

А.Ю. Кривенко, к.т.н., доц.
О.В. Булах, к.т.н., доц.
Т.А. Олійник, д.т.н., проф.
С.А. Рубан, к.т.н., доц.

Криворізький національний університет

Теоретичні дослідження підвищення ефективності масопереносу магнетитової суспензії на підставі змінення гідродинамічних параметрів процесу знешламлення

У статті представлено удосконалення технології збагачення залізних руд за рахунок підвищення ефективності гравітаційно-гідравлічного збагачення в радіальних згущувачах типу МД9, яке полягає у розробці нового способу формування вихідного живлення апарата. Представлені дослідження потоку магнетитової суспензії з живильного пристрою магнітного дешламатора, що дозволяють одержати залежності швидкості руху живильного потоку пульпи й вмісту твердого від параметрів пристрою подачі вихідної суспензії. Отримані залежності дозволяють зменшити негативний вплив затопленого струменя на гідравлічне збагачення залізорудної сировини.

Застосовуючи відомі закони гідродинаміки та гідравліки, було побудовано математичну модель поділу залізорудної сировини на виході з пристрою живлення апарата магнітного дешламатора, відповідно до якої при виборі структури моделі використовуються теоретичні передумови. Розрахунками отримана залежність швидкості переміщення часток твердої фази пульпи від конструктивних особливостей магнітного дешламатора.

Проведене математичне моделювання шляхом застосування теоретичної моделі гравітаційно-гідравлічного поділу залізорудної сировини в магнітному дешламаторі. Отримані рівняння, які дозволили суттєво скоротити число параметрів, що впливають на протікання процесу магнітної дешламації.

Обчислювальний експеримент за результатами моделювання процесу гідравлічно-гравітаційного поділу суспензії у магнітному дешламаторі дозволив вивчити зміну відповідних параметрів, вплив їх на процес знешламлення. Своєю чергою на практиці виникають питання про знаходження кількісних співвідношень. Тому необхідне проведення експериментальних досліджень на реальних магнітних дешламаторах з метою збору матеріалу для оцінки параметрів, що входять у математичні моделі.

Представлені математичні моделі можуть дозволити варіювати необхідними параметрами процесу магнітної дешламації з урахуванням конструктивних особливостей самого апарата й пристрою подачі живлення, з метою одержання кінцевого продукту заданої якості.

Ключові слова: дешламатор; дешламація; МД9; радіальний згущувач; радіальне живлення.

Актуальність теми. На сучасних гірничо-збагачувальних комбінатах досягти якісних показників селективного розділення рудної й породної складових при збагаченні руд неможливо без належної підготовки здрібнених продуктів до магнітного збагачення [1–5]. Для створення оптимальних умов для магнітного збагачення руди на гірничо-збагачувальних комбінатах використовується знешламлення рудної суспензії [4–6]. Аналіз роботи апаратів для дешламації магнетитової суспензії показав, що ефективність процесу розділення часток пульпи живлення визначається параметрами, які, як правило, залежать від властивостей матеріалу, що поділяється, властивостей середовища, де проходить розділення, конструкції, принципу дії самих апаратів [5–6].

Підвищення якості концентратів гірничо-збагачувальних комбінатів забезпечує їх конкурентоспроможність на внутрішньому й на зовнішньому ринках. Отримати цей результат можна за рахунок підвищення розділових характеристик процесу дешламації на різних етапах збагачення руди [2, 3].

Процес збагачення в апаратах для знешламлення ініціюється потоком вихідної суспензії. Спадний потік живлення у смності апарата обмежує приріст якісних показників пісків через збіг двох векторів [8–10]. Перший – це вектор руху твердого, й другий – це вектор гравітаційної складової, спрямованої до низу. Формування такого вихідного живлення визначає неповний винос породних часток з нижньої частини дешламатора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Рішення проблеми підвищення якості збагачуваного продукту, при дешламації магнетитової суспензії, було зв'язано зі зміною конструкції самого збагачувального апарата, зміни температури та щільності пульпи. Уваги

гравітаційним гідравлічним процесам усередині чана апарата, масопереносу рідин та сепараційним процесам приділялося недостатньо.

Метою статті є дослідження питань гравітаційно-гідравлічного збагачення залізорудної сировини в магнітних дешламаторах радіального типу, а також розв'язання їх методами математичного моделювання.

Викладення основного матеріалу. Ефективність процесу дешламації магнетитової суспензії підвищується при більш тривалій взаємодії часток вихідної сировини із середовищем у прийомній ємності апарата. Зміна орієнтації потоку живлення приводить до зміни траєкторії руху часток твердого. Це обумовлює можливість виносу тонких часток у злив, мінімізуючи можливість їх занурення в зону згущеного продукту, тим самим підвищуючи якість концентрату.

Після виходу суспензії із горизонтального живильного пристрою відбувається її рух до периферії радіального дешламатора. Струмін суспензії живлення вносить у простір чана апарата потік твердої фази. Відбувається поширення пульпи та додання її компонентам певного прискорення. Потік твердої фази розбивається в навколишнє двофазне середовище. Утворюється затоплений струмін, який поширюється по чану апарата. Цей струмін захоплює при цьому набагато більшу площу, ніж за стандартно прийнятої подачі – вертикальної. Таким чином, загальний час знаходження часток твердого у зоні поділу апарата буде більшим, порівняно зі спадною подачею вихідного живлення дешламатора.

Горизонтально-направлене формування вихідного живлення дозволяє:

- максимально використовувати простір дешламатора – збільшити площу осадження твердого;
- змінити траєкторію руху твердої фази для максимальної її взаємодії з висхідними потоками пульпи усередині чана апарата. Це дозволить збільшити можливості відмиву породних часток.

Під час роботи дешламатора у верхню ємність апарата надходить пульпа витратою Q_0 , яка під впливом гідравлічного стовпа висотою h надходить до пристрою живлення. Цей пристрій забезпечує горизонтальний вихід пульпи у внутрішню частину апарата. У дешламаторі під впливом гравітаційних сил відбувається осадження твердих часток, які утворюють на дні ванни згущений продукт, що видаляється через Q_2 . Верхній шар пульпи в чані – освітлений шар (Q_1) – видаляється через зливний поріг апарата. При стаціонарному режимі операції дешламації мають місце закони збереження. Виконується така рівність:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

де Q_0 – витрата пульпи, що надходить до апарата, $\text{м}^3/\text{з}$;

Q_1 – витрата освітленого продукту, що надходить у злив, $\text{м}^3/\text{з}$;

Q_2 – витрата згущеного продукту, $\text{м}^3/\text{с}$.

Далі виконується рівність за обсягом твердого продукту, що переробляється:

$$c_0 \cdot Q_0 = c_1 \cdot Q_1 + c_2 \cdot Q_2, \quad (2)$$

де c_0, c_1, c_2 – вміст твердого продукту в живленні, злив і згущеному продукту, відповідно, частки од.

Вирішуючи систему рівнянь (1) і (2) щодо витрат, знаходимо:

$$Q_1 = Q_0 \frac{c_2 - c_0}{c_2 - c_1}; \quad Q_2 = Q_0 \frac{c_0 - c_1}{c_2 - c_1}. \quad (3)$$

Під впливом гідравлічного стовпа висотою h пульпа виходить із пристрою живлення з прискоренням. Скористаємося рівнянням Бернуллі для нестисливої рідини:

$$g \cdot h = (1 + \xi) \frac{v_0^2}{2}, \quad (4)$$

де h – висота стовпа пульпи, м;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

v_0 – швидкість пульпи на виході із живильного пристрою, $\text{м}/\text{с}^2$;

ξ – коефіцієнт втрат.

З рівняння (4) знаходимо

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi}}. \quad (5)$$

Формула (5) визначає об'ємні витрати пульпи на вході в апарат

$$Q_0 = 2\pi \cdot R \cdot d_0 \cdot v_0, \quad (6)$$

де R – радіус напрямних пристрої живлення, м;

d_0 – відстань між напрямними пристрою живлення, м.

Тоді, враховуючи (5), формула (6) має вигляд:

$$Q_0 = 2\pi \cdot R \cdot d \cdot \sqrt{\frac{2gh}{1 + \xi}}. \quad (7)$$

Витрата зливу розраховується за формулою:

$$Q_1 = \pi(R_0^2 - r_0^2)v_1, \quad (8)$$

де R_0 – радіус ванни апарата, м;

r_0 – радіус труби зануреної у ванну дешламатора, по якій подається пульпа живлення, м;

v_1 – швидкість зливу, що проходить через поперечний переріз ванни дешламатора, м/с.

Знаходимо витрату згущеного продукту за формулою:

$$Q_2 = \pi \cdot R_1^2 \cdot v_2, \quad (9)$$

де v_2 – швидкість згущеного продукту, що виходить із дешламатора, м/с;

R_1 – радіус отвору, м.

Підставляючи формули (7)–(9) в (3), знаходимо

$$v_1 = \frac{2R \cdot d_0}{R_0^2 - r_0^2} \sqrt{\frac{2gh}{1+\xi}} \cdot \frac{c_2 - c_0}{c_2 - c_1}, \quad (10)$$

$$v_2 = \frac{2R \cdot d_0}{R_1^2} \sqrt{\frac{2gh}{1+\xi}} \cdot \frac{c_0 - c_1}{c_2 - c_1}. \quad (11)$$

Формули (10) та (11) дозволяють визначити залежності швидкостей руху пульпи як від конструктивних параметрів апарата, так і від вимог, що задаються до самої операції. Швидкість осадження твердого, що надходить у ванну, пов'язана з величинами швидкостей (10) і (11).

Диференціальне рівняння, що описує процес осадження твердого, яке надходить у ванну дешламатора, у векторній формі має вигляд:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_{Ap} + \vec{F}_c, \quad (12)$$

де $\vec{v}$ – вектор швидкості частки, м/с;

m – маса частки, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$\vec{F}_{Ap}$ – сила Архімеда, Н;

$\vec{F}_c$ – сила опору, Н.

Диференціальне рівняння (12) у проєкціях на вертикальну вісь, спрямовану вниз, записуємо у такому вигляді:

$$m \frac{dv_y}{dt} = mg - F_{Ap} - F_c. \quad (13)$$

При цьому повинна виконуватися початкова умова

$$v_y(t=0) = -v_1. \quad (14)$$

Проекцію сили Архімеда можна записати у вигляді

$$F_{Ap} = \Delta \cdot V_T \cdot g, \quad (15)$$

де Δ – щільність рідини, у яку занурена частка, кг/м³;

V_T – об'єм частки, м³.

Враховуючи, що

$$m = \delta \cdot V_T, \quad (16)$$

де δ – щільність частки, кг/м³.

Формулу (15) представимо у вигляді:

$$F_{Ap} = m \frac{\Delta}{\delta} g. \quad (17)$$

Проекція сили опору може бути записана як пропорційна проєкції швидкості

$$F_c = k(v_y + v_1), \quad (18)$$

де $k = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d$;

μ – динамічна в'язкість, Па·с;

d – діаметр частки, м.

Гідрравлічна крупність частки буде записана у такому вигляді:

$$\theta = \frac{1}{18} \frac{(\delta - \Delta) \cdot g \cdot d^2}{\mu}. \quad (19)$$

Враховуючи формули (17)–(19), рівняння (14) запишеться у вигляді:

$$\frac{dv_y}{dt} = (1 - \frac{\Delta}{\delta})g - (1 - \frac{\Delta}{\delta}) \frac{g}{\theta} (v_y + v_1). \quad (20)$$

Для дослідження результатів треба привести рівняння (20) до безрозмірного виду

$$\frac{d\hat{v}_y}{d\tau} = 1 - \hat{v}_y - \hat{v}_1, \quad (21)$$

де $\hat{v}_y = \frac{v_y}{\theta}$, $\hat{v}_1 = \frac{v_1}{\theta}$, $\tau = \frac{t}{\Delta t}$;

$\Delta t = \theta / g \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right)$ – гідравлічна одиниця часу, с.

При цьому початкова умова (14) набуває вигляд

$$\hat{v}_y(\tau = 0) = -\hat{v}_1. \quad (22)$$

Розв'язок рівняння (21) має вигляд $\frac{d\hat{v}_y}{1 - \hat{v}_y - \hat{v}_1} = d\tau$, звідси:

$$-\ln(1 - \hat{v}_y - \hat{v}_1) = \tau + c, \quad (23)$$

де c – довільна постійна.

Якщо $c = 0$, тоді розв'язання рівняння (23) має вид

$$\hat{v}_y = 1 - \hat{v}_1 - e^{-\tau}. \quad (24)$$

Частка буде підніматися до тих пір, поки її швидкість не стане дорівнювати нулю. Час підйому частки знаходиться: $1 - \hat{v}_1 - e^{-\tau} = 0$, тобто

$$\tau_0 = -\ln(1 - \hat{v}_1). \quad (25)$$

Розв'язуємо задачу Коши

$$\begin{cases} \frac{d\hat{y}}{d\tau} = 1 - \hat{v}_1 - e^{-\tau}, \\ \hat{y}(\tau = 0) = 0 \end{cases} \quad (26)$$

де $\hat{y} = \frac{y}{\Delta l}$, $\Delta l = \theta \cdot \Delta t$ – гідравлічна одиниця довжини, м.

Інтегруючи рівняння (26), знаходимо

$$\hat{y} = (1 - \hat{v}_1) \cdot \tau + e^{-\tau} - 1. \quad (27)$$

Час підйому частки обмежений глибиною занурення живильного пристрою h_0 у ванну дешламатора. Для знаходження часу досягнення часткою поверхні вирішуємо рівняння

$$1 - e^{-\tau} - (1 - \hat{v}_1) \cdot \tau = \hat{h}_0, \quad (28)$$

де $\hat{h}_0 = h_0 / \Delta l$.

Рівняння (28) є нелінійним і допускає тільки чисельний розв'язок. Частка пульпи зможе осідати тоді, коли буде виконана умова:

$$\tau_0 \leq \tau_1, \quad (29)$$

де τ_1 – розв'язок рівняння (28).

Умова (29) дозволяє виділити частки, що будуть осаджуватися у ванні дешламатора, якщо вони перебувають вище пристрою подачі живлення. Можна обчислити час досягнення дна ванни апарата. Якщо відомий час підйому частки пульпи, обумовлений формулою (25), то висота її підйому за цей час h' знаходиться згідно з рівнянням (27), тоді:

$$\hat{h}' = 1 - e^{-\tau_0} - (1 - \hat{v}_1) \cdot \tau_0, \quad (30)$$

де $\hat{h}' = h' / \Delta l$.

Час осадження частки з висоти $h' + h_1$:

$$\hat{v}_1 \cdot \tau - \pi \cdot \ln ch\left(\frac{\tau}{\sqrt{\pi}}\right) = \hat{h}' + \hat{h}_1. \quad (31)$$

Тоді загальний час осадження частки пульпи знаходимо за формулою:

$$\tau = \tau_0 + \tau', \quad (32)$$

де τ' – розв'язок рівняння (31), або в натуральних одиницях виміру буде мати такий вигляд: $t = (\tau_0 + \tau') \cdot \Delta t$.

Частки пульпи, що попадають у потік пульпи нижче горизонтального живильного пристрою дешламатора, захоплюються потоком униз. Швидкість осадження цих часток можна знайти розв'язанням задачі Коши:

$$\frac{d\hat{y}}{d\tau} = 1 - \hat{y} + \hat{v}_2, \quad (33)$$

$$\hat{v}_y = \hat{v}_2. \quad (34)$$

Це розв'язання має вигляд:

$$\hat{v}_y = 1 + \hat{v}_2 - e^{-\tau}. \quad (35)$$

Час осадження частки пульпи живлення, що потрапляє в потік нижче горизонтального живильного пристрою, перебуває шляхом розв'язання завдання Коші

$$\frac{d\hat{y}}{d\tau} = 1 + \hat{v}_2 - e^{-\tau}, \quad (36)$$

$$\hat{y}(\tau = 0) = 0. \quad (37)$$

Розв'язання задачі Коші (36), (37) має вигляд:

$$\hat{y} = (1 + \hat{v}_2) \cdot \tau + e^{-\tau}. \quad (38)$$

Знаходимо час осадження частки

$$(1 + \hat{v}_2) \cdot \tau + e^{-\tau} = \hat{h}_1. \quad (39)$$

Рівняння (39) є нелінійним і допускає тільки чисельний розв'язок.

Розрахунки швидкості часток рудної маси розміром $-0,071 + 0$ мм при щільності $2,6-4,2$ г/см³, згідно з рівняннями (10, 11, 19) показує, що значення швидкості частки взаємозалежна з геометричними параметрами часток, а також їх щільністю. Динаміка зміни швидкості частки, стосовно до магнетитової руди, має параболічну залежність щільності від геометричних параметрів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Стосовно збагачуваної руди, при відомих значеннях параметрів знешламлення, що характеризуються обсягом подачі пульпи живлення, типом апарата, швидкістю висхідних потоків, можливо прогнозувати поділ компонентів твердої фази пульпи живлення й показників знешламлення в цілому, виходячи із гранулометричного складу рудної маси, а також стадії технологічного процесу. Отже, режим вихідного живлення апарата має забезпечувати максимальне відділення часток, що містять корисний компонент, від породних часток.

Список використаної літератури:

1. Sustainability in mining, minerals and energy: new processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future / C.J. Moran, S.Lodhia, N.C. Kunz, D.Huisingh // Journal of Cleaner Production. – 2014. – № 84. – Р. 1–15.
2. Blom M. Short-term planning for open pit mines: a review / M.Blom, A.R. Pearce, P.J. Stuckey // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. – 2018. – № 33 (5). – Р. 318–339.
3. Haiko H. The Philosophy of mining: Historical aspect and future prospect / H.Haiko, P.Saik, V.Lozytskyi // Philosophy & Cosmology. – 2019. – № 22. – Р. 76–90.
4. Chasova E.V. On the issue of identification of phenols in wastewater / E.V. Chasova, O.Demchyshyna // Science and society : Proceedings of the 15th International conference, November 8. – Hamilton, Canada : Accent Graphics Communications & Publishing, 2019. – Р. 291–296.
5. Скляр Л.В. Використання операції тонкого грохочення при збагаченні магнетитових кварцитів в умовах ПівнігЗК / Л.В. Скляр, Ю.В. Буханец // Проблеми енергозбереження і механізації в гірничо-металургійному комплексі : Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених і студентів. – КНУ, 2019. – С. 145–147.
6. Олійник Т.А. Передумови підвищення селективності розділення рудної та нерудної складової пінного продукту флотації / Т.А. Олійник, М.Н. Вільгельм // Гірничий вісник. – 2021. – Вип. 109. – С. 73–79.
7. Олійник Т.А. Сегрегація частинок при гравітаційній сепарації мінеральних агрегатів у водному середовищі / Т.А. Олійник, Д.О. Румницький, Л.В. Скляр // Вісник Криворізького національного університету. – 2023. – Вип. 56. – С. 47–54.
8. Гарбер В. Зневоднення залізрудних концентратів та сучасні сушильні процеси / В.Гарбер, В.І. Головань, Л.В. Скляр // Вісник Криворізького національного університету. – 2023. – Вип. 56. – С. 162–169.
9. Олійник Т.А. Особливості коагуляції частинок та адсорбція реагентів на поверхні пінного продукту флотації / Т.А. Олійник, М.М. Вільгельм // Вісник Криворізького національного університету. – 2023. – Вип. 57. – С. 70–76. DOI: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-70-77.
10. Oliynyk T. Evaluation of the possibility of application in processing flowsheet of hydraulic screening by near-mesh grain / T.Oliynyk, M.Vilhelm // Інноваційний розвиток ресурсозберігаючих технологій та раціональне користування природними ресурсами : збірник VI Міжнародної науково-технічної конференції. – Румунія, 2023. – С. 107–110.

References:

1. Moran, C.J., Lodhia, S., Kunz, N.C. and Huisingh, D. (2014), «Sustainability in mining, minerals and energy: new processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future», *Journal of Cleaner Production*, No. 84, pp. 1–15.
2. Blom, M., Pearce, A.R. and Stuckey, P.J. (2018), «Short-term planning for open pit mines: a review», *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, No. 33 (5), pp. 318–339.
3. Haiko, H., Saik, P. and Lozynskyi, V. (2019), «The Philosophy of mining: Historical aspect and future prospect», *Philosophy & Cosmology*, No. 22, pp. 76–90.
4. Chasova, E.V. and Demchyshyna, O. (2019), «On the issue of identification of phenols in wastewater», *Science and society*, Proceedings of the 15th International conference, November 8, Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada, pp. 291–296.
5. Skliar, L.V. and Bukhanets, Yu.V. (2019), «Vykorystannia operatsii tonkoho hrokhochennia pry zbahachenni mahnetyovykh kvartsytiv v umovakh PIVNHZK», *Problemy enerhozberezhennia i mekhanizatsii v hirnycho-metalurhiinomu kompleksi*, Mizhnarodna naukovo-tekhnicna konferentsiia molodykh vchenykh i studentiv, KNU, pp. 145–147.
6. Oliinyk, T.A. and Vilhelm, M.N. (2021), «Peredumovy pidvyshchennia selektyvnosti rozdilennia rudnoi ta nerudnoi skladovoi pinnoho produktu flotatsii», *Hirnychiy visnyk*, Issue 109, pp. 73–79.
7. Oliinyk, T.A., Rumnytskyi, D.O. and Skliar, L.V. (2023), «Sehrehatsiia chastynok pry hravitatsiinii separatsii mineralnykh ahrehativ u vodnomu seredovyschi», *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, Issue 56, pp. 47–54.
8. Garbar, V., Holovan, V.I. and Skliar, L.V. (2023), «Znevodnennia zalizorudnykh kontsentrativ ta suchasni sushylni protsesy», *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, Issue 56, pp. 162–169.
9. Oliinyk, T.A. and Vilhelm, M.M. (2023), «Osoblyvosti koahuliatsii chastynok ta adsorbtsiia reahentiv na poverkhni pinnoho produktu flotatsii», *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, Issue 57, pp. 70–76, doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-70-77.
10. Oliinyk, T. and Vilhelm, M. (2023), «Evaluation of the possibility of application in processing flowsheet of hydraulic screening by near-mesh grain», *Innovatsiinyi rozvytok resursozberihaiuchykh tekhnolohii ta ratsionalne korystuvannia pryrodnyimi resursamy*, zbirnyk VI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnicnoi konferentsii Rumunii, pp. 107–110.

Кривенко Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри збагачення корисних копалин і хімії Криворізького національного університету.

<https://orcid.org/0000-0002-1599-9510>.

Наукові інтереси:

- підвищення ефективності дешламації магнетитової сировини;
- гідродинамічні процеси сепараційні характеристики магнітного дешламатора.

Булах Олексій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри збагачення корисних копалин і хімії Криворізького національного університету.

<https://orcid.org/0000-0003-0965-0053>.

Наукові інтереси:

- теорія і технологія збагачення залізних руд різних типів.

Олійник Тетяна Анатоліївна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри збагачення корисних копалин і хімії Криворізького національного університету.

<https://orcid.org/0000-0002-0315-7308>.

Наукові інтереси:

- теорія технологій флотаційного та магнітного збагачення руд;
- вплив мінеральних форм корисних копалин на параметри їх збагачення з метою розробки рекомендацій щодо покращення виробничого процесу.

Рубан Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету.

<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-4495-6667>.

Наукові інтереси:

- моделювання технологічних процесів металургійного та гірничо-збагачувального виробництва і систем керування цими процесами;
- сучасні методи теорії керування, зокрема інтелектуальні методи ідентифікації та керування, методи адаптивного прогнозуючого керування;
- автоматизація процесів керування тепловими об'єктами; технології цифрової трансформації виробництва та Industry 4.0.

Kryvenko A.Y., Bulakh O.V., Oliinyk T.A., Ruban S.A.

Theoretical studies of increasing the efficiency of mass transfer of magnetite suspension based on changes in the hydrodynamic parameters of the decontamination process

The article presents an improvement in the technology of iron ore enrichment by increasing the efficiency of gravity-hydraulic enrichment in radial thickeners of the MD9 type, which consists in the development of a new method for forming the output power of the device. Studies of the flow of magnetite suspension from the feeding device of a magnetic deslimmer are presented, which allow us to obtain the dependences of the speed of movement of the feed flow of pulp and the content of solid on the parameters of the feed device of the initial suspension. The obtained dependences make it possible to reduce the negative impact of a flooded jet on the hydraulic enrichment of iron ore raw materials. Applying the well-known laws of hydrodynamics and hydraulics, a mathematical model of the separation of iron ore raw materials at the output of the power supply device of the magnetic deslimmer device was constructed, according to which theoretical prerequisites are used when choosing the model structure. Calculations have obtained the dependence of the velocity of movement of solid phase particles of the pulp on the design features of the magnetic deslimmer. Mathematical modeling is performed by applying a theoretical model of gravitational-hydraulic separation of iron ore raw materials in a magnetic deslimers. Equations were obtained that made it possible to significantly reduce the number of parameters that affect the course of the magnetic desolation process. A computational experiment based on the results of modeling the process of hydraulic-gravitational separation of suspensions in a magnetic desiccant made it possible to study the change in the corresponding parameters and their effect on the desiccation process. In turn, in practice, questions arise about finding quantitative relations. Therefore, it is necessary to conduct experimental studies on real magnetic deslimers in order to collect material for evaluating the parameters that are included in mathematical models. The presented mathematical models can vary the necessary parameters of the magnetic desolation process, taking into account the design features of the device itself and the power supply device, in order to obtain the final product of a given quality.

Keywords: deslimmer; deslming; MD9; radial thickener, radial power supply.

Стаття надійшла до редакції 16.04.2025.