

РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ СУЛЬФИДНЫХ РУД НА ДНЕ ОКЕАНА. ЧАСТЬ II (ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНО-ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ)

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
просп. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина*

Введение

Как показано в первой части публикации, для применения электрического взрыва в качестве “инструмента” воздействия на объекты добычи на дне океана нет альтернативы привнесению в канал разряда каких-нибудь химических составов, вступающих в химическую реакцию под воздействием плазмы разряда и выделяющих взрывообразно дополнительно определенную долю тепловой энергии. Особенно важно это для такой проблемы, как увеличение энерговооруженности погружной добычной системы, ограниченной предельными возможностями кабель-тросов для передачи электропитания с поверхности на дно океана. Там же изложен ряд требований к таким экзотермическим композициям (ЭКо), которые обеспечить весьма не просто.

В настоящей работе при создании ЭКо были использованы общие принципы технологии изготовления современных взрывчатых веществ и составов без применения индивидуальных взрывчатых веществ (ВВ).

ЭКо – это состав из нескольких веществ, способных к значительному выделению энергии после введения в канал мощных подводных электрических разрядов. Реологические, физические и химические свойства ЭКо должны допускать простую регулировку в зависимости от тех или иных технологических требований и мощности электровзрывной установки.

От ЭКо прежде всего требуется давать увеличение эффективности общего взрыва по сравнению с чисто электрическим взрывом (ЭВ) как минимум в два раза, для того чтобы компенсировать усложнение технологии совмещения ЭВ и взрывообразного сгорания ЭКо. И еще важнейшее требование – безопасность применения ЭКо в любом технологическом процессе, при их производстве, хранении и перевозке. Они должны быть устойчивыми к тепловым, механическим и даже электрическим воздействиям от обычной производственной или бытовой техники. В то же время они должны надежно и безотказно инициироваться мощным импульсным электрическим разрядом, чувствительность ЭКо должна быть согласована как с параметрами, так и с условиями проведения электрического разряда (открытая или закрытая разрядная камера, водная или безводная среда, уровень внешнего давления и т.п.). ЭКо должны быть настолько простыми в изготовлении, чтобы их можно было приготовить перед употреблением прямо на рабочем месте и в нужном количестве, не прибегая к каким-либо сложным или трудоемким операциям. ЭКо должны быть устойчивыми к воздействию солнечных лучей, кислорода воздуха, тепла и холода, влаги, природных толчков. Они не должны расслаиваться и изменять свои свойства от момента завершения изготовления до использования в своем технологическом процессе.

При составлении композиции необходимо учитывать особенности среды, с которой она может соприкасаться. Например, попадание атомов солей поливалентных металлов (Al, Fe, Cr и т.д.) в некоторые желатинизированные полиакриламидом ЭКо приводит к “сшивке” желатинизатора и ЭКо превращается из жидкой, свободно льющейся массы в почти твердую и резинообразную. В ряде случаев посторонние примеси могут служить катализаторами и резко увеличивать реакционную способность ЭКо или, наоборот, снижать ее химическую активность, что одинаково делает ЭКо непригодной для употребления в конкретном технологическом процессе.

Но не только исходные ЭКо должны быть безопасны и безвредны в обращении, конечные продукты их реакций должны обладать теми же ее свойствами. Продукты реакции, например, не должны давать отравляющих веществ.

Кроме того, ЭКо должны обладать необходимой для данного технологического процесса реологией, а их исходные компоненты не должны ни пылить, ни слеживаться. Они должны быть водоустойчивыми во всем интервале гидростатических давлений – от нормального до максимального рабочего. Наконец, ЭКо должны быть как можно более дешевыми, а материалы из которых составляются композиции не должны быть дефицитными, в противном случае их использование может оказаться экономически невыгодным.

Создать ЭКо, которые удовлетворяли бы всем вышеперечисленным требованиям, практически невозможно. Поэтому нам необходимо искать некое компромиссное решение, которое будет определяться особенностями соответствующего технологического процесса и строгого обеспечения (в отличие от боевых и прочих промышленных ВВ) полной безопасности в изготовлении, обращении и эксплуатации.

В настоящее время промышленные ВВ практически только смесевые, а индивидуальные ВВ входят только составной частью в них и то не во все.

Очевидно, для наших целей индивидуальные ВВ вообще не должны применяться – практически их должен заменить ЭВ.

Большинство промышленных смесевых ВВ имеют в качестве главного компонента аммиачную селитру, которая функционально служит окислителем. Поэтому и в наших разработках составов ЭКо именно эта селитра является базовой.

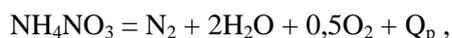
Но водные растворы аммиачной селитры имеют не очень сильные окислительные свойства, поскольку содержат незначительное количество избыточного кислорода (один атом на молекулу). Поэтому нами изучалась возможность использования других окислителей, хорошо растворимых в воде, недорогих и производимых в достаточном количестве. Анализ составов современных текучих и пластичных водонаполненных ВВ показал, что такими окислителями среди наиболее распространенных нитратов и перхлоратов, кроме аммиачной селитры, могут служить нитрат кальция и перхлорат натрия. Растворимость нитрата кальция в воде при комнатной температуре порядка 150 г на 100 г воды, перхлората натрия – 200 г. Другие неорганические нитраты (калия и натрия) и перхлораты (аммония и калия) обычно используют только в качестве добавок.

Применение указанных окислителей самих по себе не позволило нам создать однофазные жидкие ЭКо с хорошей работоспособностью. В лабораторных условиях эксперименты проводились с большим набором различных нитратов и перхлоратов. Это, конечно, позволило все же лучше уяснить характер электроразрядно-химического взрыва (ЭРХВ), но в производственных условиях испытания проводились с окислителями на основе водных растворов аммиачной селитры.

В качестве топлива использовалась водорастворимая органика: спирты, этиленгликоль, глицерин и др. При необходимости изучения двухфазных составов ЭКо, в качестве горючего использовались алюминиевый порошок или пудра. Алюминий покрыт твердой и устойчивой в агрессивных средах окисной пленкой Al_2O_3 и его трудно поджечь. Однако, когда это удается, развитие реакции окисления сопровождается выделением большого количества тепла, которое в состоянии поддерживать высокую скорость самостоятельной реакции. Алюминий является горючим даже по отношению к воде и дает возможность компоновать ЭКо на основе только алюминия и воды [1]. Кроме того, при создании ЭКо были использованы в качестве горючих добавок металлические порошки, содержащие кремний, ферросилиций, силикокальций, магний, железо, угольный порошок. Все перечисленные металлы по теплотворной способности уступают алюминию, однако часть их более доступна и дешева.

Однофазные, жидкие композиции на основе аммиачной селитры

Аммиачная селитра представляет собой белое кристаллическое вещество. Выпускается в виде гранул, чешуек или кристаллов. При взрыве разлагается:



где $Q_p = 1600$ кДж/кг – тепловой коэффициент реакции.

В зависимости от формы и размеров частиц насыпная плотность аммиачной селитры составляет 0,8–0,9 г/см³. Она хорошо растворима в воде, причем ее растворимость находится в сильной зависимости от температуры, как и плотность растворов. Растворение селитры в воде сопровождается активным поглощением тепла и понижением температуры замерзания раствора (раствор, содержащий 50 г селитры на 100 г воды, замерзает при температуре $T_3 = -13^\circ C$).

Термическое разложение селитры в присутствии продуктов разложения начинается при 180°C и в отсутствие теплообмена имеет самоускоряющийся характер.

Действие различных примесей на разложение селитры неоднозначно: хлориды, хроматы и соединения кобальта действуют каталитически, карбамид и сульфаты проявляют ингибирующее действие; нитраты металлов, окись алюминия, двуокись кремния влияния не оказывают.

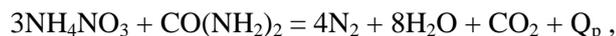
Пожаро- и взрывоопасные свойства селитры возрастают при наличии в ней примесей органического происхождения. Загорание селитры возможно от открытого огня, искр, в результате взаимодействия с некоторыми окисляемыми и агрессивными материалами. При сгорании селитра плавится, опасность взрыва расплавленной селитры выше, чем кристаллической. Тепловой взрыв может перейти в детонацию, которая способна распространяться по трубопроводам, заполненным расплавом или раствором селитры высокой концентрации. Все эти свойства селитры учитывались при разработке ЭКо.

Чувствительность селитры к детонационному импульсу определяется минимальным инициирующим импульсом и критическим диаметром, заметно зависит от влажности, размера гранул и насыпной плотности. Детонация сухой тонко измельченной селитры при плотности $0,8 \text{ г/см}^3$ сравнительно устойчиво распространяется в открытых зарядах диаметром около 100 мм, а в не разрушающейся оболочке зарегистрирована устойчивая детонация аммиачной селитры в зарядах диаметром всего 5 мм.

Система аммиачная селитра-карбамид

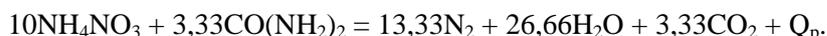
Карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – молекулярный вес 60,06. В обычном состоянии находится в виде кристаллов белого цвета без запаха. Аэрозоль с концентрацией 500 г/м^3 в воздухе не взрывается. Он хорошо растворяется в воде и в водных растворах, при нагревании образуются NH_4NCO и NH_3CO_2 . Нитрат карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{HNO}_3$ при нагревании разлагается со взрывом. К действию окислителей H_2O_2 и KMnO_4 карбамид устойчив. Это вещество широко применяется в промышленности и сельском хозяйстве.

Рассмотрим систему аммиачная селитра-карбамид в стехиометрическом соотношении



где Q_p – тепловой эффект реакции.

В пересчете на 1 кг исходной массы реакция запишется:



В дальнейшем все термодинамические величины будут относиться либо к массе вещества записанной реакции и тогда они будут даваться без указания массы (например, Q_p исследуемой реакции 893 кДж), либо относиться к единице веса. Индекс “р” обозначает тепловой эффект реакции при постоянном давлении и температуре $T = 298 \text{ К}$. Этот тепловой эффект равен разности энтальпии конечных и исходных продуктов реакции $Q_p = \sum \Delta H_k - \sum \Delta H_u$, причем при расчете теплового эффекта принималось конечное состояние воды газообразное. Температуру продуктов сгорания при постоянном давлении вычисляли из предположения равенства теплового эффекта реакции и разности энтальпий продуктов реакции при 298 К и температуре реакции $T_p = 298 + Q_p / (\sum X_i C_{pi})$.

Температура продуктов реакции при постоянном объеме $T_v = 2382 \text{ К}$, а тепловой эффект реакции при постоянном объеме $Q_v = Q_p + RT_0 = Q_p + 2,47n = 3106 \text{ кДж/кг}$ (здесь n – число молей газообразных продуктов реакции, $n = 43,2$ моль/кг).

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях были начаты именно с этих наиболее безопасных, не дорогих и не дефицитных ЭКо. Температура их взрыва – $T_v = 1200 \text{ К}$, а теплота взрыва $Q_v = 1480 \text{ кДж/кг}$. Такие растворы неспособны поддерживать самостоятельное горение, что следует из эксперимента и сравнения теплоты взрывного превращения Q_v и энергии, необходимой для возбуждения взрывной реакции – Q_a . Если $Q_v = Q_0/Q_a \leq 1$, то раствор не в состоянии поддерживать взрывное превращение за счет собственного тепла. Величина $Q_v - Q_a$ не что иное, как активная часть теплового эффекта, то есть $Q_v - Q_a = C_v(T_v - T_a)$. Температура начала взрыва, то есть взрывного выделения энергии T_a , как и Q_a определялись в манометрической бомбе.

Исследуемая ЭКо не поджигается до давления 50 МПа, не вспыхивает при нагревании до 633 К, тогда $Q_v = Q_a \approx 1000 \text{ кДж/кг}$. Экспериментальное определение Q_a дало значение порядка 2000 кДж/кг и таким образом введенный критерий безопасности $(Q_v - Q_a)/Q_a \leq 1$.

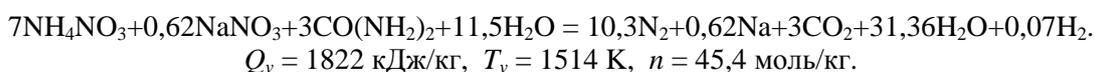
Использование такой ЭКо вместо воды в разрядной камере продемонстрировало следующее. Электрические разряды с запасаемой энергией 600–1200 Дж, инициируемые тонкой вольфрамовой проволокой, дали такое увеличение энергетических характеристик: пиковое давление и энергия

пульсации пузыря увеличились незначительно – всего на 15–20%. Это объясняется малым объемом прогреваемого вещества, когда реакция инициируется в основном излучением, составляющим только около 10 % от всей энергии, выделившейся в канале.

Максимального увеличения перехода электрохимической энергии в механическую можно добиться за счет точного соотношения между электрической энергией и массой активно реагирующей ЭЖо. Вся электрическая энергия должна расходоваться на нагрев исходной массы ЭЖо до температуры взрыва при возможно большем давлении, то есть при $V = \text{const}$. В этом случае становится существенной дополнительная положительная энергия отталкивания частиц. Для ЭЖо эта энергия сравнима с теплотой взрыва. Давление в полости ЭРХВ в десятки раз превышает давление, развиваемое в канале электрическим разрядом.

Для увеличения энергетических характеристик процесса преобразования энергии в раствор в качестве сенсibilизатора был введен хромпик ($\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в количестве 5 %. Тогда при разряде в сенсibilизированном растворе энергия пульсирующей полости увеличилась приблизительно в 2,2 раза.

Несколько большей активности раствора можно добиться введением дополнительного окислителя NaNO_3 . Нитрат натрия уменьшает содержание воды в реакционной смеси. Химическую реакцию в этом случае можно записать



Представленный раствор удовлетворяет критерию безопасности и может быть использован в разрядных камерах и открытых объемах вместо воды. Он позволяет увеличить энергию пульсирующей послеразрядной полости в 2,5–3 раза.

Добавка хрома практически не изменяет энергетику раствора. Увеличение активности ЭЖо обусловлено изменением ее структуры, механизмом реакции и характером протекания процесса разряда. Хром образует комплексы в 0-, 1-, 2-, 3-, 4-, 5- и 6-валентных состояниях. Полихромат-ионы, где Cr(VI) характеризуется координационным числом 4. Они представляют собой цепочку тетраэдров, соединенных друг с другом общими вершинами. Комплексообразование приводит к росту скорости реакции.

Тем не менее, с точки зрения разработки глубоководных сульфидных руд (ГСР), рассмотренные ЭЖо имеют относительно низкое теплосодержание и высокую энергию активации химического процесса и их состав может служить только в качестве базового.

Одним из путей увеличения теплосодержания состава является использование в качестве горючего активных металлов, например алюминия.

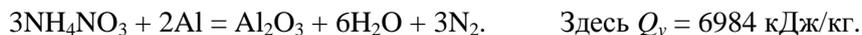
ЭЖо с алюминием

В работах [2–5] много внимания уделено изучению роли и влияния алюминия в составе ЭЖо для резкого увеличения их эффективности.

Наиболее высокими энергетическими характеристиками обладают смеси аммиачной селитры с алюминием. Стехиометрическая смесь с 40,3 % алюминия реагирует по схеме:



При содержании 18,36 % алюминия реакцию можно записать

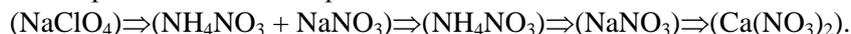


Бинарные смеси алюминия и аммиачной селитры, применяемые при карьерной разработке полезных ископаемых, имеют низкую детонационную способность и для ее увеличения в состав вводят индивидуальные ВВ (тротил, гексоген). При использовании подобной бинарной смеси, вводимой в мощный электрический разряд, индивидуальных ВВ не требуется. И едва ли не самое важное – использование здесь водных растворов аммиачной селитры позволяет усилить характеристики ЭВ, повысив одновременно их пожаро- и взрывобезопасность. Натурные испытания таких ЭЖо проводились при проведении работ по разрушению бетона и показали высокую эффективность их в ЭРХВ. В качестве загустителя в нашей работе использовался полиакриламид, а для образования прочных структур с поперечными связями вводились сшивающие агенты в виде солей металлов с переменной валентностью (хрома, сурьмы, висмута, бора, железа и др.).

При использовании алюминия обеспечивалась его химическая стабильность, поскольку алюминий может окисляться водой. Особенно активно реакция идет в присутствии щелочи. Одним из

способов достижения химической стабильности составов является введение буферной смеси – NaOH:K₂PO₄ (1:29). Используется гранулированный алюминий, сферический порошок с нанесенным покрытием или без него, пигментная алюминиевая пудра.

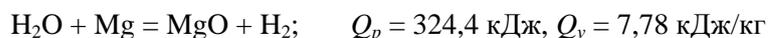
Кроме основного вида окислителя – водного раствора аммиачной селитры с твердой фазой и без нее была исследована возможность применения других окислителей: натриевой селитры (NaNO₃), совместный раствор аммиачной и натриевой селитры, перхлорат натрия (NaClO₄), нитрат кальция (Ca(NO₃)₂) и др. Эффективность действия ЭКо на основе этих окислителей при одном и том же содержании алюминия возрастает в таком порядке:



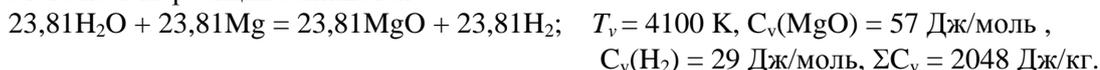
Появление в растворе твердой фазы окислителя значительно активизирует такие ЭКо. Но использование их требует более строгого поведения при работе с ними (как в процессе приготовления, так и при эксплуатации).

Магний, железо, кремний и их сплавы в составе ЭКо

Магний в насыщенном растворе аммиачной селитры оказался нестойким, реакция начиналась сразу же после контакта металла с раствором и по мере выкипания воды принимала взрывной характер. В чистой и морской воде магний в виде порошка размером порядка 100 мкм не окислялся в течение примерно 10 минут. Тогда можно осуществлять взрывной характер окисления магния водой с помощью мощного электрического разряда:



В пересчете на 1 кг реакция запишется



Более устойчиво в растворе аммиачной селитры ведут себя сплавы алюминия с магнием.

Железо, как и магний также вступает в реакцию с кислородом в водном растворе аммиачной селитры, но реакция не приобретает взрывного характера.

Значительно больший интерес представляют металлические порошки из кремния, ферросилиция и силикокальция. Они дают стойкие ЭКо с высокой калорийной способностью и самое главное в конечных продуктах содержат экологически безвредный кремнезем SiO₂.

ЭКо с повышенным газовыделением.

Наиболее приемлемым способом доставки добытых ГСР на поверхность, вероятно, может стать эрлифтный [6, 7], требующий больших расходов газа под высоким давлением. Альтернативное средство [8] – всплывающий грузовой понтон для продувки цистерн при всплытии с грузом должен быть снабжен источником газа высокого давления.

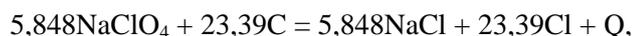
Заманчивая идея – использовать для этих целей газ, генерируемый при ЭРХВ и освобождающийся после выполнения работы разрушения при отколе блоков сульфидных руд от массива и при их дроблении на куски, подъемные эрлифтом.

Эта идея подвергнута нашему анализу на осуществимость в принципе (есть ли такие ЭКо, которые, соответствуя всем другим требованиям, еще могут ощутимо генерировать не конденсирующийся газ), достаточность (сколько можно иметь газа в долях от необходимого количества для выполнения, по существу вспомогательной, подъемной операции) и экологичность (ядовитый газ неприемлем).

Рассмотрим экологически безвредную реакцию, конечным продуктом которой является поваренная соль NaCl и окись углерода CO. Образование паров воды, которые немедленно после ЭРХВ конденсируются, как в случае применения других составов ЭКо, здесь полностью исключается:



где Q=462 кДж или в пересчете на 1 кг



где Q=2700 кДж.

Объем газообразных продуктов при нормальных условиях составит:

$V = nRT/p = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$, а с изменением гидростатического давления – повышением его: при $p = 4,3 \text{ МПа} - 0,01 \text{ м}^3/\text{кг}$; при $p = 14,9 \text{ МПа} - 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$; при $p = 50 \text{ МПа} - 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$.

По данным [5–7] характерный расход газа 72600 м³/час при подаче в коллектор эрлифта или 20 м³/с, что соответствует количеству взрывообразно сгорающего ЭКо приблизительно 40 кг/с и выделившейся энергии 108 МДж. На отделение от массива и дробление расход ЭКо должен соста-

вить приблизительно 1 кг/м^3 , то есть при выделении такого количества газа будет разрушено и поддроблено 40 м^3 ГСР.

На взрыв 40 кг ЭКо с энергией 108 МДж потребуется порядка 10 МДж электрической энергии. Если запасенная энергия порядка 100 кДж , то необходимо производить 100 импульсов в секунду.

Отсюда ясно, что полностью обеспечить газом работу эрлифта за счет газовыделения ЭРХВ не реально. Тем не менее частично – целесообразно. То есть система доставки добытого материала на поверхность должна снабжаться устройством сбора выделившегося газа.

Тем более это целесообразно для продувки балластных цистерн всплывающих понтонов, для которой расход газа более чем на два порядка величины меньше.

Анализ возможности создания и применения для добычи ГСР жидких однофазных ЭКо на основе солей хлорной кислоты

В условиях автономной работы экспедиции по добыче руд в открытом океане в течение более полугода, возможно, более выгодными могут стать ЭКо на основе солей хлорной кислоты.

Оценка окислителей, используемых для изготовления промышленных ВВ, показала перспективность применения для изготовления ЭКо солей хлорной кислоты, таких как NaClO_4 ; LiClO_4 и других. Этому есть несколько причин.

Одна из них – высокая растворимость большинства солей в воде и органических горючих, что дает возможность формирования однофазных ЭКо с хорошо регулируемыми теплофизическими свойствами. Особый интерес представляет перхлорат натрия (NaClO_4), поскольку он имеет наиболее высокую растворимость в воде (210 г на 100 г воды при 25°C). Растворимость его мало зависит от температуры и это дает возможность изготовления ЭКо со свойствами, практически не изменяющимися в рабочем диапазоне температур от 5 до 35°C . Кроме того перхлорат натрия хорошо растворим в таких дешевых и экологически чистых органических горючих, как этиленгликоль (75 г на 100 г $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$); ацетон (52 г на 100 г $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$); этаноламин (90 г на 100 г $\text{H}_2\text{NC}_2\text{H}_4\text{OH}$) и др. Водорастворимая органика хорошо желатинизируется и позволяет изготавливать ЭКо высокой водостойчивости. Это свойство в проблеме ЭРХВ имеет особое значение, поскольку предполагаемое использование составов связано с проведением ЭРХВ в водной среде на большой глубине.

Важным обстоятельством является и то, что водоорганические растворы перхлората натрия не детонируют, их детонация может быть искусственно обеспечена появлением большого количества пузырьковых газовых включений. Последнее же может обеспечить такой режим ЭВ, в предпробойной стадии которого множество стримеров пронизывает разрядный промежуток, генерируя на своем пути плотную систему пузырьков.

Отсутствие детонации раствора в таких условиях можно считать критерием безопасности при работе с ним. Тщательное исследование детонации позволило установить, что избыток растворителя к стехиометрическому соотношению больше, чем $3:7$, гарантирует отсутствие детонации. Была установлена корреляция между детонационной способностью растворов, температурой и теплотой взрыва. Показано, что детонируют растворы, температура взрыва которых выше 2400 К , при этом химическая природа органического горючего не оказывает заметного влияния на детонационную способность растворов. Температура $T_v < 2400 \text{ К}$ соответствует теплотам взрыва при постоянном объеме $Q_v < 3,5 \text{ кДж/г}$; когда $T_v > 2400 \text{ К} - Q_v > 3,5 \text{ кДж/г}$.

Интенсивная химическая реакция разложения перхлората натрия и собственно реакция окисления горючего начинается при $500\text{--}600^\circ\text{C}$. То есть давление, развиваемое в полости взрыва, не может привести к ударному разогреву этой ЭКо до температуры взрывного самопревращения, поэтому они не относятся к детонирующим. Однако следует отметить их способность к выделению энергии в режиме горения, поскольку $Q_a/Q_s > 1$ (здесь Q_a – активная составляющая тепловой энергии, $Q_a = a(T_v - T_a) \approx 2192 \text{ кДж/кг}$ при $T_a = 900 \text{ К}$). Поэтому такая ЭКо предопределяет необходимость обращения как с пожароопасным веществом.

Следует отметить, что энерговыделение ЭКо на основе перхлората лития в несколько раз больше, чем на основе перхлората натрия.

Очень важно добиваться согласования параметров разрядного контура с некоторыми характеристиками ЭКо, такими, как их электропроводность, влияющая в первую очередь на выбор рабочего напряжения электрических взрывов, которое в свою очередь сильно влияет на величину запасаемой емкостным накопителем энергии, а также на форму разряда.

Заключение

Обоснован новый метод разработки полезных ископаемых на дне Мирового океана с помощью мелкомасштабных электроразрядно-химических взрывов. Выявлены проблемы на пути создания соответствующей разрядно-импульсной технологии добычи глубоководных сульфидных руд.

Для решения части проблем создан класс аммиачно-селитренных энерговыделяющих композиций, вводимых в разряд и способных в несколько раз увеличить эффективность работы электро-взрывных установок. В них в качестве горючих компонентов используются металлы и карбамид. Созданные специально для использования совместно с электрическим взрывом на больших глубинах, отобранные энерговыделяющие композиции при нормальных условиях являются взрывобезопасными, водоустойчивыми смесями с теплосодержанием от 1 до 8 кДж.

Установлена также физическая эффективность применения, кроме аммиачно-селитренных композиций таких, где в качестве активных окислителей используются водные растворы перхлората натрия и некоторых других неорганических нитратов и перхлоратов.

Преимущество предлагаемого метода разработки сульфидных руд с использованием электро-разрядно-химических взрывов по сравнению с аналогичной добычей, но при использовании чисто химических взрывчатых веществ состоит в следующем:

1. Исследованные и предлагаемые энерговыделяющие композиции просты в изготовлении, дешевле и удобнее по сравнению с соответствующим ВВ; их реакция запускается только мощным электрическим взрывом;

2. Предлагаемые композиции обеспечивают более высокую степень пожаро- и взрывобезопасности при их изготовлении, транспортировке, хранении и эксплуатации;

3. Созданные энерговыделяющие композиции имеют предпосылки высокой экологичности, поскольку они не содержат индивидуальных взрывчатых веществ и не требуют специальных средств инициирования взрыва, как известные: тол, гексоген, гремучая ртуть, азид свинца и подобные им индивидуальные взрывчатые вещества.

Наконец самое важное – применение созданных экзотермических композиций, вводимых в плазму электрических взрывов, поможет решить проблему энерговооруженности электровзрывного инструмента для отделения блоков сульфидной руды от массива и дополнительного их дробления до размеров соответствующих возможностям гидротранспортирования на поверхность, существенно ограниченного предельной электрической мощностью реально существующих кабель-тросов для больших глубин. Частично, с помощью выделяемого некоторыми из них при электроразрядно-химическом взрыве неконденсируемого газа, можно решать проблему обеспечения газом высокого давления эрлифтных и пантонных систем доставки добытой руды на поверхность.

Наконец, предлагаемый метод добычи сульфидных руд на дне океана хорошо управляется, как процесс в своей основе электрический, и при работе должен легко фиксироваться системами акустического контроля и управления по сопутствующему звуковому сигналу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулый Г.А., Малюшевский П.П., Кривицкий Е.В. и др. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. М., 1977.
2. Кондриков Б.Н., Вовченко А.И., Анников В.Э., Иванов В.В. Взрывные превращения электрической и химической энергии. Киев, 1987.
3. Исследовать возможности инициирования электрическим взрывом различных режимов экзотермических реакций в химически активных гомогенных средах. Отчет/ПКБЭ АН УССР, рук. А.И. Вовченко, инв. № 0290 0050500. Николаев, 1990.
4. Покровский Г.И. Взрыв. М., 1967.
5. Исследовать физические и технические особенности электровзрывного разрушения минеральных сред под высоким (до 50 МПа) давлением в морской воде. Отчет/ПКБЭ АН УССР, рук. П.П. Малюшевский, госр. № 0189 0080933. Николаев, 1990.
6. Смолдырев А.Е. Транспортировка рудоносных отложений с морского дна // Известия вузов. Горный журнал. 1985. № 9. С. 61–64.
7. А. С. 384996. СССР. Эрлиф. П.П. Малюшевский, Г.Г. Горовенко, Ю.А. Благоверов.
8. Матвеев А.А., Широков И.А., Тестов В.Н. Исследование прогресса транспортирования глубоководных твердых полезных ископаемых устройствами типа УППК // Ускорение НТП в горном деле и геологии на основе применения новых технологий. Свердловск, 1987. С. 8–9.

Поступила 11.04.2001

Summary

The electroexplosion compositions of chemical substances for using as adds to canal of electric pulses are grounded and offered. Fast burning of such compositions by the influence of pulse plasma lets to receive additional energy in necessary for breaking sulfa-ores on the bottom of the Ocean quantity. Opportunity of gas that throws out during the electropulse-chemical explosion of work of airlift and chamber lift, which lift ore to the surface of Ocean was estimated.