

6. **Дмитриев П.А., Шведов В.Н.** Несущая способность и деформативность нагелей крестообразного сечения в соединениях деревянных элементов с металлическими накладками и прокладками, поставленными в пропилы // Архитектура и строительные конструкции: тез. докл. научн.-техн. конф. – Новосибирск, 1992. – 45 с.
7. **Орлович Р.Б.** Тенденции в развитии соединений деревянных конструкций в строительстве за рубежом // Известия ВУЗов: Строительство – 2004. – № 11. – С. 4-9.
8. **Гетц К.Г.** Атлас деревянных конструкций. – 1985. – 272 с.
9. **Eurocode 5.** Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten Design of timber structures. – 2004. – 89 p.
10. **ДБН В.2.6-161:2017.** Дерев'яні конструкції. Основні положення. – 2017. – 96 с.
11. **Берковская Д.А., Касабян Л.В.** Клееные деревянные конструкции в зарубежном и отечественном строительстве. – 1997. – 108 с.
12. **Найчук А.Я.** Численные исследования прочности деревянных балок со сквозными трещинами усиленных наклонно вклеенными стержнями // Сборник научных трудов: Ресурсосберегающие материалы, конструкции, здания и сооружения. – Ровно, 2008. – Вып. 16. – Ч. 2. – С. 278-281.
13. **Дмитриев П.А., Жаданов В.И., Столповский Г.А.** Соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание // Известия ВУЗов: Строительство. – 2010. – № 4. – С. 133-137.
14. **Замрин А.А.** Проектирование и расчет методом конечных элементов в среде APM Structure3D. – 2010. – 376 с.
15. **Жаданов, В.И., Столповский Г.А.** Новый тип узловых соединений деревянных конструкций на стальных винтовых крестообразных стержнях. – Одесса, 2010. – Ч.2. – С. 50-55.
16. **Найчук А.Я., Бабаев М.В.** К вопросу оценки несущей способности стальных винтовых стержней, завинченных под углом к волокнам древесины // Журнал Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 1. – С. 21-23.
17. **Турковский, С.Б., Погорельцев А.А.** Создание деревянных конструкций системы ЦНИИСК на основе наклонно вклеенных стержней // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 3. – С. 6-8.
18. **Пуртов В.В.** Исследование соединений деревянных элементов на металлических пластинах с зубьями-дубелями на действие длительной нагрузки // Известия ВУЗов: Строительство. – 2004. – № 6. – С. 130-134

Рукопис подано до редакції 09.05.2023

УДК 622.788.36

С.Г. САВЕЛЬЄВ, д-р техн. наук, проф., **О.В. БАБАЄВСЬКА**, асистент,
Т.П. ЯРОШ, канд. техн. наук, доц., **М.М. КОНДРАТЕНКО**, ст. викладач
Криворізький національний університет

ОЦІНКА МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПРИДАТНОСТІ ТОНКОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО ОГРУДКУВАННЯ

Відзначено різноманітність методів визначення придатності тонко дисперсних матеріалів до огрудкування, які в переважній більшості базуються на двох напрямках: використанні характеристичних вологемностей або характеристик гранулометричного складу. Для оцінки водно-фізичних властивостей тонко дисперсних матеріалів застосовуються такі вологемності, як максимальна гігроскопічна, максимальна молекулярна, найменша капілярна і максимальна капілярна, які входять у формули для визначення коефіцієнта грудкуємості. Оцінка гранулометричного складу відбувається за допомогою значень вмісту фракцій менше 0,074, 0,050, 0,044 мм або величини питомої поверхні матеріалу. Проаналізовано представницькість найбільш поширених методів, їх відповідність реальним технологічним характеристикам. Зроблено висновок про перевагу методів, підґрунтям яких є водно-фізичні властивості грудкуемого матеріалу. Відзначено необхідність встановлення стандартних методів визначення характеристичних вологемностей матеріалів, які піддаються огрудкуванню

Метою роботи є порівняльна оцінка достовірності результатів визначення за різними методиками придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування.

Методи наукового дослідження. В роботі використані загальнологічні методи наукового дослідження – аналіз і синтез, аналогія, узагальнення.

Наукова новизна роботи. На основі проведеного аналізу встановлено, що більш надійними і достовірними методами визначення придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування є такі, що базуються на застосуванні мінерально-гідрологічних констант грудкуемого матеріалу.

Практична значущість роботи полягає у отриманні висновків, які дають інформацію для практичного застосування методів оцінки придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування, що мають високу представницькість результатів і не вимагають багато часу на їх визначення.

Результати роботи свідчать про те, що розробка і застосування методів визначення придатності тонко дисперсних матеріалів до огрудкування є одним з важливих напрямком розвитку теорії і технології виробництва окатишів, подальший розвиток якого пов'язаний з встановленням стандартних методів визначення мінерально-гідрологічних констант пиліт, які піддаються огрудкуванню.

Ключові слова: вологемність, коефіцієнт, матеріал, метод, склад, окатиш, мішність

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. В теперішній час залізорудні окатиші є одним з основних компонентів залізорудної частини доменної плавки, а також найбільш поширеною сировиною для процесів прямого відновлення заліза. Перший етап технології виробництва обпалених окатишів полягає в отриманні сирих окатишів шляхом огрудкування зволоженої тонкодисперсної шихти. Ефективність цього процесу, в першу чергу, визначається здатністю вихідного матеріалу до огрудкування. З цієї причини питання визначення показників придатності до огрудкування тонкодисперсного матеріалу, яким є шихта для отримання сирих окатишів, вже десятки років привертає увагу вчених-дослідників і виробників, які працюють на фабриках огрудкування (див., наприклад, Витюгин В.М., Докучаев П.Н. К вопросу о выборе рациональной технологии окомкования соколовско-сарбайских концентратов. Горнодобывающая промышленность Казахстана. 1961, № 3. – С. 81-83).

Разом із тим, не всі питання, пов'язані з цією проблематикою, залишаються цілком дослідженими. Встановлення надійних показників придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування дозволить підвищити ефективність виробництва окатишів за рахунок оптимізації процесів підготовки компонентів шихти і самого складу шихти до огрудкування, що забезпечить покращення якості сирих і обпалених окатишів, сприятиме підвищенню продуктивності їх виробництва.

Аналіз досліджень і публікацій. Теоретичним підґрунтям для розробки методів визначення придатності тонкодисперсних матеріалів для огрудкування є аналіз фізико-хімічної взаємодії рідкої і твердої фаз в процесі огрудкування. На думку В.І. Коротича [1, с. 55], під «грудкуємiстю» в повному сенсі слід розуміти швидкість утворення і зростання гранул та їх міцність. А, оскільки швидкість виникнення грудочок сама визначається швидкістю зчеплення частинок, то грудкуємiсть матеріалів може характеризуватися одним параметром – взаємною міцністю зчеплення частинок грудкуємого матеріалу. Аналогічного погляду на сенс терміну «грудкуємiсть» дотримуються практично всі дослідники процесу огрудкування.

Подрібнені залізорудні матеріали є гідрофільними дисперсними системами, для яких характерна інтенсивна взаємодія з водою. Система «тонкоподрібнений залізорудний концентрат–вода» намагається знизити свою енергію шляхом зменшення поверхневого натягу на межі розділення фаз, а також зменшення ступеню дисперсності частинок концентрату. Це означає, що дана система має термодинамічне прагнення до огрудкування [2, с. 9].

Поверхня будь-якої рідини і твердого тіла має силове поле, здатне захоплювати і утримувати сторонні атоми і молекули. Аналогічні сили зчеплення з'являються між двома макроскопічними тілами, поверхні яких зближені до дуже малих відстаней. Однак дія цього ефекту не поширюється на частинки крупніше 0,005 мм тому, що мікрорельєф їх поверхні не дозволяє зближення на відстань, де проявляється взаємодія силових полів. На відміну від твердих частинок, рідина здатна змінювати свою поверхню, повторюючи рельєф поверхні твердої частинки. В результаті виникає необхідний контакт – сила зв'язку частинки з рідиною досягає значної величини. Таким чином, шар рідини між двома частинками здатний зв'язувати сусідні частинки. Для цього необхідно, щоб достатня сила зчеплення була не тільки між рідиною і частинкою, але і між молекулами самої рідини. Такі специфічні властивості має вода, яка для частинок залізорудних матеріалів є доволі сильною «клеючою» речовиною [1, с. 55, 56].

В дисперсній вологій системі в залежності від форми частинок можливі чотири типи контактів – дві кулеподібні частинки, куля і площина, дві паралельні площини, площина і конус. При цьому міцність контакту рідини–тверде оцінюється роботою адгезії: $W = \sigma_s(1 + \cos\theta)$, де σ_s – поверхневий натяг зволожуючої речовини (води), θ – краєвий кут змочування [3, с. 221, рис. 5.1]; а міцність контактної пари визначається рівнянням Лапласа, що виражає роль капілярних сил: $p = \sigma_s(1/r_2 - 1/r_1)$, де r_1 і r_2 – радіуси опуклої і увігнутої поверхні рідинної манжети відповідно [3, с. 221, с. 222].

Міцність агрегату (грудки) визначається трьома чинниками:

міцністю контактної пари, що залежить від типу зволожувальної рідини, гранулометричного складу матеріалу і визначається відомою формулою Лапласа;
кількістю контактів в одиниці об'єму матеріалу;

кількістю води в точці контакту (*ММВ*, *МКВ*).

Максимальна молекулярна вологоємність матеріалу (*ММВ*) є величина вологості, що відповідає максимальній товщині міцно сорбованого шару води.

Максимальна капілярна вологоємність (*МКВ*) – це величина вологості, що відповідає заповненню капілярів агрегату з дисперсних частинок водою при збереженні трифазної системи «повітря–рідина–тверде» (верхня межа робочої вологості матеріалу).

Визначення абревіатури *НКВ* як нерухомої капілярно-стикової вологоємності матеріалу, що відповідає заповненню вільного об'єму контактної пари без утворення манжети між ними і характеризує нижню межу робочої вологості грудкуемого матеріалу [3, с. 222], неможна вважати правильним. Воно містить логічну смислову помилку: якщо вода не утворює манжети між контактуючими поверхнями, при тому, що в системі немає капілярів, заповнених водою, то взагалі немає підстав говорити про існування в даній системі капілярної вологи. Очевидно, що стилістично і логічно вірним визначенням *НКВ* є найменша капілярна вологоємність (трохи вища *ММВ*) [1, с. 60].

В цілому вміст і стан води в дисперсній системі визначає грудкуємість матеріалу, яка суттєво залежить від його питомої поверхні [3, с. 222].

Вітчизняними і закордонними вченими теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена пряма залежність між величинами питомої поверхні шихти і капілярної сили в сирому окатиші і його опором роздавлюванню [4, с. 33, 34].

На міцність зчеплення часток впливають наступні фактори: 1) вміст води в залізрудній шихті; 2) гранулометричний склад сипкого матеріалу; 3) природа грудкуемого матеріалу; 4) умови утворення гранул. Міцність грудки P' підпорядковується залежності [5, с. 64]:

$$P' = kSp[(1 - \epsilon)/\epsilon],$$

де k – коефіцієнт, що враховує природу матеріалу; S – питома поверхня шихти; ρ – густина матеріалу; ϵ – пористість окатиша.

Вплив питомої поверхні шихти на міцність окатишів наведено на рис. 1 [3, с. 224, рис. 5.2].

Однак роль питомої поверхні залізрудного концентрату проявляється не лише в позитивному впливі на зчеплення частинок. Тенденція до зростання міцності окатишів внаслідок збільшення кількості контактів може перекиватися негативним впливом звуження діапазону коливання розміру частинок і, отже, зниженням щільності окатишів. Крім того, зростання питомої поверхні призводить до збільшення робочої вологості шихти, що спричиняє зростання пористості сухих окатишів і, отже, менш сприятливі умови для протікання процесу зміцнення. За результатами дослідження процесу огрудкування та зміцнення окатишів з лебединського концентрату різної питомої поверхні спостерігається екстремальний зв'язок між питомою поверхнею концентрату та металургійними властивостями обпалених окатишів [5, с. 64].



Рис. 1. Залежність міцності окатишів від величини питомої поверхні шихти: 1 – не офлосовані; 2 – офлосовані до основності 0,8-1,0

Таким чином, треба розуміти [2, с. 9], що грудкуємість неможливо визначити однозначно, оскільки вона є результатом одночасної дії багатьох факторів, насамперед гранулометричного складу матеріалу, форми і властивостей поверхні зерен, хіміко-мінералогічного складу.

Суттєве зауваження щодо використання характеристик вологоємностей для розрахунку коефіцієнта грудкуємість [6] пов'язане із застосуванням закону фільтрації Дарсі для визначення швидкості насичення матеріалу водою. За допомогою цього закону неможливо певною мірою описати швидкість насичення, зважаючи на те, що він є емпіричним і адекватно описує характер руху порової рідини лише за відносно малих градієнтів тиску, не враховуючи механічних впливів при грануляції.

Крім того, оцінка грудкуємість на основі характеристик вологоємностей не враховує вплив на сили зчеплення факторів, що визначається станом шару зерен частинок шихти, і, насамперед, наявністю полярних радикалів і атомів з великим негативним електростатичним по-

тенціалом. При тому, теоретичний аналіз вказує на те, що магнетитовий концентрат піддається великому впливу електростатичних і магнітних сил [7].

Однак, попри всі зауваження щодо недоліків використання водно-фізичних характеристик для оцінки придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування, саме вони, наряду з гранулометричним складом, залишаються найбільш поширеним підґрунтям для встановлення коефіцієнтів грудкуємості шихти, що піддається огрудкуванню.

Для характеристики гранулометричного складу залізорудного концентрату, основного компонента шихти для виробництва окатишів, звичайно використовують вміст у ньому певних часток (наприклад, менше 0,074; 0,050; 0,044 мм) і питому поверхню. Практика огрудкування показує, що у випробуваних межах деяке збільшення частки дрібних часток у шихті сприятливо позначається на процесі грануляції і якості сирих і обпалених окатишів. Міцність окатишів тим вища, чим більше число контактів між окремими частками, число яких збільшується зі зменшенням розміру часток [8, с. 25, 26].

Сирі окатиші задовільної міцності можна одержати при подрібненні концентрату до крупності $\leq 0,2$ мм. Однак існують і більш жорсткі вимоги, відповідно до яких весь матеріал розмілюють, наприклад, до крупності $\leq 0,15$ мм, у тому числі 75 % матеріалу – до крупності $\leq 0,044$ мм. У деяких випадках вимоги до ступеня здрібнювання ще вище: 85–90 % матеріалу повинні бути здрібнені до крупності $\leq 0,044$ мм [2, с. 10]. Поширеною є практика використання для виробництва окатишів концентрату, який має вміст фракції $<0,075$ мм на рівні 80 %, як наприклад в роботі [9].

Якщо для оцінки грудкуємості матеріалів користуватися величиною їх питомої поверхні, то для придатних матеріалів вона складає 1500–2500 $\text{см}^2/\text{г}$, тобто $\approx 2000 \text{ см}^2/\text{г}$, що відповідає вимогам до крупності: 100 % фракції $<0,15$ мм, в тому числі 75 % фракції $<0,04$ мм [2, с. 12].

За кордоном значення питомої поверхні зазвичай називають індексом Блейна, який має розмірність $\text{см}^2/\text{г}$. Як правило вважають, що будь-який матеріал, призначений для огрудкування, повинен мати індекс Блейна $>1200 \text{ см}^2/\text{г}$, хоча відомі приклади [9] отримання позитивних результатів при використанні залізорудного концентрату з індексом Блейна 1180 $\text{см}^2/\text{г}$.

Розробка показників грудкуємості на базі водно-фізичних характеристик матеріалу вимагає попереднього розгляду можливих зв'язків (станів) води в шарі дрібних частинок.

Згідно з широко розповсюдженою класифікацією форм зв'язку води з матеріалом, запропонованою академіком П.О. Ребіндером [10, с. 591], розрізняють: хімічну (іонна, молекулярна), фізико-хімічну (адсорбційна, осмотична) та фізико-механічну (волога в капілярах і макрокапілярах, волога змочування) форми зв'язку. Дещо інакше виглядає класифікація форм зв'язку капілярно-пористих тіл з поглиненою рідиною в залежності від величини і природи енергії зв'язку, представлена професором Д.А. Ковальовим зі співробітниками [11, с. 105]. Пропонується розрізняти чотири форми зв'язку води з дисперсними системами: 1) хімічно зв'язану; 2) капілярно зв'язану; 3) адсорбційно зв'язану; 4) осмотично зв'язану (вода, яка знаходиться в розбавлених розчинах). Для умов згрудкування залізорудних матеріалів найбільший інтерес представляє адсорбційно і капілярно зв'язана вода.

Характеризуючи різні стани води в шарі дрібного матеріалу ті самі автори розрізняють воду [11, с. 97] адсорбовану – міцно зв'язану; слабо орієнтовану – рихло зв'язану; вільну – капілярну і гравітаційну.

Міцно зв'язана вода, яка володіє максимальною гігроскопічною ($МГ$), і сумісно з максимальною кількістю рихло зв'язаної води утворює категорію максимальної молекулярної вологості ($ММВ$) матеріалу. В свою чергу $ММВ$ і максимальна кількість вільної капілярної вологи, що утримується структурою, формують категорію максимальної капілярної вологості ($МКВ$). Величини $МГ$ і $ММВ$ характеризують енергію взаємодії поверхні часток з водою, а величина $МКВ$ – структуру пористого матеріалу (наприклад структуру гранули) [11, с. 97, 98].

В тому ж навчальному посібнику [11, с. 142] вказано, що товщина плівки адсорбованої води знаходиться в межах 0,05–0,2 мм, тому не залишається місця для капілярної вологи. З цієї причини величина $ММВ$, рівна 7–12 %, включає $МГ$, яка дорівнює 0,5–2,6 %, і найменшу капілярну вологості ($НКВ$). З останнім виразом попереднього речення неможливо погодитись тому що, як було вказано вище, $НКВ$ має значення трохи більше за $ММВ$ [1, с. 60].

Використання водно-фізичних характеристик шихти для визначення коефіцієнта грудкуємості K започатковано наприкінці 60-х років минулого століття В.М. Вітютиним зі співробітни-

ками [12]. При цьому було запропоновано декілька розрахункових формул з різною кількістю вихідних показників, які за аналогією з ґрунтознавством [13, с. 139] можна називати мінерально-гідрологічними константами, оскільки ці показники характеризують граничні значення вологості, при яких кількісні зміни рухливості води в капілярно-пористих матеріалах, що складають шихту, переходять у якісні відмінності.

Оцінити грудкуємість шихти можна безпосередньо в процесі огрудкування віднесенням продуктивності огрудкувача до довжини шляху огрудкування шихти в ньому або оберненої цьому відношенню величини (рис. 2) [3, с. 224, рис. 5.3]. Це відношення являє собою питому продуктивність 1 м шляху огрудкування або скільки метрів цього шляху потрібно для виробництва 1 т окатишів за 1 год. Матеріали, що мають питому поверхню менше 1100 см²/г або відповідну їй грудкуємість менше, ніж 0,18 т/(год·м), непридатні для виготовлення окатишів. Найкращими для огрудкування є шихти з грудкуємістю в межах 0,25–0,35 т/(год·м) [4, с. 42, 43]. Недоліком цього показника грудкуємості є те, що для одержання порівнянних результатів необхідно забезпечити дотримання однакових умов огрудкування (параметри конструкції огрудкувача і режим його роботи).

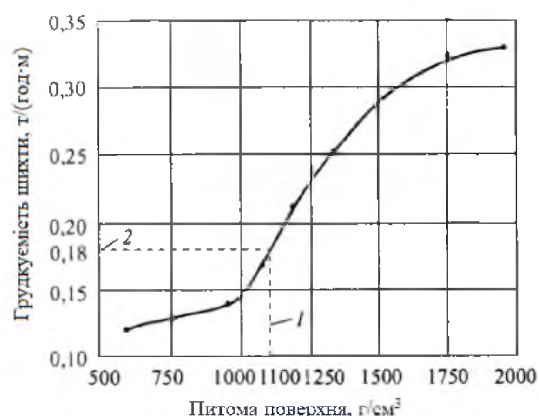


Рис. 2. Залежність грудкуємості шихти від її питомої поверхні: 1 – граничні значення, нижче яких отримання окатишів ускладнене; 2 – відношення продуктивності огрудкувача до довжини шляху огрудкування [4, с. 42]

Постановка задачі. Завданням представленого дослідження є порівняльна аналітична оцінка достовірності результатів визначення за різними методиками придатності тонкодисперсних залізорудних концентратів та шихт на їх основі до огрудкування.

Викладення матеріалу та результати. Структурно-теоретичний аналіз відомих формул для визначення коефіцієнта (показника) грудку-

ємості K на основі мінерально-гідрологічних констант

$$K = MMB / (MKV - MMB) \quad [11, \text{с. 360}; 12], \quad (1)$$

де K може бути більше 1 (до 6);

$$K = (HKV - W_{\text{вз}}) / (MKV - HKV) \quad [5, \text{с. 64}; 3, \text{с. 222}], \quad (2)$$

де $W_{\text{вз}}$ - внутрішньозеренна вологість, яка не відіграє активної ролі в процесі гранулоутворення;

$$K = (HKV - M\Gamma) / (MKV - HKV) \quad [1, \text{с. 63}; 12]; \quad (3)$$

$$K = HKV / (MKV - HKV) \quad [12]; \quad (4)$$

$$K = (MKV - MMB) / MKV \quad [4, \text{с. 34}; 12] \quad (5)$$

дозволяє зробити наступні зауваження та висновки:

формула (1), за якою коефіцієнт грудкуємості може приймати значення більше одиниці, не зовсім вписується в існуючу шкалу оцінювання коефіцієнта K , який може змінюватись від 0 до 1. За значенням K матеріали поділяють на такі, що не грудкуються ($K < 0,2$), слабо грудкуються ($K = 0,2-0,35$), середньої грудкуємості ($0,35-0,5$), добре грудкуються ($K = 0,5-0,8$), дуже добре грудкуються ($K > 0,8$) [3, с. 222] або грудкуємість при $K > 0,8$ порушується [1, с. 63];

у формулі (2) використовується значення внутрішньозеренної вологості $W_{\text{вз}}$, стосовно якої відсутнє пояснення фізичного сенсу цієї форми вологості і методу її визначення. Скоріш за все, внутрішньозеренна вологість $W_{\text{вз}}$ приймає значення трохи менші або такі, що повністю відповідають максимальній гігроскопічній вологоємності $M\Gamma$, про що свідчить існування формули (3), в якій замість $W_{\text{вз}}$ використовується $M\Gamma$;

з представлених п'яти формул у чотирьох – (1)–(4) – знаменник являє собою різницю між двома мінерально-гідрологічними константами, більша з яких – MKB , а менша – HKV або близька до неї за значенням MMB . При цьому чисельник містить відповідно HKV (інколи трохи зменшений на величину $M\Gamma$ або $W_{\text{вз}}$) або MMB . У формулі (5) знаменник представлений тільки однією константою – MKB , однак суттєве збільшення абсолютного значення знаменника у цьому випадку компенсується перенесенням відносно великого значення MKB (зменшеного на MMB) в чисельник. Таким чином можна констатувати структурно-змістовну ідентичність усіх

п'яти відомих формул визначення коефіцієнта гудкуємості за допомогою мінерально-гідрологічних констант.

Незважаючи на структурну ідентичність формул (1)–(5), значення коефіцієнтів K , отриманих за цими формулами, суттєво різняться. Про це свідчать дані табл. 1, в якій характеристики кількох типів залізородних концентратів [3, с. 223, табл. 5.1] доповнені результатами розрахунків коефіцієнта гудкуємості K за формулами (1), (3)–(5). Чисельні значення коефіцієнтів гудкуємості розрахованих для одного і того типу концентрату можуть коливатись від 0,55–0,64 ($\Delta = 0,09$) для концентрату СтГЗК до 0,58–0,80 ($\Delta = 0,22$) для флотаційного концентрату МихГЗК. Тому виникає необхідність визначити формулу, яка найбільш адекватно характеризує придатність матеріалу до огрудкування. Порівняльний аналіз даних табл. 1 вказує, що такою є формула (3), відносно якої вважається [14], що її чисельник є кількісним виразом здатності дисперсного матеріалу утримувати капілярно-нерухому вологу, яка обумовлює міцність вологого агрегату, а знаменник висловлює кількість капілярно-рухомої води, що визначає швидкість огрудкування.

Таблиця 1

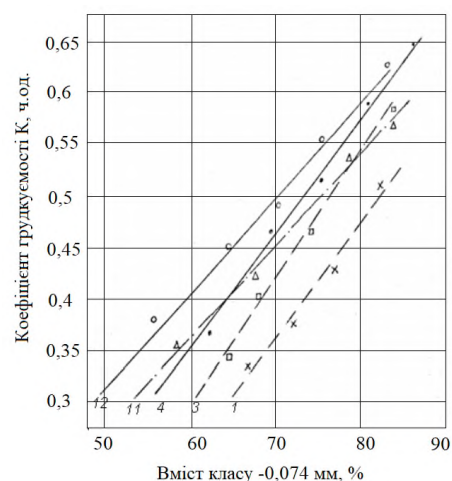
Характеристика концентратів збагачення магнетитових кварцитів

Концентрати	Вміст $\text{Fe}_{\text{заг}}\%$	Вміст класів, %		$S_{\text{тв}}^{\text{тв}} \text{ см}^2/\text{г}$	$HKB, \%$	$MKB, \%$	$W_{\text{вс}}, \%$	$MT, \%$	$MMB, \%$	$K_{(1)}, \text{ч.од.}$	$K_{(2)}, \text{ч.од.}$	$K_{(3)}, \text{ч.од.}$	$K_{(4)}, \text{ч.од.}$	$K_{(5)}, \text{ч.од.}$
		<50 мкм	<10 мкм											
Флотаційні														
ПівдГЗК:														
1	64,60	95,2	25,0	2000	7,6	20,0	0,5	1,0	7,1	0,55	0,57	0,53	0,61	0,65
2	62,80	92,7	19,5	2000	7,3	18,0	0,5	1,0	6,7	0,59	0,64	0,59	0,68	0,63
3	61,30	89,8	16,6	1800	7,0	19,7	0,5	1,0	6,5	0,49	0,51	0,47	0,55	0,67
МихГЗК:														
флотаційний	63,60	93,1	36,3	2000	8,0	18,0	0,8	1,3	7,5	0,71	0,72	0,67	0,80	0,58
магнітно-флотаційний	63,0	87,0	7,9	1800	8,0	20,5	0,8	1,3	7,5	0,58	0,58	0,54	0,64	0,63
магнітний	59,70	84,6	5,5	1550	7,2	19,0	0,8	1,3	6,7	0,54	0,54	0,50	0,61	0,65
Магнетитові:														
ЛебГЗК	68,0	86,1	14,4	1700	7,0	19,3	0,4	0,9	6,5	0,51	0,54	0,50	0,57	0,66
СтГЗК	65,60	94,0	18,3	2000	7,0	18,0	0,4	1,0	6,5	0,57	0,60	0,55	0,64	0,64
МихГЗК	64,5	92,1	15,3	1800	7,0	19,0	0,5	1,0	6,5	0,52	0,54	0,50	0,58	0,66

Про перевагу формули (3) над іншими говорить також її оцінка проф. В.І. Коротичем як такої, що враховує сумарний вплив на гудкуємість сипких матеріалів їх гранулометричного складу і фізико-хімічних властивостей [1, с. 63]. Про тісний зв'язок коефіцієнта гудкуємості K , що визначається за формулою (3), з вмістом в матеріалі тонких фракцій крупності вказують результати експериментального дослідження [15], представлені на рис. 3. Таким чином, можна говорити про наявність пропорційної залежності не тільки між ступенем дисперсності і питомою поверхнею матеріалу, але також між обома цими показниками і коефіцієнтом гудкуємості матеріалу K .

Рис. 3. Залежність коефіцієнта гудкуємості K шихт з продуктів збагачення і дрібняку фосфоритів від вмісту в них фракції $-0,074$ мм: 1 – ковдорський апатитовий концентрат; 3 – хвости магнітної сепарації; 4 – відвальні хвости гравітаційного збагачення; 11 – 75 % хвостів магнітної сепарації + 25 % дрібняку фосфоритів крупністю $< 0,25$ мм; 12 – 75 % відвальних хвостів гравітації + 25 % дрібняку фосфоритів крупністю $< 0,25$ мм

Досліджуючи методики визначення гудкуємості тонкодисперсного матеріалу на основі мінерально-гідрологічних констант треба мати на увазі, що розмежування води, яка міститься в ґрунті, на окремі категорії або форми залежно від її фазового стану і природи сил, що утримують її в ґрунті (сорбційні, капілярні, сила тяжіння), є умовним, оскільки вода в ґрунті практично знаходиться одночасно під дією кількох сил з переважним



впливом сили якогось одного виду, тому, говорячи про дію на воду сил тієї чи іншої природи, мають на увазі їх переважний вплив [13, с. 136]. Ця думка, висловлена по відношенню до ґрунтів, цілком стосується тонкодисперсних шихт, які використовуються для виробництва залізорудних окатишів. Тому наближеність визначених коефіцієнтів грудкуємості конкретних шихт до реальної їх поведінки в процесі огрудкування залежить від ступеню представницькості мінерально-гідрологічних констант, використаних при їх розрахунку. До цього зауваження треба ще відмітити, в якості негативного фактору при оцінюванні придатності тонкодисперсного матеріалу до огрудкування, відсутність стандартних методів експериментального визначення мінерально-гідрологічних констант сипких матеріалів, що ускладнює порівняння значень коефіцієнтів K , розрахованих на їх використанні.

Висновки та напрямок подальших досліджень. На даний час існує два основних підходи до оцінки придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування, один з яких базується на використанні показників крупності матеріалу (методи на основі вмісту окремих фракцій крупності або величини питомої поверхні), а другий – на його характеристичних вологемностях (мінерально-гідрологічних константах), методи якого розрізняються формулами для розрахунку коефіцієнта грудкуємості K . Придатними для огрудкування вважаються тонкодисперсні матеріали, які містять не менше 75 % фракції $< 0,04$ мм або мають питому поверхню > 120 м²/кг. Добре грудкуються матеріали, у яких $K = 0,5-0,8$.

Порівнюючи основні підходи до оцінки придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування, слід надати перевагу другому з них, підґрунтям якого є мінерально-гідрологічні константи. Цей висновок пояснюється тим, що результати оцінювання методами другого підходу, на відміну від особливостей першого підходу, який обмежений крупністю матеріалу, більш чутливі, оскільки залежать не тільки від гранулометричного складу матеріалу, а також від інших його характеристик – форми і властивостей поверхні зерен, хіміко-мінералогічного складу, магнітних властивостей, які теж впливають на силу зчеплення часток грудкуємого матеріалу. Серед відомих формул для розрахунку коефіцієнта грудкуємості K , переважаючою є та, чисельник і знаменник якої складається з різниць відповідно між найменшою капілярною і максимальною гігроскопічною ($HKB - MI$) та між максимальною і найменшою капілярною ($MKB - HKB$) вологемностями.

Доцільним напрямком подальших досліджень в питанні оцінки методів встановлення придатності тонкодисперсних матеріалів до огрудкування може бути розробка стандартних методів визначення мінерально-гідрологічних констант шихт, які використовуються для виробництва окатишів.

Список літератури

1. Коротич В.И. Основы теории и технологии подготовке сырья к доменной плавке. М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
2. Маерчак Ш. Производство окатышей. М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
3. Сырье для черной металлургии: Справочное издание в 2-х т. Т. 1. Сырьевая база и производство окискованного сырья (сырье, технологии, оборудование) / М.Г. Ладыгичев, В.М. Чижикова, В.И. Лобанов и др. : под ред. В.М. Чижиковой. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 896 с.
4. Бережной Н.Н., Булычев В.В., Костин А.И. Производство железорудных окатышей. М.: Недра, 1977. – 240 с.
5. Производство агломерата и окатышей: справ. изд. / С.В. Базилевич, А.Г. Астахов, Г.М. Майзель и др. : под общ. ред. Ю.С. Юсфина. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с.
6. Стойкова Я.А., Бережной Н.Н. Анализ показателей комкуемости тонкодисперсных материалов, / Сборник научных трудов Донбасского гос. ун-та. – Алчевск: ДонГТУ. – 2012. – Вып. 38. – С. 140-146.
7. Савельев С.Г., Стойкова Я.А. Оценка комкуемости магнетитовых концентратов / IX Междунар. конгр. обогатителей стран СНГ: (сб. материалов). – М.: МИСиС, 2013. – С. 498-501.
8. Интенсификация производства и улучшение качества окатышей. Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков, Л.К. Антоненко и др. – М.: Металлургия, 1994. – 240 с.
9. Mbele P. Pelletizing of Sishen concentrate. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. vol. 112, n.3. Johannesburg, Mar. 2012. http://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S2225-62532012000300013&script=sci_arttext&tlang=es
10. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. – 752 с.
11. Теоретические основы производства окискованного сырья. Д.А. Ковалёв, Н.Д. Ванюкова, В.П. Иващенко и др. – Днепропетровск: ИМА-пресс, 2011. – 476 с.
12. Витюгин В.М. Оценка комкуемости мелкозернистых материалов / Изв. вузов. Черная металлургия. – 1969. – № 4. – С. 18-22.
13. Почвоведение. Учеб. для ун-тов. В 2 ч. / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г.Д. Белищина, В.Д. Васильевская, Л.А. Гришнина и др. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.

14. Определение комкуемости и рабочей влажности пихт для производства окатышей. **В.М. Витюгин, А.В. Витюгин, Н.Н. Бережной, В.И. Смирнов.** Бюллетень ЦНИИЧМ, 1973, №23. - С. 29, 30.
15. **Трушников В.Е.** Исследование комкуемости мелкодисперсного сырья из отходов мелочи фосфоритов и хвостов обогащения, содержащих фосфор и магний, для электротермического получения удобрений // Горный информационно-аналитический бюл. Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2009. – № 12. – С. 83-90.

Рукопис подано до редакції 09.05.2023

УДК 550.83+550.837: 550.82: 551.244: 551.495 (477.63)

П.Г. ПІГУЛЕВСЬКИЙ, д-р геолог. наук, с.н.с., Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАНУ
В.К. СВИСТУН, член-кор. АГНУ, канд. геолог. наук, директор ДГЕ «Дніпрогеофізика»
Г.І. ЄРЕМЕНКО, член-кор. АГНУ, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет
С.О. ЯРЕМІЙ, аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ЗАСТОСУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ТЕХНОГЕННИХ СПОРУД НА ПОВЕРХНЕВІ ТА ПІДЗЕМНІ ВОДИ (НА ПРИКЛАДІ ПІВДЕННОГО КРИВБАСУ)

Мета. Аналіз результатів застосування дистанційних (геофізичних і космічних) методів при дослідженні впливу техногенних споруд на поверхневі та підземні води на території південно-західної промислової зони Криворізького залізничного басейну та встановлення особливостей протікання гідрогеологічних процесів.

Методи дослідження. Дані гідрогеологічних, гідрологічних, інженерно-геологічних і геофізичних досліджень кінця ХХ початку ХХІ сторіччя території та інтерпретація даних космічної спектральної і радарної зйомки в комплексі з геофізичними дослідженнями, дозволила оцінити зміни фізичних процесів від денної поверхні до глибин у десятки метрів під нею.

Наукова новизна. Дослідженнями доведено, що процеси обводнювання (зневоднювання) геологічного розрізу залежать від сучасних деформацій рельєфу, які відбуваються в зонах тектонічних розломів в межах території Кривбасу, що свідчить про зміну пружно-деформаційного стану земної кори в центральній частині Українського щита. Трансрегіональний Криворізький глибинний розлом формує в кристалічному фундаменті різнорангову систему розломів і пов'язані з нею зони підвищеної проникливості.

Практична значимість. Дослідження дозволяють вирішити ряд важливі проблеми гірничої геології: визначення зв'язку поверхневих та приповерхневих вод, вплив геолого-тектонічної будови на розвиток процесів підтоплення навколо великих техногенних споруд, визначити шляхи їх ймовірної міграції.

Результати. Гідрогеологічні, інженерно-геологічні та геофізичні дослідження минулих років на території південного Кривбасу в комплексі з сучасними спостереженнями свідчать про значні зміни в гідрогеологічному середовищі за останні десятиліття. Ступень їх мінералізації залежить від підтоку техногенних вод з Лівобережних відвалів та сезонних опадів.

Комплексні дослідження показали, що моніторингові спостереження та контроль, супутниково-наземною системою дистанційних зондувань дозволяє оперативно в режимі реального часу та без порушення суцільності геологічного середовища прогнозувати зміни природно-техногенної ситуації поблизу небезпечних промислових об'єктів та споруд гірничо-металургійного комплексу і оперативне реагувати на ймовірні катаклізми.

Ключові слова: гідрогеологічна структура, техногенне підтоплення, мінералізовані води, космічні знімки, геоелектричні дослідження.

Проблема та її зв'язок із науковими та практичними завданнями. Сучасні масштаби господарської діяльності та екстенсивне нарощування її обсягів, посилюють негативний вплив на природу та призводять до порушення екологічної рівноваги багатьох промислових районів України. Так, в Криворізькому залізничному басейні (Кривбасі) збільшення видобутку залізних руд з одночасним накопиченням відходів гірничо-видобувної діяльності зумовило значну деградацію довкілля. Міська агломерація та промислові об'єкти постійно зазнають негативних екологічних змін природного середовища від впливу таких техногенно-небезпечних процесів як провали, зсуви, утворення пустот під житловими масивами, підтоплення мінералізованими водами [1-5, 7,8].