

**Ніконов І.О., здобувач освітнього ступеня «магістр»,
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
Шамрай В.І., к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»**

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПУЛЬПИ ТИТАНО-ІЛЬМЕНІТОВИХ ПІСКІВ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ОПТИМІЗАЦІЮ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Гідравлічний транспорт є ключовою технологічною операцією у схемах збагачення титано-ільменітових пісків, забезпечуючи переміщення значних обсягів руди між операціями подрібнення, класифікації та сепарації. Ефективність, надійність та енергоспоживання систем гідротранспорту безпосередньо залежать від гідродинамічних параметрів потоку. Проте, пульпа титано-ільменітових пісків становить собою складну гетерогенну суспензію, що характеризується високою густиною твердих частинок (ільменіт, рутил, циркон) та схильністю до швидкого осадження. Це вимагає глибокого теоретичного дослідження реологічних властивостей пульпи для науково обґрунтованої оптимізації параметрів транспортування.

Теоретична проблема полягає в тому, що пульпа важких мінералів не підкоряється законам течії простих ньютонівських рідин. Вона демонструє складну неньютонівську поведінку, де в'язкість не є константою, а залежить від градієнта швидкості зсуву. Більше того, така пульпа часто характеризується наявністю початкової напруги зсуву (yield stress) – мінімального зусилля, яке необхідно прикласти для початку течії. Ці реологічні характеристики (ефективна в'язкість, напруга зсуву) є функціями багатьох змінних: концентрації твердої фази (густини пульпи), гранулометричного складу пісків та, меншою мірою, хімічного складу середовища.

Ідентифікація коректної реологічної моделі є першочерговим завданням. Для суспензій такого типу найбільш імовірними є моделі Бінгама (Bingham plastic) або Гершеля-Балклі (Herschel-Bulkley). Модель Бінгама описує рідину з початковою напругою зсуву та постійною пластичною в'язкістю, тоді як модель Гершеля-Балклі є більш загальною, враховуючи як початкову напругу, так і ступеневу залежність в'язкості від швидкості зсуву. Неправильний вибір реологічної моделі призводить до фундаментальних помилок у розрахунках гідравлічного опору та критичних швидкостей.

Ключовим параметром, що визначає стабільність гідравлічного транспорту важких пісків, є критична швидкість потоку. Це мінімальна середня швидкість, при якій тверді частинки ще не починають осідати на нижній стінці трубопроводу. Критична швидкість безпосередньо залежить від реологічних властивостей пульпи: вища в'язкість та наявність початкової напруги зсуву сприяють утриманню частинок у завислому стані, потенційно знижуючи критичну швидкість. Однак, надто висока в'язкість водночас різко збільшує гідравлічний опір.

Таким чином, завдання оптимізації постає як пошук компромісу між двома конкуруючими факторами: ризиком осадження та енерговитратами. Експлуатація системи на швидкостях, значно вищих за критичну, гарантує відсутність замулення труби, але призводить до надмірних енерговитрат через високі втрати на тертя (гідравлічний опір) та прискорене абразивне зношення трубопроводів і насосного обладнання.

З іншого боку, експлуатація на швидкостях, близьких або нижчих за критичну, несе в собі катастрофічний ризик. Осадження важких мінералів на дні труби (замулення або "sanding") призводить до прогресуючого зменшення ефективного перерізу трубопроводу, лавиноподібного зростання опору, перевантаження насосів і, зрештою, до повної зупинки системи. Це вимагає дороговартісного та тривалого процесу очищення лінії.

Отже, теоретичне дослідження реології титано-ільменітових пульп має на меті розробку математичної моделі, що пов'язує фундаментальні характеристики (концентрацію, гранулометрію) з реологічними параметрами (в'язкість, напруга зсуву). Ця модель, у свою чергу, є вхідними даними для гідродинамічних розрахунків, що дозволяють точно визначити критичну швидкість та гідравлічний опір для конкретних умов (діаметр труби, продуктивність).

Кінцевою метою такого дослідження є розробка науково обґрунтованих номограм або програмного забезпечення для оперативного управління процесом гідротранспорту. Це дозволить підтримувати оптимальний режим, що балансує на межі мінімально допустимої швидкості, забезпечуючи максимальну енергоефективність при нульовому ризику аварійного осадження твердої фази.

Список використаної літератури:

1. Rojas J., Verde C., Torres L. Estimation of Hydraulic Gradient for a Transport Pipeline. *Journal of Pressure Vessel Technology*. 2020. Vol. 143, no. 3. URL: <https://doi.org/10.1115/1.4048322>