

UDC 622.349:5.002.68:622.8

<http://dx.doi.org/10.15407/mining10.01.069>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ТОНКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПО КРУПНОСТИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОТХОДОВ УРАНОВЫХ РУД

В. Шевченко^{1*}, Г. Шевченко¹, Г. Лебедь¹¹Лаборатория вибрационной обработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепропетровск, Украина*Ответственный автор: e-mail: V.Shevchenko@nas.gov.ua, тел. +380563702697

RECOMMENDED PRACTICE FOR USING RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES AND TOOLS FOR FINE CLASSIFICATION OF URANIUM ORES BY SIZE AND REFUSE DEHYDRATION

V. Shevchenko^{1*}, G. Shevchenko¹, G. Lebed¹¹Laboratory of vibrating processing of mineral raw materials, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine*Corresponding author: e-mail V.Shevchenko@nas.gov.ua, tel. +380563702697

ABSTRACT

Purpose. Developing recommendations for the creation and application of resource-saving technologies and tools for fine classification and dehydration of uranium ore refuse for the purpose of its recycling, which is important for the uranium mining industry.

Methods. Theoretical and experimental methods incorporating analysis of nonlinear elastic strain dynamic systems with unilateral elastic links using modern computer systems and instrumentation.

Findings. Efficiency of the vibratory classification and dehydration of fine fractions of mineral raw materials on the screening surface with multifrequency excitation has been substantiated. The order of natural vibration frequencies of associated particles under the action of capillary adhesion forces has been established. Parameters of vibration for efficient classification and dehydration of fine fractions of mineral raw materials have been determined. The effect of multifrequency loading parameters on the processes of fine classification and dehydration of granular media has been identified.

Originality. It was found that if the forces of cohesion between fine particles grow due to their size reduction and 10% increase in humidity, the acceleration level of the working body of vibration multifrequency screening should be raised. For fine granular media with particle size of 20 microns and more, acceleration providing efficient particle classification does not exceed 450 – 500 m/s².

Practical implications. The obtained results have formed the basis of resource-saving technology, fine classification and dehydration of uranium ore refuse using vibrating multifrequency screens.

Keywords: uranium ore, fine classification by size and refuse dehydration, resource-saving technologies and tools, recommendations

1. ВВЕДЕНИЕ

Во всех технологических циклах переработки урановых руд, включая транспортирование, перегрузку (смывы) потерь мелких и тонких фракций, пылеподавление и т.д.), механическое обогащение на поверхности рудника (радиомерметрическое обогащение), обогащение на гидрометаллургических заводах, образуются жидкие шламовые отходы, содержащие радиоактивные элементы, которые накап-

ливаются и хранятся в хвостохранилищах. При этом безвозвратно теряется уран, а содержимое хвостохранилищ представляет определенную радиологическую опасность, поскольку из них не только постоянно эмитирует радон, но происходит постепенное выщелачивание радия и других радионуклидов атмосферными осадками и грунтовыми водами. Кроме того, присутствующий в хвостах уран является токсичным элементом.

В настоящее время отсутствуют эффективные технологии и технические средства выделения и обезвоживания тонких фракций урановых руд и твердых частиц из жидких отходов переработки урана. Поэтому актуальным является разработка рекомендаций по созданию ресурсосберегающей технологии, средств классификации и обезвоживания тонкодисперсных частиц из жидких отходов переработки урановых руд.

В направлении создания вибрационных грохотов для тонкой классификации сыпучих материалов и их обезвоживания работают такие иностранные фирмы, как “DERRICK Corporation” (США), “KROOSH Technologies” (Израиль); “Ревум”, “Уде”, ВМФ, АЕФ (Германия); Механобр, ИОТТ (Россия) и др. Из отечественных научных организаций значительный вклад в теорию и практику классификации и обезвоживания тонкодисперсных материалов вносят УкрНИИУглеобогащение, Гипромашуглеобогащение и др.

Отечественными и зарубежными специалистами разработаны теоретические основы расчета параметров вибрационных грохотов для тонкой классификации, исследованы и установлены закономерности процессов классификации и обезвоживания минерального сырья. При этом исследования факторов, влияющих на эффективность классификации и обезвоживания тонких фракций урановых руд, не выполнены. Не созданы научные основы ресурсосберегающих технологий и средств классификации по крупности и обезвоживания тонких фракций отходов урановых руд. Все это сдерживает развитие технологий и средств переработки отходов уранового производства (Andreev, Perov & Zverevich, 1980; Gusev, Berezikov, Krupnik, Shaposhnik & Shaposhnik, 2008; Lyashenko & Dyadchkin, 2011; Sergeev, Bukin & Solomichev, 1999).

Таким образом, разработка рекомендаций по созданию и применению ресурсосберегающей технологии, средств тонкой классификации и обезвоживания отходов урановых руд для вовлечения их в переработку является актуальной научной задачей, которая имеет важное значение для уранодобывающей отрасли.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ процессов переработки урановых руд показал, что технологии обогащения урана требуют значительного измельчения руды для раскрытия тонковкрапленных ценных компонентов, разделения по крупности, выделения и обезвоживания тонких фракций минеральных частиц. В технологических схемах для этих операций в комплексе используются спиральные классификаторы, батареи гидроциклонов и сгустители, которые не обеспечивают эффективно разделения частиц по крупности и обезвоживания, фильтры для фильтрования раствора и удаления твердых частиц и т. д. В спиральных классификаторах и гидроциклонах разделение происходит не только по крупности, а и по плотности частиц. Кроме того, на этих аппаратах при уменьшении крупности разделения резко уменьшается эффективность классификации. Принимая во внимание, что раскрытие зерен урановой руды осуществляется по крупности

частиц 74 мкм, эффективность классификации на этих аппаратах по такой крупности будет низкой. Поэтому разделение частиц урановых руд на спиральных классификаторах осуществляется по большей крупности, что приводит к потерям урана при выщелачивании в сrotchках и в хвостах. При работе гидроциклонов в замкнутом цикле измельчения наблюдается тенденция увеличения процента сrotchков в сливе и переизмельчение урановой руды, т. к. раскрытые частицы руды возвращаются в шаровую мельницу с песками гидроциклона. Это приводит к потерям урановой руды в хвостах и снижению эффективности процесса. Т.е. повышение содержания сrotchков в концентрате и переизмельчение кондиционных частиц урановой руды в ряде случаев является результатом неэффективной классификации в гидроциклонах. Кроме того, из-за неэффективной классификации происходят потери урана в хвостах.

Применение этих аппаратов для выделения шламовых частиц из хвостов переработки и обогащения урановых руд, также низкоэффективно, так как в хвостах остается значительное количество тонких частиц. Использование для обезвоживания хвостов нескольких сгустителей, например, диаметром 50 м приводит к значительным капитальным затратам и, при этом, не достигается требуемая степень обезвоживания хвостов для получения, например, закладочной смеси требуемого качества из частиц крупностью $-20 - +10$ мкм.

Несовершенство технологических процессов, замкнутого цикла измельчения, классификационного и обезвоживающего оборудования приводит к переизмельчению частиц руды, невозможности эффективно выделения из продуктов переработки и обезвоживания шламовых хвостов и, как следствие, образованию экологически небезопасных хвостохранилищ. Неэффективность технологического оборудования повышает энергоемкость производства, требует создания многооперационных, дорогостоящих комплексов улавливания и обезвоживания шламовых хвостов. Поэтому разделение шламообразующих частиц по крупности и удаление их из технологического процесса, выделение и обезвоживание шламовых хвостов является важной технологической операцией.

Опыт создания технологий и технических средств тонкодисперсного разделения сыпучих сред по крупности частиц показывает, что классификация и выделение тонких фракций урановых руд, отходов их переработки и обогащения может успешно осуществляться при вибрационном их разделении на просеивающих поверхностях, совершающих поличастотные колебания с широким сплошным частотным спектром и с ускорениями в сотни m/s^2 (Bulat, Shevchenko, Shevchenko & Shlyakhova, 2014; Shevchenko, Shevchenko & Bobylev, 2013; Shevchenko, Shevchenko, Shlyakhova & Lebed', 2015).

Обоснована эффективность вибрационной классификации и обезвоживания тонкодисперсных фракций минерального сырья на просеивающей поверхности с поличастотным возбуждением. Установлен порядок собственных частот колебаний связанных частиц при действии на них капиллярных сил адгезии.

На Рисунке 1 приведены зависимости собственных частот сферических частиц различной плотности от диаметра при действии на них сил поверхностного натяжения воды, находящейся в капиллярных промежутках между частицами при коэффициенте поверхностного натяжения жидкости равном $72.8 \cdot 10^{-3}$ Н/м. На графике ось угловых частот представлена в логарифмическом масштабе (Bulat, Shevchenko, Shevchenko & Shlyakhova, 2014; Shevchenko, Shevchenko & Bobylev, 2013).

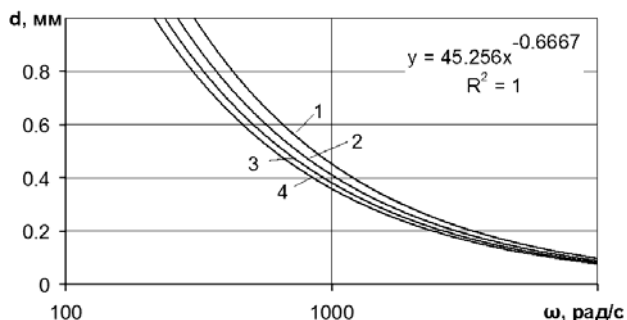


Рисунок 1. Зависимости собственных частот колебаний сферических частиц различной плотности от диаметра при действии сил поверхностного натяжения воды: (1 – 1500 кг/м³, 2 – 2000 кг/м³, 3 – 2500 кг/м³, 4 – 3000 кг/м³)

Зависимости подчиняются степенному закону и при уменьшении крупности частиц их собственные частоты возрастают, при этом собственные частоты тонкодисперсных частиц значительно превышают частоты возбуждения просеивающих поверхностей типовых вибрационных грохотов, применяемых для

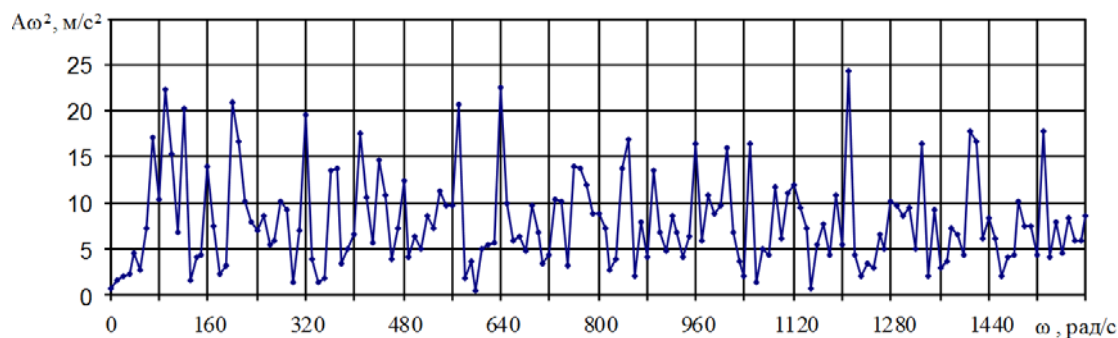


Рисунок 2. Спектр ускорений колебаний сита с сыпучей средой в режиме детерминированного хаоса на частоте 160 рад/с

Спектр представлен сплошной непрерывной линией, огибающей семейство спектральных линий, которые как угодно близки по частоте. В изменении спектральной плотности отсутствует какая-либо закономерность, а ее величина на некоторых частотах возбуждаемых гармоник значительно превышает спектральную плотность на частоте внешнего возбуждения. Такой спектр характеризует колебания со сплошным бесконечным частотным спектром.

Проведенный анализ показывает, что в области резонансных колебаний в ударнике возбуждаются непериодические колебания с непрерывным бесконечным частотным спектром. При взаимодействии ударника с системой сито – дисперсная среда эти

классификации материалов. Даже для относительно крупных частиц рабочие частоты колебаний типовых грохотов на порядки меньше собственных частот колебаний частиц, находящихся под действием восстанавливающих сил поверхностного натяжения воды.

При колебаниях просеивающей поверхности и дисперсной среды на поверхности с частотным спектром, совпадающим со спектром собственных колебаний связанных частиц отсутствует забивание ячеек сит в результате прилипания частиц к их рабочей поверхности и происходит постоянная и полная самоочистка от прилипших, а также застрявших в ячейках сит частиц. На просеивающей поверхности происходит постоянное разрушение агрегатов из слипшихся частиц. Все это обеспечивает эффективное разделение тонкодисперсных частиц по крупности на просеивающих поверхностях, совершающих колебания с бесконечным или широким и сплошным частотным спектром, в том числе при наличии в них липких примесей. Кроме того, при этом обеспечиваются дополнительные интенсивные силовые воздействия на частицы в слое, вызванные резонансными перемещениями связанных частиц, что способствует интенсивному перемещению и сегрегации всех частиц в слое.

Установлены параметры вибрации для эффективной классификации и обезвоживания тонких фракций минерального сырья. На Рисунке 2 приведен спектр ускорений сита с дисперсной средой на отрезке времени движения системы, равном 800 – 1000 периодам колебаний, при колебаниях в режиме детерминированного хаоса на частоте внешнего возбуждения 160 рад/с (Shevchenko, Shevchenko & Bobylev, 2013; Shevchenko, Shevchenko, Shlyakhova & Lebed', 2015).

колебания передаются в систему. При этом в системе на частотах свободных колебаний возбуждаются резонансные колебания с амплитудами значительно превышающими амплитуду колебаний на частоте внешнего возбуждения (Рис. 2). Эти резонансные явления приводят к резонансному усилению колебаний системы с ускорениями в сотни м/с² (Shevchenko, Shevchenko, Shlyakhova & Lebed', 2015).

Для эффективного разделения по крупности тонких частиц дисперсной среды на колеблющихся просеивающих поверхностях, ее колебания должны осуществляться с насыщенным или непрерывным бесконечным частотным спектром. Для этого в ударнике вибрационного поличастотного грохота необхо-

димо возбуждать колебания с таким частотным спектром. Такие колебания возбуждаются в области резонансных колебаний ударника. Поэтому динамические параметры поличастотного грохота должны обеспечивать резонансные колебания ударника.

Определены параметры, влияющие на эффективность тонкой классификации и обезвоживания отходов урановых руд. Исследования по определению параметров эффективности классификации тонких частиц по крупности на просеивающей поверхности с вибрационным поличастотным возбуждением проводились на экспериментальном образце вибрационного поличастотного грохота МВГ1.0 (Рис. 3).

На Рисунке 4 приведены осциллограммы ускорений колебаний ударника грохота при следующих значениях его параметров: синхронная круговая частота вращения мотор вибратора – 157 рад/с; амплитуда вынуждающей силы мотор вибратора – 10.6 кН; зазоры между ударником и ограничителями – симметричные по 3.0 мм; зазор между ударником и ситом – 0 мм.

На Рисунке 5 приведен спектральный состав ускорений ударника грохота, осциллограммы колебаний которого приведены на Рисунке 4. Спектры являются сплошными, так как на спектрограммах присутствуют все частоты, а в изменении их амплитудных значений отсутствует какая-либо закономерность. Такой спектр характерен для неперiodических колебаний и, следовательно, короб, ударник и сито грохота совершают неперiodические или хаотические колебания.

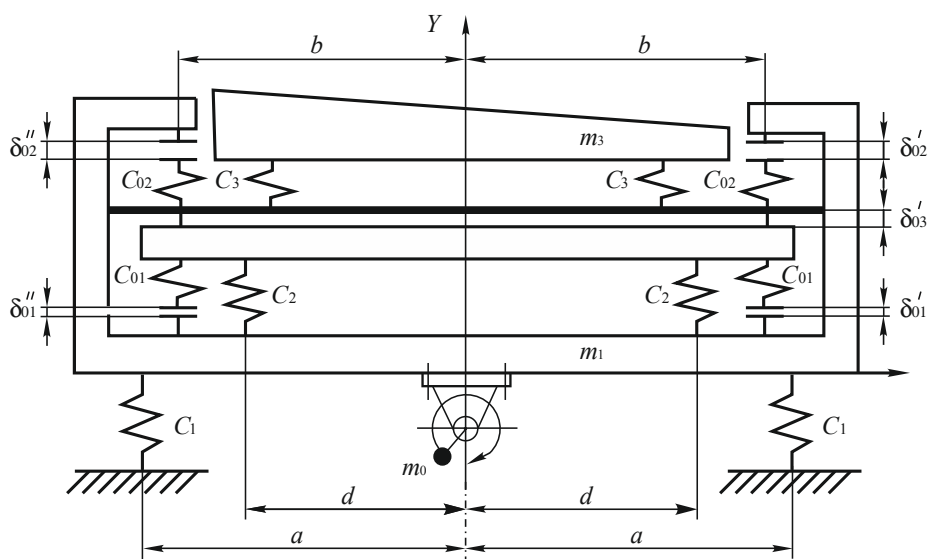


Рисунок 3. Структурная схема вибрационного поличастотного грохота

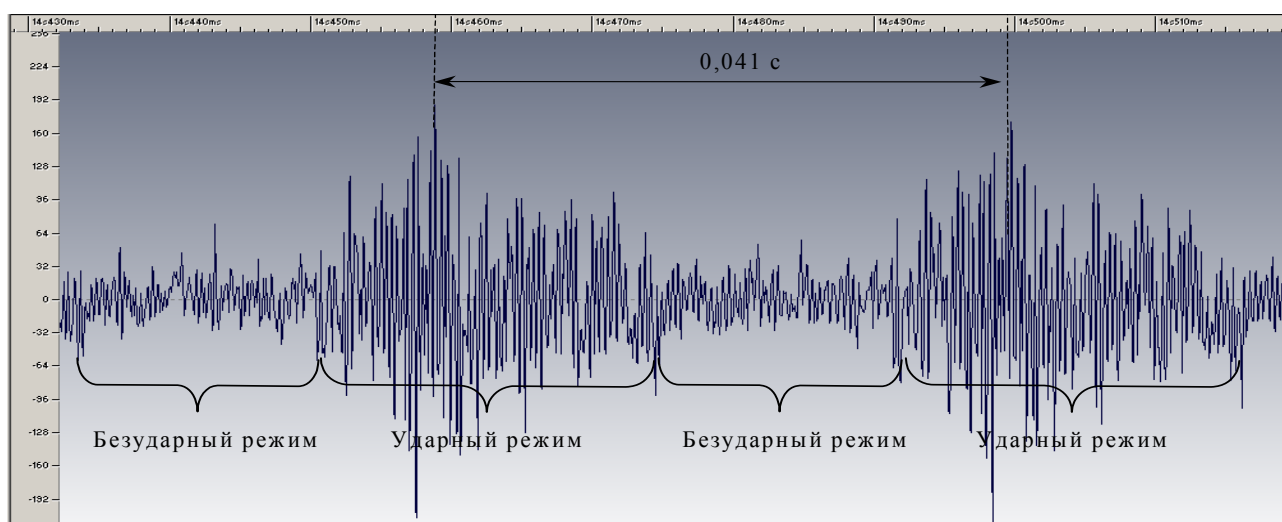


Рисунок 4. Осциллограммы ускорений колебаний ударника грохота

Определено влияние параметров поличастотного нагружения на процессы тонкой классификации и обезвоживания сыпучих сред. Для оценки влияния влажности исследуемого материала на эффективность обезвоживания и тонкой классификации сыпучих сред, были выполнены экспериментальные исследования. В качестве модельного материала ис-

пользовался кварцевый песок весом 30 Н, при этом вес фракции +200 составлял 20 Н, вес фракции -200 – 10 Н. Соотношение Т/Ж составляло 1/1. После рассева проводимого при поличастотном режиме динамического нагружения определялась влажность надрежтеного продукта и вес под решетчатым продуктом. Полученные результаты приведены в Таблице 1.

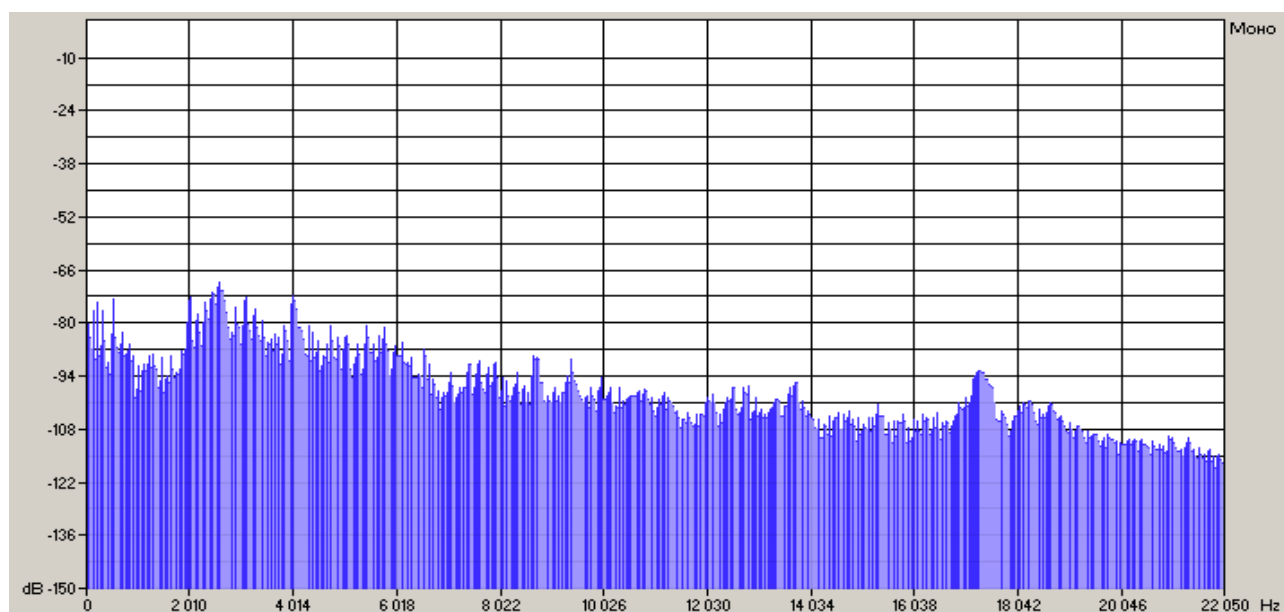


Рисунок 5. Спектрограммы ускорений колебаний ударника грохота

Таблица 1. Результаты обезвоживания и отсева сыпучих сред при поличастотном режиме нагружения

№ опыта	Положение дисбалансов	Зазор, мм	Величина ускорения, м/с ²	Влажность, %	Вес, Н
1	3	1	180 – 200	12.8	9.92
2	4	2	270	14.5	14.13
3	2	3	340	14.6	17.49
4	1	4	80	14.6	10.04

Проведенные исследования позволили установить особенности процесса тонкой классификации и обезвоживания сыпучих сред. Было установлено, что величина динамической вязкости имеет экспонентную зависимость от величины реализуемого ускорения, при этом эти зависимости имеют минимум для сыпучих сред в области 80 – 150 м/с² для влажных материалов в области 150 – 180 м/с². Влажность в 5% приводит к резкому увеличению динамической вязкости, а при влажности 10% при ускорениях более 180 м/с² погружение шарика не происходит. Эффективность процесса обезвоживания и тонкого грохочения имеет зависимость от величины реализуемого ускорения в виде многочлена третьей степени с минимальным экстремумом в зоне 200 м/с².

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Для эффективной классификации тонкодисперсных частиц и преодоления поверхностно-активных сил необходимо увеличивать влияние инерционных сил или ускорений, действующих на частицы. Эти силы должны способствовать разрыву связей, возникающих под действием поверхностно-активных сил между частицами, поверхностью сита и высвобождению частиц, застрявших в его ячейках. Учитывая незначительную массу мелких и тонких частиц для достижения такого уровня инерционных сил, их ускорения должны достигать сотен м/с², что невозможно реализовать на типовых вибрационных грохотах (Shevchenko, Shevchenko, Shlyakhova & Lebed', 2015).

Ускорения до сотен м/с² на просеивающих поверхностях и в разделяемой сыпучей среде достигаются на вибрационных поличастотных грохотах. В элементах конструкции поличастотного грохота при виброударных режимах динамического нагружения возбуждаются упругие колебания на различных собственных частотах распределенной механической системы, что приводит к резонированию ее различных элементов и возбуждению, тем самым, поличастотных колебаний.

Параметры вибрационного поличастотного грохота определяют эффективность очистки просеиваемой поверхности от прилипших, а также застрявших в ее отверстиях частиц, интенсивность их сегрегации в слое сыпучей среды и количество контактов частиц с просеивающей поверхностью за период возбуждения колебаний. Задача выбора параметров колебаний грохота сводится к обеспечению виброударного режима колебаний его рабочего органа в возможном диапазоне изменения параметров грохота и массы технологической нагрузки и достаточном уровне возмущений на частотах, перекрывающих диапазон собственных частот колебаний рабочего органа грохота и просеивающей поверхности с сыпучей средой. Энергия возмущений на каждой из собственных частот должна быть достаточна для возбуждения значимых колебаний рабочего органа и просеивающей поверхности с сыпучей средой.

При повышении ускорений колебаний эффективность очистки, сегрегация и степень обезвожи-

вания частиц на просеивающей поверхности увеличиваются. При этом, в связи с повышением импульсов энергий, передаваемых от просеивающей поверхности слою разделяемой сыпучей среды, увеличивается высота подскока и время полета слоя среды над поверхностью. Следовательно, уменьшается количество или вероятность контактов частиц с просеивающей поверхностью, что приводит к снижению эффективности классификации. Поэтому для каждой сыпучей среды, в зависимости от ее физико-механических свойств, существуют оптимальные параметры колебаний вибрационного поличастотного грохота, определяющие эффективную классификацию и обезвоживание тонкодисперсных сред. При “сухой” классификации уровень ускорений определяет эффективность очищения поверхностей от частиц, которые прилипли к поверхности и частиц, застрявших в ее отверстиях, интенсивность сегрегации частиц в слое сыпучей среды на поверхности и вероятность контакта частиц с поверхностью. Эффективность очищения поверхностей и интенсивность сегрегации повышаются при увеличении уровня ускорений. В то же время, для каждой сыпучей среды в зависимости от ее физико-механических свойств существует граничный уровень ускорений, который определяет наиболее эффективный режим классификации.

При “мокрой” классификации тонкодисперсных отходов обогащения урановых руд из пульпы и их обезвоживании, эффективность процессов зависит от уровня ускорений просеивающих поверхностей и соотношения твердого к жидкости в пульпе. Очевидно, что чем меньше содержание твердого в жидком, тем выше эффективность. “Мокрая” классификация прекращается при прохождении всей свободной жидкости совместно с частицами через отверстия просеивающей поверхности. При этом влажность тонкодисперсной среды оставшейся на просеивающей поверхности зависит от внешней (поверхностной) влаги, которая покрывает пленкой поверхность частиц и жидкости, находящейся в порах и трещинах частиц, а также химически связанной жидкости. В этом случае уровень ускорений определяет эффективность очищения поверхностей от частиц и степень их обезвоживания.

Результаты исследований показывают, что в виброударных режимах колебаний рабочего органа грохота при увеличении ускорений степень обезвоживания материалов уменьшается незначительно. Это свидетельствует о том, что для удаления поверхностной влаги с частиц уровень их ускорений должен быть существенно выше уровня достигаемых ускорений рабочего органа поличастотного грохота. Поэтому, при “мокрой” классификации допустимый уровень ускорений рабочего органа определяется допустимым уровнем нагружения его металлоконструкции, которая является наиболее нагруженным элементом грохота.

Следовательно, при “сухой” классификации уровень ускорений рабочего органа грохота, просеивающих поверхностей и тонкодисперсной среды на

поверхности должен быть ограничен, и не превышать уровня, который обеспечивает эффективное очищение просеивающих поверхностей от частиц, прилипших к поверхности и застрявших в ее отверстиях. При этом обеспечивается максимальная вероятность контакта частиц с просеивающей поверхностью, а, следовательно, увеличение эффективности классификации. При “мокрой” классификации максимальный уровень ускорений ограничивается допустимым уровнем динамического нагружения металлоконструкции рабочего органа грохота.

При классификации сыпучих материалов по крупности на ситовых поверхностях вибрационных грохотов существенное влияние на эффективность оказывают их физико-механические свойства, в частности, влажность материала, его гранулометрический состав, наличие комкующих примесей (например, глины), крупность разделения и другие факторы. Влияние влажности в основном определяется содержанием внешней (поверхностной) влаги, покрывающей пленкой поверхность частиц материала. Вода, находящаяся в порах и трещинах частиц, а также химически связанная, на процесс классификации влияние не оказывает (Andreev, Perov & Zverevich, 1980).

Влияние этих факторов усиливается с увеличением содержания мелких (тонких) частиц в материале и уменьшением крупности разделения. Мелкие классы имеют наибольшую поверхностную влажность вследствие их большой свободной удельной поверхности. Поверхностная влага вызывает слипание мелких частиц между собой, прилипание их к крупным кускам и замазывание отверстий сит вязким материалом. Кроме того, вода смачивает проволоки сита и может под действием сил поверхностного натяжения образовывать пленки, затягивающие отверстия (Eliseev, Lutsenko & Anfimova, 2008; Sergeev, Bukin & Solomichev, 1999).

При наличии в материале глинистых примесей, классификация, даже при незначительной влажности, затрудняется. Глинистые примеси образуют комки (агрегаты), уносящие мелкие частицы в надрешетный продукт, при этом глина быстро залепляет отверстия сита.

Все эти факторы препятствуют разделению материала по крупности на сите и затрудняют прохождение мелких частиц через отверстия, в результате чего они остаются в надрешетном продукте.

В результате выполненных исследований установлено, что при повышении сил сцепления между тонкодисперсными частицами за счет уменьшения их крупности и повышения влажности до 10% уровень ускорений рабочего органа вибрационного поличастотного грохота необходимо увеличивать и для тонкодисперсных сред с крупностью частиц не менее 20 мкм, моделирующие отходы урановых руд, ускорения, обеспечивающие эффективную классификацию частиц не превышают 450 – 500 м/с².

Полученные результаты положены в основу ресурсосберегающей технологии, тонкой классификации и обезвоживания отходов урановых руд с применением вибрационных поличастотных грохотов.

Включение в технологические схемы переработки и обогащения урановых руд высокоэффективного классификационного оборудования для разделения и выделения тонких фракций частиц позволяет:

– уменьшить количество переизмельченного материала в замкнутых циклах измельчения и энергопотребление;

– повысить производительность технологической линии измельчения за счет более эффективного использования мощности шаровых мельниц;

– уменьшить потери урана в жидких шламовых отходах;

– выделять из оборотной воды, хвостов и обезвоживать частицы руды для их использования или захоронения в руднике или хранения в иммобилизованном состоянии;

– уменьшить количество шламовых отходов в хвостах обогащения;

– улучшить экологию в районе хвостохранилищ.

Кроме того, создание такого оборудования позволяет осуществлять переработку существующих на поверхности хвостохранилищ, с захоронением выделенных твердых частиц в руднике или в специальных закрытых хранилищах.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Разработка рекомендаций по созданию и применению ресурсосберегающей технологии, средств тонкой классификации и обезвоживания отходов урановых руд для вовлечения их в переработку, что имеет важное значение для уранодобывающей отрасли.

Методика. Методы исследований – теоретические и экспериментальные с анализом нелинейных упругодеформированных динамических систем с односторонними упругими связями с использованием современных вычислительных комплексов и измерительной аппаратуры.

Результаты. Обоснована эффективность вибрационной классификации и обезвоживания тонкодисперсных фракций минерального сырья на просеивающей поверхности с поличастотным возбуждением. Установлен порядок собственных частот колебаний связанных частиц при действии на них капиллярных сил адгезии. Установлены параметры вибрации для эффективной классификации и обезвоживания тонких фракций минерального сырья. Определено влияние параметров поличастотного нагружения на процессы тонкой классификации и обезвоживания сыпучих сред.

Научная новизна. Установлено, что при повышении сил сцепления между тонкодисперсными частицами за счет уменьшения их крупности и повышения влажности до 1% уровень ускорений рабочего органа вибрационного поличастотного грохота необходимо увеличивать и для тонкодисперсных сред с крупностью частиц не менее 20 мкм, ускорения, обеспечивающие эффективную классификацию частиц, не превышают 450 – 500 м/с².

Практическая значимость. Полученные результаты положены в основу ресурсосберегающей технологии, тонкой классификации и обезвоживания отходов урановых руд с применением вибрационных поличастотных грохотов.

Ключевые слова: урановые руды, тонкая классификация по крупности и обезвоживание отходов, ресурсосберегающие технологии и средства, методические рекомендации

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розробка рекомендацій зі створення та застосування ресурсозберігаючої технології, засобів тонкої класифікації та зневоднювання відходів уранових руд для залучення їх у переробку, що має важливе значення для уранодобувної галузі.

Методика. Методи досліджень – теоретичні та експериментальні з аналізом нелінійних пружньодеформованих динамічних систем з одnobічними пружними зв'язками з використанням сучасних обчислювальних комплексів і вимірювальної апаратури.

Результати. Обґрунтовано ефективність вібраційної класифікації та зневоднювання тонкодисперсних фракцій мінеральної сировини на поверхні, що просіває, з полічастотним збудженням. Установлено порядок власних частот коливань зв'язаних часток при дії на них капілярних сил адгезії. Установлено параметри вібрації для ефективної класифікації та зневоднювання тонких фракцій мінеральної сировини. Визначено вплив параметрів полічастотного навантаження на процеси тонкої класифікації і зневоднювання сипучих середовищ.

REFERENCES

- Andreev, S., Perov, V., & Zverevich, V. (1980). *Droblenie, izmelchenie i grohochenie poleznykh iskopaemykh*. 415.
- Bulat, A., Shevchenko, G., Shevchenko, V., & Shlyakhova, M. (2014). Vibratsionnyie polichastotnyie grohoty v tehnologiyah pererabotki tonkih fraktsiy mineralnogo syr'ya. *Scientific and technical support for mining production: D.A. Kunaev IGD*, (86), 112-118.
- Gusev, U., Berezikov, E., Krupnik, L., Shaposhnik, N., & Shaposhnik, S. (2008). Resursosberegayushchie tehnologii dobyichi rudyi na Maleevskom rudnike Zyr'yanovskogo GOKa. *Mining Journal*, (11), 20-22.
- Eliseev, V., Lutsenko, V., & Anfimova, N. (2008). Influence of roughness on fluid flow in capillaries. *Geotechnical Mechanics*, (74), 55-61.
- Lyashenko, V., & Dyadechkin, N. (2011). Sovershenstvovanie tehnologii zakladochnyih rabot pri podzemnoy razrabotke uranovyih mestorozhdeniy. *Mining Journal*, (2), 9-17.
- Sergeev, P., Bukin, S., & Solomichev, N. (1999). Vliyanie na protsess grohocheniya strukturno-mehaniicheskikh svoystv zemistyih materialov. *Scientific works of DonNTU*, (7), 204-209.
- Shevchenko, G., Shevchenko, V., & Bobilev, A. (2013). Vibratsionnyie grohoty s polichastotnyimi kolebaniyami pro-seivayuschih poverhnostey dlya tonkogo razdeleniya. *Coal of Ukraine*, 2(674), 23-27.
- Shevchenko, G., Shevchenko, V., Shlyakhova, M., & Lebed', G. (2015). Rezonansyi vibroudarnyih sistem. *Geotechnical Mechanics*, (121), 28-38.

Наукова новизна. Установлено, що при підвищенні сил зчеплення між тонкодисперсними частками за рахунок зменшення їх крупності та підвищення вологості до 10% рівень прискорень робочого органа вібраційного полічастотного грохота необхідно збільшувати і для тонкодисперсних середовищ із крупністю часток не менш 20 мкм, прискорення, що забезпечують ефективну класифікацію часток, не перевищують 450 – 500 м/с².

Практична значимість. Отримані результати покладені в основу ресурсозберігаючої технології, тонкої класифікації і зневоднювання відходів уранових руд із застосуванням вібраційних полічастотних грохотів.

Ключові слова: уранові руди, тонка класифікація по крупності та зневоднювання відходів, ресурсозберігаючі технології та засоби, методичні рекомендації

ARTICLE INFO

Received: 15 December 2015

Accepted: 21 January 2016

Available online: 30 March 2016

ABOUT AUTHORS

Volodymyr Shevchenko, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a Simferopolska St, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005. E-mail: V.Shevchenko@nas.gov.ua

Georgiy Shevchenko, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of laboratory of Vibratory processing of mineral raw materials, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a Simferopolska St, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005. E-mail: gashevchenko@ua.fm

Gennadii Lebed, Senior Design Engineer, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), 2a Simferopolska St, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49005. E-mail: V.Shevchenko@nas.gov.ua