

**ГЕОЛОГИЯ ИЛИМДЕРИ**  
**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**GEOLOGICAL SCIENCE**

**Булкайрова Г.А., Айтпаева З.К., Дюсембаева А.Н., Тлеубергенова А.Ж., Токтаболат Г.**

**ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСТТУК СОККУ ТОЛКУНДАРЫНЫН КВАРЦТЫН  
ТАБИГЫЙ МИНЕРАЛЫНДА ТАЛКАЛОО ТААСИРИН ИЗИЛДӨӨ**

**Булкайрова Г.А., Айтпаева З.К., Дюсембаева А.Н., Тлеубергенова А.Ж., Токтаболат Г.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН  
НА ДРОБЛЕНИЕ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА КВАРЦА**

**G.A. Bulkairova, Z.K. Aitpaeva, A.N. Dyusembaeva, A.Zh. Tleubergenova, G. Toktabolat**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF ELECTROHYDROPULSE SHOCK WAVES FOR THE  
FRAGMENTATION OF THE NATURAL MINERAL QUARTZ**

УДК: 621.181

*Кварцтын табигый минералын талкалоо жана майдалоо технологиялык процессинин импульстук таасири жогорку вольттогу электр разрядынын көп компоненттүү суюктук бир сызыкта бөлүштүрүлбөгөн мүнөздө жогорку басымда колдонууга негизделген. Иште Актас кен чыккан жерден кварцтын табигый минералын электрогидро импульстук технологияда талкалоо жана майдалоо изилдөөсүнүн жыйынтыгы берилди.*

**Негизги сөздөр:** кварцтын табигый минералы, электрогидравликалык натыйжа, суу астындагы электр разряды, кавитация, майдалоо деңгээли.

*Импульсное воздействие в технологических процессах дробления и измельчения природного минерала кварца основано на использовании высоких давлений, сопровождающих высоковольтные электрические разряды в многокомпонентной жидкости с нелинейно распределенными характеристиками. В работе приведены результаты исследования электрогидроимпульсной технологии разрушения и измельчения природного минерала кварца месторождения Актас.*

**Ключевые слова:** природный минерал кварц, электрогидравлический эффект, подводный электрический разряд, кавитация, степень измельчения.

*Pulse influence in technological processes of pounding and crushing of natural mineral of quartz is based on using of the high pressures accompanying high-voltage electric discharges in multicomponent liquid with non linearly distributed characteristics.*

*The article presents the results of research of electrohydropulse destruction and crushing technologies of natural mineral quartz of the Aktas deposit.*

**Key words:** natural mineral quartz, electrohydraulic effect, underwater electric discharge, cavitation, extent of crushing.

Растущее потребление топлива, черных, цветных и редких металлов, неметаллорудных материалов, являющихся основой для развития современной промышленности, требует увеличения объемов добычи и обогащения полезных ископаемых. Вместе с неметаллорудными, строительными материалами и горнохимическим сырьем объем добычи и перера-

ботки полезных ископаемых в мире составляет несколько миллиардов тонн в год.

Переработка большинства добываемой горной массы означает дробление и измельчение ее как подготовительного процесса к непосредственному обогащению. Указанные процессы являются весьма дорогостоящими операциями и достигают 50%, а в некоторых случаях 70% всех затрат на обогатительных фабриках. Большое значение для последующих технологических операций имеет качество дробления и измельчения, предполагающее получение продукта заданной крупности без переизмельчения с максимальным освобождением зерен полезных минералов от пустой породы при минимальной их повреждаемости. Требования увеличения количества перерабатываемых горных пород и руд при улучшении качественных показателей переработки (повышение степени извлечения) ставят весьма актуальные задачи, направленные на рационализацию и удешевление процессов дробления и измельчения.

В связи с программой правительства по импортизации приобрела актуальность возможность получения продукции на основе кварцсодержащего местного сырья Казахстана. Наиболее популярным кварцевым сырьем в технологических процессах является легко перерождающиеся кварциты, обеспечивающие более высокую скорость химических превращений.

Республика Казахстан располагает большими запасами кварцсодержащего сырья, однако основная его часть используется при производстве простейших строительных материалов, и только малая - высокотехнологичных производствах.

Кварц - один из наиболее распространенных минералов, представляющий собой более и менее чистую кремнекислоту SiO<sub>2</sub> (46,7%-Si; 53,3%-O<sub>2</sub>). Практически кристаллы кварца чрезвычайно редко приближаются к этому составу, так как обычно заключают в себе различные примеси: пузыри газов и жидкостей, иногда вросшие листочки слюды. Он является существенной составной частью многих

магматических, осадочных и метаморфических пород.

Размеры кристаллов кварца колеблются в широких пределах. Одни могут быть различны только через микроскоп, вес других достигает нескольких тонн.

Кварц входит в состав многих горных пород, образует мономинеральные жилы. Минерал этот — многолик: бесцветный кварц — горный хрусталь, желтый — цитрин, дымчатый, черный — морион, фиолетовый — аметист. Чаще всего мы видим его молочно-белым или серым — от бесчисленного количества трещинок и пузырьков, заполненных воздухом, природным газом или жидкостью. Чистый кварц бесцветен и молочно белый, хорошо пропускает ультрафиолетовые лучи.

Измельченный кварц широко применяется в различных отраслях промышленности: огнеупорная промышленность, металлургия, керамическая, стеклянная, строительная промышленность, оптика волоконная промышленность и широко применяются в ювелирном деле.

Кварц в виде кварцевого стекла — один из основных материалов оптической промышленности. Он используется при изготовлении оптических приборов, средств телекоммуникаций, дифракционных линз, проекционных дисплеев, сканирующих устройств и принтеров, лазеров, а также фотоаппаратов, видеокамер, сверхплоских экранов телевизоров, автоматов контроля пламени и во многом другом. Также применяется в волновой оптике в качестве материала опорных труб световодов, в производстве специальных нитей и тканей. Кварцевые нити и крученая пряжа применяется в разнообразных материалах, например, в кабельной промышленности для производства огнеупорной изоляции. Изолирующие шланги используются в стекольной промышленности, нагревателях, лабораторном оборудовании, электропроводке. Кварцевые тканые и нетканые материалы является основой для ламинирования высококачественных печатных схем и радарных щитов. Нетканые материалы из кварцевого стекла применяются в сменных конусах космических челноков. В связи с низкой теплопроводностью и высокой сопротивляемостью к агрессивным растворам и газам эти материалы особенно хороши как фильтрующий и изоляционный материал для химической и металлургической промышленности.

Кварциты низкого качества используются, главным образом, в металлургической промышленности как флюсы и сырье для производства технического кремния и огнеупоров, в химической промышленности в качестве флюсов, в строительстве и для производства стекольной продукции.

В керамике применяют различные виды кварцевого сырья - кварцевый песок, жильный кварц, кварцевые отходы, образующиеся при обогащении каолинов, трепел, диатомит и др. Минерал кварц имеет две модификации с различными свойствами и кристаллической структурой: а-кварц, устойчивый

при температуре выше 575°C, и б-кварц, стабильный при обыкновенной температуре. Эту модификацию обычно и называют кварцем.

Наиболее перспективный по чистоте сырье, т.е. кварцевые месторождения для промышленного производства полупроводникового кремния — это Актаское и Сарыкольское месторождения. Сырье этих месторождений без дополнительной очистки может быть использовано для производства кремния солнечного качества.

В настоящей статье приведены результаты исследования влияния электрогидроимпульсных ударных волн на дробление и измельчение природного минерала кварца месторождения Актас. Кварциты месторождения «Актас», используемые в работе, в качестве основного материала, представлены частицами кварца молочно-белого и серовато-белого цветов. В незначительном количестве встречаются зерна с включениями светло-коричневого цвета.

К технологиям, использующим сильные импульсные токи, принадлежит и электрогидроимпульсная (сильноточный разряд в воде). При мощном импульсном электрическом разряде между электродами, помещенными в жидкость, возникает электрогидравлический эффект Юткина, который заключается в том, что быстрое выделение энергии в канале разряда увеличивает давление в нем, а дальнейшее его расширение приводит к возникновению ударной волны и потоков жидкости [1].

Ударная волна представляет собой в жидкости скачек плотности, который распространяется от канала разряда со скоростью, превышающей звуковую (в воде больше 1500 м/с). Давление на фронте ударной волны в жидкости может достигать десятков килобар. Воздействие этого давления на обрабатываемый объект может вызывать структурную перестройку материала объекта (дробление хрупких материалов, деформацию, упрочнение поверхности и т.д.). Потоки жидкости, распространяющиеся со скоростью  $10^2 \div 10^3$  м/с, передают кинетическую энергию обрабатываемому объекту, вызывая, как и ударная волна, его механические изменения [2].

Механические проявления импульсного разряда в жидкости принято называть электрогидравлическим эффектом, а установки с использованием этого эффекта - электрогидравлическими. В качестве рабочей среды в таких установках используется, как правило, техническая вода, керосин, масла [3,4].

Для исследования влияния электрогидроимпульсных ударных волн на дробления и измельчения минерала кварца была разработана и собрана в лаборатории электрогидродинамики кафедры инженерной теплофизики имени профессора Ж.С. Акылбаев КарГУ им. академика Е.А. Букетова экспериментальная установка.

Блок-схема установки для получения электрического разряда в жидкости (электрогидравлического эффекта) приведена на рисунке 1.

Установка состоит из следующих блоков: генератор импульсных напряжений, конденсатор и защитная

система, пульт управления и электродная системы.

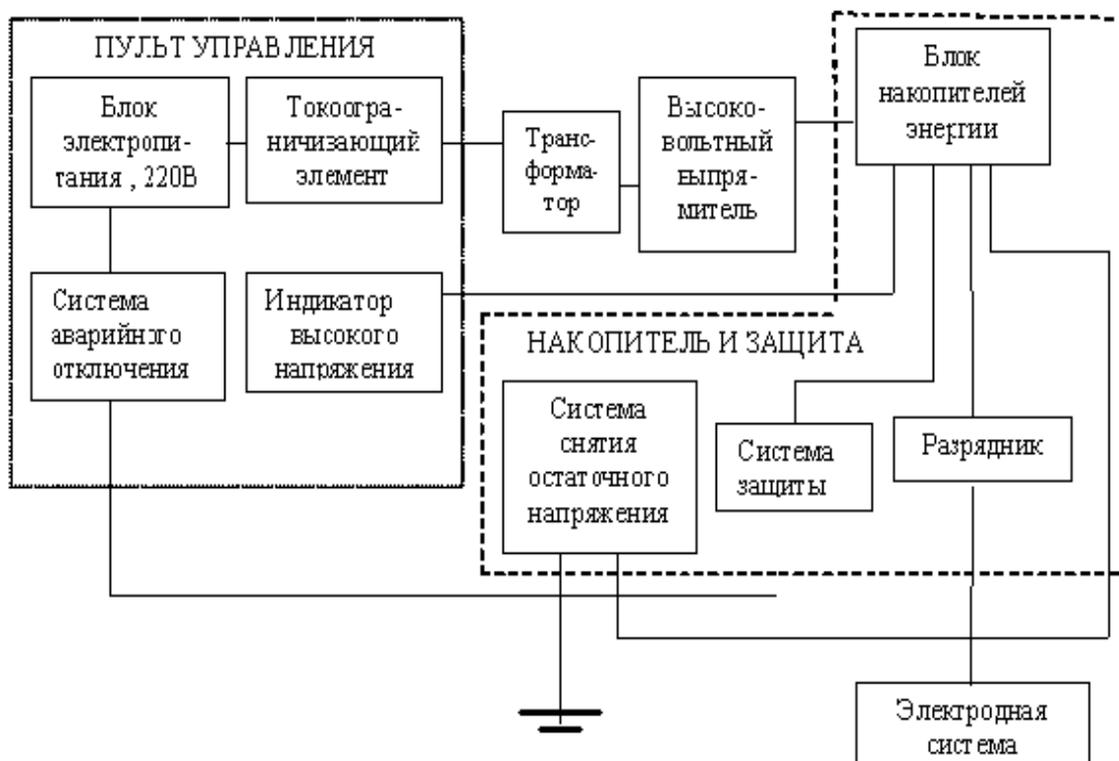


Рисунок 1. Блок-схема установки для получения подводного электрического разряда

На рисунке 2 показана рабочая часть установки, которой состоит: из цилиндрического корпуса 1, рабочих электродов 2, крышки 3, капролановой шайбы 4 и капроланового втулки 5.

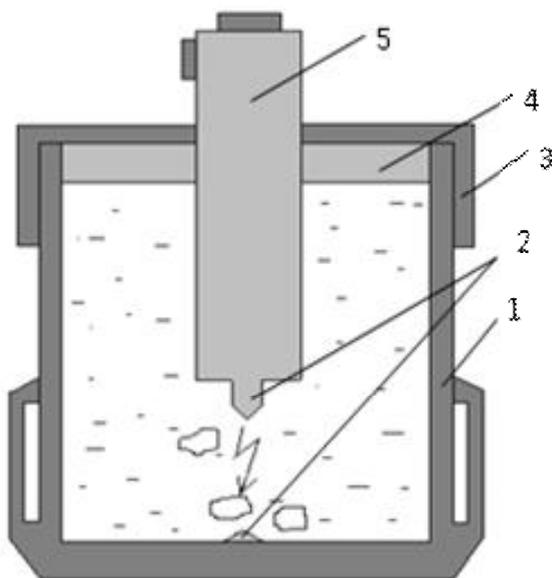


Рисунок 2. Рабочая часть экспериментальной установки для дробления минерала кварца

В рабочей части экспериментальной установки установлена линейная система электродов. Положительный электрод располагается вертикально, а отрицательным электродом служит дно металлической камеры цилиндрической формы. Для получе-

ния высоких давлений на фронте ударной волны, дробящих и измельчающих твердые фракции, электрический разряд осуществляется в водном растворе минерала кварца [5].

Быстрое выделение энергии порождает сильное механическое действие, приложенное к макроскопическим объемам среды и отдельным поверхностям, попавшим в зону разряда, при этом, скорость выделения энергии намного быстрее, чем скорость передачи ее возмущения окружающей среде. После начала пробоя происходит еще некоторое время, так называемая стадия формирования разряда, которая характеризуется некоторым ростом тока с одновременным спадом напряжения и завершающаяся образованием высокопроводящего электрического канала.

В образовавшуюся зону вводится энергия, накопленная батареей конденсаторов. Под действием высокого давления канал разряда расширяется, макроскопические объемы среды получают сравнительно большие скорости, которые во все стороны направлены по радиусам, исходящим примерно из центральной части разрядного промежутка. Под действием высокого давления жидкость сжимается, область этого сжатия заканчивается движущегося фронтом ударной волны, где давление и все другие параметры жидкой среды меняются скачком давления. Энергия разогретой плазмы передается непосредственно окружающей среде.

Электрогидравлические устройства для дробления в отличие от механических дробилок не имеют движущихся частей, изготавливаются из обычной

конструкционной стали, а их корпус практически не изнашивается при работе. Во время работы эти устройства не образуют пыли, занимают сравнительно небольшие производственные площади и допускают совмещение в них процессов дробления, смешения и флотации материалов [6].

В работе для визуализации процесса дробления и измельчения природного минерала кварца используются графические редакторы. В графическом редакторе каждый момент процесса очистки выполняется в виде отдельных слайдов, которые затем с помощью Power Point редактируются. Автоматическая анимация слайдов позволяет увидеть весь процесс электрогидравлической очистки в виде непрерывного фильма длительностью 3-5 мин, чтобы увидеть дробления и измельчения природного минерала кварца, необходимо подготовить более 100 слайдов.

На рисунке 3 показан процесс накопления энергии и развития искрового разряда, который происходит в очень короткий промежуток времени ( $\sim 10^{-3} \div 10^{-4}$  с).

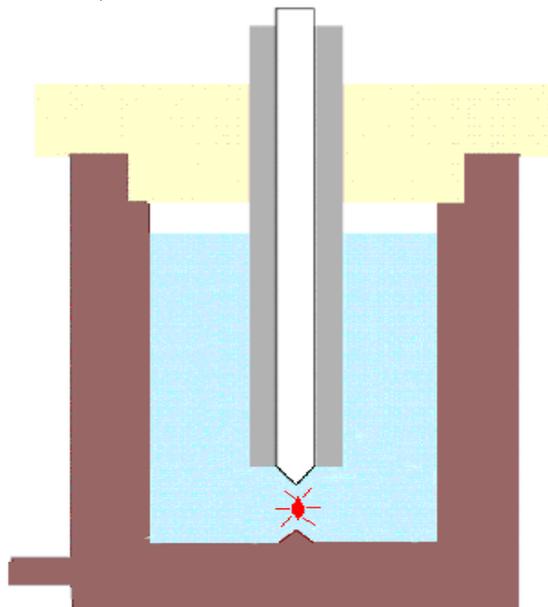


Рисунок 3. Процесс накопления энергии и разряда

Жидкость, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него во все стороны, образуя в том месте, где был разряд значительную по объему полость (кавитация) вызывая первый (основной) гидравлический удар. Развитие искрового разряда во времени происходит путем последовательного “прорастания” стримеров в межэлектродном промежутке. Растущий стример, как правило, состоит не из одного, а из многих каналов с многочисленными ответвлениями от них (рисунок 4).

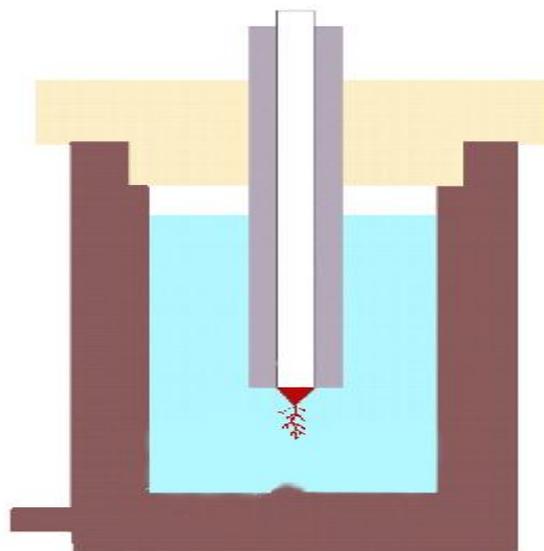


Рисунок 4. Прорастания стримеров в межэлектродном промежутке

Под влиянием электроимпульсного воздействия в обрабатываемой среде возникают гидродинамические потоки жидкости и акустическая волна, а в результате локального снижения давления в жидкости возникает кавитация. При этом кавитационный пузырек, двигаясь с потоком жидкости в область с более значительным давлением, захлопывается и излучает ударную волну. После схлопывания пузырьков сформируются микроудары кумулятивных струй. Смесь, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него во все стороны.

В начале процесса канал разряда увеличивается с максимальной скоростью, по завершению протекания тока полость канала разряда из-за инерционности среды продолжает расширяться, достигает наибольших размеров и затем начинает сжиматься. Температура и давление в ней при расширении полости падают, а при сжатии повышаются, т.е. появляются затухающие пульсации полости [7].

После серии разрядов природный минерал кварц разрушается, извлекаются продукты обработки и цикл повторяется (рисунок 5).

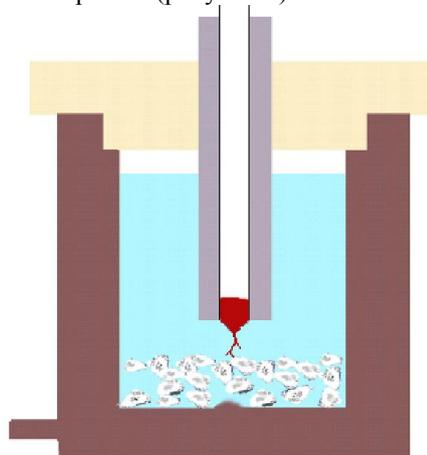


Рисунок 5. Процесс дробления минерала кварца

Степень измельчения минерала кварца возрастает с увеличением удельной энергии, вводимой в канал разряда, что объясняется тем, что в обрабатываемой руде сначала образуется сеть микротрещин на пути прохождения ударной волны, которая и создает сплошное напряженное состояние. Из особенностей процессов ЭГД следует, что КПД дробилки будет выше, чем более мелкие фракции материала предназначена она выдавать и чем мельче размеры фракций исходного материала. Это объясняется тем, что искра отдает энергию через поверхность распространения ударной волны, следовательно, чем плотнее материал окружает зону разряда (чем он будет более измельчен), тем рациональнее и полнее расходуется выделяемая каналом разряда энергия. В связи с этим, электрогидравлический метод дробления на крупные фракции оказывается менее выгодным по сравнению с существующими методами дробления и, наоборот, с увеличением степени измельчения электрогидравлическое дробление становится наиболее выгодным методом.

**Выводы.** Разработанный способ электрогидравлической обработки водных суспензий минералов позволяет быстро и с минимальными затратами получить порошок (смесь) с определенными размерами твердых фракций, изменить его структуру и характеристики, и на его основе создавать новые материалы с заданными свойствами, а также одновременно улучшить санитарно-гигиенические условия работы и существенно снизить загрязнение окружающей среды [8,9,10].

**Литература:**

- Кулинич В.В., Сагунов В.Г., Ужкенов Б.С. и др. Месторождения горнорудного сырья Казахстана.
- Справочник – Алматы, 2000, 133 с.
- Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986, 253 с.
- Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов.- Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002, С. 82-92.
- Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1995. – 189 с.
- Кусаинов К., Нусупбеков Б.Р., Булкаирова Г.А., Омарова Г.С. Электрогидроимпульсное разрушение минерала кварца // Вестник КарГУ – Караганда. – 2004. №4(36). – С.73-75.
- Булкаирова Г.А. Электрогидроимпульсная технология получения кварцевых порошков из природного минерала месторождения Надырбай. //Физика-химия и технология неорганических материалов: Сборник материалов VII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов (08-11 ноябрь 2010г.). – Москва, 2010. – С. 295-296.
- Bulkairova G.F., Shaimerdenova G.M., Sadenova K.K., Sagimbekova M.N. Investigation of the natural mineral quartz treated underwater electric discharge //Physical technical Journal. – 2013. – Vol.10. – No.2(20). – P.16-19.
- Кусаинов К., Нусупбеков Б.Р., Шаймерденова К.М., Булкаирова Г.А., Хасенов А.К. Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения-2014): Материалы международного совещания (16 - 19 июня 2014), Караганда, 2015. – С.129-132.
- Нусупбеков, Г.А. Булкаирова Б.Р., Айтпаева З.К., Нургалиева Ж.Г., Дюсембаева А.Н. Импульсная технология получения наноматериалов из природного минерала кварца // Научный журнал Физика. – Бишкек, 2016. - №2. – С.158-161.
- Абдрахматов К.Е., Джанабилова С., Ельдеева М. Сейсмическое районирование и активные разломы// Известия Вузов, 2015.- № 2. – С.66-68.

**Рецензент: д.т.н., профессор Садиева А.Э.**