



18. Хорольский А.А. Совершенствование технологии механизированной добычи угля на основе рационального выбора комплектаций очистного оборудования / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2016», 5 октября – 8 октября 2016г., Днепропетровск. – Д.: Национальный горный университет, Т2. – С.158–167.
19. Dijkstra E. W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs / Numerische Mathematik. – 1959. – 269–271 pp.
20. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах.: Пер. с англ.— М.: Мир, 1981.— 323 с.
21. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ (Introduction to Algorithms). — 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2006. — 1296 с.
22. Бакнелл Джулиан М. Фундаментальные алгоритмы и структура данных в Delphi : Пер. с англ. / Джулиан М. Бакнелл. — СПб.: ООО «ДипСофтЮП», 2003. — 560 с.
23. Графічне представлення графа засобами Delphi. Режим доступу: <http://www.mathros.net.ua/grafichne-predstavlennya-grafa-zasobami-delphi.html>.— Загол. з екрану.
24. Графічне представлення орієнтованого графа засобами Delphi. Режим доступу: <http://www.mathros.net.ua/grafichne-predstavlennja-orijentovanogo-grafa-zasobamy-delphi.html>. — Загол. з екрану.
25. Стивене Р. Delphi. Готовые алгоритмы / Род Стивенс : Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: ДМК Пресс, СПб: Питер, 2004. — 384 с.

УДК 622.271.1:622.236.73

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ГРАВИТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Н.П. Хрунина

кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории разработки россыпных месторождений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия, e-mail: [npetx@mail.ru](mailto:npetx@mail.ru)

**Аннотация.** Анализируются динамические системы, моделирующие гидроимпульсные эффекты, для развития системного подхода к решению проблемы дезинтеграции минерального сырья. Отмечается, что углубление аналитических и экспериментальных исследований гидроактивации песков, инициирующих кавитационные эффекты, позволит решить важную проблему дезинтеграции минеральной составляющей гидросмесей месторождений рудного и россыпного типа.

*Ключевые слова:* гидродинамическая микродезинтеграция, гидроимпульсные эффекты, кавитация.



---

## IMPROVEMENT OF EXTRACTING MICRO PARTICLES VALUABLE COMPONENTS OF THE GRAVITY METHOD

Natalya Khrunina

Ph.D., researcher at the laboratory of placer deposits Federal State budgetary institution of Science Mining Institute of Far Eastern branch of the Russian, Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia, e-mail: [npetx@mail.ru](mailto:npetx@mail.ru)

**Abstract.** Analyses of dynamic system modelling gidroimpulse effects for the development of a systematic approach to solving the problem of disintegration of minerals. It is noted that the deepening of analytical and experimental researches gidroactivation sands that trigger cavitation effects will allow to solve the important problem of the disintegration of the mineral ore and placer deposits component type.

*Keywords: hydrodynamic mikrodisintegration, gidroimpulse effects, cavitation.*

**Введение.** Среди золотороссыпных месторождений ДВ региона выделяются различные промышленно-генетические типы, характеризующиеся особенностями строения, глубиной залегания песков, а также содержаниями основных и попутных полезных компонентов. Разработка месторождений благородных металлов каждого типа требует применения специальных методов добычи и переработки золотосодержащих песков. В настоящее время в эксплуатацию вовлекаются новые типы россыпей, ранее не относившиеся к промышленным объектам, более сложного строения, менее продуктивные, содержащие значительную долю золота мелких фракций. Основную роль при переработке таких месторождений играют процессы разрушения для извлечения ценных компонентов [1-6].

Целью исследования является совершенствование процессов извлечения микрочастиц ценных компонентов экологически чистым гравитационным способом, направленным на повышение эффективности процесса микродезинтеграции глинистых песков россыпей, путем создания установок на основе усиления полей первичной гидродинамической дезинтеграции и дополнительного кавитационно-акустического воздействия на минеральную составляющую гидросмеси.

**Результаты исследований.** Анализ систем, моделирующих гидроимпульсные эффекты, для обоснования подходов к решению проблемы дезинтеграции минерального сырья, позволил оценить эффекты разрушения, моделируемые с помощью ультразвуковых, электроразрядных, электромагнитных, вибрационных и гидродинамических воздействий. Ряд систем инициирования, основанных на физических принципах воздействия в производственных условиях добычи и переработки минерального сырья, может нести повышенную опасность и требовать высоких требований обес-

печения техники безопасности. Поэтому предпочтительным направлением исследования на данном этапе для последующего практического использования может быть разработка установок на основе гидромеханического воздействия. Анализ разработки [7], в основе которой лежит принцип струйно-акустического воздействия на материал, показал высокую энергозатратность подачи струи газа и регулировки перемещения струйно-акустического генератора. Устройства [8-10], осуществляющие генерацию акустических колебаний ультразвукового диапазона в жидкотекучих средах посредством возбуждения потоком жидкости стержней, пластин, мембран, предназначены для узкого диапазона плотности прокачиваемой гидросмеси. Это не позволит эффективно обработать минеральную составляющую гидросмеси глинистых песков россыпей с включениями твердых частиц. Данным обстоятельством определяется ограничение по технологическим показателям, максимальной развиваемой мощности и производительности систем. Использование систем роторного типа на основе принципа струйной генерации акустических потоков [11-12] и различных систем кавитационно-струйной диспергации [13-14] ограничено пропускной способностью обрабатываемой среды, дисперсностью исходной твердой фракции и не пригодно для дезинтеграции гидросмеси с повышенным содержанием глин.

В ИГД ДВО РАН предпринята попытка создания геотехнологических комплексов [15-16] для дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси в условиях резонансных акустических явлений в гидротоке, моделируемых с помощью кавитационного реактора, рис. 1. С помощью добычного гидромеханизированного комплекса [16] осуществляют предварительный размыв, классификацию песков и отделение пустой породы. Выделенную на гидровашгерде минеральную фракцию, по классу – 50 мм, в виде гидросмеси подают с помощью одной из насосных установок в кавитационный реактор для последующей глубокой дезинтеграции минеральной составляющей до микроуровня.

В кавитационном реакторе скоростная струя гидросмеси формирует посредством отражательной сферической поверхности гидродинамического излучателя торроидальную кавитационную зону [16]. Возникают поля первичной гидродинамической и вторичной акустической кавитации. Мощные гидродинамические возмущения в виде импульсов сжатия и разряжения производят вторую волну возмущений – вторичные акустические микропотоки. Отраженные вихри гидросмеси попадают на пластинчатые кавитационные элементы, которые распределены по контуру цилиндрической части кавитационного реактора для балансировки и обеспечения под влиянием пульсирующего потока усиление резонансных колебаний в гид-

росмеси. Частотный диапазон получаемого излучения находится в интервале 0,4-40 кГц, а максимум звукового давления регулируется скоростью истечения струи из входного патрубка. При попадании гидросмеси в нижнюю часть – конфузор, кавитационного реактора интенсивность воздействия кавитирующих процессов, разрушающих минеральную составляющую, пропорциональна изменению скорости потока

$$I=(V-V_{кр})^n,$$

где  $V$  - начальная скорость потока гидросмеси при входе в конфузор;  $V_{кр}$  - критическая скорость, соответствующая моменту начала кавитационных разрушений;  $n$  – показатель степени, равный по экспериментальным данным от 5 до 6.

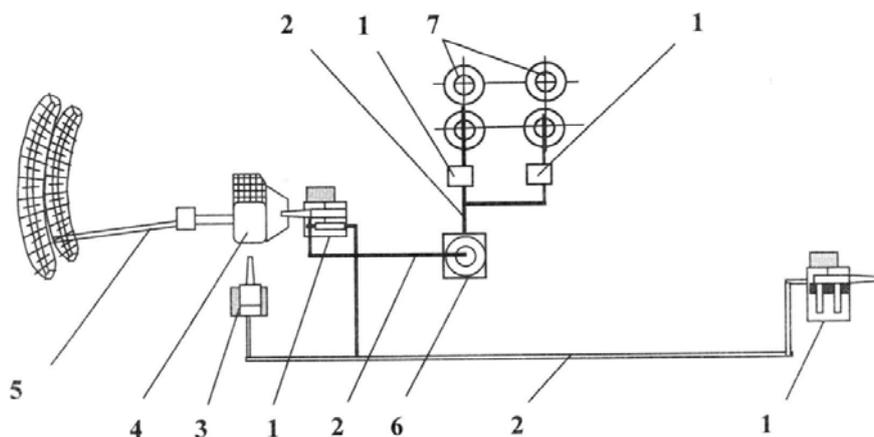


Рис. 1. – Геотехнологический комплекс для дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси [16]:

- 1--насосные установки, 2-системы напорного гидротранспортирования, 3-гидромонитор, 4-гидровашгерд, 5-отвалообразователь, 6-кавитационный реактор, 7-винтовые шлюзы

Предлагаемый способ дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси высокоглинистых золотоносных россыпей в условиях резонансных акустических явлений повысит технологический уровень добычи полезного ископаемого, снизит потери ценного компонента, уменьшит энергозатраты, улучшит эксплуатационные показатели по обслуживанию комплекса, повысит рентабельность производства и экологическую безопасность за счет исключения из технологического цикла использование реагентов.

**Вывод.** Развитие исследований по созданию более совершенных методов воздействия на пески в процессах переработки позволит приблизить решение важной проблемы глубокой дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей для извлечения мелких и тонких частиц



ценных компонентов микронного уровня без потерь. Моделирование таких установок позволит обеспечить условия для устойчивости системы с учетом электростатического взаимодействия диффузных слоев ионов частиц минеральной составляющей гидросмеси.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас основных золотороссыпных месторождений юга Дальнего Востока и их горно-геологические модели / А.П. Сорокин, А.П. Ван-Ван-Е, В.Д. Глотов и др. – Владивосток, Благовещенск, Хабаровск: ДВО РАН, 2000. - 334 с.
2. Архипов Г.И. Минеральные ресурсы Приморского края: состояние и перспективы / Г.И. Архипов // ГИАБ. - 2010. - №4. - С. 464-475.
3. Новые аспекты научных основ ультразвуковой дезинтеграции высокоглинистых золотосодержащих песков россыпей Приамурья / Н.П. Хрунина, Ю.А. Мамаев, А.М. Пуляевский, О.В. Стратечук. ; под ред. А.М. Пуляевского. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. - 2011. - 167 с.
4. Хрунина Н.П. Оценка влияния водонасыщения на дезинтеграцию высокоглинистых песков при разработке россыпей благородных металлов / Н.П. Хрунина, А.Ю. Чебан // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2015. - № 4. - С. 50–55.
5. Хрунина Н.П. Концептуальный подход к теоретическому обоснованию гидродинамической дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси на примере предлагаемой установки / Н.П. Хрунина, А.Ю. Чебан // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. Украина, Днепрпетровск. - 2015. - № 1 (2). - С. 49-56.
6. Мамаев Ю.А. [Определение оптимальных параметров ультразвукового излучения при воздействии на краевые зоны золотосодержащих песков россыпей](#) / Ю.А. Мамаев, Н.П. Хрунина // [Известия высших учебных заведений. Горный журнал](#). – Москва. - 2008. - [№ 6](#). - С. 71-74.
7. Способ газоструйной дезинтеграции материала и устройство для его осуществления: пат. 2425719 Рос. Федерация: МПК В03В 5/02 / Михайлов А. Г., Силинский С. А., Козлов В. И., Лимонов А.Г. ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "ПромВНТ".–№[2009107444/03](#); заявл. 02.03.2009; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 22.
8. Основы физики и техники ультразвука / Б. А. Агранат, М. Н. Дубровин, Н. Н. Хавский, Г. И. Эскин. - М.: Высш. шк., 1987. - 352 с.
9. Гидродинамический генератор колебаний: пат. 2015749 Рос. Федерация: МПК В06В1/20, F15В21/12 / Авдучевский В.С., Ганиев Р.Ф., Калашников Г.А., Костров С.А., Муфазалов Р.Ш.; заявитель и патентообладатель Научно-производственная фирма "Волонтех".–№[5003508/29](#); заявл. 04.10.1991; опубл. 15.07.1994.
10. Способ глубокой обработки жидких и газообразных сред и генератор резонансных колебаний для его осуществления: пат. 2229947 Рос. Федерация: МПК В06В1/20 / Хасанов Р.З., Ханнанов А.Н., Ахметгалиев Р.З. ; заявитель и патентообладатель Хасанов Р.З., Ханнанов А.Н., Ахметгалиев Р.З.–№[2003124389/28](#); заявл. 04.08.2003; опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16.

11. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика: Монография. / Промтов М.А. - М.: Машиностроение, 2001. – 260 с.
12. Балабышко А.М. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности / Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. – М.: Недра, 1992. – 176с.
13. Федоткин И.М. Использование кавитации в технологических процессах / Федоткин И.М., Немчин А.Ф // Киев: Вища школа. Изд-во Киев. Ун-т, 1984, - 68 с.
14. Гидродинамический генератор акустических колебаний ультразвукового диапазона и способ создания акустических колебаний ультразвукового диапазона: пат. 2325959 Рос. Федерация: МПК В06В1/18 / Дудко М.П., Тагиев М.М., Люкшин Е.Г. ; заявитель и патентообладатель Дудко М.П., Тагиев М.М., Люкшин Е.Г.–№[2006114615/28](#), заявл. 18.05.200 ; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 16.
15. Способ струйно-акустической дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси и гидродинамический генератор акустических колебаний: пат. 2506127 Рос. Федерация: МПК В03В5/00 / Хрунина Н.П. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук.-№[2012140610/03](#), заявл. 21.09.2012 ; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4.
16. Способ струйно-акустической дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси и гидродинамический генератор акустических колебаний: пат. 2506128 Рос. Федерация: МПК В03В5/00 / Хрунина Н.П. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук.-№ [2012140887/03](#), 24.09.2012, заявл. 24.09.2012 ; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4.

УДК 622.271.1:622.236.73

## ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССА ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ГЛИНИСТЫХ ПЕСКОВ ПОСРЕДСТВОМ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ

**Н.П. Хрунина**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории разработки россыпных месторождений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия, e-mail: [npetx@mail.ru](mailto:npetx@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены результаты исследования процесса дезинтеграции глинистых песков посредством водонасыщения на примере одного из месторождений Приморья для выработки системаопределяющих подходов прогнозирования микродезинтеграции. Дана сравнительная оценка интенсивности процессов дезинтеграции и изменения модулей упругости при водонасыщении песков.

*Ключевые слова:* водонасыщение, интенсивность дезинтеграции, модуль продольного растяжения, волновое сопротивление, динамика изменения упругой характеристики.