

ИСПЫТАНИЯ ОТБОЙКИ КИМБЕРЛИТА ВЗРЫВАНИЕМ ЗАРЯДОВ В ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В УСЛОВИЯХ РУДНИКА АЙХАЛ

А. С. Кульминский, зам. главного инженера по горным работам, **ОАО «Якутнипроалмаз»**, АК «АЛРОСА», г. Мирный, Россия.

А. В. Котенков, зам. начальника отдела горной науки, **ОАО «Уралмеханобр»**, г. Екатеринбург, Россия.

Специалистами института «Якутнипроалмаз» и «Уралмеханобр» выполнена работа по теоретическому обоснованию отбойки рудного массива зарядами ВВ помещенных в гидравлическую среду – отбойки ГИДРОВЗРЫВАНИЕМ.

Согласно теоретическим выкладкам гидровзрывание имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным взрыванием, так как при его осуществлении резко повышается эффективность взрыва:

- Увеличивается полезная энергия взрыва, затрачиваемая на отбойку и дробление;
- Снижается удельный расход ВВ;
- Увеличивается коэффициент использования шпуров (КИШ);
- Резко снижается пылеобразование и выделение в шахтную атмосферу ядовитых газов взрыва и газов, образующихся при разрушении горного массива;
- При взрыве практически не образуется воздушных ударных волн и обеспечивается практически полная безопасность взрывных работ;
- Снижается вероятность взрыва газов и взрывоопасной пыли для условий отработки рудников опасных по данной категории;
- Снижается сейсмическое воздействие взрыва на окружающие породы;
- В несколько раз по сравнению с обычным взрыванием увеличивается общая полезная энергия взрыва.

Несмотря на высокую эффективность и безопасность гидровзрывания, этот способ разрушения горного массива широкого промышленного распространения не получил. Основными причинами, препятствующими его внедрению являются необходимость применения взрывчатых материалов, способных находиться в воде под ее избыточным давлением или использование для взрывания специальных технических устройств и приспособлений, позволяющих сформировать водную среду в шпурах или скважинах, а так же правильно разместить заряд ВВ в гидравлической среде.

В настоящее время также отсутствуют какие-либо закономерности точно, описывающие механизм гидровзрывания, и вытекающих из них зависимостей, позволяющих оценить эффективность действия взрыва заряда ВВ в горной породе, а также рассчитать паспорт буровзрывных работ (БВР), то есть разработать конструкцию заряда, определить число шпуров (скважин) на забой и рассчитать схему их размещения.

Поэтому, чтобы обойти трудности расчета гидровзрывания, данный способ свели в настоящее время к применению гидрозабойки шпуров и дроблению негабаритов.

Вместе с тем, использование механизма гидровзрывания представляет как научный так и практический интерес. Для оценки процесса взрывания в водной среде было решено произвести предварительные испытания данного способа отбойки в условиях рудника Айхал для оценки самой возможности такого способа отбойки, а так же проверки теоретического обоснования.

Кимберлиты Айхальского месторождения согласно геологической характеристике [1] имеют довольно большой разброс физико-механических свойств. Так выделяются участки рудного поля с различной крепостью руды (прочность кимберлитов на сжатие колеблется от 1.93 до 34.87 МПа, прочность на растяжение - 0.13-3.85 МПа). Объемный вес кимберлитов по материалам предварительной разведки составляет 2.44 т/м³, коэффициент разрыхления изменяется от 1,5-1,6 до 1,8, влажность - от 7 до 4,1%. В общем виде, в зависимости от крепости, влажности и других свойств кимберлиты на различных участках рудного поля представлены от крепких, монолитных участков, склонных к хрупкому разрушению до раздробленных глинистых образований, характеризующихся высокими упругими свойствами и пониженной прочностью.

В условиях разнородности свойств кимберлита на месторождении на данном этапе исследований необходимо получить данные о самой технической возможности использования и эффективности гидровзрывания для отбойки и рыхления руд месторождения.

На первоначальном этапе не ставилась задача снижения расходов ВВ или изменения схем и параметров разбуривания массивов кимберлита, определённых в существующей проектной документации [1].

Испытания по взрыванию зарядов ВВ в гидравлической среде в условиях рудника на предварительном этапе планировалось осуществлять при мелкошпуровой отбойке кимберлита на свободную поверхность.

Определение удельного расхода ВВ, необходимого для отбойки кимберлита на руднике Айхал при обычном взрывании (на свободную поверхность) произведено по методике, применяемой при проектировании БВР на руднике Айхал в настоящее время. Расчёт произведен для слоя руды, отбиваемого рядом параллельных вертикальных шпуров диаметром 55 мм при размере кондиционного куска 0,25 м.

При отбойке руды в качестве ВВ применяется патронированный аммонит №6 ЖВ, работоспособность которого составляет 365 см³. Удельный расход ВВ на отбойку руды ($q_{уд}$)

$$q_{уд} = (0,8 - 0,05) \frac{0,6 \cdot 1,1 \cdot 1,3 \cdot 0,7}{1,0} = 0,46 \text{ кг/т или } 1,12 \text{ кг/м}^3.$$

Согласно «Нормам технологического проектирования горнодобывающих предприятий металлургии с подземным способом добычи» ВНТП 13-2-93 при скважинной отбойке руд $f = 4 - 6$, удельный

расход ВВ при мелкошпуровой отбойке согласно таблице 4.21 составляет $q_{уд} = 1,1 \text{ кг/м}^3$, что в целом подтверждает рассчитанные значения.

Определение линии наименьшего сопротивления (ЛНС) при отбойке параллельными шпурами на одну свободную поверхность произведено по методике, применяемой при проектировании БВР на руднике Айхал.

Вместимость ВВ на погонный метр скважины при зарядании шпуров определена в зависимости от размеров и массы патронировки ВВ. Принятые масса и размеры патронов аммонита №6 ЖВ при их диаметре 32 мм составляют 0,25 кг и 0,300 м соответственно. Таким образом 1 погонный метр шпура вмещает 3,3 патрона, масса ВВ при этом составит 0,825 кг/м.

$$W_{55} = \sqrt{\frac{0,825 \cdot 0,8}{1 \cdot 1,12}} = 0,77 \text{ метра} \approx 0,8 \text{ метра}$$

Программа производства испытаний.

Отбойка массивов пород и руд с помощью гидровзрывания является наименее изученным и теоретически обоснованным процессом. Данные об использовании и результатах экспериментальных и опытных работ данного способа отбойки в зависимости от условий взрывааемых массивов, типов применяемых ВВ и других условий очень сильно разнятся между собой. Но несомненная возможность такого способа отбойки подчёркивается во всех исследованиях.

При большой разности данных о параметрах и характере отбойки, а так же повышенной эффективности гидровзрывов авторы данной работы на стадии опытных испытаний не ставили перед собой задачу снизить расход ВВ или увеличить размеры отбиваемого за врыв объёма руды или пород (ЛНС, расстояние между шпурами, их глубина и др.). Ставилась задача оценить саму возможность гидровзрывания и качество дробления кимберлита.

На первоначальном этапе испытаний предполагается ширину отбиваемого слоя (ЛНС) принять равной 0,8 метра.

Диаметр шпуров при использовании патронированного ВВ диаметром 32 миллиметра для обеспечения минимальной толщины водяной оболочки вокруг заряда равной 10 миллиметров должен составлять не менее 55 миллиметров.

При проведении опытных взрывов по гидровзрывной отбойке кимберлита предполагалось осуществить серию взрывов с различной конструкцией зарядов, представленных на рис. 1.

Заполнение шпуров водой планировалось осуществлять на последней стадии подготовки к взрыву – после помещения заряда в шпур, его правильной установки и ориентации в шпуре.

Предполагаемая программа производства испытаний была согласована со специалистами института «Якутнипроалмаз» и техническим руководством рудника Айхал.

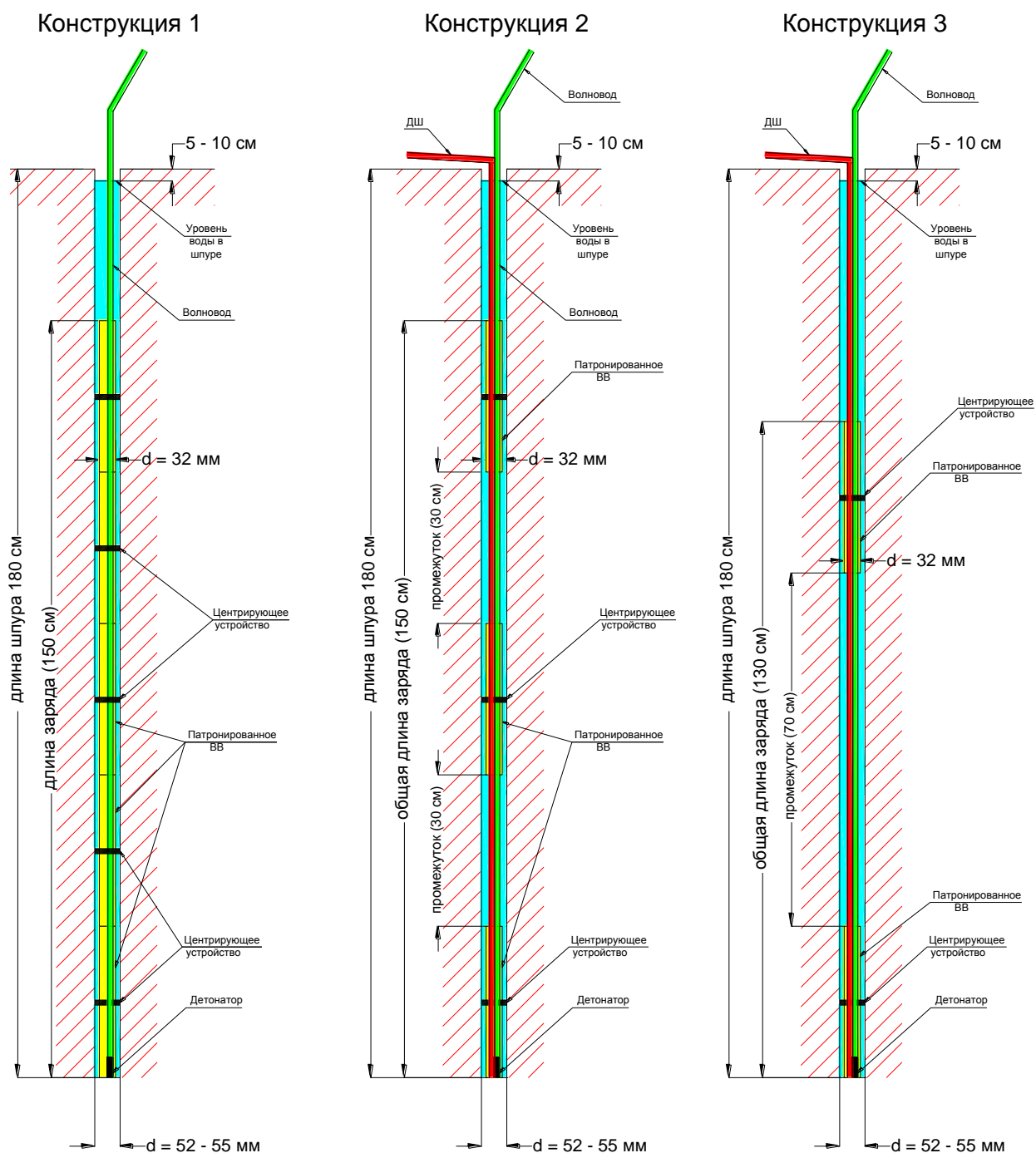


Рис. 1. Основные варианты конструкции гидрозарядов для шпуровой отбойки кимберлита на свободную поверхность.

Для испытаний по взрыванию зарядов ВВ в гидравлической среде в условиях рудника применялись следующие технические устройства и приспособлений:

- полиэтиленовые рукава диаметром от 55 до 60 миллиметров. Длина данных рукавов должна была быть не менее 2-х метров (более длины шпура на 150 – 200 мм), толщина стенок минимальна, но при этом должна обеспечиваться прочность и герметичность рукава при его монтаже в шпуре и при последующем заполнении водой;

- для инициирования зарядов ВВ или детонирующего шнура использовались неэлектрические системы взрывания типа СИНВ и взрывные машинки (станции), использующиеся на руднике в настоящее время.

Для испытаний был выбран участок ленты №10 в слое №10 (отметка +127 м) длиной около 7,5 метров. Данная лента является стыковочной (ниже уровня почвы находятся ранее отработанные и заложенные твердеющей закладкой заходки) и отрабатывается по почвоуступной схеме.

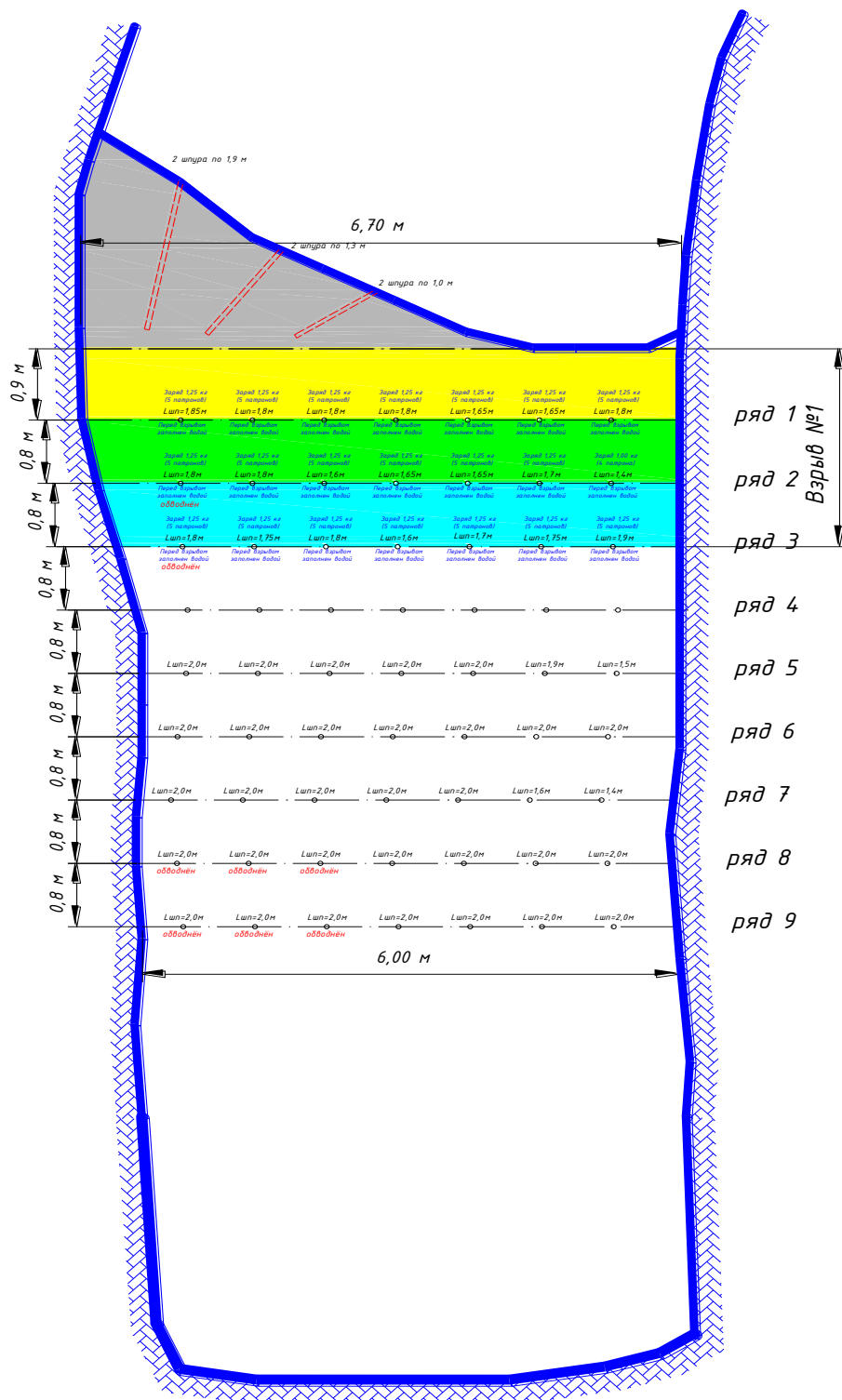
Опытный взрыв №1. При первом опытном взрывании было решено осуществить отбойку трёх рядов скважин (ряды 1, 2 и 3). Для отбойки была применена конструкция заряда №1, представленная на рис. 1.

Перед заряданием был произведён промер всех шпуров на предмет определения их фактической длины. Замеры показали, что длина шпуров изменяется от 1,4 до 1,8 метра.

Для зарядки скважин использовался патронированный аммонит №6 ЖВ. Диаметр патронов ВВ – 32 мм, длина патронов – 300 мм, масса ВВ – 0,25 кг. Количество патронов в каждом шпуре - 5 штук. В шпуре длиной 1,4 метра было размещено 4 патрона. Параметры зарядов и схема опытного взрыва №1 представлена на рис 2.

Сборка зарядов осуществлялась прикреплением патронов на волновод с помощью изоляционной ленты (рис. 3). Общий вид заряда в сборе при взрыве №1 представлен на рис. 4. После сборки заряд помещался в полиэтиленовый рукав (рис. 5), а затем опускался в шпур (рис. 6). После помещения всех зарядов в шпуры производилась заливка воды в полиэтиленовые рукава (рис. 7). За счёт герметичности рукавов обеспечивалось удержание воды во всех взрываемых шпурах. Затем осуществлялась сборка взрывной сети (рис. 8) и взрывание зарядов.

При инициировании зарядов из безопасного места на слух чётко регистрировалось взрывание всех ступеней замедления. Причём при взрыве горизонтальных шпуров для отбойки неразбуренной части треугольной формы (ступень замедления 0 мс) прослушивался громкий и резкий звук взрыва. Отбойка гидрозарядов (ступени замедления 1000, 3000 и 5000 мс) характеризовалась глухим звуком взрывов. Это может свидетельствовать о снижении действия звуковой и ударно-воздушной волны (УВВ) при взрывании в водной среде, которое и предполагалось при теоретическом обосновании.



Разделение взрыва на ступени замедления

- ступень замедления 0 миллисекунд
- ступень замедления 1000 миллисекунд
- ступень замедления 3000 миллисекунд
- ступень замедления 5000 миллисекунд

Рис. 2. Параметры зарядов и схема опытного взрыва № 1.



Рис 3. Сборка зарядов.



Рис. 4. Взрыв №1. Общий вид заряда в сборе.



Рис. 5. Помещение заряда в полиэтиленовый рукав.



Рис. 6. Опускание заряда в шпур.



Рис. 7. Заливка воды в полиэтиленовые рукава.



Рис. 8. Собранная взрывная сеть.

После проветривания участка были оценены параметры отбойки и качество дробления кимберлита при взрыве №1:

- отбойка руды характеризуется равномерным и качественным дроблением кимберлита (крупность кусков руды не превышала 150 – 200 мм);

- разлёт довольно крупных кусков кимберлита (до 300 – 400 мм) на расстояние до 15-20 метров произошел при отбойке неразбуренного треугольника с правой стороны забоя (ступень замедления №1);

- при взрыве №1 был раздроблен кимберлит на расстоянии 4-х рядов шпуров, то есть фактически отбойка произошла по плоскости четвёртого ряда шпуров, которые не заряжались ВВ.

- объём отбойки кимберлита при взрыве №1 составил 38,6 м³;

- общая масса заряда ВВ составила 26 кг;

- удельный расход ВВ составил 0,67 кг/м³ или 0,275 кг/т;

- отгрузка отбитой рудной массы из забоя осуществлялась с помощью ПДМ, зачистка почвы ленты показала качественное оконтуривание почвы.

Опытный взрыв №2. После обсуждения итогов первого опытного взрыва было решено произвести отбойку оставшихся пяти рядов шпуров за один взрыв. Длина шпуров изменялась от 1,4 до 2,0 метров.

Для зарядки скважин использовался патронированный аммонит №6 ЖВ. Диаметр патронов ВВ – 32 мм, длина патронов – 300 мм, масса ВВ – 0,25 кг.

В трёх первых рядах шпуров (ряды с 5-го по 7-й) принята конструкция зарядов №2 (рисунок 1). Количество патронов в каждом шпуре - 3 штуки разделённых двумя промежутками по 30 см. В 4-х шпурах длиной 1,4 и 1,6 метра заряд ВВ составил 2 патрона, разделённых промежутком 40 см.

Конструкция заряда с 3-мя патронами представлена на рис. 9.

В последних 2-х рядах шпуров (ряды 8-й и 9-й) принята конструкция зарядов №3 (рисунок 1). Количество патронов в каждом шпуре - 2 штуки разделённых промежутком 70 см.

Для разделения зарядов и чёткого выдерживания расстояния между патронами ВВ использовался списанный зарядный трубопровод, который был распилен на отрезки длиной 30 и 70 сантиметров. Для передачи детонации между разнесёнными патронами ВВ использовался детонирующий шнур (ДШ). Параметры зарядов и схема опытного взрыва №2 представлена на рис. 10.

После сборки заряд помещался в полиэтиленовый рукав, а затем опускался в шпур.



Рис. 9. Конструкция заряда с 3-мя патронами.

После проветривания участка были оценены параметры отбойки и качество дробления кимберлита при взрыве №2:

- отбойка руды характеризуется равномерным и качественным дроблением кимберлита (крупность кусков руды не превышала 200 - 350 мм);
- отбитая рудная масса располагалась в зоне отбойки очень компактно. Отброса рудной массы от забоя не зафиксировано совсем. Увеличение объёма рудной массы за счёт её взрыхления произошло в направлении вверх и вбок (в направлении свободных поверхностей) с одинаковой интенсивностью. Фотография опытного участка после взрыва №2 представлена на рис. 11.

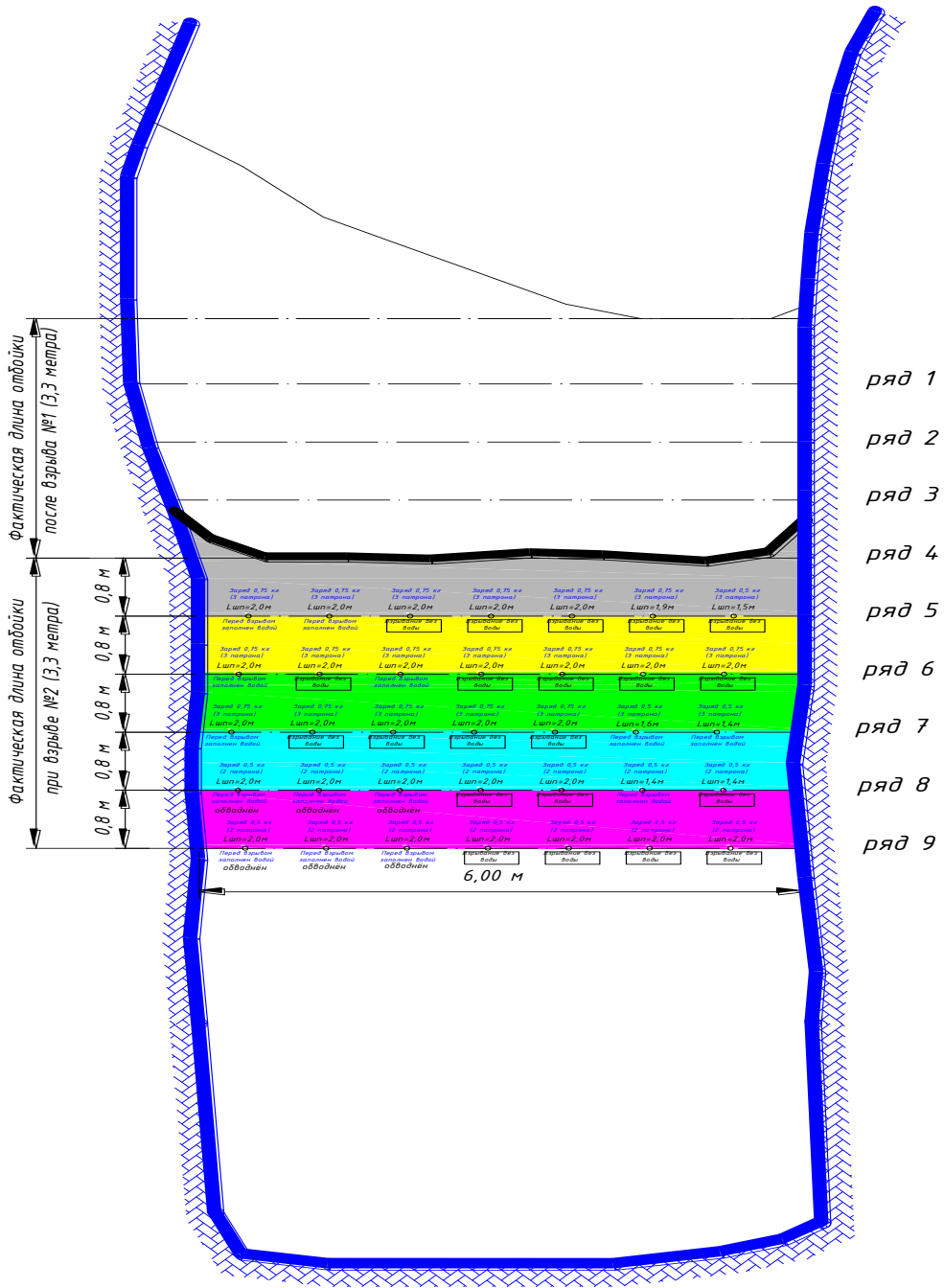
- объём отбойки кимберлита при взрыве №2 составил 48 м^3 ;
- общая масса заряда ВВ составила 22 кг;
- **средний удельный расход ВВ по взрыву составил $0,46 \text{ кг/м}^3$ или $0,188 \text{ кг/т}$;**

В том числе:

- **удельный расход ВВ на отбойку рядов 5, 6 и 7 заряженных тремя патронами ВВ с воздушными промежутками составил $0,52 \text{ кг/м}^3$ или $0,210 \text{ кг/т}$.**

- **удельный расход ВВ на отбойку рядов 8 и 9 заряженных двумя патронами ВВ с водными и воздушными промежутками составил $0,36 \text{ кг/м}^3$ или $0,148 \text{ кг/т}$**

Опытный взрыв №2
 Параметры зарядов в шпурах



Разделение взрыва на ступени замедления

- ступень замедления 1000 миллисекунд
- ступень замедления 2000 миллисекунд
- ступень замедления 3000 миллисекунд
- ступень замедления 5000 миллисекунд
- ступень замедления 7000 миллисекунд

Рис. 10. Параметры зарядов и схема опытного взрыва №2.



Рис. 11. Фотография опытного участка после опытного взрыва №2 (фото 1).

Различий в качестве отбойки трёх рядов 5, 6 и 7, заряженных тремя патронами ВВ с воздушными промежутками и рядов 8 и 9, заряженных двумя патронами ВВ не зафиксировано.

Качественное дробление, отсутствие разлёта кимберлита говорит о высокой эффективности взрыва зарядов с воздушными промежутками при сниженном расходе ВВ.

Отличительной особенностью взрывания шести заполненных водой шпуров в рядах 8 и 9 является образование на их месте воронки глубиной около 0,5 – 0,7 метра с отбросом рудной массы вверх и в сторону свободной поверхности. Образование воронки может свидетельствовать о значительно большей энергии взрывного импульса при гидровзрывании по сравнению с взрыванием зарядов с воздушными промежутками.

Отгрузка отбитой рудной массы из забоя после взрыва №2 осуществлялась с помощью ПДМ, зачистка почвы ленты показала качественное оконтуривание почвы.

Выводы по результатам проведения предварительных испытаний гидровзрывания

1. С помощью взрывов в гидравлической среде отбойка и качественное дробление кимберлита происходит достаточно хорошо.
2. При использовании гидровзрывания возможно снижение удельного расхода ВВ на отбойку на величину более 60%. Соответственно эффективность гидровзрыва выше эффективности обычного взрывания. Более подробно снижение расхода ВВ приведено в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Расчётный (проектный) и фактический удельный расход ВВ при различных способах взрывания кимберлита.

Наименование	Теоретический и рассчитанный для обычного взрывания	Опытный взрыв №1 Сплошной заряд ВВ Ø32 мм (5 патронов на шпур)	Опытный взрыв №2	
			Рассредоточенный заряд с воздушными промежутками (3 патрона на шпур)	Рассредоточенный заряд в гидравлической среде (2 патрона на шпур)
Удельный расход ВВ, $\frac{\text{кг/м}^3}{\text{кг/т}}$	$\frac{1,12}{0,46}$	$\frac{0,670}{0,275}$	$\frac{0,520}{0,210}$	$\frac{0,360}{0,148}$
% снижения расхода ВВ	0,0	40,0	53,6	67,9

3. При снижении удельного расхода ВВ уменьшается сейсмическое воздействие взрыва на прилегающие рудные, породные и закладочные массивы.

4. При использовании гидровзрывания снижается риск воспламенения газов, находящихся во взрываемом массиве.

5. Снижается действие УВВ, повышается безопасность ведения взрывных работ.

6. Теоретически любое ВВ при взрыве в водной среде становится предохранительным (данный вопрос требует дальнейшего исследования).

7. При взрывании гидрозарядов зона пластических деформаций (зона полного разрушения кристаллов алмазов) в несколько раз меньше, чем зона указанных деформаций при обычном взрывании. Для проверки данного утверждения требуется осуществление довольно большого объёма взрывов в гидравлической среде. После формирования представительного по объёму количества рудной массы может быть организовано обогащение этой руды на фабрике.

Библиографический список

1. Локальный проект на опытно-промышленные работы (ОПР) по юго-западному рудному телу в отн.+135м/ + 175м. Якутнипроалмаз, Мирный, 2008.