

УДК 622.753:622.755

А.И. Шевченко, канд. техн. наук

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова
Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: nanu@igtm.dp.ua

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОСЛОЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

A.I. Shevchenko, Cand. Sci. (Tech.)

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National
Academy of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: nanu@igtm.dp.ua

INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE AND HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF CLOSE-GRAINED HYDRAULIC QUALIFIER ON EFFICIENCY OF DIVISION OF MINERAL PARTICLES

Выполнен анализ процесса классификации тонкозернистых материалов при тонкослойном течении жидкости. Определены пути снижения граничной крупности разделяемых минеральных частиц. Исследованы зависимости извлечения частиц крупностью +0,63-1,0 и +0,315-0,63 мм от скорости подачи пульпы на рабочую поверхность при различных диаметрах насадок. Изучена зависимость извлечения частиц от их крупности при фиксированных значениях скорости подачи пульпы и диаметре насадки. Спрогнозированы области использования тонкослойного гидравлического классификатора с вогнутой конусообразной рифленой рабочей поверхностью, имеющей переменный по ее длине радиус кривизны.

Ключевые слова: тонкослойный гидравлический классификатор, эффективность разделения, граничная крупность, извлечение частиц

Общая постановка проблемы. В последнее время все больше внимания уделяется классификации тонкозернистых материалов крупностью менее 1 мм. Интерес к этой проблеме вызван огромными потерями полезного компонента в перерабатываемом сырье из-за несовершенства существующих технологий и оборудования. Поэтому проблемами переработки и использования отходов добычи и обогащения занимаются многие научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации, постоянно ведется поиск научных и технических решений, которые позволят разработать эффективные технологии их переработки и создать необходимое для их реализации оборудование [1–5].

Весомый вклад сделан в развитие классификации тонкозернистых материалов при тонкослойном течении жидкости.

Сущность классификации заключается в том, что находящимся в жидкости частицам сообщается импульс в направлении свободной поверхности. Граничная крупность разделения зависит от энергии, ко-

торая может быть сообщена частицам. Чем выше эта энергия, тем более мелкие частицы могут быть выброшены из жидкости.

В институте геотехнической механики НАН Украины разработан способ эффективной гидроклассификации твердых частиц по крупности при перемещении пульпы тонким слоем с большой скоростью по вогнутой конусообразной рифленой рабочей поверхности, а также устройство для его реализации [6]. Течение воды по вогнутой поверхности может осуществляться с относительно высокими скоростями, потому что удержание жидкости в этом случае достигается за счет центробежных сил. Чем больше скорость течения воды, тем выше центробежные силы, которые прижимают жидкость к рабочей поверхности. Крупные частицы, двигаясь в таком криволинейном потоке, ударяются о рабочую поверхность, отбрасываются с большой скоростью к открытой поверхности жидкости и, преодолевая поверхностное натяжение, покидают воду. Мелкие частицы не могут преодолеть силы поверхностного притяжения, поэтому остаются в жидкости и уносятся вместе с ней в слив. Для повышения эффективности очистки воды, на вогнутую конусооб-

разную поверхность наносят рифления (горизонтальные кольцевые канавки, расположенные поперек тока воды). При столкновении со стенками канавок происходит выброс частиц из жидкости.

Выполненные исследования [6] зависимости извлечения частиц от скорости истечения пульпы из насадки для различных поверхностей, с постоянными по ее длине радиусами кривизны, равными 50, 100, 200 и 500 мм, показали, что эффективность разделения по граничной крупности минеральных частиц 0,63 мм составляет 94–96%. Вместе с тем было установлено, что существуют три зоны режимов работы гидроклассификатора. В первой зоне с увеличением скорости извлечение частиц увеличивается, во второй зоне наблюдается максимум извлечения, и в третьей зоне происходит снижение извлечения, которое является следствием отрыва пульпы от рабочей поверхности.

Как отмечалось ранее, граничная крупность выбрасываемых частиц зависит от скорости течения воды по рабочей поверхности. Чем выше скорость, тем больше активные силы, и, следовательно, более мелкие частицы выбрасываются из воды. Нижний предел граничной крупности определяется скоростью, при которой происходит отрыв воды от рабочей поверхности.

Известно, что по мере повышения скорости течения воды начинается турбулентно-волновой режим [7], который сопровождается отрывом капель. Вначале отрыв капель, в основном, наблюдался в нижней части рабочей поверхности и имел случайный характер. Затем с повышением скорости процесс каплеобразования становился регулярным и развивался вверх по течению [7].

При дальнейшем увеличении скорости наступал режим, при котором отрыв воды происходил уже в виде струй, которые забирали значительное количество материала и, как следствие, приводили к нарушению процесса разделения.

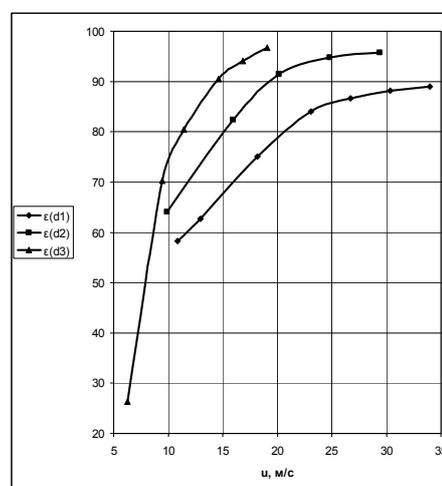
Поэтому максимальная скорость течения воды по рабочей поверхности составила 14,5 м/с и, как следствие, граничную крупность разделения удалось снизить до 0,6 мм. Для дальнейшего снижения граничной крупности материала необходимо повысить скорость течения жидкости по рабочей поверхности.

В работе [8] было предложено для снижения граничной крупности разделения за счет повышения скорости течения воды по рабочей поверхности использовать классификатор с переменным по длине рабочей поверхности радиусом кривизны. Для наиболее эффективного использования классификатора были выполнены исследования и установлена зависимость толщины потока пульпы от конструктивных и режимных параметров классификатора с переменным радиусом кривизны рабочей поверхности. На основе полученных данных был разработан опытный образец конусного классификатора, который имел следующие конструктивные параметры: диаметр основания $D = 260$ мм, высота $H = 100$ мм и переменный радиус кривизны R вогнутой рабочей поверхности, уменьшающийся от вершины конуса к основанию с 500 до 50 мм.

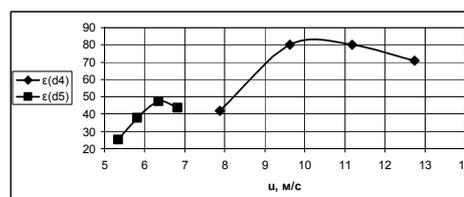


Рис. 1. Разделение минеральных частиц в гидроклассификаторе

На рис. 2 приведены зависимости извлечения частиц крупностью +0,63-1,0 мм от скорости подачи пульпы на рабочую поверхность при различных диаметрах насадок, а на рис. 3 – для крупности +0,315-0,63 мм.



а



б

Рис. 2. Зависимость извлечения частиц (ϵ) крупностью +0,63-1,0 мм от скорости подачи пульпы (u) на рабочую поверхность при различных диаметрах насадок d : а) $d_1 = 7$ мм; $d_2 = 10$ мм; $d_3 = 15$ мм; б) $d_4 = 20$ мм; $d_5 = 27$ мм

Цель данной работы – снижение граничной крупности разделения за счет повышения скорости течения воды по рабочей поверхности и оценка влияния конструктивных и гидродинамических параметров на эффективность разделения минеральных частиц различной крупности при течении пульпы по вогнутой конусообразной рифленной рабочей поверхности с переменным по ее длине радиусом кривизны.

Для этого были выполнены технологические испытания по изучению этого процесса. Для исследований использовалась модельная базальтовая смесь

крупностью частиц +0-1,0 мм. Содержание твердого в жидкости составляло до 30%.

Пульпа насосом через насадку подается на рабочую поверхность, растекается по ней в виде тонкослойного потока и движется вниз (рис. 1). Крупные частицы вследствие удара выбрасываются из пульпы в пески, мелкие – остаются в ней и уносятся в слив.

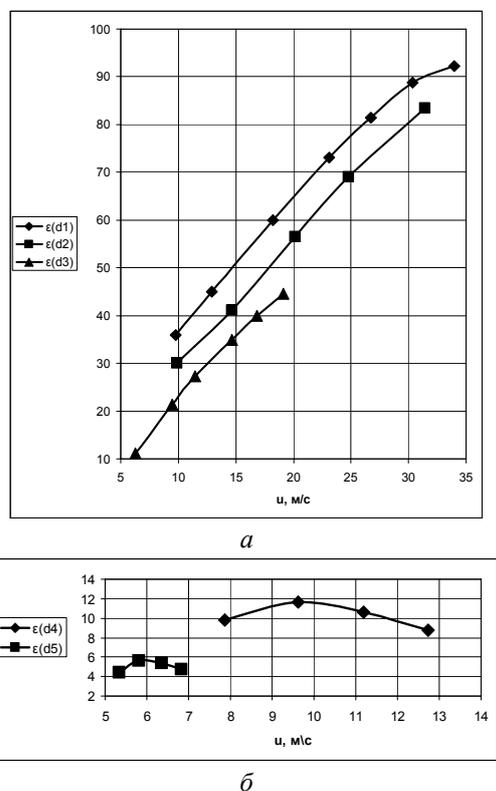


Рис. 3. Зависимость извлечения частиц (ϵ) крупностью +0,315-0,63 мм от скорости подачи пульпы (u) на рабочую поверхность при различных диаметрах насадок d : а) $d_1 = 7$ мм; $d_2 = 10$ мм; $d_3 = 15$ мм; б) $d_4 = 20$ мм; $d_5 = 27$ мм

Как видно из графиков, при скорости подачи пульпы на рабочую поверхность 15–25 м/с и диаметрах насадок 7, 10 и 15 мм извлечение в пески частиц крупностью +0,63–1,0 мм составляет 85–95%.

Для извлечения частиц крупностью +0,315-0,63 мм на 82–92% необходимо повысить скорость подачи пульпы до 30–32 м/с при диаметрах насадок 7 и 10 мм.

На стенде также изучена зависимость извлечения частиц от их крупности при фиксированных значениях скорости подачи пульпы $u = 22$ м/с и диаметре насадки $d = 10$ мм (рис. 4). Выбор их обусловлен наиболее высокими показателями, полученными при изучении классификации узких классов крупности.

Таким образом, использование рабочей поверхности с переменным по ее длине радиусом кривизны позволило повысить скорость течения воды до 30 м/с и, как результат, снизить граничную крупность разделения до 0,315 мм.

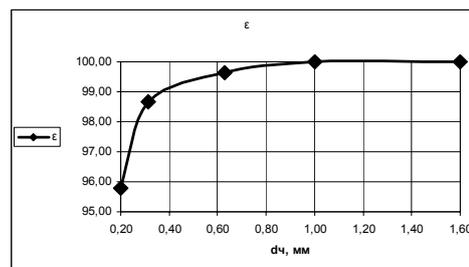


Рис. 4. Зависимость извлечения частиц (ϵ) от крупности частиц ($d_{ч}$) при скорости подачи пульпы $u = 22$ м/с и диаметре насадки $d = 10$ мм

В ИГТМ НАН Украины предварительными испытаниями была установлена возможность эффективно разделения материалов одной крупности, но контрастных по плотности, с помощью гидроклассификатора. Чем выше контрастность – тем больше эффективность разделения.

Полученные результаты позволили спрогнозировать области использования гидроклассификатора.

Исследованиями [9] установлено, что в шламонакопителях основная масса углерода сосредоточена в классах крупности +0,315-1,0 мм. Поскольку отходы представляют собой углеродносиликатную массу, то, разделив ее на углеродную и силикатную составляющие, можно получить товарную продукцию, каждая из которых имеет потребительскую ценность: углеродная – энергетическую, а силикатная может быть использована в строительной индустрии. Кроме того, рекультивация занимаемых ими земель, улучшение экологической обстановки регионов является актуальной научной и общегосударственной проблемой [1–5].

В процессе добычи и обогащения строительных материалов, таких как гранит, базальт и т.п., образуются отходы в виде частиц крупностью 0–5 мм, которые, при соответствующей доработке (удаление из них пыли и глины), могут представлять собой качественное сырье – строительный песок. Кроме того, в этих минералах содержатся и другие ценные компоненты. Например, в базальтах и туфах Волынского региона выявлены месторождения самородной меди [10], мелкие частицы которой (0,3–1,0 мм) теряются вместе с отходами. Используя свойства этих материалов, а именно значительное различие плотностей (средняя плотность базальта – 2850 кг/м³; плотность меди – 8930 кг/м³), можно их разделить, получив два продукта – медный концентрат и очищенную базальтовую крошку, представляющие ценное сырье.

Известно, что в Украине разрабатываются и вновь открыты месторождения драгоценных металлов и золота. При добыче золота, помимо коренных и россыпных месторождений, объемами промышленного освоения являются техногенные россыпи, располагающие значительными запасами полезных компонентов. Эти же проблемы характерны и для месторождений золота в России [18–19].

Причинами формирования техногенных россыпей являются [11,12]:

– несовершенство технических средств, применяемых при промывке золотоносных песков: по технической характеристике на скрубберных приборах извлечение золота должно составлять 95–98% (фактически 60–70%);

– несоответствие применяемых технических средств горно-геологическим особенностям россыпей: низкое извлечение из песков с мелким и тонким золотом или повышенным содержанием глинистой фракции, особенно на гидроэлеваторных приборах, где извлечение не превышает 60%;

– нарушение технологического цикла обогащения: промывка мерзлых песков, нерегулируемый режим подачи воды, недостаточная очистка оборотной воды, потери при съёмке концентрата с промприбора, его дальнейшей доводке и обработке на шлихообогатительной установке (ШОУ), нерегулярная очистка шлюзов и другие причины;

– отсутствие до начала семидесятых годов на промприборах самородкоулавливателей, что сопряжено с потерями крупного золота;

– низкое качество вскрышных работ: удаление в отвалы пласта с некондиционными песками на момент вскрыши, низкая достоверность и представительность опробования при вскрытии полигонов и др.

По данным [13–15] размеры потерь по результатам опробований и повторных переработок достигали 30–50%.

Основная масса металла в техногенных отвалах представлена золотиными средне- и сильноуплощенного морфотипа, верхний предел крупности которой колеблется от 0,315 до 1мм. Увеличение степени уплотненности золотинок до чешуйчатого морфотипа приводило к потерям золота вплоть до самородковой крупности [13].

Техногенные россыпи необходимо рассматривать как потенциальные объекты добычи золота с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами, не требующими проведения дорогостоящих геологоразведочных работ.

Проблема промышленного освоения техногенных россыпей является актуальной как по запасам золота, так и по улучшению экологической обстановки в регионах путем уменьшения отходов.

Как видно из вышеизложенного, в отходах добычи и обогащения различных минералов теряется значительная часть полезных компонентов крупностью от 0,3 до 1,0 мм.

Таким образом, в соответствии с поставленной целью за счет повышения скорости течения воды по рабочей поверхности с переменным радиусом кривизны снижена граничная крупность разделения до 0,315 мм, при этом извлечение составило 82–92%. Установлена возможность разделения с помощью гидроклассификатора материалов одной крупности, но контрастных по плотности. Изучены зависимости извлечения частиц от скорости подачи пульпы на рабочую поверхность при различных диаметрах насадок.

Эти данные будут использованы для разработки методики расчета оптимальных технологических па-

раметров гидроклассификатора и адаптации его к требуемым условиям работы, что обеспечит качественное разделение перерабатываемого сырья.

Полученные результаты показали, что с помощью довольно простого метода обогащения можно путем переработки отходов получать товарную продукцию.

Список литературы / References

1. *Полулях А.Д.* Особенности современных технологий углеобогащения / Полулях А.Д. // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 17(58). – С. 3–6.

Polulyakh A.D. Features of up-to-date coal cleaning technologies / Polulyakh A.D. // Zbahachennya korysnykh kopalyn. Sci.-tech. collected articles. – 2003. – No. 17(58). – P. 3–6.

2. *Патракеев В.Н.* Переработка техногенного сырья на ЦОФ „Червоноградская“ / В.Н. Патракеев, И.Д. Пейчев, И.И. Уваров // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 17(58). – С. 65–67.

Patrakeyev V.N. Processing of anthropogenic raw materials at TsOF “Chervonogradskaya” / V.N. Patrakeyev, I.D. Peychev, I.I. Uvarov // Zbahachennya korysnykh kopalyn. Sci.-tech. collected articles. – 2003. – No.17(58). – P. 65–67.

3. *Гаркушин Ю.К.* Сучасний стан та перспективи переробки вугільних шлаків / Ю.К. Гаркушин, П.В. Сергеев, В.С. Білецький // Збагачення корисних копалин. Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 17(58). – С. 143–150.

Harkushyn Yu.K. Present state and prospects of coal slack treatment / Yu.K. Harkushyn, P.V. Sergeiev, V.S. Biletskiy // Zbagachennya korysnykh kopalyn. Sci.-tech. collected articles. – 2003. – No.17(58). – P. 143–150.

4. *Полулях А.Д.* Технологические регламенты углеобогачительных фабрик / Полулях А.Д. // Справочное информационное пособие. Утверждено к изданию ученым советом УкрНИИУглеобогащения Министерства топлива и энергетики Украины (протокол №6 от 12.09.01 г.). – Днепропетровск, 2002. – 856 с.

Polulyakh A.D. Technological regulations of coal cleaning plants / Polulyakh A.D. // Reference information manual. Passed for printing by academic council of “UkrNIUgleobogashcheniye” under Ministry of Fuel and Energetics of Ukraine (protocol No.6 Dated 12.09.01). – Dnepropetrovsk, 2002. – 856 p.

5. *Бент О.И.* Состояние техногенной напряженности, пути ее регулирования и уменьшения в угледобывающих районах / О.И. Бент, Л.М. Мокрицкая, О.С. Шутова // Уголь Украины. – 1995. – №10. – С. 37–39.

Bent O.I. Anthropogenic tension in coal production regions, ways of regulation and minimization / O.I. Bent, L.M. Mokritskaya, O.S. Shutova // Ugol Ukrainy. – 1995. – No.10. – P. 37–39.

6. *Шевченко А.И.* Оценка эффективности работы конусного смывного устройства / Шевченко А.И. // Геотехническая механика. – Сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. 2003. – Вып. 41. – С. 152–159.

Shevchenko A.I. Valuation of efficiency of conical washing device / Shevchenko A.I. // Geotekhnicheskaya mekha-

nika. – Collected papers of IGTM NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2003. – No.41. – P. 152–159.

7. *Лапшин Е.С.* Экспериментальное определение предельной скорости подачи питания на конусообразную вогнутую рифленую рабочую поверхность пленочного классификатора / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко // Геотехническая механика. – Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1998. – Вып. 4. – С. 146–149.

Lapshin Ye.S. Experimental determination of energization full speed of cone-shaped concave corrugated functional surface of classifier / Ye.S. Lapshin, A.I. Shevchenko // Geotekhnicheskaya mekhanika. – Collected papers of IGTM NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 1998. – No.4. – P. 146–149.

8. *Шевченко А.И.* Исследование пленочного течения жидкости по вогнутой конусообразной рифленой поверхности с переменным радиусом кривизны / Шевченко А.И. // Геотехническая механика. – Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 57. – С. 129–135.

Shevchenko A.I. Study of film flow along cone-shaped concave corrugated functional surface of variable radius of curvature / Shevchenko A.I. // Geotekhnicheskaya mekhanika. – Collected papers of IGTM NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2005. – No.57. – P. 129–135.

9. *Шевченко А.И.* Переработка угольных шламов с помощью гидравлического конусного классификатора с вогнутой рифленой рабочей поверхностью / Шевченко А.И. // Геотехническая механика. – Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 74. – С. 14–21.

Shevchenko A.I. Coal slack treatment by means of hydraulic conical classifier with concave corrugated functional surface / Shevchenko A.I. // Geotekhnicheskaya mekhanika. – papers of IGTM NAS of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2008. – No.74. – P. 14–21.

10. *Надутьий В.П.* Спосіб підготовки мідемісних базальтів до комплексного збагачення / В.П. Надутьий, З.Р. Маланчук // Матер. ІХ ежегодной междунар. пром. конф. п. Славское, Карпаты – 2009. – УИЦ „Наука. Техника. Технология“. – Киев, 2009. – С. 363–364.

Nadutyi V.P. Approach of copper-bearing basalt preparation for complex concentration / V.P. Nadutyi, Z.R. Malanchuk // Materials of the IX annual International industrial conference, Slavskoe village, Carpathians. – 2009. UITs “Nauka. Tekhnika. Tekhnologia”. – Kiev, 2009. – P. 363–364.

11. *Маланчук З.Р.* Физико-технические основы скважинной гидротехнологии добычи тяжелых металлов россыпных месторождений и техногенных россыпей: Автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук / Маланчук Зиновий Романович: – Ровно, 2003. – 371 с.

Malanchuk Z.R. Physicotechnical fundamentals of well hydraulic technology of heavy metals extraction from natural and anthropogenic placers: Abstract of the thesis of Dr. Sci. (Tech.) / Malanchuk Zinoviyy Romanovich – Rovno, 2003. – 371 p.

12. *Маланчук З.Р.* Научные основы скважинной гидротехнологии. / Маланчук З.Р. // – Ровно: РГТУ, 2002. – 367 с.

Malanchuk Z.R. Scientific fundamentals of well hydraulic technology. / Malanchuk Z.R. // Rovno: RG TU, 2002. – 367 p.

13. *Ковлеков И.И.* Новый способ извлечения золота из техногенных песков / Ковлеков И.И. // Горный журнал, 2002. – №2. – С. 47–50.

Kovlekov I.I. New method of extracting gold from anthropogenic sand / Kovlekov I.I. // Gornyy zhurnal, 2002. – No.2. – P. 47–50.

14. *Казимиров М.П.* Технология и оборудование для повторной отработки золотоносных песков / М.П. Казимиров, А.Б. Солоденко // Горный журнал, 2002. – №2. – С. 50–52.

Kazimirov M.P. Technology and equipment for repeated processing of auriferous gravel / M.P. Kazimirov, A.B. Solodenko // Gornyy zhurnal, 2002. – No.2. – P. 50–52.

15. *Парий А.С.* Технологическое опробование техногенных россыпей с мелким и тонким золотом / А.С. Парий, Р.А. Амосов // Горный журнал, 1998. – №5.

Pariy A.S. Technological testing of anthropogenic placers with fine gold / A.S. Pariy, R.A. Amosov // Gornyy zhurnal, 1998. – No.5.

Виконано аналіз процесу класифікації тонкозернистих матеріалів при тонкошаровій течії рідини. Визначено шляхи зниження граничної крупності розділених часток. Досліджено залежності вилучення часток крупністю +0,63-1,0 та +0,315-0,63 мм від швидкості подачі пульпи на робочу поверхню при різних діаметрах насадок. Вивчена залежність вилучення часток від їх крупності при фіксованих значеннях швидкості подачі пульпи і діаметрі насадки. Спрогнозовано області використання тонкошарового гідравлічного класифікатора з увігнутою конусоподібною рифленою робочою поверхнею, яка має змінний по її довжині радіус кривизни.

Ключові слова: тонкошаровий гідравлічний класифікатор, ефективність розділення, гранична крупність, вилучення часток

The analysis of classification process of fine-grained materials is made at close-grained liquid current. Ways of divided mineral particles boundary size decrease are defined. Dependences of extraction of particles of +0,63-1,0 and +0,315-0,63 mm size on speed of pulp feed of working surface are investigated by various diameters of nozzles. Extraction dependence on particles' size is studied by fixed speeds of pulp feed and diameter of nozzle. Fields of application of the close-grained hydraulic classifier with a concave cone-shaped corrugated working surface with variable on its length curvature radius are predicted.

Keywords: close-grained hydraulic classifier, efficiency of division, boundary size, extraction of particles

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.С. Лапшиним. Дата надходження рукопису 02.02.11