УДК 622.235

А.А.АНДРЕЕВ
ОАО «Возрождение – взрывпром», г.Выборг, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДРОБЛЕНИЯ СКАЛЬНЫХ ПОРОД СКВАЖИННЫМИ ЗАРЯДАМИ ПРИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ

Приведены результаты дноуглубительных работ Сайменского канала в озерной Финляндии. Взрывание подводных массивов производилось скважинными зарядами диаметром 85, 115 и 150 мм. Бурение скважин осуществлялось с плавучей платформы PORA-1. Дано описание технологии производства взрывных работ, приведены расчетные параметры.

In work results bottom deepening works of the Saimaa channel in lake Finland are resulted. Detonation of underwater files was made deep-hole by charges in diameter 85, 115 and 150 mm. Drilling of chinks was carried out from floating platform PORA-1. The description of the «know-how» of explosive works and settlement parameters is resulted.

На протяжении многих лет «Ленвзрывпром», «Трансвзрывпром», а в последнее время «Возрождение – взрывпром» периодически производят дноуглубительные работы в акватории Финского залива при возведении дамбы, защищающей город от наводнений, при сооружении порта в районе г.Выборга, при строительстве распределительно-перевалочного комплекса нефтепродуктов в г.Высоцке, а также Сайменского канала в районе озерной Финляндии и других местах.

На этих объектах дноуглубительные и дноочистительные работы преимущественно производятся в монолитных и трещиноватых скальных массивах, покрытых илистыми отложениями переменной мощности. В некоторых случаях встречались валунные камни, размеры которых достигали 5-10 м^3. Высота скальных уступов колебалась от десятков сантиметров до 15 м. Породы представлены преимущественно гранитами, сиенитами и их разновидностями с коэффициентом крепости по шкале М.М.Протодьяконова f = 10-20. В этих условиях подводные взрывные работы осуществлялись методом наружных (накладных), шпуровых и скважинных зарядов. За это время накоплен богатый опыт, а одна из разработок удостоена Государственной премии. Несмотря на достигнутые успехи, проблема повышения эффективности и экологической безопасности производства буровзрывных работ остается чрезвычайно актуальной, поскольку сопутствующие взрыву сейсмовзрывные волны (СВВ) и подводные гидроударные волны (ПУВ) оказывают весьма вредное действие на флору и фауну путем прямого уничтожения рыбы от действия ПУВ и разрушения мест их нерестилищ за счет отрыва икринок, благодаря распространению на значительные расстояния СВВ в обводненных породах. Для снижения вредного действия взрыва на окружающую среду при разрушении горных пород взрывом была сформулирована концепция максимального использования энергии взрыва на полезные формы работы – дробление и рыхление породы в условиях водной пригрузки при минимизации интенсивности СВВ и ПУВ на основе оптимизации параметров буровзрывных работ (БВР). За базовый вариант принята технология ведения дноуглубительных работ [2].

Взрывание подводных массивов производится скважинными зарядами диаметром 85, 115 и 150 мм. Бурение скважин осуществляется с плавучей платформы PORA-1, пе-



Рис.1. Платформа с буровой установкой

редвигаемой по акватории с помощью буксира. В состав оборудования платформы входит буровая установка типа TAMROK PANTERA HL 1500 (рис.1).

Стандартный буровой цикл включает следующие операции:

1. Обсадная труба монтируется и опускается на дно водоема. Затем обсадная труба пробуривает вскрышной мягкий слой грунта и частично внедряется в поверхность скального массива, чтобы предотвратить обрушение стенок скважины.

2. Буровая штанга опускается через обсадную трубу до контакта с поверхностью скального массива, и скважина бурится до необходимой глубины. Глубина скважины зависит от величины снимаемого слоя породы на рабочем участке. После окончания бурения буровая штанга извлекается и в скважину закладывается заряд.

3. Инициирование зарядов осуществляется системой «Эдилин». Обсадная труба с предварительным извлечением волновода неэлектрической системы взрывания поднимается, а буровая установка перемещается на следующую позицию по линии, и цикл начинается снова.

При этом в качестве ВВ используется ВГПВВ «Гранипор ВГ» марки 60/30 (ТУ 7276-024-17131060-2003) и шашки детонаторы ГК-2-82485 (ТУ 728-025-17131060-2003). Основные взрывчатые характеристики ВГПВВ «Гранипор ВГ» приведены в таблице.

Основные взрывчатые характеристики используемых ВВ [4]

Взрывчатые характеристики свойств	Гранипор ВГ 60/30	Шашки-детонаторы ГК-2-82-48
Теплота взрыва, ккал/кг	980-1075	1550
Объем газообразных продуктов взрыва, л/кг	950-990	730-750
Плотность зерен, г/см^3	1,5-1,7	1,67-1,70
Плотность заряжания, г/см^3	1,25-1,35	–
Вместимость скважины (диаметр 115 мм), кг/м	12	7,7*
Скорость детонации в водонаполненном состоянии, м/с	5500-6000	7800
Тротиловый эквивалент	0,98-1,075	1,35-1,40

* Диаметр заряда 82 мм, длина шашки 485 мм, масса одной шашки 3,84 кг

Для инициирования указанных выше зарядов использовалась неэлектрическая система

зарядов «Эдилин» (ТУ 84-075113406-032-94). Инициирование сети «Эдилин» осуществляется с помощью стартового устройства или от электродетонаторов типа ЭДКЗ ПКМ или ЭД-8Ж. Согласно принятому погрузочному оборудованию, размер негабаритного куска 0,75 м.

Приведем фактические параметры БВР для пород IX-X группы по СНиП при взрывании гранипорами ВГ при рыхлении гранита скважинными зарядами:

Глубина рыхления, м	7,0	5,0	3,0	2,0	1,0
Длина перебура, м	1,8	1,8	1,4	1,15	1,15
Длина скважин, м	8,8	6,8	4,4	3,15	2,15
Длина забойки, м	3,3	2,9	1,45	2,15	1,95
Длина заряда, м	5,5	3,9	2,95	1,0	0,20
Масса заряда, кг	65,5	47	35	12	2,4
Плотность заряжания, т/м^3	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Сетка скважин, а × б	2,5 × 2,5	2,5 × 2,5	2,75 × 2,75 2,75 × 2,2	2 × 2 2 × 1,6	1 × 1
Удельный расход ВВ, кг/м^3	1,5	1,5	1,55 1,9	1,5 1,9	2,4

При диаметре скважин 115 мм вместимость патронов гранипора ВГ составляет 12 кг/м, а при использовании шашек ГК-2 она снижалась до 7,7 кг/м.

Как видим, удельный расход ВВ находится в диапазоне 1,5-2,4 кг/м^3. Согласно [1] для конструкции зарядов с радиальным зазором, заполненным водой, фактический удельный расход ВВ в этих условиях может быть существенно снижен до 1-1,2 кг/м^3. Исследование параметров БВР с пониженным удельным расходом подтвердило принципиальную возможность такого снижения при производстве дноуглубительных работ в районе г.Высоцка.

Визуальный осмотр качества дноуглубительных работ показал удовлетворительное дробление массива. Произведенная оценка удельного расхода ВВ показала, что переход на плотные ВВ, имеющие высокую скорость детонации и конструкции зарядов с зазорами заполненными водой, сопровождается четко выраженной тенденцией на снижение удельного расхода ВВ. Тем не менее удельный расход ВВ при отбойке массивов с аналогичными физико-механическими свойствами при взрывании на свободную поверхность меньше на 20-30 %. Эффект увеличения удельного расхода ВВ при рыхлении скальных пород получил объяснение в работах Лангефорса [3] и Густавсона [2], где приводится еще и зависимость увеличения удельного расхода ВВ в функции высоты покрывающего слоя воды. Существенный вклад в изучение процесса взрывного разрушения горных пород в условиях водной пригрузки внесли и отечественные ученые, среди которых хотелось бы выделить профессора В.А.Боровикова [1]. Именно его исследования, касающиеся влияния водной пригрузки и зарядов с зазорами, заполненными водой, положены в основу оптимизации параметров БВР и разработку высокоэффективного и экологичного способа производства буровзрывных работ под водой при существенном снижении вредного действия взрыва на флору и ихтиофауну. Поставленная задача решается заменой традиционных для дноуглубительных работ сплошных конструкций заряда на рассредоточенные с радиальными зазорами. На первом этапе заряд разбивается на две части с размещением в устье каждой скважины дополнительного заряда, отделенного от основной колонки заряда промежутком, заполненным водой, с опережающим инициированием дополнительного заряда через интервал времени Δt, при котором над основным зарядом образуется газовый пузырь, реализующий отбойку разрушаемой породы подобно взрыванию на свободную поверхность. Определение общей массы скважинного заряда производится по общепринятой

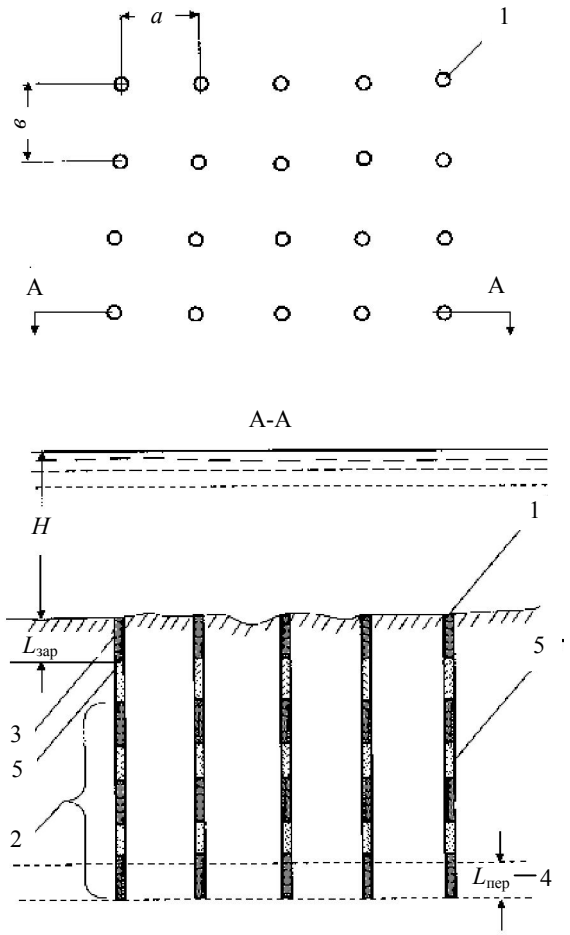


Рис.2. Шахматная сетка скважин и разрез по линии А-А
а – расстояние между скважинами в ряду; *в* – расстояние между рядами скважин; *H* – высота покрывающего слоя воды
1 – устье скважин; 2 – колонка основного заряда (сплошная или рассредоточенная); 3 – колонка дополнительного заряда; 4 – длина перебура; 5 – промежуток между основным и дополнительным зарядом и между частями рассредоточенного заряда

методике [4] при рекомендуемом техническими правилами удельном расходе 1,7-1,9 кг/м^3. В соответствии с рекомендациями [4] рассчитана сетка скважин с учетом глубины рыхления и диаметра заряда (рис.2). Предварительный анализ рассчитанных параметров БВР показал, что удельный расход ВВ в данном случае по сравнению с отбойкой на свободную поверхность при взрывании в условиях водной пригрузки возрастает примерно в 2 раза, а расстояние между зарядами сокращается в среднем с 60 до $40R_{0з}$ ($R_{0з}$ – радиус заряда). Отсюда следует, что в разработанном нами способе отбойки горных пород в условиях водной пригрузки существует значительный резерв сокращения удельного расхода и массы каждого скважинного заряда, а следовательно, снижение вредного действия взрыва – снижение интенсивности СВВ и ПУВ. В этом случае имеет место увеличение затраты энергии на полезные формы работы за счет снижения бризантного действия взрыва и рыхления взорванной горной массы при отбойке на газовую полость. Как отмечалось выше, поставленная задача решается путем размещения в устье каждой скважины дополнительного заряда, отделенного от основного заряда промежутком, заполненным инертной средой [5]. При этом согласно [5] величина дополнительного заряда G (в килограммах)

$$G = a_1^3 (1 + \gamma H / P_a)^3 / K_1,$$

где a_1 – расстояние между соседними скважинами, м; γ – плотность воды, кг/м^3; H – высота столба воды над устьем скважины, м; P_a – атмосферное давление в зоне взрыва, кг/м^2; K_1 – коэффициент, K_1 = 4,12 кг/м^3.

Интервал времени замедления взрыва (в секундах) дополнительного заряда

$$\Delta t = K_2 \sqrt[3]{G} / P_{пр},$$

где $P_{пр} = P/P_a$ – приведенное гидростатическое давление воды на дополнительный заряд; P – гидростатическое давление воды на дополнительный заряд, кг/м^2; K_2 – коэффициент, K_2 = 0,15 с/кг$^{1/3}$.

Взрывание дополнительных зарядов целесообразно осуществлять с использованием обратного способа инициирования. Длину каждого дополнительного заряда предпочтительно принимать равной 5-10 диаметров скважины. Длина промежутка, заполненного инертной средой, между основным и дополнительным зарядами обычно 5-10 диаметров скважин.

Основной заряд в каждой скважине можно формировать в виде сплошной конструкции заряда или отдельных секций, разделенных промежутками, заполненными инертной средой. При этом необходимо осуществлять послойное инициирование отдельных участков зарядов с замедлением

от устья к забою скважины. В качестве инертной среды можно использовать воду, водонасыщенные песок, отсев гранита и другие инертные материалы.

При размещении дополнительного заряда в устье скважины основная доля энергии взрыва дополнительного заряда расходуется на дробление и диссипативные потери, а остаточная энергия продуктов взрыва в процессе истечения из устья скважины – на формирование газового пузыря, в результате чего резко снижается интенсивность подводной ударной волны. Таким образом, энергия взрыва дополнительного заряда используется на полезные формы работы – разрушение и выброс породы, и вместе с тем приводит к снижению доли энергии взрыва на формирование подводной ударной волны, оказывающей вредное действие на окружающую среду.

Дополнительные заряды выполняются обычно в форме патронов-боевиков цилиндрической формы длиной 5-10 диаметров скважины. Апробация эффективности разработанного способа дноуглубительных работ была произведена в полигонных условиях для параметров БВР, рассчитанных для наиболее часто используемого диаметра скважин (115 мм) при уменьшенном удельном расходе ВВ (до 1 кг/м^3).

Визуальный осмотр результатов пробных взрывов подтвердил перспективность данного способа отбойки горных пород в условиях водной пригрузки. Таким образом показана четкая тенденция существенного снижения удельного расхода ВВ при сохранении интенсивности дробления на прежнем уровне. При этом сокращение удельного расхода ВВ и общей массы заряда, приходящейся на ступень замедления, приводит к снижению СВВ и что особенно важно – размещение дополнительного заряда в устье скважины способстует снижению на порядок и более амплитуды ПУВ. В результате этого уменьшается вредное действие взрыва на окружающую среду – флору и фауну.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Боровиков В.А.* Моделирование действия взрыва при разрушении горных пород / В.А.Боровиков, И.Ф.Ванягин. М.: Недра, 1990.

2. *Густавсон Р.* Шведская техника взрывных работ. М.: Недра, 1977.

3. *Лангефорс У.* Современная техника отбойки горных пород / У.Лангефорс, Б.Кильстрем. М.: Недра, 1968.

4. Опыт ведения дноуглубительных работ с помощью скважинных зарядов гелеобразных ВВ в акватории Балтийского моря / А.А.Андреев, В.В.Плехов, В.Н.Соседко и др. // Взрывное дело. СПб, 2004. № 94/51.

5. Пат. № 2280237 РФ. Способ производства буровзрывных работ / В.А.Боровиков, А.А.Андреев и др. 2006. Бюл. № 20.