

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ МАРКИ «ЕРА» НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*Т.Ф. Холоденко, Е.Б. Устименко, А.Л. Кириченко,
ГП «НПО» «Павлоградский химический завод», Украина
А.В. Павличенко, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина*

Проанализированы экологические последствия ведения буровзрывных работ на горных предприятиях. Выполнено обоснование экологической и технологической целесообразности применения на горных предприятиях эмульсионных взрывчатых веществ с продуктами переработки твердого ракетного топлива.

В настоящее время в горной промышленности неотъемлемой частью процесса разработки месторождений полезных ископаемых являются буровзрывные работы. Добыча полезных ископаемых оказывает на окружающую среду различного вида воздействия техногенного характера с кратковременными и долговременными последствиями [1-3].

Проведение буровзрывных работ всегда сопровождается изменением природных гидрогеологических режимов подземных вод за счет образования депрессионных воронок вокруг карьеров, загрязнением подземных и поверхностных вод, воздействием на атмосферный воздух (пылевое, аэрозольное и газовое загрязнение), нарушением природного ландшафта, а также негативным влиянием на состояние флоры и фауны. Степень такого влияния во многом зависит от способа разработки месторождений, условий взрывания, типа применяемых при массовых взрывах взрывчатых веществ, а также эффективности применяемых на предприятии природоохранных и ресурсосберегающих технологий.

Проблема снижения негативного воздействия массовых взрывов с применением промышленных взрывчатых веществ (ВВ) на окружающую среду требует использования более безопасных в экологическом отношении технологий ведения взрывных работ, а также методов контроля, которые позволяют оперативно и эффективно определять уровень техногенной нагрузки и не допускать ухудшения экологического состояния объектов окружающей среды.

За последнее десятилетие достижения в области совершенствования взрывных технологий позволили минимизировать степень влияния техногенных факторов на объекты окружающей природной среды, в первую очередь за счет оптимизации характеристик применяемых ВВ, средств инициирования, параметров и условий проведения массовых взрывов, учитывающих особенности горно-геологических условий разрабатываемых месторождений.

В настоящее время в Украине наблюдается устойчивая тенденция отказа от содержащих тротил ВВ и переход к использованию промышленных эмульсионных ВВ (ЭВВ) [4, 5]. Использование ЭВВ позволяет снизить расходы на проведение взрывных работ, создает условия для регулирования и оптимизации параметров взрыва в зависимости от условий применения. При этом обеспечивается повышение безопасности взрывных работ и создаются благоприятные условия для применения эффективных механизированных способов транспортирования и заряжания скважин [4-6].

Создание ЭВВ изменило концепцию организации и проведения взрывных работ на горных предприятиях и стимулировало развитие новых видов сырья, оборудования для производства взрывчатых материалов и зарядной техники.

Основными достоинствами ЭВВ является то, что их компоненты до смешивания не относятся к взрывчатым материалам и являются безопасными при обращении, транспортировке, электрическом разряде и механических воздействиях. Взрывчатые свойства приобретаются невзрывчатыми компонентами только после смешивания в скважине, спустя непродолжительное время. Если в разрушенной породе остается часть невзорвавшегося ЭВВ, то, вследствие деструктивных процессов, их взрывчатые свойства со

временем теряются [7].

Следует отметить, что минимальное выделение токсичных газов при использовании ЭВВ наблюдается только при их определенном сбалансированном составе. Так, для исключения образования окислов азота и минимизации содержания окиси углерода в составе продуктов взрыва кислородный баланс ЭВВ должен быть в пределах от -0,2 до -2,0%. Последнее иногда вступает в противоречие с необходимостью получения ВВ с высокой энергетической эффективностью, для повышения которой в ЭВВ вводятся высокоэнергетические добавки: алюминиевая пудра, пироксилиновый или баллиститный порох, ANFO и др. [7, 8].

Важным достоинством применения ЭВВ является возможность существенного снижения экологического вреда, который наносится окружающей среде вследствие выделения токсичных газов при ведении взрывных работ, в сравнении с другими типами ВВ.

В настоящее время в Украине изготавливаются и применяются различные виды ЭВВ под марками «Украинит» и «Эмонит» (Кривбассвзрывпром), «Анемикс» (Интервзрывпром), «ЕРА» (ГП «НПО «ПХЗ»). ЭВВ марки «ЕРА» включают в себя широкий ассортимент разновидностей ВВ подкласса 1.1 (в том числе: «ЕРА-I», «ЕРА-II» и «ЕРА-III») содержащие продукты глубокой переработки твердого ракетного топлива (ТРТ).

Разработка указанных разновидностей ЭВВ и технологий их взрывания осуществлялась на основе сбалансированных рецептур и процессов ведения взрывных работ, обеспечивающих получение необходимых энергетических и взрывчатых параметров ЭВВ при минимальном образовании вредных веществ в продуктах взрыва.

Поэтому цель работы заключается в обосновании рецептур и процессов ведения взрывных работ, обеспечивающих получение необходимых энергетических и взрывчатых параметров ЭВВ с минимальным образованием токсичных продуктов взрыва.

При изучении степени воздействия буровзрывных работ с использованием ЭВВ на окружающую среду учитывали ряд факторов, которые можно разделить на две группы. Факторы первой группы характеризуют так называемые «внутренние» рецептурные особенности ЭВВ и его адаптированность к тем или иным изменениям в условиях применения при взрывных работах. Факторы второй группы характеризуют так называемые «внешние» условия, связанные с особенностями изготовления и заряжания ЭВВ в скважины и шпурсы, инициирования взрывания скважинных зарядов, а также горно-геологическими условиями проведения взрывных работ.

Следует отметить, что факторы, характеризующие «внешние» условия и параметры применения ЭВВ при буровзрывных работах, являются, в основном, определяющими для образования газопылевого облака продуктов взрыва и, соответственно, для характеристики влияния на окружающую среду. Игнорирование влияния этих факторов может привести к отклонению и несоответствию условий, для которых предусмотрено применение ЭВВ, ухудшению его взрывчатых свойств и развитию дефлаграционных процессов в заряде. Как следствие, это приводит к образованию большого количества таких токсичных продуктов термического разложения ЭВВ, как CO и NO_x.

Ухудшение взрывчатых свойств возможно при нарушении параметров и технологии изготовления ЭВВ из-за сбоев или отклонений в работе дозаторов и смесителей смесительно-зарядных машин (СЗМ), а также при снижении контроля со стороны персонала. В результате не выдерживается сбалансированное соотношение компонентов, не образуется или преждевременно теряется структурная устойчивость ЭВВ. Это влечет за собой прерывание детонации по колонке заряда ЭВВ и ее переход к дефлаграционным процессам. Такие процессы проявляются и при «затекании» ЭВВ в трещины и полости вокруг скважин, где нет условий для их взрывчатого превращения. Разрушение структуры ЭВВ от преждевременных инициирующих импульсов и воздействия скважинной водной среды, а также недостаточная мощность промежуточных детонаторов, способствуют ухудшению их взрывчатых свойств, а также выделению продуктов неполного окисления и взрывчатого превращения рецептурных компонентов.

Для обоснования возможности применения ЭВВ марки «ЕРА» на горнодобывающих

предприятиях возникает необходимость в проведении теоретической и практической оценки их рецептурных особенностей и результатов контроля продуктов взрыва. При разработке рецептур ЭВВ марки «ЕРА» использовались расчетно-экспериментальные методы, позволяющие оптимизировать технологические, эксплуатационные и экологические параметры, а также свойства конкретных видов ВВ. В качестве основного критерия выбора рецептуры ЭВВ была выбрана ее сбалансированность по параметрам энергетических характеристик и минимизации образования вредных продуктов взрывчатого превращения. Комплекс выполненных исследований включает исследования свойств ЭВВ с добавлением в качестве высокоэнергетических компонентов ТРТ всех ступеней МБР РС-22 и свойств ЭВВ с добавлением продуктов глубокой переработки.

Для оценки безопасного экологического воздействия по влиянию так называемого фактора «внутренних» рецептурных условий проведен выбор и анализ использования компонентов для ЭВВ марки «ЕРА». Основными компонентами ЭВВ марки «ЕРА» подкласса 1.5 являются аммиачная и кальциевая селитры, используемые в виде сухих компонентов и (или) растворов в количестве 75-95%, и индустриальное масло в смеси с углеводородным эмульгатором в количестве 4,5-7,0%. В качестве энергетических добавок, увеличивающих фугасное действие ЭВВ, в некоторые составы добавляется крошка продуктов переработки ТРТ в количестве до 10%. Для обеспечения необходимых технологических свойств, стабильности структуры ЭВВ и достижения сенсibiliзирующих характеристик ЭВВ в их составах используются соответствующие технологические добавки и газогенерирующие реагенты с общим количеством до 2% (табл. 1).

Таблица 1 – Компонентный состав ЭВВ и класс опасности по токсичности применяемых веществ

Наименование компонента	Класс опасности	ЕРА-I (II) (IIIн)	Украинит	Анемикс	Эмонит Н	Содержание, %
Аммиачная селитра	4	+	+	+	+	75-83
Натриевая селитра	3	-	-	-	+	
Кальциевая селитра	3	+	+	-	-	
Индустриальное масло	3	+	+	+	+	4,5-7,0
Эмульгатор	3	+	+	+	+	
Продукт переработки ТРТ	3	+	-	-	-	<10,0
Технологические добавки	2	+	+	+	+	1,0-2,0
Вода	4	+	+	+	+	10-15

Рецептурный состав ЭВВ марки «ЕРА» позволяет получить на 10-15% более высокий уровень термодинамической температуры (T) при взрыве, по сравнению с другими марками ЭВВ. Кроме того, продукты взрыва ЭВВ «ЕРА-I» («ЕРА-II) (IIIн)) обладают более высоким значением показателя адиабаты (k) и, соответственно, для них получен более выгодный коэффициент использования теплоты взрыва ($\delta_{вв}$) – до 90%.

Для оценки термохимической способности составов ЭВВ к образованию тех или иных продуктов взрыва использовалась модель химического превращения Бринкли-Вильсона, принятая для ВВ с небольшим отрицательным кислородным балансом. При проведении термохимических расчетов в продуктах взрывчатого превращения ВВ указываются вещества, для которых имеются соответствующие возможности для образования. Такие возможности определяются через химико-кинетические принципы протекания процессов, когда атомы соединяются в молекулы только таких веществ, при образовании которых выделяется наибольшее количество энергии, и когда возрастает число простых веществ. Кроме того, при оценке возможности образования тех или иных веществ при взрыве, необходимо учитывать такие параметры, как энтальпия образования веществ – которая должна быть отрицательной, энтропия и энергия Гиббса – которая должна стремиться в

сторону уменьшения. Всем этим требованиям удовлетворяют указанные в термохимическом уравнении продукты взрывчатого превращения ЭВВ «ЕРА» с продуктами переработки ТРТ.

Утилизируемое ТРТ и продукты его переработки являются высокоэнергетическими веществами, добавка которых в эмульсионные ВВ позволяет повысить их энергетическую эффективность. В тоже время такие добавки изменяют кислородный баланс ВВ и способны при определенных условиях увеличивать выход токсичных газов, несвойственных для ЭВВ. Поэтому при разработке ЭВВ с ТРТ и с продуктами его переработки основное внимание уделяется выбору состава, обеспечивающего высокий энергетический потенциал и минимальное содержание токсичных газов в продуктах детонации.

Проведенные исследования показали, что добавление в ЭВВ в качестве высокоэнергетических компонентов ТРТ позволяет уменьшить выбросы таких вредных газов как оксиды азота и улучшить энергетические характеристики ВВ. В то же время ТРТ в чистом виде является взрывчатым веществом и не является безопасным при обращении. Это ограничивает его использование при получении ЭВВ непосредственно на месте проведения взрывных работ и механическом зарядании скважин.

Большинство современных ЭВВ обладают относительно высокими энергетическими параметрами и давлением детонации, что в совокупности обеспечивает высокий уровень их работоспособности. Для рационального использования потенциальной энергии взрыва ЭВВ при разрушении горных пород удлинёнными зарядами нередко применяют метод рассредоточения заряда элементами инертных промежутков, состоящих из воздуха или чаще породной мелочи.

Накопленный опыт показывает, что использование инертных промежутков в заряде позволяет снизить удельные энергозатраты, обеспечивая при этом необходимое качество дробления пород. Это объясняется тем, что в отличие от зарядов сплошной конструкции при взрыве рассредоточенного заряда ВВ на стенки взрывной камеры по всей длине скважины воздействует взрывной импульс различной интенсивности и продолжительности, что, в свою очередь, приводит к образованию неоднородного поля напряжений, способствующего интенсификации дробления горных пород [7].

Продолжительность действия такого взрывного импульса определяется механизмом взаимодействия отдельных частей заряда при взрыве. Так, например, при одновременном инициировании элементов заряда ВВ, рассредоточенных воздушным промежутком, соударение движущихся на встречу друг другу газодинамических потоков происходит в центральной части промежутка. При неодновременном инициировании элементов заряда точка соударения волн напряжения будет смещаться в сторону заряда с большим интервалом замедления, что неизбежно приведет к изменению параметров поля напряжения. Таким образом, изменяя расстояние и интервалы инициирования между отдельными частями заряда ВВ в скважине представляется возможным управлять процессом разрушения горных пород.

В настоящий момент для управления действием взрыва разработаны различные конструкции зарядов, эффективность которых подтверждается большим числом экспериментальных исследований. Также применяются современные системы инициирования (СИ), которые позволяют создавать схемы взрывания различной сложности с практически неограниченными возможностями по временным замедлениям, в том числе и для инициирования отдельных частей рассредоточенного заряда [8].

Однако в случае ошибки расчета или погрешности срабатывания внутрискважинных интервалов замедлений в рассредоточенном заряде существует вероятность «подбоя», когда на элемент заряда ВВ воздействует волна сжатия [9]. В заряде с воздушным промежутком интенсивность такой волны, в основном, определяется параметрами начального давления в ударной волне и длиной промежутка. При наличии в промежутке материала из «породной мелочи» энергия волны сжатия частично поглощается за счет возникновения сил внутреннего трения между твердыми частицами и бокового распора при сжатии элемента промежутка.

По результатам проведенных исследований получена сравнительная оценка условий для

развития детонации в модельном заряде ЭВВ с использованием инертных промежутков различной конструкции. Установлена зависимость изменения плотности и степени деформации заряда ЭВВ с химической газификацией под воздействием волны сжатия различной интенсивности от тиксотропных свойств эмульсии.

Также выполнена теоретическая оценка состава продуктов детонации с учетом изменения термодинамических условий в процессе взрывчатого превращения в рассредоточенном заряде ЭВВ при одновременном инициировании элементов заряда. По результатам выполненной оценки установлено, что нарушение последовательности инициирования зарядов ВВ может являться одной из причин изменения качественно-количественного состава продуктов детонации. Также установлено, что при неоптимальных условиях взрывания зарядов ЭВВ рассредоточенным инертным промежутком гибкость физико-химических свойств эмульсии в пределах норм, установленных требованиями технологического регламента, позволяет минимизировать образование вредных продуктов детонации.

При изготовлении и применении ЭВВ с продуктами переработки ТРТ была проведена оценка факторов безопасного использования данного типа ВВ, а также проведена оценка влияния на безопасность их применения и образование токсичных продуктов взрыва так называемых «эксплуатационных» факторов, в частности сохранения стабильности соотношений ингредиентов ЭВВ при механизированном изготовлении и зарядании в скважины.

При зарядании ЭВВ, имеющих критический диаметр детонации, близкий к диаметру скважины, возможно прерывание детонации ЭВВ и возникновение дефлаграционных процессов, которые сопровождаются образованием токсичных продуктов от неполного окисления горючих компонентов и снижением взрывчатых характеристик. Аналогичная ситуация обнаруживается при зарядании в скважины с сильной трещиноватостью ЭВВ с малой вязкостью и низкой тексотропностью – в этом случае ЭВВ в трещинах выгорает с образованием большого количества токсичных продуктов. Все это приводит к ухудшению параметров взрыва и, соответственно, к ухудшению качества дробления горной массы.

При выполнении экологических исследований на местах ведения взрывных работ определялись показатели по наличию и концентрации: в атмосферном воздухе (оксид углерода, двуокись азота, хлористый водород); в верхнем слое почвы (никель, цинк, медь, свинец, нитраты, аммоний); в поверхностных и подземных водах (нитраты, нитриты, азот аммонийный, перхлорат аммония).

Экологический контроль на этапе приемочных испытаний ЭВВ марки «ЕРА» с ТРТ осуществлялся при проведении взрывных работ на горнодобывающих предприятиях разрабатывающих месторождения полезных ископаемых как открытым, так и подземным способом. При этом месторождения имели различные структурно-геологические, физико-химические свойства горных пород и, наряду с экологическими задачами, решался ряд задач относительно промышленной применимости ЭВВ марки «ЕРА» с ТРТ.

Результаты выполненных исследований показали, что при взрывании ЭВВ марки «ЕРА» в воздушной среде на площадках взрывания отсутствуют хлористый водород и хлорорганические вещества. В почве и в подземных водах также не обнаружен перхлорат аммония и хлорорганические вещества, а содержание нитрат-ионов и хлорид-ионов остается на уровне фоновых концентраций и не превышает предельно-допустимые концентрации. Анализ проб воздушной среды через 30-45 минут после взрыва показывает, что за счет рассеивания эти показатели возвращаются к исходным значениям до взрыва.

Выполненный анализ свойств компонентов ЭВВ марки «ЕРА», содержащих продукты переработки ТРТ, показал на отсутствие в их составе токсичных веществ. Используемые компоненты являются традиционно применяемыми в составах промышленных ВВ. Также установлена их сбалансированность по кислородному балансу и отсутствие термохимических и термодинамических предпосылок для образования токсичных хлорорганических и диоксиновых веществ в продуктах взрывчатого превращения ЭВВ.

Результаты экологического мониторинга подтверждают, что рецептура, условия применения и изготовления ЭВВ марки «ЕРА» обеспечивают полноту прохождения химических реакций при взрывных процессах без образования токсичных продуктов взрыва.

Подтверждена стабильность структуры ЭВВ с продуктами переработки ТРТ и соответствующие реологические характеристики, обеспечивающие сплошность колонки заряда ЭВВ в скважине. Все это позволяет в полной мере реализовать энергетический потенциал ЭВВ с продуктами глубокой переработки ТРТ при расходе на взрывание горной массы от 0,6 до 1,0 кг/м³ (в зависимости от крепости пород), при низком содержании токсичных веществ в продуктах детонации (менее 1%).

Таким образом, на примере проведенных исследований показано, что при соблюдении условий применения ЭВВ представляют собой устойчивую термодинамическую систему, обеспечивающую относительно высокую технологическую эффективность и экологическую безопасность при ведении взрывных работ.

Установлен наиболее рациональный диапазон содержания продуктов глубокой переработки ТРТ в ЭВВ, обеспечивающий энергетические характеристики при минимальном влиянии на окружающую среду продуктов взрыва.

По результатам выполнения работ были определены оптимальные параметры технологического процесса изготовления ЭВВ марки «ЕРА» с продуктами глубокой переработки ТРТ, обеспечивающие безопасность выполнения технологических операций на всех его участках и позволяющие исключить негативное влияние на состояние окружающей среды при применении данного типа ВВ.

Список литературы

1. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах / Э.И. Ефремов, П.В. Бересневич, В.Д. Петренко [и др.]; под ред. Э.И. Ефремова. – Днепропетровск. СІЧ, 1996. – 178 с.
2. Зберовский, А.В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер-окружающая среда-человек». / А.В. Зберовский. – Д.: РИО АП ДКТ, 1997. – 136 с.
3. Юрченко, А.А. Физические процессы выброса пылегазового облака при массовых взрывах в карьерах / А.А. Юрченко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 2. – С. 85-88.
4. Козловская, Т.Ф. Пути снижения уровня экологической опасности в районах добычи полезных ископаемых открытым способом. / Т.Ф. Козловская, В.Н. Чебенко // Вісник КНУ ім. М. Остроградського. – 2010. – № 6(65). Ч. 1. – С. 163-168.
5. Шиман, Л.Н. Экологические аспекты применения на карьерах эмульсионных взрывчатых веществ марки «ЭРА» / Л.Н. Шиман, Т.Ф. Холоденко, А.В. Павличенко // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва, 2013. – №1. – С. 77-83.
6. Khomenko, O., Kononenko, M., and Myronova, I. “Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere”, Annual Scientific-Technical Colletion – Mining of Mineral Deposits, Leiden, The Netherlands: CRC Press / Balkema: 2013. – pp. 231-235.
7. Устименко Е.Б., Холоденко Т.Ф. Оценка внутренних параметров влияния ЭВВ, в том числе с продуктами переработки ТРТ, на окружающую среду при их использовании на взрывных работах // Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково виробничий збірник КДПУ. – 2009 -№2(4) – С.62-71.
8. Кириченко А.Л. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВВ / А.Л. Кириченко, Е.Б. Устименко, Л.Н. Шиман, В.В. Политов // Науковий вісник НГУ. – 2012 – Вип. 6(132). – С. 37-41.
9. Куринной В.П. Влияние волновых процессов в зарядной полости на разрушение массива горных пород / В.П. Куринной, И.П. Гаркуша // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2007. – Вип. 73. – С. 132-135.