



(19) **KG** (51) **B02C 19/00** (2012.01) (11) **1503** (13) **C1** (46) **30.11.2012**
E21C 37/18 (2012.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(19) **KG** (11) **1503** (13) **C1** (46) **30.11.2012**

(21) 20110072.1

(22) 05.07.2011

(46) 30.11.2012, Бюл. №11

(71) (73) Тажибаев К. (KG)

(72) Тажибаев К., Султаналиева Р.М., Акматалиева М.С., Тажибаев Д.К. (KG)

(56) Абкин Е.Б. и др. Измельчение руд с применением электромагнитной энергии СВЧ // Обогащение руд. – Ленинград, 1986. – № 6. – С. 2-5

(54) **Способ измельчения руд и минералов**

(57) Способ относится к области рудоподготовки, в частности к области измельчения руд и минералов с целью извлечения полезных металлов или минералов и может быть использовано исследователями, проектными и действующими организациями горнодобывающего, обога-

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

ного и металлургического производства.

Задачей изобретения является разработка способа измельчения руд и минералов, который позволит снизить энергоемкость процесса измельчения руд и минералов, приведет к уменьшению износа металлических частей мельниц и увеличению выхода полезных компонентов при их извлечении из руд и минералов.

Поставленная задача решается тем, что способ измельчения руд и минералов, заключающийся в том, что до производства измельчения, одну из отобранных проб, состоящую из не менее пяти навесок, каждая навеска состоит из пяти кусков размером 2 см в поперечнике руды не подвергают, а другие несколько проб по отдельности подвергают воздействию СВЧ электромагнитными волнами с разной для каждой пробы продолжительностью, затем каждую облученную навеску и необлученную навеску по отдельности измельчают в вертикальном копре с помощью свободно падающего с высоты 0,6 м груза с массой 2,5 кг, затем определяют удельную энергоемкость измельчения руды для необлученного состояния и для каждой продолжительности СВЧ воздействия по формуле

$$K = \frac{nEi}{V} \quad (2) \quad \text{или} \quad K = \frac{n \times mgh}{Sl} \quad (3)$$

где Ei – энергия единичного удара;

V – объем фракции размером менее 0,5 мм;

m – масса свободно падающего груза;

g – ускорение свободного падения;

n – число ударов свободно падающего груза по одной навеске;

l – высота столбика пыли в объемомере, мм;

h – высота падения груза;

S – площадь сечения объемомера,

затем по полученным данным удельной энергоемкости измельчения руды для разной продолжительности воздействия СВЧ волн строят график зависимости удельной энергоемкости измельчения от продолжительности времени воздействия СВЧ волн, по графику устанавливают оптимальное значение продолжительности времени воздействия на навески руды или минерала СВЧ волн, соответствующее минимальному значению удельной энергоемкости измельчения данной руды, далее по установленному оптимальному значению продолжительности времени воздействия СВЧ волнами воздействуют на руду или минерал данного типа и размера куска, подлежащих измельчению, затем после облучения СВЧ волнами измельчение руды или минерала проводят в мельницах ударного воздействия. 1 н. п. ф., 4 фиг.

(21) 20110072.1

(22) 05.07.2011

(46) 30.11.2012, Bull. №11

(71) (73) Tajibaev K. (KG)

(72) Tajibaev K., Sultanalieva R.M., Akmatallieva M.S., Tajibaev D.K. (KG)

(56) Abkin E.B., at alias. Reduction of ores with application of microwave electromagnetic energy // Ore dressing - Leningrad, 1986. - №6. - Pages. 2-5

(54) Method for ores and minerals reduction

(57) Method relates to the ore pretreatment, in particular, to the field of ores and minerals reduction in order to extract useful metals or minerals, and it can be used by the research, design and operating organizations of mining, mineral processing and metallurgy.

Problem of the invention to provide method for ores and minerals reduction, which will make possible to reduce the power intensity of the ores and minerals reduction process, and it will reduce the wear of metal parts of the mills and increase the output of useful components during their extraction from ores and minerals.

The stated problem is solved by the fact that the method for ores and minerals reduction, which is based on the fact that before the reduction process, one of the selected assay, consisting of at least five samples, when each sample consists of five pieces of ore of 2 cm in diameter, is (first one) not subjected to, while the other several samples separately are subjected to microwave frequency influence by electromagnetic waves with different duration for each sample, then each irradiated and non-irradiated piece of ore is separately grinded in a vertical impact machine by means of load, weighing 2,5 kg and free-falling from a height of 0.6 meters to perform calculations of the specific heat capacity of ore reduction for unirradiated condition and for each microwave frequency influence duration from the formula:

$$K = \frac{nEi}{V} \quad (2) \quad \text{or} \quad K = \frac{n \times mgh}{Sl} \quad (3)$$

where Ei - single impact energy;

V - volume of fraction of less than 0.5 mm size;

m - mass of the free-falling load;

g - gravitational acceleration;

n - number of impacts of freely falling load by one sample;

l - height of the dust column in the volumeter, mm;

h - load fall distance;

S - sectional area volumeter,

then specific heat capacity of ore reduction - exposure time of the microwave frequency influence diagram is plotted from the obtained data of the specific heat capacity of ore reduction for different duration of the microwave frequency influence and the optimal value of the exposure time duration of the microwave frequency influence on the mineral or ore samples is determined from the diagram, which corresponds to the minimum value of the specific heat capacity of ore reduction; and further, the ore or mineral of the given type or piece size, subjected to the reduction, are exposed to the microwave frequency influence with duration, determined by the established optimal value of the exposure time; then later, after the superhigh frequency waves irradiation, the reduction of ore or mineral is made in the mills with percussive action. . 1 independ. claim, 4 figures.

Изобретение относится к области рудоподготовки, в частности к области измельчения руд и минералов с целью извлечения полезных металлов или минералов, и может быть использовано исследовательскими, проектными и действующими организациями горнодобывающего, обогащенного и металлургического производства.

В процессе рудоподготовки механическое измельчение руды до размера частиц порядка десятков микрометров, необходимое для дальнейшей флотации, является наиболее энергоемким и дорогостоящим процессом в технологической цепи извлечения полезных компонентов (металлов, минералов). При этом КПД процесса механического измельчения составляет от 1 до 2 %, остальные 98 % приложенной для разрушения руды энергии, рассеиваются в виде диссипативных потерь (энергия теплоты, звука, колебаний окружающей среды). Известно, что при мировом объеме переработки руд 41 млрд. тонн в год (в Российской Федерации около 4 млрд. тонн), на измельчение затрачивается порядка 2 млрд. долларов США (в Российской Федерации - 6 млрд. рублей). Отсюда очевидна практическая заинтересованность в разработке новых способов разрушения или разупрочнения руд и минералов, новых энерго и ресурсосберегающих технологий измельчения руд.

Эффективное обогащение крепких полиминеральных руд обеспечивается при применении двух принципиально разных способов разрушения. Первый из них основан только на механиче-

ском разрушении, требующем создания специальных измельчителей руд со значительной единичной мощностью. В настоящее время, данное направление встречает ряд затруднений, в частности, как указано выше, большая часть энергии при механическом измельчении теряется. Во втором способе до механического разрушения используется предварительное снижение прочности (разупрочнение) пород путем воздействия на руды или минералы тем или иным видом энергии.

Повышение производительности обогащения, эффективности измельчения связано с изысканием эффективных методов разупрочнения руд, в связи с чем большое практическое значение приобретает необходимость в разработке различных способов разупрочнения руд и минералов путем воздействия на них энергией физических полей.

Из всех применяемых для изменения прочности горных пород видов энергии, в настоящее время считается наиболее эффективным применение энергии сверхвысокочастотного электромагнитного поля (далее СВЧ).

В связи с этим, нами проведены экспериментальные исследования энергоемкости процесса измельчения горных пород и руд с целью управления их прочностными свойствами путем воздействия на них сверхвысокочастотными электромагнитными волнами - СВЧ облучением.

Известно, что при воздействии СВЧ волнами на руду, содержащую минералы металлов (пирит, никелит, магнетит и т. д.) и минералы пустой породы (кварц, кальцит и т. д.), в первых минералах происходит поглощение энергии СВЧ облучения в значительно большей степени с большими потерями в диапазоне СВЧ облучения, чем во вторых минералах. Поэтому в СВЧ поле рудные минералы нагреваются, а пустая порода в начале остается холодной. Происходящее при этом неравномерное нагревание приводит к появлению термомеханических напряжений и микротрещин в минералах пород, а также формированию остаточных напряжений, которые в свою очередь тоже обуславливают изменение прочности.

Известен способ разрушения горных пород электромагнитными волнами (А. с. СССР № 724731, кл. E21C 37/18, 1980), путем облучения двумя генераторами СВЧ волн. Сначала массив породы облучают волнами меньшей энергетической плотности (в диапазоне 150-300 Вт/см³) от первого генератора до образования теплового следа, а затем - волнами большей плотности (в диапазоне от 300-5000 Вт/см³) от второго генератора, идущими в перпендикулярном направлении. Первое облучение создает в породе нагретую зону с повышенным значением мнимой составляющей диэлектрической проницаемости.

Для излучения второго генератора указанная зона является сильно поглощающей, тогда как не нагретая порода - прозрачной для прохождения электромагнитной волны. В результате мощность второго генератора поглощается в основном в зоне пересечения облучений. Резкий нагрев зоны пересечения приводит к тепловому расширению, фазовым превращениям, образованию газовой фазы и т. д. в этой области, что ведет к разрушению породы. Перемещая антенну второго генератора над поверхностью массива вдоль теплового следа, можно создавать канал разрушенной породы или резать ее. Этим способом, с использованием генераторов на частоте 2,4 ГГц, разрушались кристаллические сланцы, амфиболиты, габбро-диабазы, граниты, песчаники и другие породы. Объем разрушаемой породы в секунду составлял 180-250 см³.

Наиболее близким к изобретению является способ измельчения руд с предварительным воздействием на них электромагнитными СВЧ волнами, принятый за прототип (Абкин Е.Б. и др. Измельчение руд с применением электромагнитной энергии СВЧ // Обогащение руд. – Ленинград, – 1986. – №6. – С. 2-5). В этой работе приведены результаты проведенных экспериментов по измельчению и ситовому анализу проб железных руд, нагреваемых СВЧ полем до 300 °С (плотность потока мощности 3560 Вт/см², время облучения 3 мин), а также нагреваемых в муфельной печи до той же температуры, и проб не подвергнутых тепловой обработке.

Результаты исследований показали, что в продукте измельчения руды нагретой в печи, по сравнению с контрольным (исходный) образцом, выход классов мельче 0,1 мм существенно не изменился, а в нагретой СВЧ полем пробе выход увеличился. Так, выход класса 0,074 мм увеличился на 6-10 %. Крупные классы руды, нагретой в печи, оказались, размолоты более эффективно - в них возросло содержание средних фракций. При СВЧ нагреве до той же температуры, что и в печи, это различие проявляется в большей мере. Аналогичные зависимости были получены и на пробах руды, нагревавшихся до интервала температур - от 80 до 450 °С. Выявленные преимущества СВЧ нагрева по сравнению с печным, связываются с селективностью воздействия СВЧ поля на минералы и раскрытием зерен по плоскостям спайности. Измельчение руды, обработанной СВЧ полем в разных режимах, показало, что с увеличением времени воздействия содержание классов мельче 0,16 мм в продукте измельчения закономерно возрастает. При этом для контроль-

ного и обработанного продуктов различие по классу 0,074 мм достигает 25 %. Наиболее полное раскрытие для данной руды достигается в классе - 0,05 мм, что подтверждено данными, полученными при изучении под микроскопом. Обработка руды в потоке СВЧ - мощности 35 Вт/см² в течение 1-10 мин позволяет повысить производительность мельницы по крупности 10 - 0,05 мм на 60 %. Увеличение потока мощности дает возможность достичь тех же результатов при меньшем времени обработки.

Недостатки указанных способов измельчения руд состоят в том, что в них не предусмотрено точное определение оптимальной продолжительности воздействия на руду СВЧ волнами. Известно, что длительные воздействия СВЧ волн могут привести, наоборот, к увеличению прочности (к упрочнению), а не достаточно продолжительное воздействие волн - к несущественным структурным изменениям, в результате чего не обеспечивается разупрочнение и уменьшение энергоемкости измельчения руд. Как видим, результаты исследований указывают на необходимость подбора оптимального режима СВЧ - обработки для каждого конкретного вида минерала, руды, горной породы. Случайно выбранный режим воздействия СВЧ - полем может не дать положительного результата.

Следует отметить, что длительность воздействия СВЧ волн определяет не только эффект разупрочнения или упрочнения, но и количество потребляемой энергии.

При этом способе отбирают пробу руды, из которой изготавливают навески со средним размером 2 см по 25 штук для каждого режима СВЧ воздействия. Опыты для каждого режима повторяются 5 раз. В одном опыте измельчается по 5 кусков руды свободно падающим грузом по известной методике определения коэффициента крепости по толчению (Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. – М.: Недра, 1969. – С. 134-139).

Для обеспечения представительности данных из рудного месторождения отбирают по одной пробе руды из каждого места, в котором нужно определить показатели измельчения, соблюдая требование возможности получения из пробы не менее 30 навесок по 5 кусков каждая. Навески должны состоять из 5 кусочков размером в 20-25 мм в поперечнике каждый, которые получают, раскалывая отобранные куски. Для каждого отдельного определения используется, как указано выше, 5 навесок. Полученные этим методом данные, отличаются сравнительно невысоким коэффициентом вариации равным в среднем 10-15 %. Поэтому для получения надежной средней величины коэффициента крепости и удельной энергоемкости измельчения производятся по 5 определений для каждой продолжительности СВЧ воздействия на одной и той же пробе породы. Для определения коэффициента крепости разработан специальный прибор ПОК (прибор для определения крепости), состоящий из трубчатого копра, измерителя мелкой фракции (Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. – М.: Недра, 1969. – С. 134-139). Каждая отдельная навеска дробится в стакане вертикально трубчатого копра прибора ПОК гирей массой 2,4 кг, сбрасываемой с высоты 600 мм. В случае необходимости изменения величины работы, затрачиваемой на разрушение при толчении, целесообразно производить только варьированием числа ударов падающей гири по навеске.

Вес гири и высоту ее сбрасывания следует оставлять постоянным. Получившаяся после толчения мелочь высыпается из стакана копра на сито с отверстиями 0,5 мм, и 5 навесок, раздробленных по отдельности в копре прибора, просеивается. Фракция размером мельче 0,5 мм (прошедшая через сито с этим размером) собирается и насыпается в стакан объеммера диаметром 23 мм, при помощи которого определяется высота столбика этой пылевой фракции. Величина коэффициента крепости исследуемой горной породы вычисляется по отношению затраченной на дробление работы ко вновь образованной поверхности по эмпирической формуле М. М. Продьяконова:

$$f_T = \frac{20n}{l} \quad (1)$$

где n - число ударов свободно падающего груза по одной навеске;

l - высота столбика пыли в объеммере, мм;

f_T - коэффициент крепости по толчению.

Обычно для руд с низкой и средней прочности производят в зависимости от прочности руды от 3 до 15 ударов. Для подавляющего большинства руд кривая зависимости выхода пыли, характеризуемого величиной l , зависящей от затраченной на дробление работы (обозначим эту работу A) имеет тенденцию к выполаживанию при больших значениях A . Поэтому рекомендуется подбирать для каждой испытываемой руды соответствующее определенной работе A число ударов при разрушении навески, чтобы выход пыли l был примерно в пределах от 20 до 70 мм. В формуле (1) параметр, выраженный в виде $20n$ - пропорционален работе, затраченной на дробление навески, а значение l пропорционально вновь образованной поверхности.

Задачей изобретения является разработка способа измельчения руд и минералов, который позволит снизить энергоемкость процесса измельчения руд и минералов, приведет к уменьшению износа металлических частей мельниц и увеличению выхода полезных компонентов при их извлечении из руд и минералов.

Поставленная задача решается тем, что способ измельчения руд и минералов, заключающийся в том, что до производства измельчения, одну из отобранной пробы, состоящую из не менее пяти навесок (каждая навеска состоит из не менее пяти кусков с размером 2 см в поперечнике) руды не подвергают, а другие несколько проб по отдельности подвергают воздействию СВЧ электромагнитными волнами с разной для каждой пробы продолжительностью, затем каждую облученную навеску и необлученную навеску по отдельности измельчают в вертикальном копре с помощью свободно падающего с высоты 0,6 м груза с массой 2,5 кг, затем определяют удельную энергоемкость измельчения руды для необлученного состояния и для каждой продолжительности СВЧ воздействия по формуле:

$$K = \frac{nEi}{V} \quad (2) \quad \text{или} \quad K = \frac{n \times mgh}{Sl} \quad (3)$$

где Ei – энергия единичного удара;

V – объем фракции с размером менее 0,5 мм;

m – масса свободно падающего груза;

g – ускорение свободного падения;

n – число ударов свободно падающего груза по одной навеске;

l – высота столбика пыли в объемомере, мм;

h – высота падения груза;

S – площадь сечения объемомера,

затем по полученным данным удельной энергоемкости измельчения руды для разной продолжительности воздействия СВЧ волн строят график зависимости удельной энергоемкости измельчения от продолжительности времени воздействия СВЧ волн, по графику устанавливают оптимальное значение продолжительности времени воздействия на навески руды или минерала СВЧ волн, соответствующее минимальному значению удельной энергоемкости измельчения данной руды, далее по установленному оптимальному значению продолжительности времени воздействия СВЧ волнами воздействуют на руду или минерал данного типа и размера куски, подлежащих к измельчению, затем после облучения СВЧ волнами измельчение руды или минерала проводят в мельницах ударного воздействия.

По предлагаемому способу определяется величина удельной энергоемкости измельчения руды - K при разных величинах длительности СВЧ воздействия по предложенной нами формуле:

$$K = \frac{nEi}{V} \quad (2) \quad \text{или} \quad K = \frac{n \times mgh}{Sl} \quad (3)$$

По полученным пяти значениям удельной энергоемкости измельчения руды определяется ее среднеарифметическое значение.

Исследованиями установлено, что вновь образованная при дроблении хрупкого материала поверхность складывается в основном (примерно на 90 %) из поверхности мельчайших кусочков величиной менее 0,5 мм. Поэтому для значительного упрощения метода, после дробления определяется поверхность только мелких фракций - менее 0,5 мм - то есть когда величина высоты столбика пыли в объемомере пропорциональна вновь образованной поверхности полученных при дроблении кусочков (Ильницкая Е. И., Тедер Р. И., Ватолин Е. С., Кунтыш М. Ф. Свойства горных пород и методы их определения. – М.: Недра, 1969. – С. 134-139).

Как видно из рисунков 1, 2, 3, 4 оптимальное значение времени воздействия СВЧ волн для известняка (карьер Ак-Татыр, Баткенская область), диорита (месторождение Токтозан), филлита серого (рудник Кумтор) составляет 3 минуты, а для кварца (рудник Восточный Коунрад) - 5 минут.

Для облучения используется СВЧ-печь (микроволновая печь). В печи электричество, проводимое магнетрону, используется для генерации микроволновой энергии. Микроволны проникают в зону воздействия через отверстия внутри печи и не могут проникать через металлические стенки печи, в печи можно выбирать 5 уровней микроволновой мощности. Нами использовался уровень мощности - 700 Вт. Частота микроволн - 2450 МГц. Полезный объем печи составляет 0,03 м³. Образцы руд навесками по 200-250 г и средними размерами 20-25 мм помещались вовнутрь печи и облучались СВЧ - импульсами. Первоначально определяются исходные данные, т. е. коэффициент крепости по толчению и удельно-объемная энергоемкость измельчения исходного (не облученного) состояния руды. Затем такие же куски из руды подвергаются воздействию СВЧ волнами в микроволновой печи. Режим выдержки в печи следующий: от одного до девяти минут через интервал в 1 минуту, а в некоторых случаях от одного до двадцати минут через интервал каждые 2-5 минут.

Следует отметить, что экономия энергии на помол при предварительном воздействии СВЧ волнами должна не только компенсировать энергозатраты на нагрев при предварительном СВЧ воздействии, но и обеспечить существенную экономию энергии. При этом также обеспечивается уменьшение расхода металла за счет уменьшения износа металлических частей мельниц, увеличение выхода полезного компонента (извлекаемого металла) за счет улучшения раскрываемости минеральных зерен, так как при оптимальной продолжительности воздействия на руду СВЧ волнами происходит существенное разупрочнение руды (прочность и удельная энергоемкость измельчения уменьшается в 2-2,5 раза). Судя по снижению прочности можно отметить, что уменьшение износа, а следовательно и расхода металла в мельницах тоже будет значительным. Структурными анализами доказано, что при воздействии СВЧ волн улучшается раскрываемость зерен извлекаемых металлов и минералов, за счет чего увеличивается выход извлекаемого компонента. Проведенные нами опыты и расчеты показывают, что для месторождения диорита в Токтозане удельная энергоемкость измельчения в исходном состоянии составляет 87 Дж/см³, а после 3-х минутного воздействия СВЧ волнами - 30 Дж/см³ (фиг. 2). Расход энергии при мощности печи 0,7 кВт, длительностью воздействия в течении 3-х минут составляет $0,7 \times 0,05 \text{ ч} = 0,035 \text{ кВт/час}$ или $35 \text{ Вт/час} \times 3,6 \times 10^3 = 126000 \text{ Дж}$. При полезном объеме печи в 30000 см³ удельный расход энергии на 3-х минутное СВЧ облучение составляет $126000 / 30000 = 4,2 \text{ Дж/см}^3$. С учетом расхода энергии на СВЧ облучение общая удельная энергоемкость измельчения составляет $30 + 4,2 = 34,2 \text{ Дж/см}^3$. Таким образом, экономия энергии при оптимальном СВЧ облучении, по сравнению с необлученным (исходным) состоянием, составляет $87 - 34,2 = 52,8 \text{ Дж/см}^3$, или иначе говоря, экономия энергии при измельчении диорита после СВЧ облучения составляет 60,7 %.

Для известняка (карьер Ак-Татыр) удельная энергоемкость измельчения в исходном состоянии составляет 120 Дж/см³, а после 3-х минутного воздействия СВЧ волнами - 73 Дж/см³ (фиг. 1). С учетом расхода энергии на СВЧ облучение, общая удельная энергоемкость измельчения составляет $73 + 4,2 = 77,2 \text{ Дж/см}^3$. Экономия энергии при оптимальном СВЧ облучении, по сравнению с необлученным (исходным) состоянием, для известняка составляет $120 - 77,2 = 42,8 \text{ Дж/см}^3$. В процентном выражении экономия энергии при измельчении после СВЧ облучения составляет 35,7 %. Следует отметить, что чем больше неоднородность руды, тем больше эффект разупрочнения и экономия энергии при измельчении после оптимального режима СВЧ облучения, так как неоднородность вещественного состава и структуры приводят к неоднородному нагреванию и формированию термонапряжений, тем самым обуславливая образование микротрещин.

Экономический эффект от применения способа измельчения руд и минералов достигается за счет уменьшения энергоемкости процесса измельчения руд и минералов, сокращения расхода металла за счет уменьшения износа металлических частей ударных мельниц, увеличения выхода полезного компонента за счет улучшения раскрываемости зерен, так как при оптимальной длительности воздействия на руду СВЧ волнами, как указано выше, происходит существенное разупрочнение руды.

Формула изобретения

Способ измельчения руд и минералов, заключающийся в том, что до производства измельчения, одну из отобранной пробы, состоящую из не менее пяти навесок руды не подвергают, а другие несколько проб по отдельности подвергают воздействию СВЧ электромагнитными волнами с разной для каждой пробы продолжительностью, затем каждую облученную навеску и необлученную навеску по отдельности измельчают в вертикальном копре с помощью свободно падающего с высоты 0,6 м груза массой 2,5 кг, отличающийся тем, что определяют удельную энергоёмкость измельчения руды для исходного состояния и для каждой продолжительности СВЧ воздействия по формуле:

$$K = \frac{nEi}{V} \quad (2)$$

или
$$K = \frac{n \times mgh}{Sl} \quad (3)$$

где Ei – энергия единичного удара;

V – объем фракции размером менее 0,5 мм;

m – масса свободно падающего груза;

g – ускорение свободного падения;

n – число ударов свободно падающего груза по одной навеске;

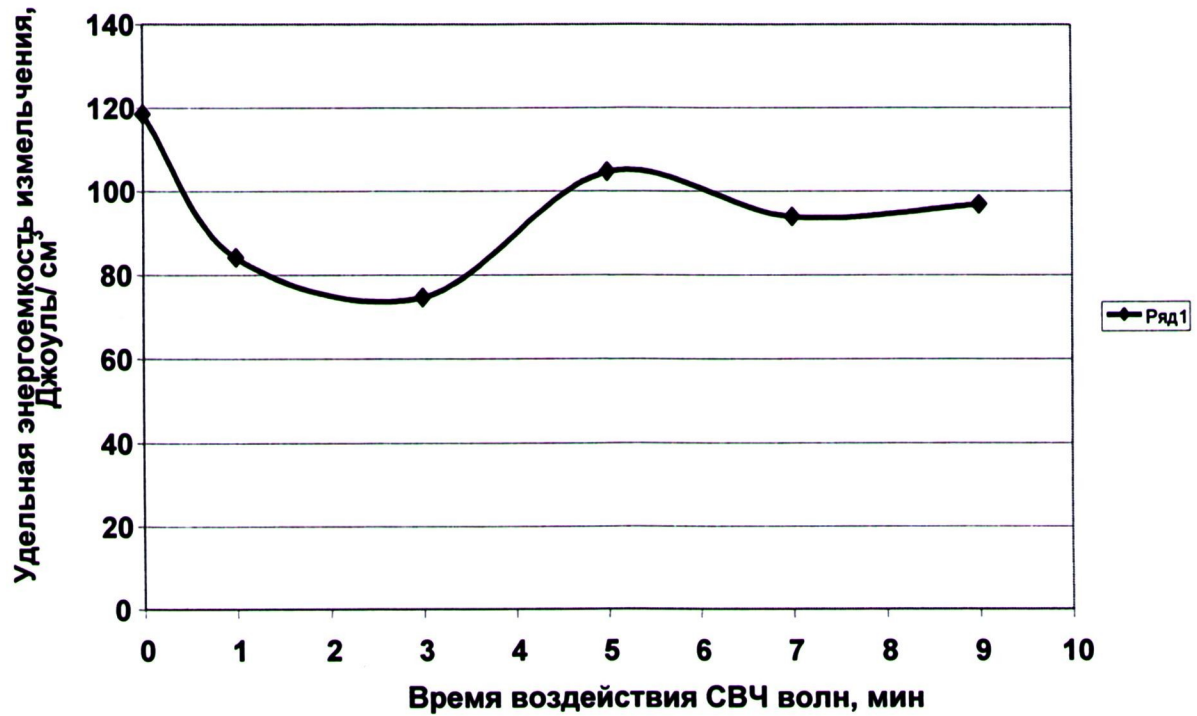
l – высота столбика пыли в объемомере, мм;

h – высота падения груза;

S – площадь сечения объемомера,

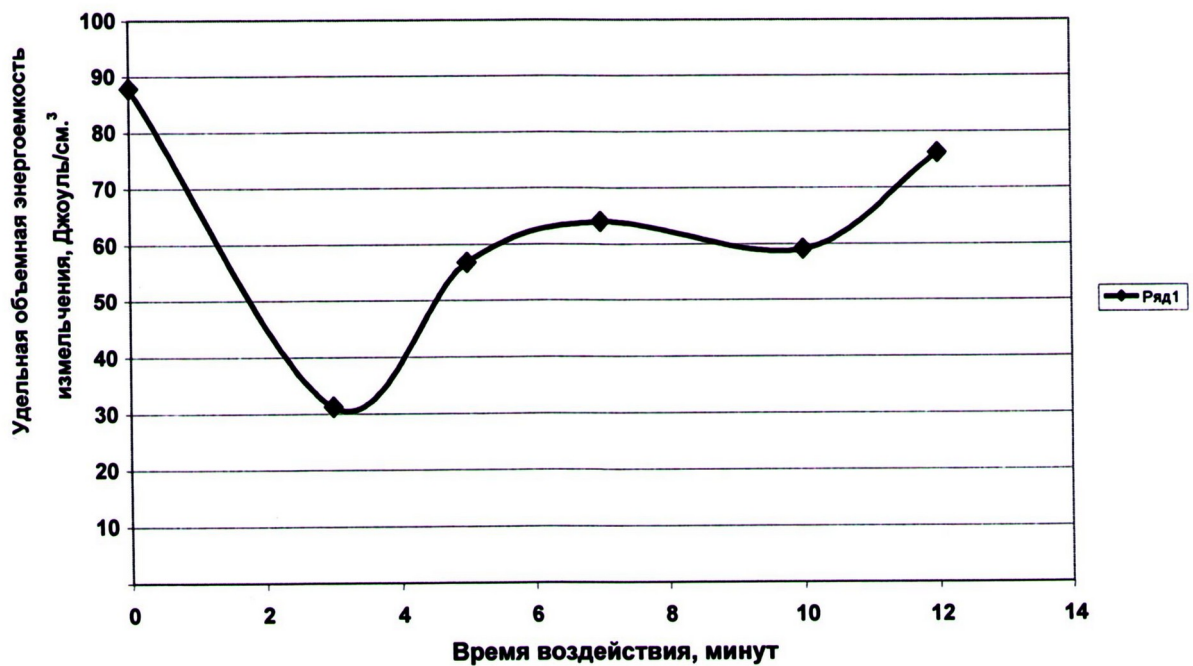
затем по полученным данным удельной энергоёмкости измельчения руды для разной продолжительности воздействия СВЧ волн строят график зависимости удельной энергоёмкости измельчения от продолжительности времени воздействия СВЧ волн, по графику устанавливают оптимальное значение продолжительности времени воздействия на навески руды или минерала СВЧ волн, соответствующее минимальному значению удельной энергоёмкости измельчения данной руды, далее по установленному оптимальному значению продолжительности времени воздействия СВЧ волнами воздействуют на руду или минерал данного типа и размера куска, подлежащих к измельчению, затем после облучения СВЧ волнами измельчение руды или минерала проводят в мельницах ударного воздействия.

**Зависимость удельной энергоемкости измельчения от времени
воздействия СВЧ волн (известняк к. Ак-Татыр, Баткенск. обл.)**



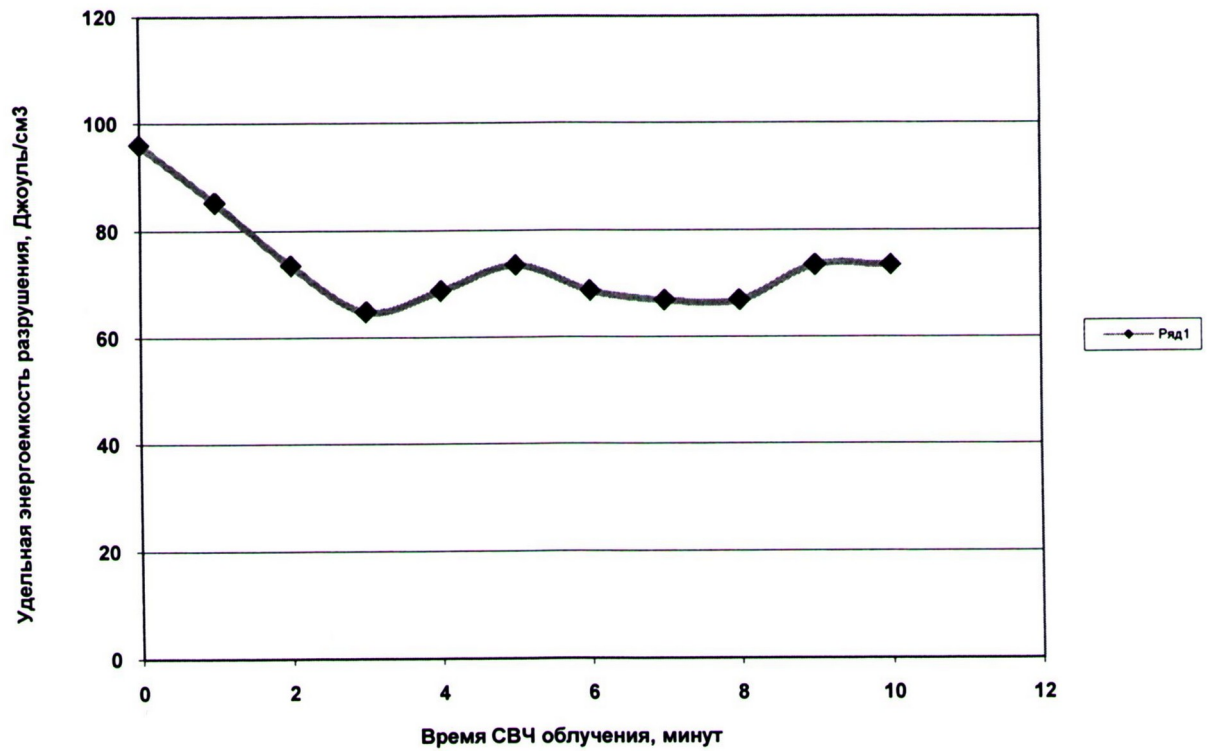
Фиг. 1

**Зависимость удельной объемной энергоемкости измельчения диорита месторождения
Токтозан от времени воздействия СВЧ волн**



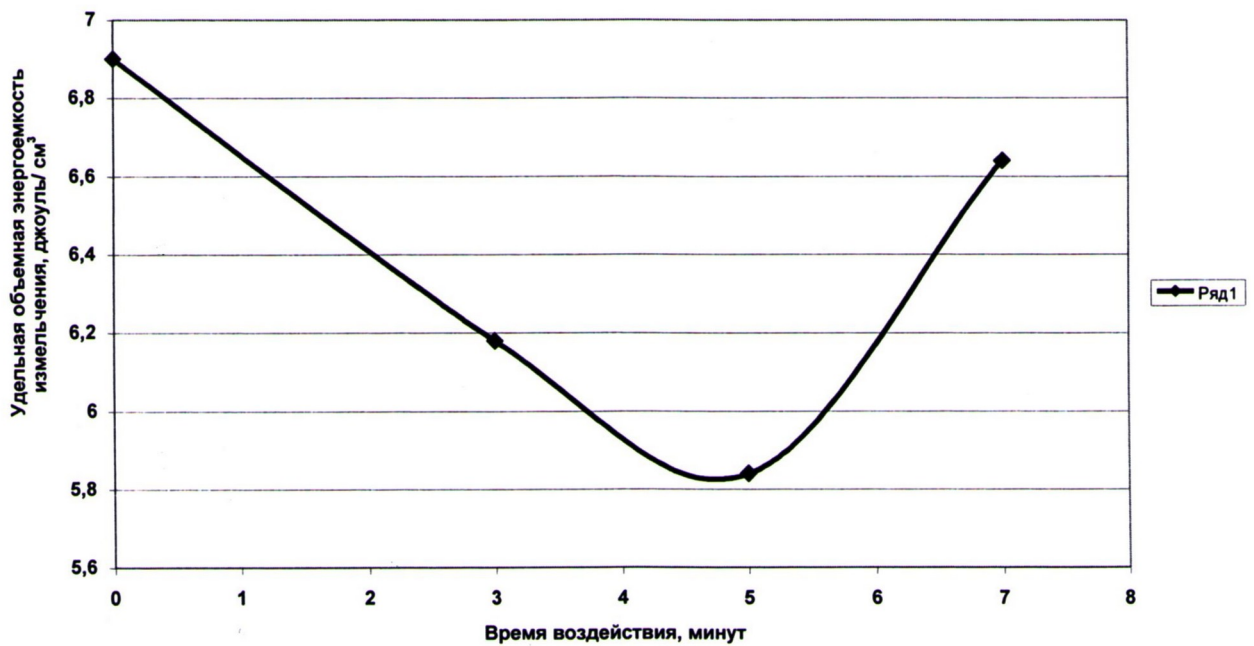
Фиг. 2

График зависимости удельной энергоёмкости разрушения от времени СВЧ облучения
(филлит серый, Кумтор)



Фиг. 3

Зависимость удельной объемной энергоёмкости измельчения кварца (Восточный-Коунрад, обр.7, ПК298+50) от времени воздействия СВЧ волн



Фиг. 4

Выпущено отделом подготовки материалов