

УДК 622.647.7+621.928.23+621.976.5

Ю.Г. ГОРБАЧОВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ НОВОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

У роботі відзначено численні переваги вібраційних технологій та техніки в порівнянні з традиційними. Коливальні впливи, прикладені до твердих тіл, дисперсних середовищ, пульпи та рідин, надають їм нові різноманітні властивості, які примушують швидше та якісніше виконувати ті чи інші дії. Зроблено оцінку актуальності теми дослідження. На підставі аналізу науково-технічної інформації розглянуто аспекти використання вібраційних ефектів для інтенсифікації виробничих процесів в гірничій та гірничозбагачувальній промисловості, зокрема для обробки різноманітних дисперсних середовищ. Аналіз використання вібраційних ефектів в гірничозбагачувальній промисловості свідчить про те, що вібраційні машини застосовуються здебільшого для операцій переміщення, навантаження та грохочення насипних матеріалів (віброживильники, віброконвеєри, віброгрохоти). Зроблено висновок про значні перспективи розширення сфери застосування вібраційної техніки в підготовчих, основних та допоміжних процесах збагачення мінеральної сировини. Проведені дослідження довели можливість розробки нових конструкцій дробильно-помольного обладнання з вібраційними приводами, які забезпечують високі показники призначення та надійності, вібраційних машин для підвищення ефективності процесів гравітаційного збагачення у важких середовищах, віброустаткування для транспортування гірничої маси і продуктів її переробки, пульпи різних ступенів жорсткості, обладнання для радіометричного збагачення руди в рухомому рудопотоці, для вібраційної зміцнювальної обробки сирих окатишів, інтенсифікації випуску насипних матеріалів з різноманітних ємностей, полегшення процесу впровадження робочих органів гірничого та гірничозбагачувального обладнання в породу тощо. Практичне застосування переваг вібраційних технологій дасть можливість суттєво підвищити ефективність багатьох підготовчих, основних та допоміжних технологічних процесів збагачення.

Проблема та її зв'язок з науковими та технічними задачами. Бурхливий розвиток в останні десятиріччя вібраційних технологій та техніки, що їх використовує, пов'язаний із суттєвими перевагами, які вони забезпечують. Коливальні впливи, прикладені до твердих тіл, дисперсних середовищ, пульпи та рідин, надають їм нові різноманітні властивості, які примушують швидше та якісніше виконувати ті чи інші дії.

У гірничій промисловості за допомогою вібрацій з успіхом інтенсифікують різні виробничі процеси, отримують нові позитивні результати під час видобутку та переробки корисних копалин.

Проте величезна різноманітність способів та прийомів переробки сировини, що застосовуються при збагаченні корисних копалин, відкриває надзвичайно широке поле діяльності для вібрації, яке в багатьох випадках досі лишається незайманим. Тому пошук нових сфер прикладення вібраційних технологій в гірничо-збагачувальній галузі, розробка та впровадження нової техніки, що їх реалізує, є дуже важливим та актуальним науковим завданням.

Отже, актуальність теми роботи не викликає сумнівів.

Аналіз досліджень та публікацій. Як відомо, впливаючи на дисперсне середовище вібраціями різної інтенсивності, можна вибірково змінювати його властивості, причому часто в протилежних напрямках [1]. Наприклад, коливання з віброприскореннями, що не перевищують прискорення вільного падіння, але близькими до нього, підвищують рухомість часток насипного матеріалу, зменшують зазори між ними, ущільнюючи таким чином матеріал. Навпаки, при зростанні інтенсивності вібрацій, коли віброприскорення стають більше за g , частки матеріалу починають хаотично рухатися, зазори між ними збільшуються, тобто матеріал розпушується.

Такі різноманітні стани дисперсного середовища використовують як з метою щільного укладання насипних матеріалів під час навантаження їх в різного роду ємності, так і для змішування, транспортування, класифікації та інших супутніх їм операцій.

Аналіз використання вібраційних ефектів в гірничозбагачувальній промисловості свідчить про те, що вібраційні машини застосовуються здебільшого для операцій переміщення, навантаження та грохочення насипних матеріалів (віброживильники, віброконвеєри, віброгрохоти) [1-4]. Їх подальше удосконалення йде в основному в таких напрямках [5-9]:

створення нових конструкцій віброприводів з регульованими параметрами вібрації (амплітудою, частотою, величиною та напрямком дії змушеного зусилля) з метою реалізації найбільш раціональних режимів роботи в умовах експлуатації, що змінюються;

розробка віброприводів, які забезпечують повільне проходження машини через резонансну зону в перехідних режимах роботи (під час розгону та вибігу) з метою зниження навантажень на корпусні конструкції та підшипникові вузли;

створення блокових уніфікованих конструкцій віброприводів для агрегатного використання на робочих органах вібромашин значної площі;

підвищення надійності машин в цілому та віброприводів зокрема, особливо їх підшипникових вузлів, які здебільшого визначають довговічність вібротехніки;

створення ефективних елементів віброізоляції і цілком врівноважених вібромашин для зниження динамічних навантажень на фундаменти та інші несучі конструкції.

Проте можливості для використання вібраційних технологій з метою підвищення ефективності процесів збагачення мінеральної сировини цим, на наш погляд, далеко не вичерпуються. Існує багато операцій підготовчих, основних та допоміжних процесів збагачення, де вони можуть забезпечити отримання нових позитивних результатів, підвищити продуктивність роботи, поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз можливостей та оцінка перспектив використання вібраційних ефектів для створення нового гірничозбагачувального обладнання.

Викладення матеріалу і результати. Без сумніву, недостатнім є рівень впровадження нових, прогресивних конструкцій дробильно-помольного устаткування, що використовує вібраційні ефекти. Наприклад, шоківі та конусні дробарки традиційних конструкцій, які широко застосовуються в гірничій промисловості, досить вразливі в ситуаціях потрапляння до них сторонніх металевих предметів, а їх запуск під навантаженням або зовсім неможливий, або пов'язаний із значними пусковими моментами і потребує додаткових суттєвих витрат енергії. У той же час для дробарок, оснащених вібраційними приводами інерційного типу, таких проблем просто не існує. Відсутність кінематичних зв'язків між робочими елементами інерційних віброприводів (дебалансами) та дробильними щокми (конусами) захищає ці приводи від поламок під час різкого зростання навантажень у випадку потрапляння предметів, які не дробляться. Що ж стосується запуску подібних конструкцій під навантаженням, то такий режим не лише є цілком можливим, але й взагалі може вважатися штатним. Крім того, висока частота коливань вібраційних щік чи конусів забезпечує підвищення ступеня дроблення у порівнянні зі звичайними конструкціями та захищає від налипання на них в'язких матеріалів. При цьому скорочуються питомі витрати енергії на одиницю ступеня дроблення, з'являються можливості створення цілком врівноважених конструкцій, що не потребують масивних фундаментів [1]. Дуже великі перспективи мають також вібраційні конструкції помольного обладнання, які поки що, на жаль, не отримали належної уваги в гірничозбагачувальній промисловості. Проте вони можуть забезпечити суттєве скорочення витрат металу та інших матеріалів, а також необхідних виробничих площ в порівнянні з традиційними кульовими та стрижневими млинами з обертовими камерами тієї ж потужності [10].

Значні можливості використання вібраційних ефектів в основних процесах збагачення. Наприклад, вплив коливань певних режимів на рідини викликає змінення їх питомої ваги, що може бути застосовано в процесах важкосередовищного гравітаційного збагачення.

Для залізної руди Криворізького басейну вельми актуально використання радіометричних методів сепарації, зокрема гамма-абсорбційного. Справа в тім, що при просвічуванні шматків руди гамма-випромінюванням будь-якого радіоактивного джерела вони послаблюють його інтенсивність (поглинають певну частину випромінювання) пропорційно вмісту заліза в них. Завдяки цьому з'являється реальна можливість контролю цих шматків з метою виявлення екземплярів як дуже високої якості (які не потребують збагачення і придатні до безпосереднього металургійного переділу), так і відверто бідних, які слід відправити у відходи. Така операція найбільш доречна до збагачувальної фабрики у вигляді контролю рудопотоку, що поступає з шахти чи кар'єру. Для суттєвого звуження його обсягу (тобто для скорочення числа контрольованих шматків) можна використати ще одну корисну в даному випадку якість криворізької руди. В ній, як правило, більш бідні представники зосереджені у великих фракціях рудопотоку і навпаки. Це пояснюється тим фактом, що шматки багатих руд не такі міцні і в результаті численних перевантажень в процесі транспортування від очисного вибою до збагачувальної фабрики руйнуються швидше, ніж більш міцніші бідні руди і породи. Тому цілком можливо відділення від загального рудопотоку фракції, скажімо, -200 мм (вона спрямовується далі на збагачувальну

фабрику) і контроль решти рудопотоку (фракції +200 мм; її в його загальному обсязі приблизно 10-15%) описаним вище методом. Кондиційні шматки також відправляються на збагачення, а некондиція - у відходи. Для розділення загального рудопотоку спочатку на ці дві фракції, а потім фракції +200 мм на необхідну кількість паралельних потоків для подальшого радіометричного контролю кожного шматка добре підійдуть вібраційні установки, а саме: спеціального типу грохот і робочий орган сепаратора [11].

Надзвичайно неоглядні можливості застосування вібрації в допоміжних процесах збагачувального виробництва.

Величезною проблемою в усіх без винятку галузях господарства є ускладнений випуск насипних матеріалів з ємностей. І особливо вона актуальна для дробильних, збагачувальних, агломераційних, огрудкувальних та брикетних фабрик. Ці виробництва, як правило, представляють собою лінії послідовно встановленого технологічного обладнання, сполученого транспортними засобами та проміжними ємностями (бункерами) для зберігання, накопичення, усереднення мінеральної сировини та продуктів її переробки. Крім того, бункери відіграють роль акумуляційних ємностей, що згладжують невідповідності в темпах роботи устаткування, яке вони з'єднують, шляхом створення резервів часу. Ці резерви можуть бути використані на відновлення працездатності машин, що вийшли з ладу, без зупинки решти технологічного обладнання. Це значно підвищує рівень надійності виробництва в цілому.

Проте, як вже було зауважено, випуск насипних матеріалів з ємностей суттєво ускладнюється через їх злежування та ущільнення під дією тиску вище лежачих шарів матеріалу, утворення зависань та склепінь в районі випускних отворів. При випуску вологих матеріалів та таких, що схильні до налипання (особливо в зимових умовах, коли температура навколишнього середовища падає нижче нуля), ці проблеми зростають багаторазово. Незважаючи на величезну кількість існуючих технічних рішень, спрямованих на інтенсифікацію процесу випуску насипних матеріалів з ємностей, в тому числі за допомогою вібраційних засобів обвалення зависань та зводів [12], проблема досі далека від вирішення і розробка нових, по-справжньому ефективних засобів вібраційного спонукання випуску лишається дуже важливою та актуальною.

Що стосується транспортних механізмів згаданих підприємств, то провідну роль тут відіграють стрічкові конвеєри. Надійність цього обладнання визначається головним чином надійністю стрічки та роликкоопор, а вони залежать від правильної їх експлуатації і, не в останню чергу, від раціональності організації процесів завантаження та розвантаження конвеєрів. І тут вібраційні конструкції можуть забезпечити найкращі умови реалізації цих процесів. Мова йде про вібраційні завантажувальні та розвантажувальні пристрої, засоби для вібраційного очищення стрічки від налиплимого матеріалу тощо.

Хороші перспективи розширення використання вібрації для полегшення транспортування пульпи (особливо з високим ступенем жорсткості) по трубопроводах. Практичний досвід застосування таких вібраційних установок для транспортування закладних сумішей свідчить про те, що певні режими коливань трубопроводів суттєво знижують опори руху ними пульпи (за рахунок зменшення коефіцієнтів тертя у пристінних шарах) і дають можливість в декілька разів збільшити відстань самопливного переміщення пульпи в горизонтальній ділянці трубопроводу під дією тиску підпору у вертикальній [13]. Отже, вібрації забезпечують суттєве зниження витрат енергії на транспортування пульпи.

Взагалі, спроможність коливань певних параметрів зменшувати коефіцієнти тертя між частками насипного матеріалу, а також між ними та елементами вібраційної машини чи її робочого органу використовується далеко не в тому ступені, якого вона заслуговує. Добре відомо, наприклад, що впровадження ковшів навантажувальних машин та екскаваторів у штабелі гірничої маси, бурильного інструменту в породу значно полегшується за умови їх вібрування [1].

Цей ефект може бути з успіхом використаний на багатьох установках збагачувальних фабрик та фабрик окускування руд і концентратів. Мова йде про різного роду змішувачі (роторні, шнекові), гвинтові конвеєри та інші подібні машини, в яких робочі органи змушені долати значні опори дисперсного середовища. Останнім часом для порід із агломерацією та огрудкуванням залізвмісних матеріалів все ширше використовується такий спосіб окускування, як брикетування, що раніше застосовувався лише для вугілля. Процес пресування рудної брикетної шихти без зв'язуючих домішок потребує вельми значних тисків, для зниження яких доречно попереднє ущільнення (підпресування) матеріалу. Для такої операції використовуються різні пристрої, є досвід

застосування і вібраційних [14]. Подальша розробка та удосконалення подібних конструкцій мають хороші перспективи.

І, нарешті, така дуже перспективна можливість використання переваг вібраційних технологій як вібраційна зміцнювальна обробка сирих окатишів. В огрудкувальному виробництві окатиші отримують на барабанних або чашкових огрудкувачах. Проте, гранули, що сходять з них, погано пристосовані для подальшого тривалого зберігання, транспортування та використання внаслідок високої вологості і низької міцності. Тому вони підлягають зміцнювальному випалу або іншим подібним операціям. Але шлях від огрудкувача до випалювальної печі пов'язаний із численними переважними операціями, падіннями та ударами сирих окатишів і, незважаючи на теоретичні вимоги до міцності в сирому вигляді, яка має забезпечити їх цілісність на цьому шляху, на практиці все не так ідеально і багато гранул цей процес не витримують. Утворюється значна кількість бою, який потрібно повертати знову в операції підготовки і власне огрудкування. Отже, проблема недостатньої міцності сирих окатишів цілком реальна і потребує ефективного технічного рішення. З огляду, вона може бути з успіхом вирішена з використанням вібраційних технологій.

У машинобудуванні широке розповсюдження отримали прийоми поверхневого зміцнення сталевих деталей шляхом багаторазових ударних впливів відповідних інструментів або оброблювальних тіл. У результаті такого так названого наклепу на поверхні деталі утворюється щось на кшталт зміцненої оболонки невеликої товщини, яка добре опирається процесам абразивного зношення, корозії та явищу втомленості металу. За аналогією така обробка може суттєво зміцнити сирій окатиш, що доведено відповідними експериментальними дослідженнями [15].

На поверхні гранули, обробленої численними ударами під час її транспортування з перекошенням по вібраційній площині зміцнювальної установки утворюється міцна кірка, яка перешкоджає діям руйнівальних впливів на шляху до печі. Крім того, вібраційна обробка сирого окатиша витісняє зайву вологу з його середини на поверхню, що зменшує небезпеку розриву гранули в печі в результаті швидкого нагріву і перетворення внутрішньої вологи на пару. Зміцнювальна вібраційна обробка підвищує міцність як сирого, так і випаленого окатиша, суттєво зменшує утворення дріб'язку при виробництві гранул.

Висновки і напрямок подальших досліджень. Викладений матеріал переконливо свідчить на користь доцільності розширення галузей використання вібрацій в гірничозбагачувальному виробництві. Практичне застосування переваг вібраційних технологій дасть можливість суттєво підвищити ефективність багатьох підготовчих, основних та допоміжних технологічних процесів збагачення.

Список літератури

1. Гончаревич І.Ф. Вибротехника в горном производстве. – М.: Недра, 1992, - 319 с.
 2. Гончаревич І.Ф., Гудушаури Э.Г. Некоторые аспекты современного развития вибрационной техники / Проблемы машиностроения и надежности машин. – М.: 2008, №5, - с. 116-120.
 3. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоёмких производствах. – Дн-ск: НГА Украины, 2002, - 190 с.
 4. Іскович-Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Севостьянов І.В. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. – Вінниця: Універсум, 2006, - 291 с.
 5. Blechman I.I., Blechman L.I., Vaisberg L.A., Ivanov K.S. Revisiting the models of vibration screening process / Vibroengineering PROCEDIA, 2014, V. 3, PP. 169-174.
 6. Blechman I.I., Sorokin V.S. On the separation of fast and slow motions in mechanical systems with high-frequency modulation of the dissipation coefficient / Journal of sound and vibration, 2010, T. 329, №23.
 7. Рагульскис К. Вибротехника 50. – Каунас: Vibroengineering, 2013, - 204 с. (на лит. яз.).
 8. Яцун С.Ф., Сафаров Д.И., Мищенко В.Я., Локтионова О.Г. Вибрационные машины и технологии. – Баку: 2004, - 408 с.
 9. Вопросы вибрационных технологий / Межвуз. сб. научн. статей. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2001, - 166 с.
 10. Лесин А.Д. Современное помольное оборудование. Вибрационные мельницы. Обзорная информация. – М.: 1989. – 98 с.
 11. Kawarma I., Kalnitski A., Gorbachov Y., Kondratenko V. Ocena wydajności systemu transportowego “podajnic – wibrazyjnyqdstawa” w podziemnych kopalniach rud / Prace Naukowe Inatytuty Gornictwa Politechniki Wroclawskiej/ - Wroclaw: 1990, nr. 12, pp. 173-176.
 12. Варсанюфьев В.Д. Вибрационные бункерные устройства на горных предприятиях. – М.: Недра, 1984.
 13. Байконуров О.А., Мельников В.А., Кунакбаев Ш.У. и др. Перспективы применения вибросамотечного трубопроводного транспорта твердеющей закладки. – Горн. журн., 1980, №5. – с. 20-22.
 14. Равич Б.М. Брикетирование руд. - М.: Недра, 1982. – 183 с.
 15. А.с. 1617962 (СССР) Линия для производства железорудных окатышей / И.И. Каварма, А.М. Кальницкий, В.Ф. Кондратенко, Ю.Г. Горбачев, А.Л. Мондрус, Н.Н. Кумченко. - 1992.
- Рукопис подано до редакції 17.04.15