

Корисна модель стосується технології класифікації за розміром зернистого матеріалу і може знайти застосування в металургійній, гірничорудній, хімічній, промисловості будівельних матеріалів та інших галузях виробництва.

Під час класифікації зернистого матеріалу в барабані стадіями, що суттєво обмежують процес, є проходження дрібної фракції через шар матеріалу і отвори поверхні, що просіює, та самоочищення отворів. Це спричинено низькою інтенсивністю відносного руху при циркуляції матеріалу в обертотій камері. Значна частка зернистого завантаження є пасивною, не зазнає деформації і не бере участі у проходженні дрібної фракції через отвори поверхні, що просіює.

Відомий спосіб класифікації зернистого матеріалу в барабані, що обертають відносно горизонтальної осі, який включає подавання матеріалу у камеру барабана, видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, шляхом проходження дрібної фракції через шар матеріалу до поверхні, проходження частинок дрібної фракції через калібровані отвори поверхні і самоочищення отворів, та видалення крупної фракції з камери, при цьому змінюється кут подавання із певною швидкістю вихідного зернистого матеріалу на поверхню барабана, що просіює [1].

Зазначений спосіб дозволяє інтенсифікувати проходження дрібної фракції через шар матеріалу і отвори поверхні, що просіює, та самоочищення отворів в барабані, оскільки не допускає виникнення пасивних режимів руху зернистого матеріалу в камері, проте основним недоліком зазначеного способу є загальна низька ефективність класифікації через малу інтенсивність циркуляції та усталений режим руху матеріалу.

Найбільш близьким за технічною суттю до технічного рішення, що заявляється, є спосіб класифікації зернистого матеріалу в барабані, що обертають відносно горизонтальної осі, який включає подавання матеріалу у камеру барабана, видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, шляхом проходження дрібної фракції через шар матеріалу до поверхні, проходження частинок дрібної фракції через калібровані отвори поверхні і самоочищення отворів, та видалення крупної фракції з камери, при цьому зернистому навантаженню надають пульсуючого руху зі змінною дилатансією у поперечному перерізі камери, а видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, здійснюють при обертанні барабана із біфуркаційним значенням швидкості самозбудження автоколивань зернистого завантаження у поперечному перерізі камери [2].

Цей спосіб дає змогу здійснити досить ефективну класифікацію, оскільки спряє зниженню об'ємної частки пасивної частини завантаження та центрального ядра сегрегації частинок, у яких сповільнюється проходження дрібної фракції. Проте основним недоліком зазначеного способу є низька продуктивність процесу внаслідок слабкої автоколивної імпульсної взаємодії частинок через малу інтенсивність циркуляції завантаження в камері.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу класифікації зернистого матеріалу в барабані, у якому забезпечується посилення імпульсної взаємодії частинок зернистого матеріалу, а отже, і істотне підвищення продуктивності видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює.

Поставлена задача вирішується тим, що у спосіб класифікації зернистого матеріалу в барабані із автоколивним внутрішньокамерним завантаженням, що обертають відносно горизонтальної осі, який включає подавання матеріалу у камеру барабана, видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, шляхом проходження дрібної фракції через шар матеріалу до поверхні, проходження частинок дрібної фракції через калібровані отвори поверхні і самоочищення отворів, та видалення крупної фракції з камери, при цьому зернистому завантаженню надають пульсуючого руху зі змінним розмахом у поперечному перерізі камери, згідно з корисною моделлю, видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, здійснюють при проведенні самозбудження автоколивань завантаження у жорсткому режимі.

У найприйнятнішому прикладі реалізації способу при проведенні видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, ступінь заповнення камери барабана завантаженням підтримують при величині, що відповідає максимальному розмаху автоколивань завантаження в камері.

Крім того, при проведенні видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, ступінь заповнення камери барабана завантаженням підтримують у діапазоні 0,25-0,35.

Проведення видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, при проведенні самозбудження автоколивань завантаження у жорсткому режимі дає змогу здійснити стрибкоподібне самозбудження релаксаційних коливань розривного характеру із підвищеним розмахом.

Підтримування ступеня заповнення камери барабана завантаженням при величині, що відповідає максимальному розмаху автоколивань завантаження в камері, при проведенні видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, забезпечує посилення імпульсної взаємодії частинок зернистого матеріалу.

Підтримування ступеня заповнення камери барабана завантаженням у діапазоні 0,25-0,35 при проведенні видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, дає змогу посилити та досягти реалізації явно вираженого прояву жорсткого режиму самозбудження автоколивань.

Виявлений для вирішення поставленої задачі гідродинамічний ефект самозбудження у жорсткому

режимі автоколивань завантаження камери при обертанні барабана дозволяє досягти технічного ефекту підвищення продуктивності процесу класифікації за рахунок зменшення частки пасивної та збільшення частки активної зони руху завантаження внаслідок посилення дилатансії, а також збільшення інтенсивності і динамічності циркуляції робочого середовища внаслідок зростання розмаху релаксаційних автоколивань розривного характеру та посилення імпульсної взаємодії зернистих частинок.

Суть способу класифікації пояснюється ілюстративними матеріалами.

На фіг. 1 зображено покадрову розгортку відеофіксації послідовних картин одного періоду автоколивного руху зернистого завантаження камери обертового барабана при усередненому режимі самозбудження; на фіг. 2 зображено покадрову розгортку відеофіксації послідовних картин одного періоду автоколивного руху завантаження при жорсткому режимі самозбудження; на фіг. 3 зображено залежність розмаху автоколивань ψ від ступеня заповнення камери завантаженням κ , де: $\psi = 2(u_{\max} - u_{\min}) / (u_{\max} + u_{\min})$ – відносний розмах автоколивань, $u_{\max}$ та $u_{\min}$ – максимальне та мінімальне значення дилатансії завантаження в камері за період коливань; на фіг. 4 зображено залежність добротності автоколивань QF від κ , де: $QF = E_k / E_p$ – добротність коливальної системи, що відповідає відношенню енергії, що була запасена в системі, до енергії, що втрачається в системі, за один період коливань, $E_k = (I\omega^2)/2$ – кінетична енергія завантаження, що була накопичена за один період коливань, $E_p = m\Delta h g$ – кінетична енергія завантаження, що була витрачена за один період коливань, I – осьовий момент інерції завантаження при досягненні мінімального значення дилатансії протягом одного періоду коливань, ω – колова швидкість обертання барабана, m – маса завантаження, Δh – вертикальне зміщення центра мас завантаження протягом одного періоду коливань, g – гравітаційне прискорення; на фіг. 5 зображено залежність ступеня релаксації автоколивань DR від κ , де: $DR = (24 - z)/z$ – ступінь релаксації, що відповідає відношенню тривалості дорелаксаційного повільного етапу накопичення енергії до тривалості швидкого етапу релаксації енергії протягом одного періоду коливань, z – значення кількості послідовних картин руху завантаження у поперечному перерізі камери для етапу релаксації, що було зареєстровано за допомогою відеозйомки з частотою 24 кадри на секунду.

Збурення коливальної системи барабанного класифікатора можуть збуджувати автоколивання внаслідок втрати стійкості руху.

Чинниками нестійкості обертового руху машинного агрегату класифікатора є зміна жорсткості залежностей осьового моменту інерції та моменту сил опору завантаження камери від колової швидкості обертання барабана [3]. Чинниками нестійкості двовимірного руху зернистого матеріалу в обертовій камері барабана класифікатора є його дилатансія та демпфуючий вплив дрібних частинок на імпульсну взаємодію крупних частинок [4, 5].

Під час самозбудження автоколивань зернисте завантаження приводиться в періодичний пульсаційний рух у поперечному перерізі камери обертового барабана при взаємному переході циркуляційного режиму руху та режиму пристінкового шару. Сутність автоколивного режиму руху пояснюється покадровою розгорткою відеофіксації (Фіг. 1) процесу пульсаційної течії при усередненому режимі самозбудження автоколивань [6]. При такому режимі реалізується квазігармонійна форма автоколивань завантаження.

На фіг. 2 наведено покадрову розгортку відеофіксації процесу пульсаційної течії завантаження при жорсткому режимі самозбудження автоколивань [4]. При такому режимі відбувається стрибкоподібне самозбудження розривних релаксаційних автоколивань завантаження негармонійної форми зі значним розмахом. Порівняно з усередненим режимом самозбудження, жорсткий режим характеризується бістабільністю, підвищеним розмахом, зниженою добротністю та підвищеним ступенем релаксації автоколивань. Зі зниженням ступеня заповнення камери завантаженням прояв жорсткого режиму самозбудження посилюється і стає явно вираженим.

Розривний характер релаксаційних автоколивань завантаження камери обертового барабана при жорсткому самозбудженні визначається дисипативними властивостями коливальної системи. Добротність автоколивальної системи та ступінь релаксації автоколивань чисельно характеризують співвідношення нелінійних дисипативних і реактивних сил та процесів в системі.

Як показують експериментальні дослідження [4], відносний розмах автоколивань при жорсткому режимі самозбудження зростає до 0,78, порівняно з 0,05 при усередненому режимі (фіг. 3). Крім того добротність автоколивальної системи знижується до 1,1 при жорсткому режимі, порівняно з 11 при усередненому (фіг. 4). Натомість ступінь релаксації автоколивань зростає до 1,6 при жорсткому режимі, порівняно з 1,1 при усередненому (фіг. 5).

Самозбудження автоколивань завантаження барабана класифікатора у жорсткому режимі збільшує поверхню дотику завислого у камері пульсуючого зернистого матеріалу, підвищує градієнт швидкості між окремими шарами матеріалу, збільшує частоту взаємних зштовхувань частинок матеріалу, запобігає утворенню центрального ядра сегрегації частинок за розміром, пришвидшує проходження дрібної фракції через шар матеріалу та входження у дотикання із поверхнею, що просіює, підвищує ймовірність проходження частинок дрібної фракції через калібровані отвори поверхні та покращує самоочищення отворів.

Спосіб класифікації реалізується за допомогою пристрою, що містить барабан та привод із регулятором швидкості обертання, пружним елементом і реєстратором амплітуди коливань елемента.

Спосіб класифікації реалізується таким чином.

Оброблюваний зернистий матеріал подають в камеру барабана класифікатора. Для визначення шуканого значення швидкості, при проведенні самозбудження автоколивань завантаження у жорсткому режимі, початкову довільну швидкість обертання барабан змінюють із одночасним вимірюванням амплітуди коливань пружного елемента до досягнення екстремального значення результатів вимірювання. Надалі видалення дрібної фракції через поверхню, що просіює, здійснюють при отриманому значенні швидкості обертання.

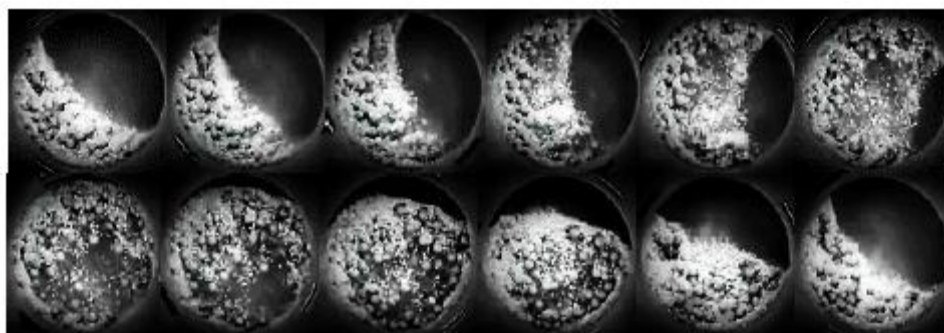
Ступінь заповнення камери барабана класифікатора завантаженням підтримують при величині, яка відповідає максимальному розмаху автоколивань завантаження в камері, що забезпечує посилення імпульсної взаємодії частинок зернистого матеріалу.

Крім того ступінь заповнення камери барабана класифікатора завантаженням підтримують у діапазоні 0,25-0,35, що зумовлює явно виражену реалізацію жорсткого режиму самозбудження автоколивань.

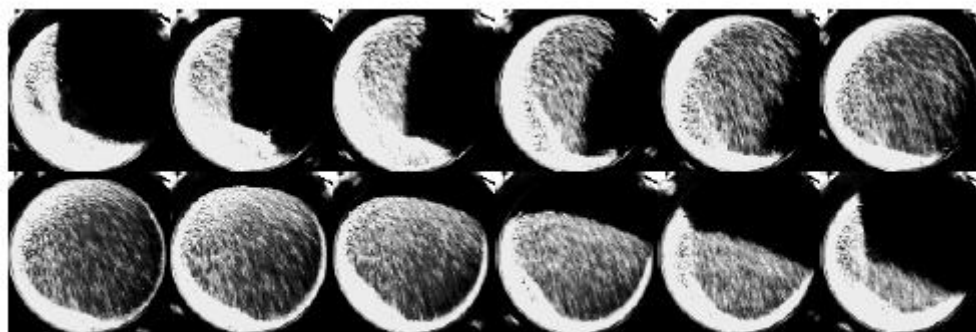
Таким чином, здійснення заявленого способу призводить до інтенсифікації процесу проходження дрібної фракції через шар матеріалу та отвори поверхні, що просіює, і самоочищення отворів в барабані та забезпечує підвищення продуктивності класифікації зернистого матеріалу, що значно відрізняється за крупністю частинок,

Джерела інформації:

1. Пат. RU2004984C1, МПК B07B 1/24, опубл. 30.12.1993.
2. Пат. UA155100U, МПК B07B 1/22, опубл. 17.01.2024.
3. Deineka K. Yu., Naumenko Yu. V. The tumbling mill rotation stability // *Naukovyi Visnyk Nationalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018. Issue 1(163). P. 60-68. Doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10>
4. Deineka K., Naumenko Yu. Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4. Issue 1(118). P. 34–46. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097>
5. Deineka K., Naumenko Yu. Mathematical modeling of the rotating drum granular fill flow oscillatory stability // *Vibroengineering Procedia*. 2025. Vol. 59. P. 70–81. Doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2025.25248>
6. Both H.-U. Mahlkörperbewegungen in der Kugelmühle [Motions of Grinding Elements in a Ball Mill]. 1966. IWF (Göttingen). [Video]. (06m:43s–07m:11s) YouTube. Doi: <https://doi.org/10.3203/IWF/C-921>



Фиг. 1



Фиг. 2

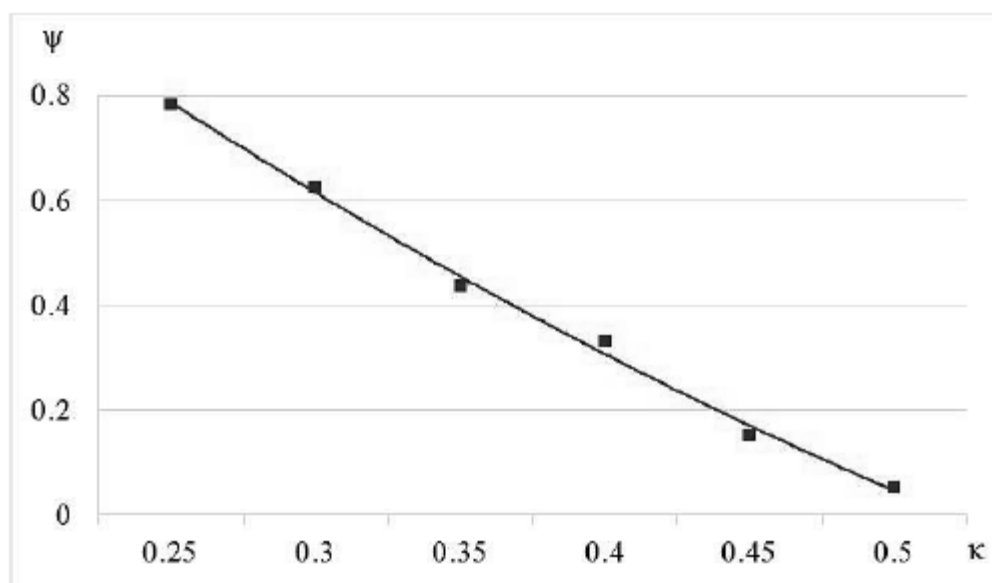


Fig. 3

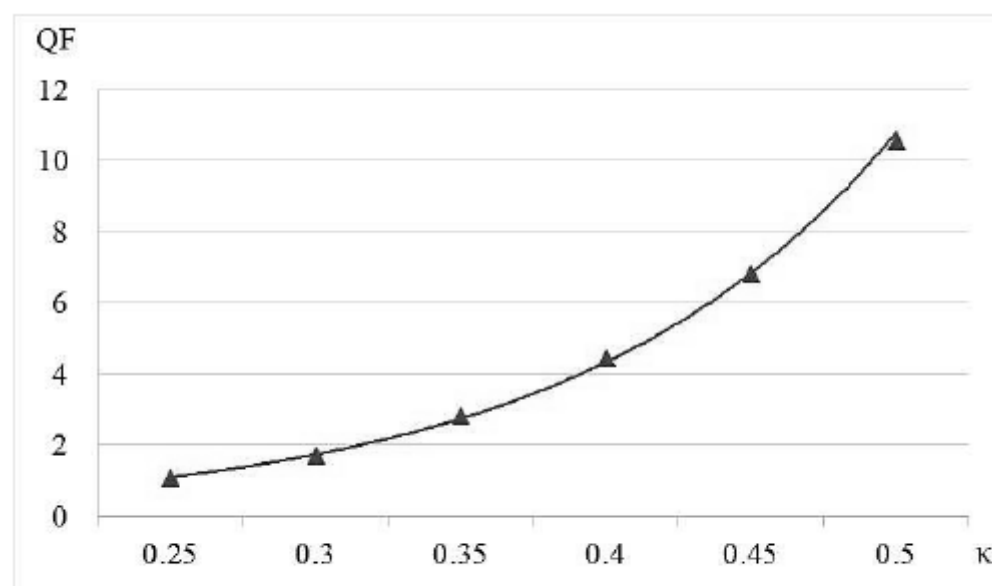


Fig. 4

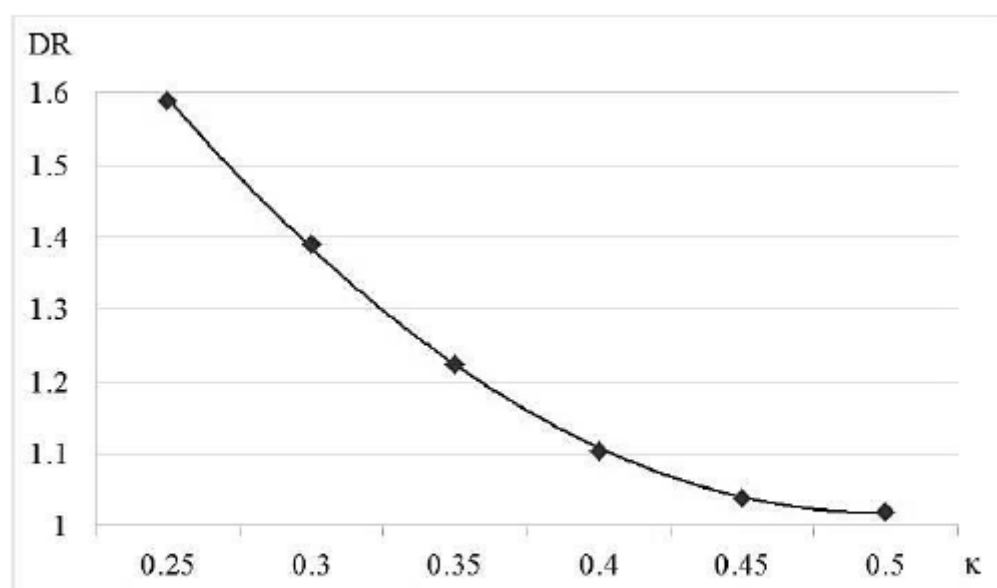


Fig. 5