits, the process of defrosting the monolithic structure of the filter takes place. During the gravel filter operation in the mineral deposits development technologies, the process of defrosting the monolithic structure of the filter takes place. The thermophysical and mass transfer characteristics definition of the system under study is reduced to the determination of the effective multicomponent and multiphase medium heat capacity, which is an additive quantity.

Keywords: gravel filters; field development technologies; a mathematical model for the study of heat and mass transfer processes

Стаття надійшла до редакції 2.06. 2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Б.О. Блюссом