

УДК 622. 742:621. 926:621.3. 06

**В.П. Надутый, д-р техн. наук, проф.,**  
**Е.С. Лапшин, д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник,**  
**А.И. Шевченко, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,**  
**А.В. Буров**

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ПРИ ТОНКОМ ГРОХОЧЕНИИ ГОРНОЙ МАССЫ ЗА СЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**V.P. Naduty, Dr. Sc. (Tech.), Professor,**  
**Ye.S. Lapshin, Dr. Sc. (Tech.), Senior Research Fellow,**  
**A.I. Shevchenko, Cand. Sc. (Tech.),**  
**Senior Research Fellow,**  
**A.V. Burov**

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

## INCREASE OF THE MOISTURE REMOVAL EFFICIENCY DURING MOUNTAIN MASS FINES SCREENING BY MEANS OF SAMPLING ACTION

Выполнен анализ исследований по обезвоживанию горной массы на вибрационных грохотах. Описана конструкция экспериментальной модели виброгрохота и методика проведения экспериментов. Исследована зависимость процесса прохождения жидкости через ячейки сита от частоты и амплитуды ударного воздействия на различных просеивающих поверхностях. Выполнено сравнение различных просеивающих поверхностей по разности остатков воды. Установлена связь между остатками воды и размахом колебаний ударника.

**Ключевые слова:** удаление влаги, импульсное воздействие, частота, амплитуда, просеивающие поверхности

При переработке минерального сырья широко применяются мокрые процессы обогащения. Однако к получаемым при этом товарным продуктам предъявляются определенные требования не только по качественным показателям, но и по содержанию влаги в них, отсюда – необходимость применения обезвоживания. Наиболее трудоемким и имеющим высокие энергетические расходы является процесс удаления влаги из продуктов, сформированных из тонких классов с граничной крупностью 0,05 мм [1, 2].

Актуальность работы обусловлена необходимостью увеличения эффективности обезвоживания при мелком и, особенно, тонком грохочении, которое обеспечит повышение качества сырья, энерго- и ресурсосбережение, уменьшение вредного влияния на экологию.

В последнее время специалистами все больше внимания уделяется обезвоживанию обогащаемого сырья на вибрационных грохотах [1–3]. Этим направлением занимаются институты: Гипромашобогашение (г. Днепропетровск), Гипромашуглеобогашение (г. Луганск), ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины; зарубежные институты: Механобр, ВНИИ-неруд и МГИ (Россия); фирмы: „Шенк“ и „Уде“ (Германия), „Репифайн“ и „Деррик“ (США), „Фурукава“ (Япония), „Круш“ (Израиль) и др.

В Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины на протяжении многих десятилетий ведутся исследования в области вибрационной техники, начатые академиком НАН

Украины В.Н. Потураевым и получившие дальнейшее развитие в работах его учеников, обзор которых приведен в монографиях [3–4].

При обезвоживании, а также тонком грохочении влажного сырья одна из основных трудностей заключается в преодолении капиллярных сил, действующих в ячейке сита. Для этого используют разряжение под ситом и импульсное воздействие, например виброудар [5–7]. Последнее может сообщаться как непосредственно ситу, так и через промежуточный элемент, выполненный в виде более крупного сита или решетчатой конструкции [5–7].

В работе [8] исследованы движения рабочего органа при виброударных режимах. При этом получены хорошие технологические результаты, однако отсутствуют сведения о динамических режимах, при которых они достигнуты.

Обзор работ по теории грохочения приведен в [4]. Из него следует, что отсутствуют исследования, связанные с влиянием импульсного воздействия на прохождение жидкости через ячейки сита. Кроме того, не выяснено, как влияет на этот процесс материал сетки.

Цель данной работы – изучение влияния режимов возбуждения на прохождение жидкости через ячейки различных сит при импульсном воздействии.

Обезвоживание горной массы на вибрационном грохоте происходит в результате прохождения жидкости через ячейки сита. При грохочении по классу меньшему, чем капиллярная постоянная, этому процессу препятствуют силы поверхностного натяжения, которые преодолеваются за счет динамического воз-

действия. Исследования, направленные на установление влияния амплитуды и частоты вибровозбуждения на прохождение жидкости, были выполнены экспериментальным методом.

Для создания вертикальных гармонических колебаний применялся лабораторный электродинамический вибратор [3, 4]. Он состоял из электромагнита с кольцевым воздушным зазором и подвижной системы, подвешенной на двух упругих мембранах. По катушке подмагничивания пропускался постоянный ток от блока подмагничивания. Питание подвижной катушки осуществлялось переменным током, частота и величина которого определялись параметрами испытаний и задавались системой управления. Переменное магнитное поле подвижной катушки взаимодействовало с постоянным полем электромагнита катушки подмагничивания и создавало толкающую силу. Величина виброускорений, создаваемых вибратором, зависела от толкающей силы, массы испытываемых изделий и массы подвижных частей вибратора. Обе катушки установлены в основании вибратора, причем, неподвижная закреплена жестко, а подвижная соединена со столом вибратора с возможностью перемещаться благодаря упругости мембран. Питание катушек осуществлялось системой управления параметрами вибрации.

На столе вибратора 1 крепилась модель грохота, которая схематически изображена на рис. 1. Модель состояла из основания 2, к которому приварены две параллельные направляющие 3, двух кронштейнов 4, емкости 5 для исходного продукта и лотка 6 для транспортирования подрешетного продукта.

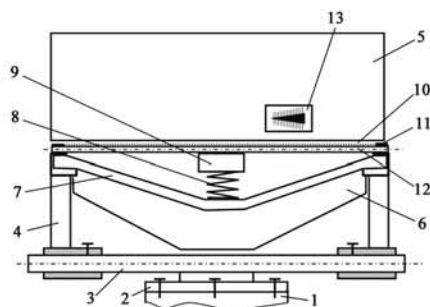


Рис. 1. Модель вибрационного грохота с ударником: 1 – стол вибратора; 2 – основание; 3 – направляющая; 4 – кронштейн; 5 – емкость для исходного продукта; 6 – лоток; 7 – балка; 8 – упругий элемент; 9 – ударник; 10 – сетка; 11 – упругая прокладка; 12 – стержни; 13 – оптический клин

Для создания импульсного воздействия на модели грохота была установлена балка 7 с упругим элементом 8 и ударником 9, а под сеткой 10 на упругих прокладках 11 смонтированы стержни 12. При гармоническом возбуждении основания 2 на ударник действует переменная сила инерции, что приводит к периодическим разрывам контакта ударника 9 со стержнями 12. В результате этого генерируются

ударные импульсы, которые через стержни 12 передаются сетке 10.

При фиксированной амплитуде и варьировании частоты изменяется амплитуда колебаний стержней и ударника. Когда частота вибровозбуждения близка к собственной частоте стержней и ударника, то происходит усиление его колебаний, что приводит к увеличению действующих на сетку сил и интенсификации обезвоживания. Амплитуда и частота вибровозбуждения замерялись с помощью оптического клина и частотомера. Перемещения стержней и ударника определялись с помощью кинокамеры.

Для исследования прохождения жидкости через сетку при гармоническом возбуждении с модели снимались стержни и ударник.

Поскольку наиболее трудоемким и поэтому представляющим больший интерес для исследований является процесс удаления влаги из продуктов с граничной крупностью 0,05 мм, изучение влияния режимов возбуждения на прохождение жидкости через ячейки сита при импульсном воздействии проводились на сетках с размером ячейки 0,05 мм. Определялось количество воды, остающееся на стальных и полиамидных сетках, характеристики которых приведены в таблице.

Таблица

Характеристики сеток

Размер стороны отверстия, мм	Диаметр проволоки или нити, мм	Материал
0,05	0,040	Сталь
0,05	0,035	Полиамид

Для обозначения конструктивных особенностей модели примем запись, включающую четыре позиции, разделенные дефисом. В них, соответственно, указываются начальная буква материала, из которого изготовлена сетка, размер стороны квадратного отверстия в миллиметрах. В позиции после размера ячейки будем писать Ст и Уд (сокращения от слов стержни и ударник). Например, запись П-0,05-Ст-Уд означает полиамидная сетка с квадратными отверстиями 0,05 мм, под которой установлены стержни и ударник. При гармоническом возбуждении сетки, когда отсутствуют стержни и ударник, в обозначение будем указывать только материал сетки и размер отверстия.

Масса ударника 0,28 кг; жесткость упругого элемента 3,31 кН/м; жесткость упругих прокладок 52 кН/м; стальные стержни имели длину 308 мм, диаметр 5 мм и шаг установки 15 мм. Эти конструктивные параметры получены на основании расчетов, выполненных методом, изложенным в работе [9].

Методика проведения экспериментов была следующей: монтировалась сетка с заданным размером отверстия; включался вибратор и устанавливались требуемая амплитуда и частота вибровозбуждения; на сетку подавалась вода и включался секундомер; через заданное время выключался вибратор.

Количество воды, оставшейся на сетке, замерялось следующим образом: после выключения вибратора на сетку укладывалась гидрофильная бумага; когда завершалось впитывание воды, влажная бумага взвешивалась. По разности масс сухой и влажной бумаги вычислялась масса оставшейся воды.

Интенсивность процесса прохождения жидкости через ячейки сита будем характеризовать относительным количеством воды, оставшимся на сите после вибрационного воздействия

$$W_c(t_p) = (m(t_p)/m_{st})100\%;$$

где  $t_p$  – время стабилизации прохождения воды через калибровочную сетку;  $m$  и  $m_{st}$  – масса воды на сетке соответственно после вибрационного воздействия и в статике.

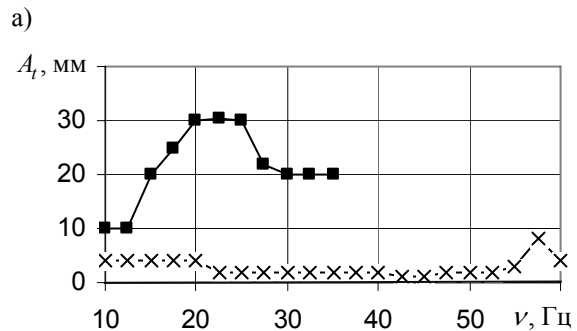
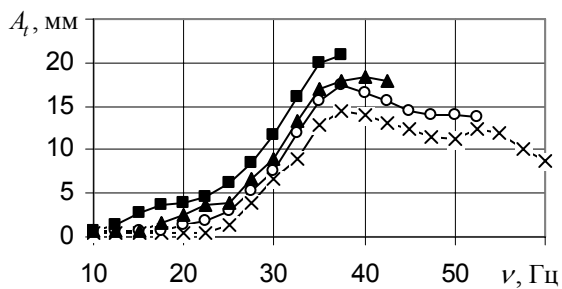
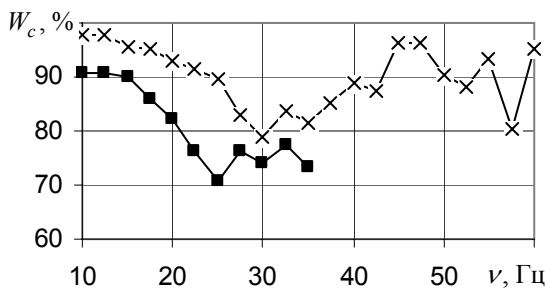
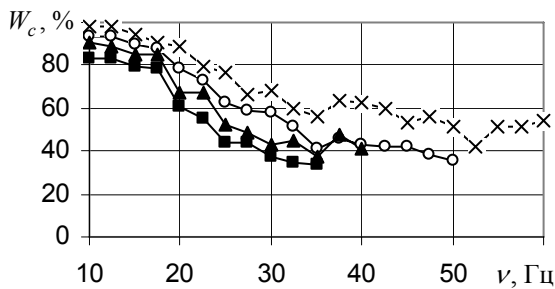


Рис. 2. Остаток воды на стальной и полиамидной сетках ( $W_c$ ), размах их колебаний ( $A_t$ ) при различных частотах ( $\nu$ ) и амплитудах гармонического возбуждения: а) – С-0,05; б) – П-0,05; х, о, ▲ и ■ – амплитуда вибровозбуждения 1, 2, 3 и 4 мм

Из графиков следует, что существует связь между остатками воды и размахом колебаний ударника – с увеличением размаха остаток воды уменьшается.

При гармоническом возбуждении на стальной сетке, по сравнению с полиамидной, остается меньше воды. В зависимости от частоты и амплитуды  $\Delta_c$  изменяется в пределах от 0,8 до 45 % (рис. 4, а).

Импульсное воздействие, по сравнению с гармоническим, обеспечивает более интенсивное прохождение воды как через стальную, так и полиамидную сетки: стальная  $\Delta_c = 17...55$  %, полиамидная  $\Delta_c = 19,3...76$  % (рис. 4, б, в).

Время  $t_p$  зависит от режима вибровозбуждения и конструктивных особенностей просеивающей поверхности. Из предварительных экспериментов установлено, что максимальное значение  $t_p$  равно 45 с (при этом значении выполнены последующие эксперименты).

Результаты экспериментов для различных сеток и режимов возбуждения приведены на рис. 2–3, где  $A_t$  – размах колебаний ударника или сетки. Чтобы более явно выявить связь  $W_c$  с изменением частоты  $\nu$  и размаха  $A_t$ , сглаживание результатов не производилось.

Сравнения эффективности различных сеток и режимов выполнены по разности  $\Delta_c$  остатков воды и представлены на рис. 4.

Если сопоставить эффективность импульсного воздействия для сеток из разного материала, то и здесь стальная сетка имеет преимущество по сравнению с полиамидной. В этом случае  $\Delta_c$  изменяется в пределах от 0,4 до 55 % (рис. 4, з).

Таким образом, изучено влияние режимов возбуждения на прохождение жидкости через ячейки различных сит при импульсном воздействии.

Полученные данные будут использованы при математическом моделировании для определения рациональных конструктивных и динамических параметров процесса обезвоживания горной массы.

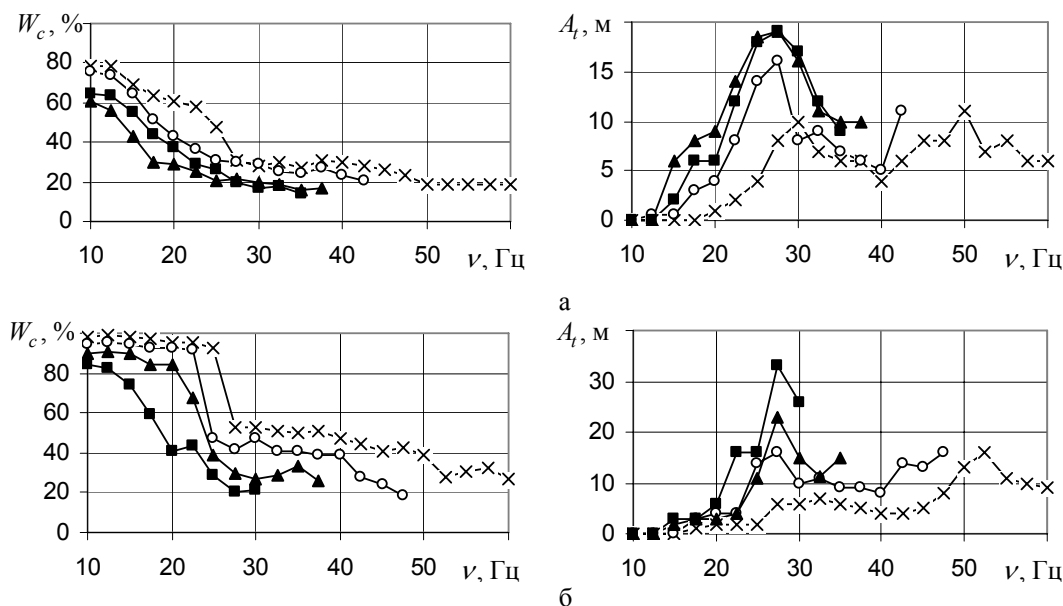


Рис. 3. Остаток воды на стальной и полиамидной сетках ( $W_c$ ), размах колебаний ударника ( $A_t$ ) при различных частотах ( $\nu$ ) и амплитудах гармонического возбуждения: а) – С-0,05-Ст-Уд; б) – П-0,05-Ст-Уд; х, о, ▲ и ■ – амплитуда вибровозбуждения 1, 2, 3 и 4 мм

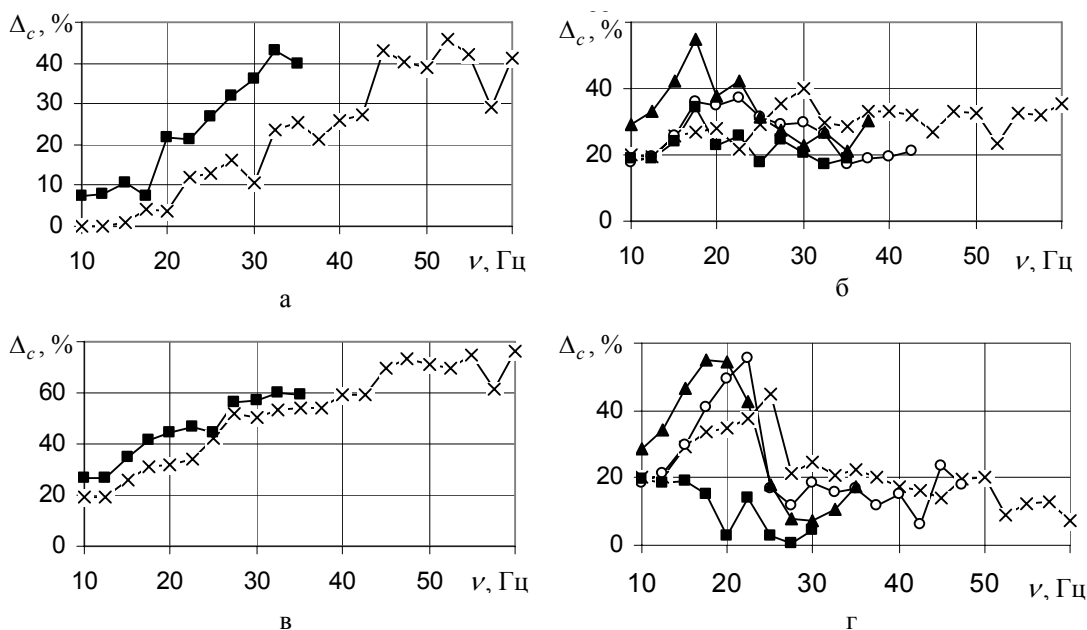


Рис. 4. Разности остатков воды ( $\Delta_c$ ) на стальной и полиамидной сетках при различных частотах ( $\nu$ ) и амплитудах гармонического возбуждения: а) – (П-0,05)-(С-0,05); б) – (С-0,05)-(С-0,05-Ст-Уд); в) – (П-0,05)-(П-0,05-Ст-Уд); г) – (П-0,05-Ст-Уд)-(С-0,05-Ст-Уд); х, о, ▲ и ■ – амплитуда вибровозбуждения 1, 2, 3 и 4 мм

**Список литературы**

1. Руденко Р.К. Обезвоживание и пылеулавливание / Р.К. Руденко, М.М. Шемаханов. – М.: Недра, 1984. – 350 с.  
 2. Вайсберг Л.А. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкция, материалы, опыт применения / Л.А. Вайсберг, А.Н. Картавый, А.Н. Коровников. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. – 252 с.  
 3. Потураев В.Н. Вибрационная техника и технологии в энергоемких производствах: Монография / В.Н. Потура-

ев, В.П. Франчук, В.П. Надутый // Национальная горная академия Украины. – Днепропетровск. – 2002. – 186 с.  
 4. Надутый В.П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья: Монография / Надутый В.П., Лапшин Е.С. – Киев: Наук. думка, 2005. – 180 с.  
 5. Борохович Д. Опыт применения технологии Kroosh для просеивания нерудных сыпучих материалов / Д. Борохович, И. Круш, Ю. Ободан // Вібрації в

техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2007. – №(48) – С. 61–64.

6. Пат. 379611 US, МПК<sup>7</sup> В 07 В 1/34. Vibratory sifting machine with strikers [Электронный ресурс] / R. Krause; фирма Rhewum. – №118413; заявл. 24.02.71; опубл. 12.03.74. – Режим доступа: <http://www.google.com/patents>. – Загл. с экрана.

7. Пат. 6220447 US, МПК<sup>7</sup> В 07 В 1/54. Variable frequency screening apparatus [Электронный ресурс] / G.F. Lambert, C.R. Maryville. – №251789; заявл. 17.02.99; опубл. 24.04.01. – Режим доступа: <http://www.google.com/patents>. – Загл. с экрана.

8. Надутый В.П. Математическое моделирование виброударного движения сита грохота / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, И.П. Хмеленко // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2009. – №1(53). – С. 36–39.

Виконано аналіз досліджень зі збездонювання гірничої маси на вібраційних грохотах. Описано конструкцію експериментальної моделі віброгрохота і методику проведення експериментів. Досліджено залежність процесу проходження рідини крізь чарунки сита від частоти

й амплітуди ударного впливу на різних просіваючих поверхнях. Виконано порівняння просіваючих поверхонь за різницею залишків води. Встановлено зв'язок між залишками води і розмахом коливань ударника.

**Ключові слова:** видалення вологи, імпульсний вплив, частота, амплітуда, просіваючі поверхні

The paper analyses research on dehydration of mountain mass at vibrating screens. The design of experimental model of screen and technique of realization of experiments is described. Dependence of process of passage of liquid through cells of a sieve from frequency and amplitude on shock influence on various sifting surfaces is investigated. Comparison of various sifting surfaces by difference of water residue is executed. Connection between the water residue and scope of fluctuation of the hammer is established.

**Keywords:** moisture removal, sampling action, frequency, amplitude, sifting surfaces

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Б.О. Блюссом. Дата надходження рукопису 04.03.11

УДК 622.648.23:621.65:622.271.623

Е.В. Семенов, д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник,  
В.Г. Скосырев, канд. техн. наук, доц.

1 – Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [evs\\_igtm@mail.ru](mailto:evs_igtm@mail.ru)

2 – Приазовский Государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина

## ПОТОЛОК ВЗВЕШИВАНИЯ ЧАСТИЦ ТИТАН-ЦИРКОНОВЫХ РОССЫПЕЙ ПРИ ТЕЧЕНИИ ПУЛЬПЫ ПО КОНУСУ

Ye.V. Semenenko<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Tech.),  
Senior Research Fellow,  
V.G. Skosyrev<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor

1 – Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: [evs\\_igtm@mail.ru](mailto:evs_igtm@mail.ru)

2 – Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

## MAXIMAL SUSPENSION HEIGHT OF PARTICLES FROM TITANIC-ZIRCONIUM PLACERS WHEN PULP FLOWING ALONG THE CONE

На основе рассмотрения физической картины течения и анализа сил, действующих в потоке на сепарируемую частицу, разработаны модель и алгоритм расчета потолка взвешивания частиц твердой фазы пульпы при течении по внутренней поверхности конуса. С использованием приведенных формул можно рассчитывать параметры потока пульпы вдоль образующей конуса и определять положение точки начала сепарации, а также рассчитывать параметры нагрузки, обеспечивающие возникновение точки начала сепарации в заданном сечении потока пульпы при ее течении по внутренней поверхности конуса.

**Ключевые слова:** пульпа, обратное водоснабжение, технологии добычи и обогащения

Гидравлические методы обогащения, основанные на разделении твердых частиц при течении пульпы по твердой поверхности, которые реализуются, например, в струйных и конусных сепараторах, являются самыми давними и в то же время самыми востребованными при обогащении титан-цирконового

россыпей [1–3]. Несмотря на большой успех других методов обогащения, внедрение принципиально новых аппаратов и разработку реагентов нового поколения, интерес к гидравлическим методам при переработке россыпей этого типа не ослабевает, что вызвано их простотой, экологической безопасностью, низкой стоимостью. Однако, все еще остаются не устраненными недостатки этих методов, по сравне-