

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тихоокеанский государственный университет»

А. В. Лещинский

Е. Б. Шевкун

ЗАБОЙКА ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН НА КАРЬЕРАХ

Хабаровск

Издательство ТОГУ

2008

УДК 622.235.36

ББК И133

Л 543

Р е ц е н з е н т ы:

Заведующий лабораторией открытых горных работ
Института горного дела ДВО РАН заслуженный деятель науки РФ,
д-р техн. наук, проф. Г. В. Секисов;

начальник межрегионального горнотехнического отдела
МТУ Ростехнадзора по ДФО К. В. Гильденбрант

Лещинский А. В.

Л 543 Забойка взрывных скважин на карьерах / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. – 224 с.

ISBN 978–5–7389–0656–5

В монографии обобщен опыт использования различных типов забойки скважин на открытых горных работах. Определена роль забойки скважин, выявлено влияние забойки на освобождение энергии взрывчатых веществ, эффективность дробления горных пород и безопасность ведения горных работ. В монографии представлен первый в отечественной научной литературе опыт создания забоек скважинных зарядов из твердеющих материалов, металлических забоек различной конструкции, забоек из органических материалов и комбинированных забоек. Приведены результаты обширных экспериментальных исследований, проведенных в карьерах горных предприятий.

Книга содержит множество схем и фотографий, дополняющих и наглядно иллюстрирующих издание.

Монография рассчитана на широкий круг специалистов в области открытых горных работ, аспирантов, а также может быть полезна для студентов вузов при изучении технологии и безопасности взрывных работ на дневной поверхности.

ББК И133

УДК 622.235.36

ISBN 978–5–7389–0656–5

© Тихоокеанский государственный университет, 2008

© Лещинский А.В., Шевкун Е. Б., 2008

ВВЕДЕНИЕ

Ближайшие десятилетия не только в России, но и в мире в целом будут характеризоваться существенным всплеском горного дела в части добычи твердых полезных ископаемых. Это связано с тем, что минеральные продукты, добываемые из земной коры, – это основа экономики и национальной безопасности современных цивилизаций. Российская территория, богатая полезными ресурсами, будет превращаться в мировой полигон горного дела, а Восточная Сибирь и Дальний Восток в XXI в. будут основной горной провинцией мира. Ныне в России открытым способом добывается около 90 % железных руд, до 60 % руд цветных металлов и угля.

В современных условиях развития открытых горных работ первостепенное значение в их интенсификации отводится буровзрывным работам. Такие важнейшие элементы интенсификации современного производства, как концентрация горных работ, комплексная механизация технологических процессов, высокий уровень их организации, могут быть успешно реализованы только на основе создания запасов взорванной горной массы высокого качества по степени дробления. Это обеспечит независимую работу буровзрывного и погрузочно-доставочного комплексов, наиболее полное и эффективное использование погрузочного и транспортного оборудования.

Длительными исследованиями различных авторов установлено, что забойка играет существенную положительную роль в работе взрыва: она обеспечивает полноту детонации ВВ и, тем самым, выделение наибольшего количества энергии взрыва заряда с данными параметрами; увеличивает продолжительность импульса взрыва и, следовательно, степень использования энергии взрыва, а также предотвращает опасный разброс кусков породы газами взрыва в процессе их истечения через устье скважины.

Рациональные параметры забойки зависят от многих факторов, характеризующих свойства ВВ и забоечного материала, конструкцию заряда, а также среду, в которой производится взрыв.

Основной задачей наших исследований было не столько выяснение целесообразности применения забойки, сколько решение вопроса об эффективной ее длине при использовании различных забоечных материалов.

Рассмотрены вопросы применения укороченных забоек с высоким сопротивлением воздействию продуктов взрыва, позволяющих уменьшить зону нерегулируемого дробления и одновременно растянуть во времени взрывной импульс, увеличив тем самым длину прорастания трещин и эффективность взрывного рыхления. Предложены варианты металлических распорных и подвесных забоек, забоек из твердеющих материалов, а также комбинированные забойки. Большая часть конструкций прошла полигонные испытания взрыванием в различных породах.

Авторы надеются, что книга поможет производственникам, работникам научно-исследовательских и проектных институтов более правильно решать задачи выбора параметров буровзрывных работ, а также окажется полезной при изучении вопросов разрушения пород взрывом.

Глава 1

РОЛЬ ЗАБОЙКИ СКВАЖИН НА КАРЬЕРАХ

В условиях формирования рыночной экономики страны основой функционирования и развития ее горной промышленности является открытый способ добычи твердых полезных ископаемых. Общий объем добычи минерального сырья в России по данным [1] оценивается в 101 млрд. дол. США. Через 20...30 лет мы в России будем разрушать несколько десятков миллиардов кубометров скальных горных пород, поскольку настоящих горнодобывающих государств в мире не так уж много, а в будущем будет еще меньше – порядка 10...12. Среди них США, Россия, Канада, Австралия, Южная Африка и несколько других. Российская территория, богатая полезными ресурсами, будет превращаться в мировой полигон горного дела, а Восточная Сибирь и Дальний Восток в XXI в. будут основной горной провинцией мира.

В современных условиях развития открытых горных работ первостепенное значение в их интенсификации отводится буровзрывным работам. Создание запасов качественно взорванной горной массы обеспечит наиболее полное использование погрузочно-транспортного оборудования.

Общепризнанным положением является невысокий коэффициент полезного использования энергии взрыва на дробление – 5...8 %, а остальная энергия расходуется на бесполезные, с точки зрения практики, формы работы взрыва. Это, прежде всего, переизмельчение горных пород на контакте с зарядом до микронных размеров частиц с образованием чрезвычайно большой вновь образованной поверхности, а как известно затраты энергии взрыва пропорциональны величине вновь образованной поверхности.

Кроме того, тонкодисперсные частицы породы при смешивании с продуктами детонации (ПД) существенно снижают температуру последних и увеличивают тепловые потери энергии взрыва, а также существенно увеличивают запыленность атмосферы при взрывах. Иногда переизмельчение пород отрицательно влияет на показатели последующих технологических процессов, например, на выход товарного щебня. Существенную роль в величине выделяемой при взрыве энергии играет полнота завершения вторичных реакций в ПД, особенно у современных крупнодисперсных взрывчатых веществ (ВВ) типа граммонитов, гранулитов, у которых значительная доля энергии взрыва выделяется именно в процессе вторичных реакций. Повышению полезного использования энергии взрыва способствует длительное запираание ПД в зарядной полости с помощью забойки, роль которой, согласно современным теоретическим представлениям, многообразна.

1.1. Влияние забойки скважин на высвобождение энергии ВВ

Длительными исследованиями различных авторов установлено, что забойка играет существенную положительную роль в работе взрыва: она обеспечивает полноту детонации ВВ и, тем самым, выделение наибольшего количества энергии взрыва заряда с данными параметрами; увеличивает продолжительность импульса взрыва и, следовательно, степень использования энергии взрыва, а также предотвращает опасный разброс кусков породы газами взрыва в процессе их истечения через устье скважины.

Большой вклад в исследования роли забойки в процессе взрывного разрушения горных пород внесли Г. П. Демидюк, М. Ф. Друкованый, Л. Н. Марченко, Э. О. Миндели, и многие другие отечественные исследователи.

Причем основной задачей их исследований было не столько выяснение

целесообразности применения забойки, сколько решение об эффективной ее длине при использовании различных забоечных материалов и конструкций зарядов.

В частности, Г. П. Демидюк в своей работе [2] указывает, что забойка способствует повышению полезного использования энергии взрыва. При этом он относит к полезной форме работы взрыва только долю энергии взрыва на дробление, а к не полезным формам – разброс кусков раздробленной породы, образование ударной воздушной волны (УВВ), переизмельчение породы, находящейся в контакте с зарядом (бризантное действие взрыва), в большинстве случаев не только не нужное, но иногда и отрицательно влияющее на последующие технологические процессы переработки полезного ископаемого. Такое переизмельчение породы ведет к увеличению тепловых потерь энергии взрыва, поскольку тонко измельченная порода, смешиваясь с продуктами детонации, может отнять от них значительное количество тепла еще в процессе совершения ими работы расширения. Тепловые потери возникают также при прорыве газообразных ПД из зарядной полости в атмосферу ранее завершения их расширения до атмосферного давления. Наконец, полезно используемая доля энергии взрыва снижается за счет химических потерь, связанных с неполнотой химического превращения ВВ.

Рациональные параметры забойки зависят от многих факторов, характеризующих свойства ВВ и забоечного материала, конструкцию заряда, а также среду, в которой производится взрыв.

Тем не менее, продолжаются дискуссии о целесообразности забойки вообще, поскольку Единые правила безопасности при взрывных работах в редакции 2001 г. [3] дают право руководителю предприятия устанавливать допустимость взрывания зарядов без забойки и многие предприятия, в том числе крупные, ведут взрывные работы без забойки. В работе [4] приведе-

ны результаты взрывов с нижним инициированием зарядов ВВ, согласно которым отсутствие забойки незначительно изменяет показатели взрыва. В то же время в работе [5] подчеркивается, что объективной мотивации для отказа от применения забойки нет потому, что, помимо сокращения интенсивности УВВ и дальности разлета кусков взорванной породы, применение забойки улучшает качество дробления и сокращает выброс вредных газообразных продуктов взрыва в атмосферу. Необходимость применения забойки базируется на фундаментальных принципах, определяющих эффективность и безопасность взрывных работ, поэтому забойку следует рассматривать как важнейшее звено в управлении действием взрыва: она устанавливает соответствие между элементами конструкции скважинных зарядов в карьере.

Забойка предотвращает потери энергии в процессе детонации заряда ВВ, обеспечивая как полноту детонации ВВ, так и высвобождение максимальной доли его потенциальной энергии [2].

При дроблении негабаритных кусков взрыванием наружных зарядов ВВ, различающихся по скорости детонации, в качестве критерия эффективности была принята относительная степень дробления породы взрывом, оцениваемая по суммарной вновь образованной поверхности. При наружных зарядах работа взрыва определяется головной частью его импульса, пропорциональной плотности ВВ и квадрату скорости его детонации, и осуществляется только ударной волной взрыва. Поскольку последующее поршневое действие давления продуктов детонации не может иметь места, казалось бы, нет нужды в забойке. Однако, хотя степень дробления оказалась пропорциональной скорости детонации ВВ, что вполне закономерно для наружных зарядов, степень дробления для одного и того же ВВ существенно повышалась в случае применения забойки. Так, заряд ВВ со скоростью детонации 4,5 км/с с забойкой обеспечивал такую же степень дроб-

ления, как заряд из ВВ, детонирующего со скоростью 7 км/с, но без забойки (рис. 1.1), что можно объяснить только повышением полноты детонации ВВ и величины детонационного давления при использовании забойки.

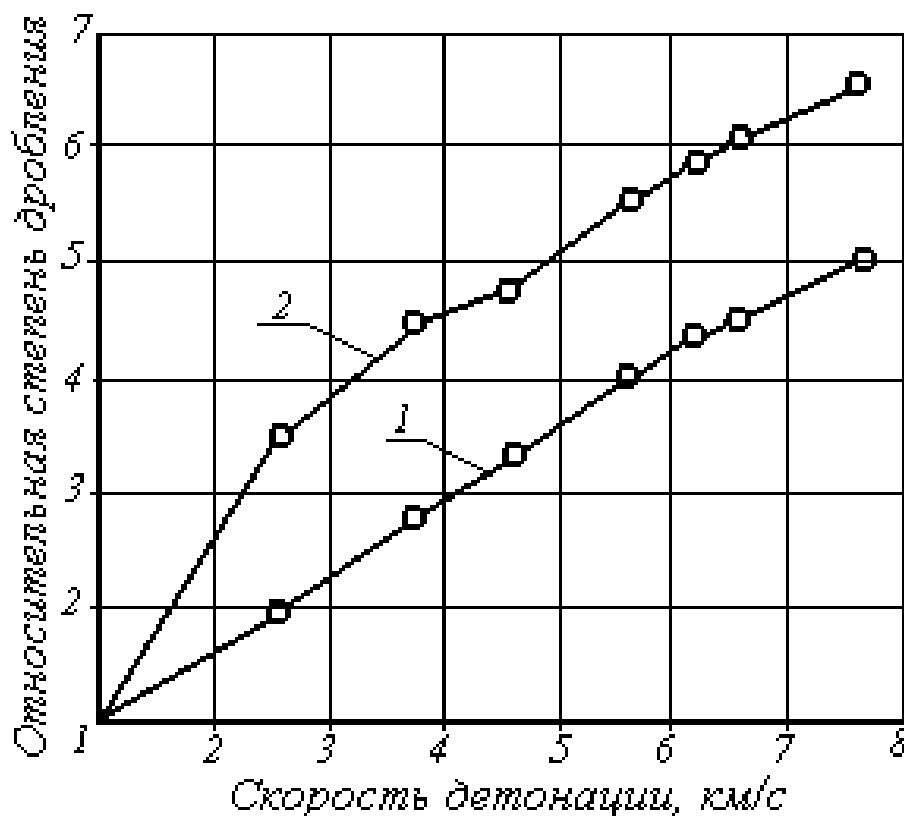


Рис. 1.1. Влияние забойки на степень дробления породы накладными зарядами

Забойка увеличивает эффективную длину ударной волны и начальное давление газов взрыва. В соответствии с теорией разрушения пород отраженной волной линия наименьшего сопротивления (л.н.с.), преодолеваемая взрывом заряда ВВ, пропорциональна эффективной длине волны, поэтому забойка должна обеспечить сохранение высокого давления в зарядной полости в течение промежутка времени, достаточного для завершения отколообразования во всей области от свободной поверхности до зарядной полости.

Забойка увеличивает длительность поршневого воздействия продуктов детонации на стенки зарядной полости и первичных (радиальных) трещин,

образовавшихся на границе с зарядной полостью в процессе возникновения и прохождения ударной волны взрыва. Согласно исследованиям А.Ф. Беляева и М. А. Садовского [6], при одинаковой величине импульса взрыва объем общих форм работы взрыва (раскалывание, расчленение, дробление породы на значительном удалении от забоя) тем больше, чем больше длительность импульса, т. е. чем дольше воздействует давление газов взрыва на стенки зарядной полости. Без забойки происходит излишне мелкое дробление в ближней зоне и крупное дробление в дальней зоне взрыва, поскольку короткий импульс часть энергии взрыва передает на более высоких частотах, которые сильно поглощаются горными породами. В результате – локальное переизмельчение горных пород вблизи заряда и разрушение их на крупные куски в отдельных зонах пониженной прочности вдали от заряда. Поэтому взрывание без забойки более чем вдвое увеличивает выход негабаритных фракций и диаметр среднего куска по сравнению с взрывами при полной забойке [7].

Г. П. Демидюк в работе [2] показал, что соблюдение принципа максимального заполнения взрывчатым веществом выбуренного объема скважины при сплошном цилиндрическом заряде приводит к созданию излишка энергии ВВ в верхней части уступа и, как следствие, к отрицанию необходимости забойки. В подтверждение приводятся даже эксперименты, специально поставленные в производственных условиях: отсутствие забойки не ухудшает результатов взрывания; это действительно может иметь место, если энергия заряда ВВ излишняя против действительно необходимой. Тезис Г. П. Демидюка об излишке энергии заряда ВВ подтвержден в работе [8] исследованиями влияния длины забойки на дальность разлета кусков взорванной породы и степень дробления горной массы взрывом в алевролитах с коэффициентом крепости пород по шкале проф. М. М. Протодьяконова $f = 4$ скважинных зарядов диаметром $D = 150$ мм на уступе

высотой 9 м с сеткой скважин 4,5х5 м. При удельном расходе ВВ свыше $0,3 \text{ кг/м}^3$ забойка на дальность разлета кусков существенного влияния не оказывает, а при удельном расходе ВВ менее $0,3 \text{ кг/м}^3$ взрывание скважин с забойкой значительно уменьшает радиус разлета кусков по сравнению с взрыванием без забойки (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Показатели опытных взрывов с различными параметрами забойки скважин [7]

Показатель	Порядковый номер опытного взрыва									
	1		2		3		4		5	
	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой
Заряд ВВ в скважине, кг	80	80	70	70	60	60	50	50	40	40
Длина забойки, м/D	0	$\frac{4,4}{29}$	0	$\frac{5,1}{34}$	0	$\frac{5,8}{39}$	0	$\frac{6,5}{43}$	0	$\frac{7,2}{48}$
Суммарная масса ВВ, кг	800	800	630	630	360	420	300	300	240	240
Взорвано горной массы, м^3	2360	2360	2120	2120	1420	1650	1420	1420	1290	1420
Выход горной массы, $\text{м}^3/\text{пог.м}$	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	21,5	23,6
Удельный расход ВВ, кг/м^3	0,34	0,34	0,30	0,30	0,25	0,25	0,21	0,21	0,19	0,17
Максимальный разлет кусков, м	200	200	150	150	100	50	65	25	35	нет
Ширина развала, м	18	18	13	13	11	10	9	8	5	8

Ширина развала и проработка подошвы уступа при взрывании с забойкой и без нее практически одинаковы в диапазоне изменения массы заряда ВВ в скважине от 50 до 80 кг. Когда же масса заряда скважины была уменьшена до 40 кг, отсутствие забойки отрицательно сказалось на дроблении массива: на уровне подошвы уступа появились пороги (в скважинах с полной забойкой пороги при взрывании образовывались при массе заряда

ВВ в скважине 30 кг). Именно эти опытные взрывы позволили найти минимальную массу заряда ВВ для данных условий, при которой стало заметно влияние забойки на качество дробления пород – 40 кг. Таким образом, уменьшение массы заряда ВВ практически вдвое именно за счет применения забойки позволило обеспечить приемлемые параметры дробления. Ухудшение дробления породы при взрывании без забойки объясняется преждевременным прорывом значительных объемов газов взрывчатого превращения в атмосферу без совершения полезной работы.

Это очень важное и с современной точки зрения соображение, ибо в той же работе [4] взрывное рыхление горных пород производили зарядами эмульсионных ВВ с высокой энергетикой в единице объема, а данных об отсутствии излишеств энергии взрыва против необходимой величины не приведено.

Другой вопрос: какая забойка наиболее приемлема для повышения полезного использования энергии взрыва? Естественно такая, которая при минимальных материальных и трудовых издержках производства обеспечивает максимальную прибыль. Этот вопрос был интересен и раньше, но сейчас, с приходом эффективных собственников к руководству горными предприятиями, он встал с новой остротой именно с экономической точки зрения. Предприятия согласны увеличить затраты на забойку, если отдача существенно превысит эти затраты.

Многолетняя практика ведения взрывных работ и специальные исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что внутренняя забойка зарядов оказывает существенное влияние на такие важные характеристики ВВ, как работоспособность и бризантность. Об этом свидетельствуют приведенные в табл. 1.2 данные о бризантности тротила в зависимости от величины забойки [8]. Из приведенных данных видно, что применение забойки длиной 30 мм повышает бризантность тротила на 20...30

%, по сравнению с взрыванием без забойки.

Таблица 1.2

Бризантность тротила в зависимости от величины забойки

Плотность заряжения, г/см^3	Бризантность тротила					
	Без забой- ки	При забойке длиной, мм				
		10	15	20	30	60
0,9	14,7	16,8	17,4	18,5	19,3	21,2
1,0	16,0	18,9	19,3	20,1	21,6	—
1,1	19,2	20,5	21,8	23,6	23,8	—
1,2	22,1	22,3	23,6	24,5	26,5	—

А. Ф. Суханов считает, что энергия взрыва расходуется на отделение части разрушаемого объема горных пород от массива по боковой поверхности воронки отрыва и на преодоление силы тяжести взрывающей породы при ее перемещении с одновременным расходом части энергии на дробление [9]. Такая схема распределения энергии взрыва основана на признании преимущественной роли давления газообразных продуктов детонации над ударными волнами напряжения в массиве горных пород. Эту точку зрения разделяет и М. П. Бродский [10].

1.2. Влияние забойки скважин на эффективность дробления горных пород

Известно, что в физическом процессе разрушения горной породы взрывом энергия разрушения затрачивается на образование новой поверхности, поэтому наибольшие затраты энергии приходятся на зону пластичных деформаций вблизи заряда с разрушением породы до тонкодисперсного состояния смятием и раздавливанием под действием короткой, но весьма мощной ударной волны напряжений. Существенное увеличение полезной

работы взрыва возможно за счет уменьшения размеров этой зоны и увеличения размеров области воздействия на горную породу расширяющейся газовой полости с продуктами взрыва, играющей основную роль при формировании зоны видимых разрушений путем трещинообразования [11].

Такой результат может быть достигнут одновременным увеличением времени воздействия взрыва на массив, снижением «пика» давления и усилением взаимодействия ударных волн напряжения в массиве горных пород.

Анализ выполненных за последние десятилетия теоретических и экспериментальных исследований показывает, что такой комплекс воздействий на массив горных пород может быть достигнут только при одновременном использовании прочной забойки, запирающей в зарядной полости продукты взрыва до момента разрушения взрывающей среды, и воздушных промежутков как внутри скважинных зарядов, так и между зарядом ВВ и забойкой. В работе [12] показано, что запирающие продукты детонации до момента полного разрушения окружающей породы увеличивает время действия взрыва на среду в 6...7 раз, что позволяет снизить удельный расход ВВ на 30 % при одновременном улучшении качества дробления. Еще более показательны эксперименты на одиночных шпурах диаметром 36 мм, глубиной 2,4 м в породах с $f = 14...16$ [13]. Без забойки получена полость диаметром 41 мм, объемом 720 см^3 , с песчано-глинистой забойкой – 43 мм и 1050 см^3 , а с быстротвердеющей бетонной забойкой на гипсоглиноземистом расширяющемся цементе – 112 мм и $21\,200 \text{ см}^3$; средний удельный расход ВВ составил соответственно 1,94 до 1,35 и $0,066 \text{ г/см}^3$. При бетонной забойке, сохраняющейся до полного разрушения пород массива, размер разрушенной полости увеличился, а удельный расход ВВ соответственно снизился в 29,4 раза.

В связи с этим активно ведутся работы по поиску путей увеличения времени действия взрывного импульса как за счет конструкции заряда, так и за счет увеличения запирающего действия забойки.

При наличии забойки продукты взрыва не могут быстро вырваться в атмосферу и, раздвигая материал стенок зарядной полости, спрессовывая его, сами многократно отражаются от этих стенок; в результате давление распространяется равномерно во все стороны. Продолжительность этого процесса во много раз превышает время детонации заряда. При отсутствии забойки продукты взрыва, произведя удар по стенкам зарядной полости, вырываются в атмосферу, не участвуя в дальнейшей работе взрыва [2].

На рис. 1.2 показаны несколько кадров видеосъемки взрыва скважин диаметром 215 мм и глубиной 2,6 м с массой заряда ВВ 13 кг, проведенного нами в гранодиоритах крепостью $f = 15 \dots 17$. Правая скважина взорвана с забойкой из бурового шлама, левая – без забойки.

Из рис. 1.2 видно, что прорыв газов из скважины без забойки происходит на первых миллисекундах взрыва, а из скважины с забойкой – только через полсекунды с начала взрыва. До этого во второй скважине происходит вначале выталкивание засыпной забойки – к 40 мс виден небольшой «султанчик» выталкиваемой забойки. К 80 мс виден столбик вытолкнутой забойки и начало вспучивания массива горных пород. У скважины без забойки такого вспучивания нет, но к 240 мс виден выброс камней из района устья скважины.

Поэтому и видимые воронки взрыва получены существенно различными по размерам (рис. 1.3, а – без забойки, рис. 1.3, б – с забойкой).

В [14] приведены результаты широких исследований по выбору рациональных параметров скважинных зарядов диаметром 110...115 мм в трудновзрываемых известняках. В ходе этих работ было установлено, что качество дробления горной массы во многом зависит от величины забойки.

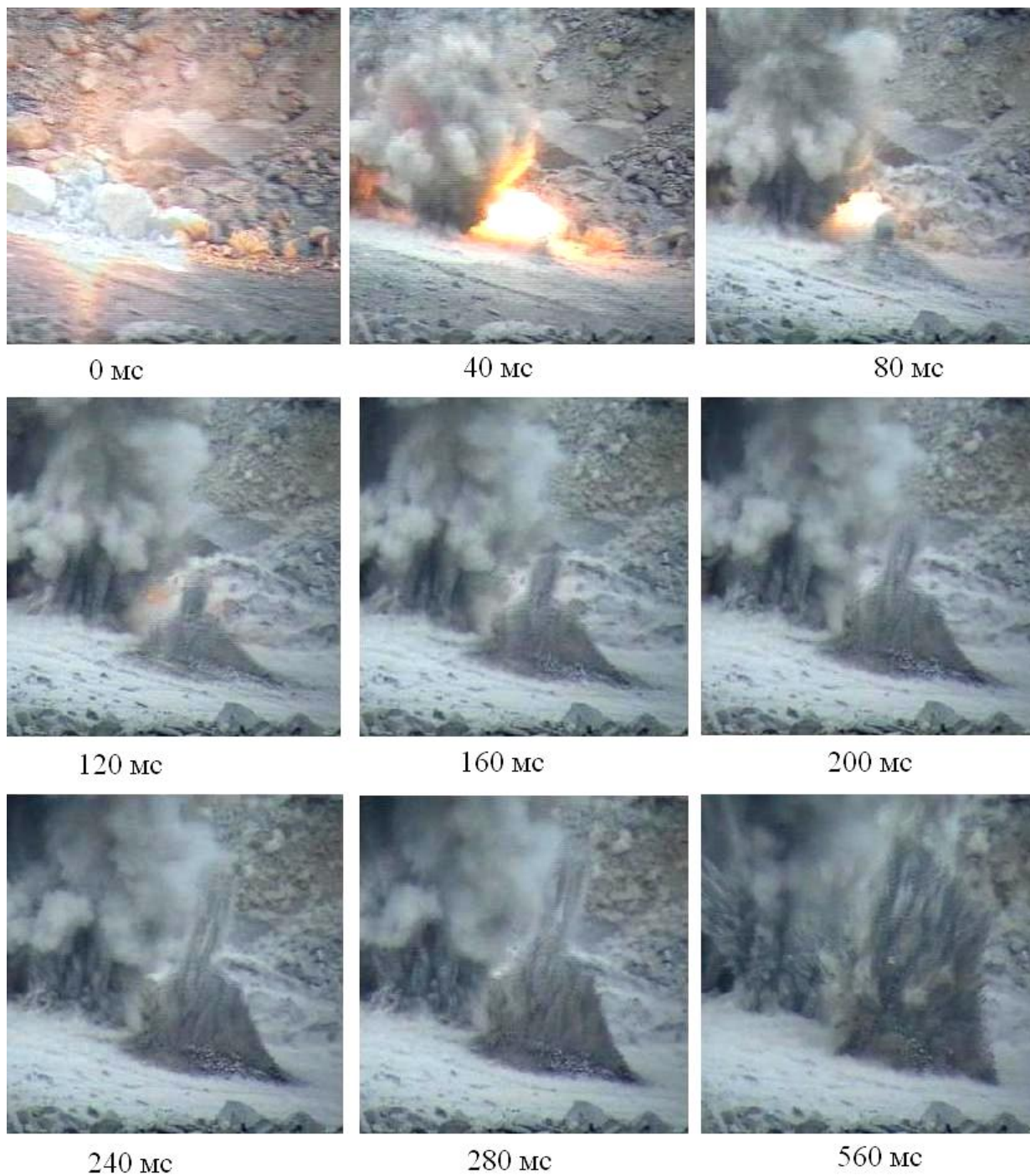


Рис. 1.2. Видеограмма взрыва скважин с забойкой и без забойки



a



б

Рис. 1.3. Видимая воронка взрыва скважин без забойки (*a*) и с забойкой (*б*)

Наряду с изменением качества дробления пород от длины забойки изменяется и радиус зоны разрушения как в глубь массива, так и в сторону откоса уступа. При уменьшении длины забойки против оптимальной и заполнении всего объема скважины взрывчатым веществом радиус зоны разрушения уменьшался, вследствие чего в верхней части уступа (вдоль уступа) между осью скважины и откосом образовалась траншея. Порода между траншеей и откосом уступа оставалась частично неразрушенной.

При заполнении шпуров до устья детонитом 10А в породах с $f = 14...16$ отрыв породы на 25 % меньше, чем при взрыве уменьшенных на 30 % зарядов ВВ, но с забойкой [2].

При взрывании скважинного заряда без забойки при постоянном удельном расходе ВВ подошва уступа будет плохо раздробленной, а из верхней части уступа возможен выход негабарита, поскольку устье скважины подвергается интенсивному разрушению, что облегчает выход газов из скважины. При плотной забойке не наблюдается интенсивного разрушения устья скважины и не разрушенных участков на уровне подошвы уступа и в верхней части уступа, как это имеет место при отсутствии забойки. Наличие забойки увеличивает продолжительность взрывного импульса на 35...40 % [15].

Забойка с воздушным промежутком под ней оказывает положительное

влияние на дробление среды, уменьшая выход негабарита. Исследованиями по замеру вылета забойки из скважины [15] было установлено, что скорость вылета забойки в значительной степени зависит от величины воздушного промежутка под нею. Так, время вылета забойки, приведенное к длине забойки 2,7 м и массе заряда 208 кг, составляет 27 мс. Время вылета для забойки с воздушным промежутком составляет 39 мс, т.е. на 12 мс больше. Воздушный промежуток позволяет удлинить взрывной импульс на 15...35 %, чем может быть достигнуто повышение КПД взрыва.

Применение конструкции заряда с воздушным промежутком между зарядом ВВ и забойкой позволяет перераспределить энергию взрыва и увеличить период действия взрыва на массив. Подобрав определенное соотношение между длинами забойки и воздушного промежутка, можно добиться хорошего дробления среды и значительно сократить величину забойки. Воздушные промежутки между зарядом и забойкой, уменьшающие потребность в забоечном материале и снижающие трудоемкость процесса забойки, сокращают выход негабаритных фракций и диаметр среднего куска по сравнению с взрыванием без воздушного промежутка. Наилучшее дробление обеспечивается при применении укороченной забойки и воздушного промежутка над зарядом, а наихудшее – при взрывании без забойки [7].

В работе [16] экспериментальные взрывы проводили в тонкозернистых диабазах с $f = 9...11$ при высоте уступа 9...10 м и величине линии сопротивления по подошве 8...9 м. Одновременно на одну осциллограмму фиксировали взрыв скважины с обычной забойкой длиной 6,5 м и взрыв скважины с воздушным промежутком между ВВ и забойкой. Величина воздушного промежутка составляла 2,5...3 м, инертной забойки – 2,5 ...3,0 м. Масса зарядов ВВ в каждой серии экспериментов составляла 140...180 кг.

В случае взрывания зарядов с воздушными промежутками между ВВ и

забойкой разрушение массива происходит с опережением по сравнению с аналогичными, но имеющими полную забойку. Разрушение массива пород как по верхней площадке уступа, так и по л.н.с. при взрыве зарядов, имеющих воздушный промежуток, во всех экспериментах происходило быстрее, чем при обычных зарядах. Это может быть объяснено только перераспределением энергии взрыва в зарядах с воздушными промежутками, т.е. уменьшением доли энергии, идущей на бесполезное переизмельчение породы, прилегающей к заряду, ибо все остальные параметры оставались постоянными в пределах производственных возможностей.

При наличии воздушного промежутка, разделяющего заряд от забойки, газы взрыва, расширяясь в воздушном промежутке, снижают начальное давление, воздействующее на столб забойки. Поэтому длина такой забойки может быть меньше, чем сплошной забойки, и она может выполняться в виде «пробки» внизу неактивной части скважины, длина которой подбирается опытным путем [17].

На Мокрянском месторождении гранитов XII...XIV категории по шкале Единых норм выработки и расценок при диаметре скважин $D = 200$ мм применение воздушных промежутков позволило снизить выход негабарита с 35...45 до 27 %. Наиболее эффективной признана следующая конструкция заряда: основной заряд длиной 8 м, затем воздушный промежуток длиной 3 м (15 D), дополнительный заряд длиной 3 м, снова воздушный промежуток длиной 3 м и над ним забойка длиной 3 м. Отношение суммарной длины воздушных промежутков к суммарной длине заряда составляет 0,55 [18].

Практика показала, что полный отказ от забойки привел к увеличению в три раза затрат энергии ВВ и в 1,7 раза – объема бурения. Именно поэтому в последнее время все чаще отмечаются поиски новых видов и способов забойки, которые повысили бы эффективность использования энергии

зарядов ВВ.

После прохождения волны напряжений и формирования зон дробления и трещинообразования в окружающей взрывную полость породе действуют напряжения, обусловленные все еще достаточно высоким давлением продуктов детонации. Уровень их ниже, чем в волне напряжений, но и прочность породы после прохождения волны напряжений снижается за счет появления дополнительных трещин и увеличения размеров имеющихся. В работе [19] были рассчитаны зоны разрушения на волновой стадии и дополнительного трещинообразования на квазистатической стадии для взрыва заряда граммонита 30/70 диаметром 220 мм в граните. Радиус зоны дробления равен 6 радиусам заряда – 0,65 м, радиус зоны трещинообразования равен 26,5 радиусов заряда – 2,92 м. Исходя из условия, что забойка не вылетает в течение всего времени подрастания трещин t , были рассчитаны размеры увеличения зоны трещинообразования от начальной длины трещин l_{mp}^H до конечной l_{mp}^K , а также расстояние от оси заряда, на котором заканчивается рост трещины r_{mp} (табл. 1.3).

Как следует из расчетов, возможно заметное увеличение зоны трещинообразования только за счет концентрации напряжений в вершинах трещин в поле напряжений, обусловленных высокими давлениями продуктов взрыва. Время, необходимое для подрастания трещин, может быть обеспечено применением специальных забоек.

Таблица 1.3

Расчет размеров зоны трещинообразования при невылетающей забойке [19]

$l_{mp}^H, м$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,8	2,0	2,1	2,27
$l_{mp}^K, м$	1,2	1,9	2,2	2,6	3,1	3,57	4,03	4,15	4,3	4,54
$r_{mp}, м$	3,72	4,22	4,32	4,52	4,72	4,89	5,05	5,07	5,12	5,19
$\Delta l_{mp}, м$	0,8	1,3	1,4	1,6	1,8	1,97	2,13	2,15	2,2	2,27
$t, мс$	1,3	2,1	2,5	3,0	3,7	4,3	4,8	5,1	5,3	5,7

В работе [20] в качестве такой специальной забойки предложено газодинамическое запирающее устройство (ЗГДУ), изменяющее режим истечения продуктов детонации через устье шпура или скважины и представляющее собой цилиндр из пластического материала с осевым каналом, имеющим двухконический профиль. Часть энергии взрыва, уходящая через устье скважины при отсутствии забойки, задерживается в полости взрыва и участвует в процессах нагружения массива в квазистатической стадии. Эксперименты проводили в породах крепостью $f = 3 \dots 4$ на скважинах диаметром 95 мм с зарядом гранулолома массой 9,5 кг, взрывая их по три одновременно – без забойки, с забойкой породной мелочью и с ЗГДУ. Зона разрушающего действия взрыва при использовании ЗГДУ увеличивается на 30...40 %, что позволяет уменьшить объемы бурения и расход ВВ на 12 и 25 % соответственно.

Взрывание без забойки более чем вдвое увеличивает выход негабаритных фракций и диаметр среднего куска по сравнению с взрыванием при полной забойке, что подтверждает большую роль забойки в повышении полезного использования энергии взрыва.

Ф. А. Баум [21] отмечает, что даже при взрыве любого слабого ВВ (типа динамитов, аммонита № 8 и др.) начальное давление в зарядной камере достигает нередко тысяч мегапаскалей, что существенно больше величин прочностного сопротивления $\sigma_{сж}$ любой наикрепчайшей породы. В то же время при отсутствии забойки взрыв скважинного заряда ВВ в ряде случаев не вызывает сколько-нибудь ощутимых разрушений в окружающей его горной породе, так как благодаря свободному осевому разлету продуктов взрыва давление в зарядной полости быстро падает, вследствие чего удельный импульс взрыва может оказаться меньше, чем его критическое значение для данной породы.

При взрыве сплошного заряда значения удельных импульсов взрыва

относительно велики в нижней части скважины, где расположен заряд, и существенно меньше вдоль остальной части скважины. Такое неравномерное распределение импульсов приводит и к неравномерному дроблению горной породы при взрыве. При этом не исключена возможность, что материал породы, примыкающей к нижней части скважины (где импульсы велики), будет раздроблен и выброшен в направлении свободной поверхности раньше, чем верхние слои породы будут разрушены, что может привести к образованию сравнительно большого количества крупных негабаритных кусков горной породы. Это положение подтверждается данными наблюдений, приведенными в [22], где с помощью скоростной киносъемки и осциллографирования установлено, что при взрывании скважинных зарядов в крупноблочных известняках и доломитах, в которых высота забойки достигает величины колонки заряда, а иногда и превышает ее, энергия взрыва в основном расходуется на разрушение и выброс нижней части уступа, расположенной против колонки заряда, а на разрушение верхней части уступа расходуется незначительная часть энергии взрыва, действие которой ограничивается созданием редкой сети радиальных трещин на верхней площадке уступа. Это подтверждается замером скоростей разрушения пород в различных частях уступа: против колонки заряда ВВ по линии сопротивления по подошве скорость разрушения достигает 405...630 м/с, по линии сопротивления против забойки – 204...420 м/с, а по линии скважин в верхней части уступа – лишь 58...170 м/с. Поэтому раскрытие трещин на откосе уступа против заряда начинается через 15...25 мс после инициирования заряда и при полном развитии взрыва, в тот момент, когда нижняя часть уступа находится в интенсивном движении, верхняя его часть сохраняет первоначальную форму. И лишь в момент, когда сдвигание нижней части уступа достигает определенной величины, верхняя часть уступа высотой 6...9 м, находящаяся против заполненной забойкой части

скважины, обрушается под действием собственной массы. Порода при падении разрушается по трещинам блочной структуры, что и предопределяет выход негабарита.

Все исследования вопросов взрывного дела как аналитические, так и экспериментальные должны базироваться на физике разрушения горного массива энергией взрыва. Без глубокого понимания и учета особенностей процессов, происходящих в разрушаемой с помощью взрыва зарядов ВВ среде, невозможно правильное проектирование работ и, следовательно, получение должного эффекта от их проведения. Поэтому роль забойки в процессе взрывного разрушения горных пород следует рассматривать в тесной взаимосвязи с самим механизмом взрыва и в первую очередь с воздействием на разрушаемый массив статического давления продуктов детонации и ударной волны. При этом необходимо учитывать и характер разрушаемых пород.

Современные представления о распределении энергии взрыва разнообразны и противоречивы. Одни исследователи полагают, что основным фактором, определяющим эффективность взрыва, является поршневое давление продуктов детонации (расширение продуктов детонации можно представить как действие сферического, расширяющегося поршня), другие считают, что разрушение массива при взрыве происходит главным образом за счет действия прямой и отраженной ударных волн. В работе [23] Г. И. Покровский пишет, что при взрывном разрушении горных пород с объемной массой до 2800 кг/м^3 основная доля энергии взрыва расходуется на выброс породы и только незначительная ее часть идет на разрушение массива. Совершенно очевидно, что здесь основным фактором, характеризующим эффективность взрыва, признается давление продуктов детонации. Однако в дальнейшем он же показывает, что параметры ударной волны оказывают существенное влияние на результаты взрыва [24].

Значительный интерес представляют экспериментальные исследования процесса взрывного разрушения пород, выполненные в [25]. С помощью скоростной киносъемки установлено, что при взрыве время начала отрыва и сдвижения пород после инициирования зарядов в 30...40 раз превышает время прохождения прямой и отраженной ударных волн. Основываясь на этом, можно рассматривать значение забойки с точки зрения разрушения массива вспучивающим действием взрыва, при котором высокое давление продуктов детонации в зарядной полости и в естественной сети трещин должно поддерживаться в течение сравнительно большого промежутка времени.

Аналогичные результаты получены также в гранитогнейсах – начало сдвижения пород после инициирования зарядов происходит спустя некоторое время, в течение которого волна напряжений в массиве может не менее шести раз пройти путь от заряда до свободной поверхности забоя. Следовательно, можно сделать вывод, что в данном случае основным фактором, обуславливающим начало сдвижения и разрушения массива, является поршневое давление продуктов детонации, а не ударная волна.

Г. Ионсон и В. Хофмайстер [25], исследуя влияние забойки на результаты взрыва зарядов в шпурах диаметром 36 мм, в качестве критерия оценки эффективности взрыва приняли предельную линию наименьшего сопротивления, т. е. такую, при которой взрыв заряда еще производит отбойку породы. Опытные взрывания, проводимые в чистой однородной каменной соли на шахте «Мари-аглюк» (Германия), показали, что предельная линия наименьшего сопротивления при использовании забойки выше, чем в случае взрывания зарядов без забойки (рис. 1.4).

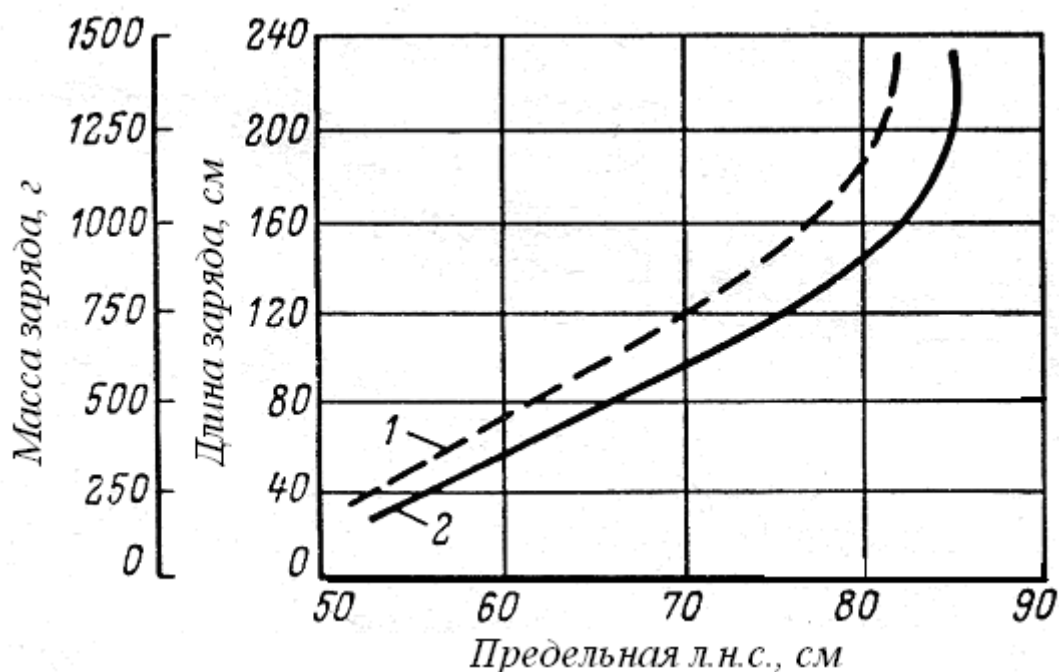


Рис. 1.4. График изменения предельной л.н.с. при взрывании: 1 — без забойки; 2 — с забойкой из 600 г песка. Иницирование со стороны устья шпура

При оценке взрывчатых свойств ВВ методом подводного взрыва установлено, что для большинства промышленных ВВ энергия поршневого давления продуктов детонации значительно больше энергии ударной волны [25]. Основываясь на этих данных, Г. П. Демидюк при рассмотрении вопросов действия взрыва в горных породах пишет: «Учитывая все расширяющееся применение крупнодисперсных ВВ, передающих в ударной волне лишь незначительную долю энергии, можно предположить, что расчеты, основанные на теории отраженной волны, несомненно, не отвечают фактическому механизму разрушения горных пород взрывом».

Аналогичного мнения придерживается и В. Н. Родионов, утверждающий, что, если грунт имеет достаточное количество естественных трещин или их зародышей, ударная волна фактически не принимает участия в дроблении материала» [26]. Правда он замечает, что в случае наличия прочной однородной среды роль ударной волны возрастает, т. к. необходимо создать около заряда зародыши трещин для обеспечения равномерного дробления.

А. Н. Ханукаев [27, 28] подразделяет все горные породы на три группы с точки зрения оценки роли волн напряжений в общем процессе взрывного разрушения. К первой группе он относит породы (пески, супеси, глины и др.), разрушающиеся главным образом за счет запаса кинетической энергии, приобретенной средой при расширении продуктов взрыва. Основным разрушающим фактором для пород этой группы признается поршневое давление продуктов детонации. Ко второй группе отнесены «породы, разрушающиеся как под непосредственным воздействием газов взрыва, так и под воздействием волны напряжений». По этой схеме происходит взрывное разрушение пород с коэффициентом крепости $f = 1 \dots 10$. Наконец, к третьей группе причисляются породы, разрушающиеся в основном под действием волн напряжений. Скорость распространения продольной волны в породах этой группы составляет 500 м/с и более.

Исследуя влияние условий взрывания шпуровых зарядов на параметры ударных волн, А. Н. Ханукаев установил, что при использовании забойки энергия волн напряжений больше, чем при взрывании таких же зарядов без забойки. Об этом свидетельствуют данные работы [28], приведенные в табл. 1.4, из которых видно, что максимальные напряжения во фронте ударной волны в случае использования забойки из буровой мелочи почти в 1,5 раза выше, чем при взрывании без забойки. Плотность потока энергии при этом соответственно увеличивается более чем в 2,5 раза. Уменьшение длины и длительности действия ударной волны при использовании водяной забойки А. Н. Ханукаев объясняет тем, что часть тепла, выделяющегося при взрыве, расходуется на нагрев забойки. Однако данные, приведенные им в работе [27], отличаются от данных табл. 1.4. Так, при взрывании зарядов тротила массой 53 г экспериментально установлены следующие параметры ударной волны (табл. 1.5).

Таблица 1.4

Влияние типа забойки на условия взрывания зарядов

Условия взрывания зарядов	Максимальное напряжение во фронте ударной волны, МПа	Длительность действия ударной волны, мс	Длина ударной волны, м	Удельный импульс, Н/см ²	Плотность потока энергии, Н/м ²
Без забойки	2,25	1500	6,25	1850	12000
С водяной забойкой	3,12	1130	5,87	2450	26000
С забойкой из буровой мелочи	3,33	1610	8,35	2650	33000

Таблица 1.5

Параметры ударной волны в зависимости от наличия забойки

Параметры ударной волны	Взрывание	
	Без забойки	С водяной забойкой
Максимальное напряжение, МПа	0,73	12,8
Длительность действия, мс	304	500

Из данных табл. 1.5 видно, что при взрывании зарядов с водяной забойкой происходит не уменьшение, а значительное увеличение длительности действия ударной волны и максимальных напряжений в ее фронте.

Таким образом, единого мнения о механизме разрушения пород взрывом пока что не существует. Однако все исследователи к вопросу о целесообразности применения забойки шпуров и скважин относятся положительно и считают, что она оказывает значительное влияние на результаты взрыва. Особенно остро в настоящее время проблема забойки и качества забоечного материала ставится сторонниками преимущественной роли статического давления продуктов детонации, которые рекомендуют стремиться к использованию забойки максимально возможной длины и прочности [29]. Однако А. Н. Ханукаев, основываясь на заимствованных из работы [30] графиках (рис. 1.5), свидетельствующих о том, что увеличение длины забойки оказывается эффективным только до некоторого предела,

считает, что при длине забойки больше оптимальной величины значительная часть энергии взрыва расходуется на образование полости у зарядной камеры и дробление примыкающей к ней породы. В результате этого энергия ударной волны, распространяющейся в массиве, уменьшается [28].

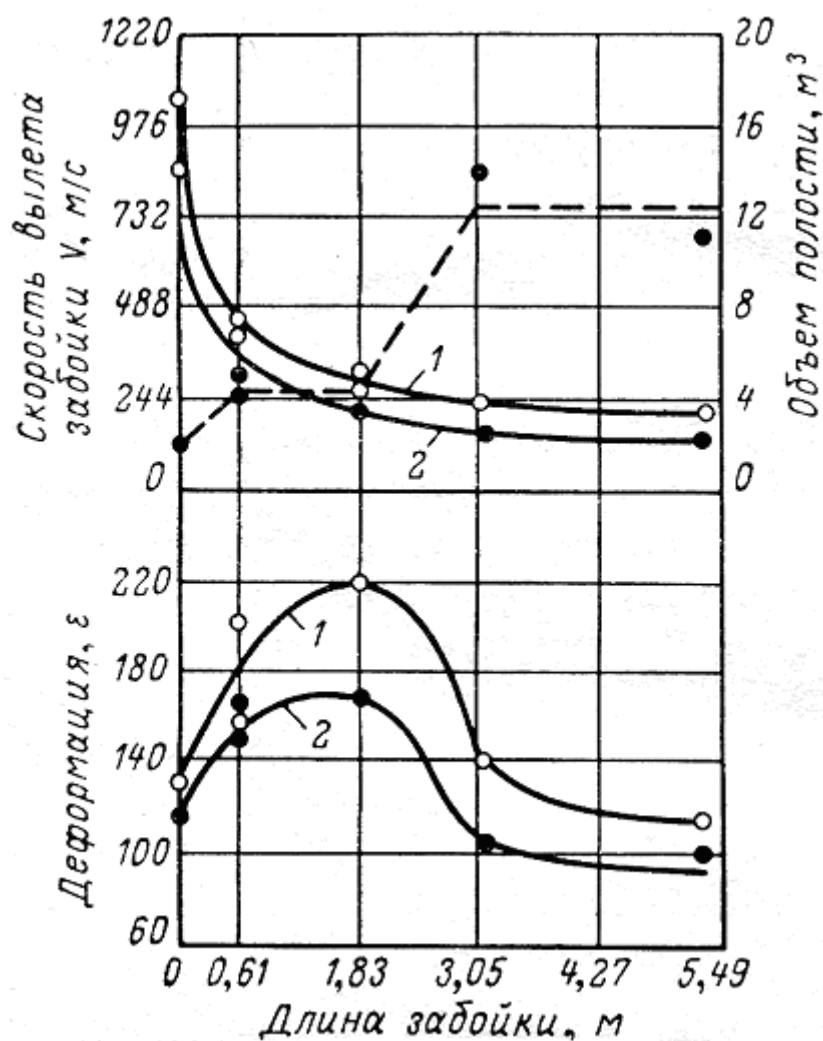


Рис. 1.5. Графики зависимости величины деформации среды, скорости вылета забойки из шпура и объема полости, образуемой при взрыве, от длины забойки: 1 — первичные взрывы; 2 — повторные взрывы

Все изложенное убедительно свидетельствует о том, что условия, в которых происходит детонация зарядов ВВ, оказывают существенное влияние на результаты взрыва. Тем не менее, в горнотехнической литературе еще встречаются работы, авторы которых, ссылаясь на опыт беззабоечного ведения взрывных работ на ряде металлических рудников, отрицают целе-

сообразность использования забойки как средства повышения эффективности взрыва. Так, В. Ф. Ведутин и др. [31] пишут: «... наличие забойки в шпуре не может оказать заметного влияния на улучшение работы шпурового заряда, т. к. энергия, распространяющаяся в сторону забойки, составляет небольшую величину от общей энергии заряда. Поэтому применение забойки необязательно». Авторы этого утверждения считают, что при взрыве образуется два рода ударных волн – «сферические», распространяющиеся в массиве вокруг оси шпура, и «торцовые», направленные ко дну и устью шпура. На основании теоретического положения о величине масс продуктов детонации, разлетающихся в противоположные стороны от места инициирования, В. Ф. Ведутин и др. определяют «активную массу заряда», действующую в торцовом направлении.

Установив аналитическим путем, что «активная масса» при заданном диаметре заряда возрастает только при увеличении длины последнего до значения $9r/2$ (r — радиус заряда), авторы работы [31] произвели опытные взрывания зарядов ВВ различной длины на металлическом листе. В результате этих опытов было установлено, что увеличение вмятины, образуемой взрывом на листе, наблюдалось только при зарядах длиной примерно до $9r/2$. Отсюда был сделан вывод, что поскольку в сторону забойки независимо от величины заряда действует только масса ВВ, заключенная в объеме конуса радиусом r_0 и высотой $9r/2$, то забойка не сможет оказать значительного влияния на результаты взрыва. Однако, по нашему мнению, ни методику проведения эксперимента, ни выводы, сделанные по результатам опытных взрывов, нельзя признать убедительными, т. к. условия взрывания открытых и шпуровых зарядов несопоставимы. Кроме того, в работе [31] действие взрыва рассматривается только с волновой точки зрения (и то без учета основных параметров ударных волн), что не может быть распространено на породы любой крепости.

Интересные исследования по забойке шпуров провели В. И. Терентьев и О. И. Алексеев [32], которые предложили методику расчета длины забойки на основе сравнения времени прохождения ударной волны от заряда до свободной поверхности забоя со временем вылета забойки из шпура. Однако такой подход к определению рациональной длины забойки, на наш взгляд, не является достаточно точным, поскольку многими экспериментальными исследованиями установлено, что время прохождения прямой и отраженной ударных волн значительно меньше времени, протекающего с момента инициирования зарядов до начала отрыва и сдвижения пород. Следовательно, герметизация зарядной камеры только на время прохождения ударной волны от заряда до свободной поверхности забоя не может считаться достаточным условием для обеспечения максимального использования энергии взрыва. Кроме того, при выводе формул для определения необходимой длины забойки В. И. Терентьев и О. А. Алексеев учитывали только массу забойки и пренебрегали другими свойствами забоечных материалов (например, трением о стенки скважины). При этом они явно преувеличивают роль инерции покоя массы забойки, которая, характеризуясь сопротивлением забойки динамическим нагрузкам, может быть вдвое больше сопротивления забойки статической нагрузке [33].

Аналогичные допущения о несущественной роли сил трения в общем комплексе сопротивления, оказываемого забойкой продуктам детонации, принимают и другие исследователи [25]. В результате предложенные ими формулы для расчета величины забойки недостаточно полно отражают реальный процесс, поэтому не получили широкого применения.

Многолетняя практика взрывных работ показывает, что при взрывании удлиненных зарядов неудовлетворительное дробление массива наиболее часто наблюдается в верхней, не заполненной ВВ части зарядной камеры. Такое явление Ф. А. Баум [21] объясняет неравномерным распре-

делением удельных импульсов вдоль боковой поверхности шпуров или скважин. Построенные им графики (рис. 1.6) свидетельствует о том, что наибольшее значение удельный импульс имеет в зоне расположения заряда и существенно уменьшается по мере удаления от него к устью зарядной полости. Неравномерностью распределения импульсов вдоль зарядной полости и объясняется неравномерность дробления массива.



Рис. 1.6. Схема распределения удельных импульсов вдоль оси зарядной камеры удлиненной формы (по Ф. А. Бауму): 1 — с забойкой; 2 — без забойки

Существующее мнение о целесообразности повсеместного применения забойки максимально возможной длины и прочности не подтверждается практикой. Более того, специальные исследования показывают, что для конкретных условий ведения взрывных работ соответствует вполне определенная оптимальная величина забойки, обеспечивающая максимальный эффект взрыва.

Для решения вопроса об оптимальной величине забойки необходимо проанализировать характер ее движения в скважине во время взрыва в сочетании с процессом расширения продуктов детонации в зарядной полости и их воздействием на породу.

В случае прямого инициирования зарядов (со стороны устья зарядной

полости) продукты детонации, воздействуя на торец забойки, стремятся сдвинуть ее. Согласно схеме воздействия продуктов детонации на массив горных пород и забойку, предложенной Ф. А. Баумом [34], одновременно с этим в зарядной полости возникает ударная волна, которая движется в направлении детонации заряда, т. е. в сторону, противоположную движению забойки. Частично отразившись от дна зарядной камеры, ударная волна, скорость которой значительно превышает скорость вылета забойки, догоняет ее и, отразившись, опять направляется в сторону дна зарядной камеры (рис. 1.7, *а*). Такая пульсация в продуктах детонации будет поддерживаться до тех пор, пока забойка полностью не вылетит из устья зарядной полости.

При обратном инициировании зарядов (со стороны забоя зарядной полости) окружающая заряд порода подвергается воздействию продуктов детонации раньше, чем начинается движение забойки. Задержка начала движения забойки по отношению к началу воздействия продуктов детонации на массив выражается величиной отрезка ab (рис. 1.7, *б*), который соответствует времени взрывчатого разложения заряда и зависит от его длины и скорости детонации применяемого ВВ. Поэтому при обратном инициировании забойка оказывает меньшее влияние на результаты взрыва, чем при прямом (со стороны устья зарядной полости).

Наконец, при двустороннем инициировании (рис. 1.7, *в*) в результате наличия двух фронтов детонации возникают две ударные волны, идущие навстречу друг другу, которые, взаимодействуя между собой, ослабляют действие продуктов детонации на забойку. Очевидно, и скорость вылета забойки в этом случае будет меньшей, чем при одностороннем инициировании зарядов.

Утечки продуктов детонации, снижающие эффективность взрыва, могут происходить либо через устье зарядной полости (при некачественной

забойке), либо через трещины, образующиеся в результате разрушения массива в направлении л. н. с. Следовательно, энергия взрыва может быть использована наиболее полно только в том случае, если забойка обеспечит задержку продуктов детонации в зарядной полости до начала разрушения массива горных пород и их сдвижения.

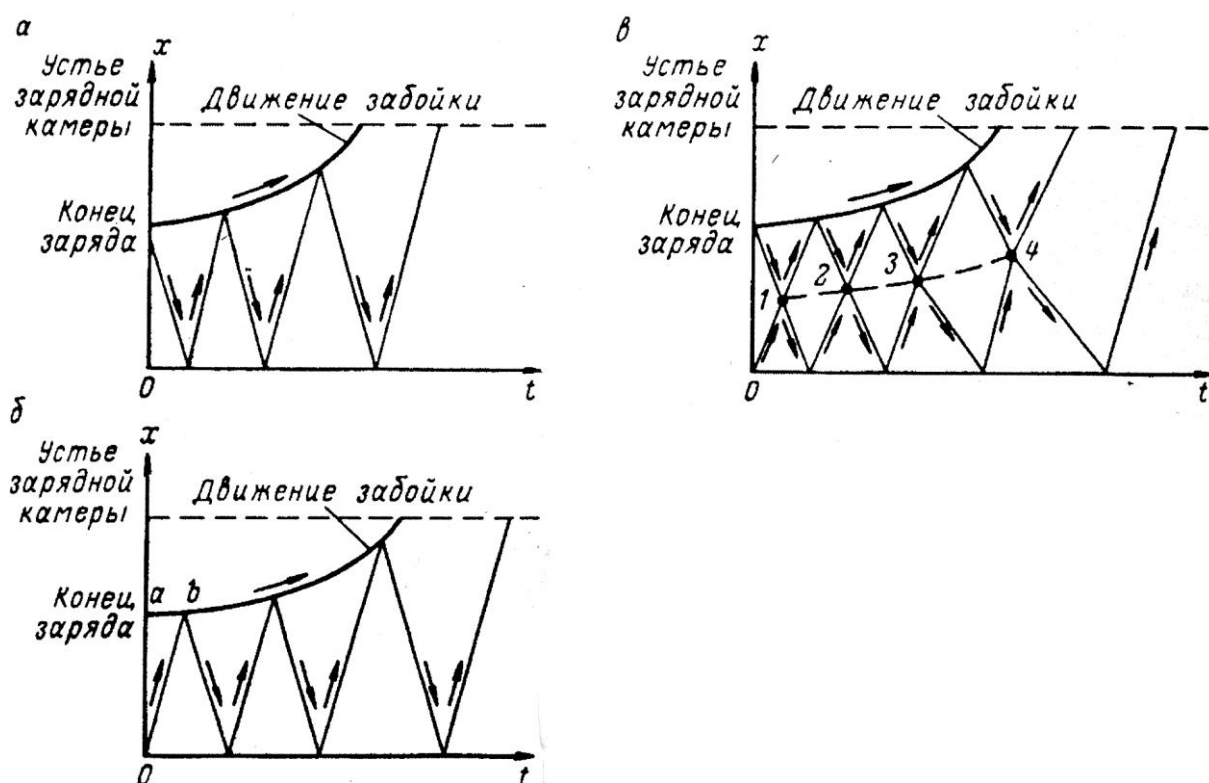


Рис. 1.7. Схема движения забойки и ударных волн, возникающих при взрыве удлиненного заряда: а – при прямом инициировании зарядов; б – при обратном инициировании зарядов; в – при двустороннем инициировании зарядов

Промежуток времени с момента завершения детонации заряда до начала отрыва и сдвижения пород зависит от величины давления продуктов детонации в зарядной полости, характера сопротивляемости разрушаемых пород, количества свободных поверхностей забоя, л. н. с. и для однотипных пород и забоев является величиной вполне определенной.

Пусть для каких-то конкретных условий время отрыва и сдвижения пород определяется абсциссой t_p (рис. 1.8).

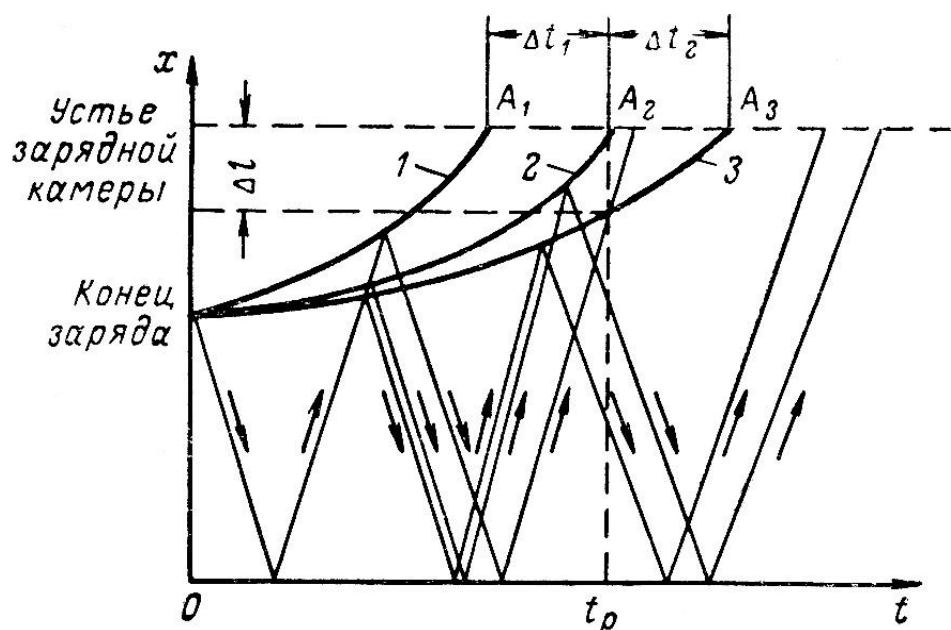


Рис. 1.8. Схема взаимодействия забойки и ударных волн, возникающих во время взрыва удлиненного заряда: 1 - забойка меньше оптимальной; 2 - оптимальная забойка; 3 - забойка больше оптимальной.

Величину забойки, а следовательно, и скорость ее вылета из полости, можно подобрать такими, чтобы герметизация устья зарядной полости поддерживалась ровно до момента начала отрыва и сдвижения пород. В этом случае время вылета забойки t_3 , характеризуемое абсциссой точки A_2 , будет совпадать с величиной t_p .

При уменьшении величины забойки повышается скорость ее движения под воздействием продуктов детонации и полное время вылета забойки в данном случае определяется абсциссой точки A_1 , значение которой меньше t_p на величину Δt_1 . Следовательно, при уменьшенной забойке продукты детонации будут воздействовать на массив не все позволяемое условиями забоя время t_p , а только в течение промежутка времени $\Delta t = t_p - \Delta t_1$, в результате чего часть энергии взрыва, передаваемой разрушаемой среде, будет меньше максимально возможной.

Если же увеличить длину забойки так, что время ее вылета повысится на величину Δt_2 , то при неизменном значении t_p к моменту отрыва и сдви-

жения пород верхняя часть зарядной полости длиной Δl останется заполненной забойкой. Стенки зарядной полости в этой зоне не будут подвергаться непосредственному воздействию продуктов детонации и, следовательно, дробление массива в этом месте может быть неудовлетворительным.

Все это позволяет сделать вывод о том, что оптимальной с точки зрения эффективности взрыва следует признать такую забойку, которая в процессе взрывного разрушения массива обеспечит герметизацию зарядной полости на время, необходимое для отрыва и разрушения пород в направлении л. н. с. Поэтому оптимальные условия дробления пород взрывом удлиненных зарядов ВВ, в зависимости от места их инициирования, можно выразить следующими уравнениями:

- при прямом инициировании

$$t_3 = t_D + t_p, \quad (1.1)$$

где t_D – продолжительность детонации заряда, с

$$t_D = \frac{l_{BB}}{v_D}, \quad (1.2)$$

где l_{BB} – длина заряда, м; v_D – скорость детонации ВВ в заряде, м/с;

- при обратном инициировании

$$t_3 = t_p - t_D, \quad (1.3)$$

- при двустороннем инициировании

$$t_3 = \frac{t_D}{2} + t_p. \quad (1.4)$$

Время вылета забойки из шпура при условии, что вся свободная от заряда часть шпура заполнена забоечным материалом, равно

$$t_3 = \frac{l_3}{v_3}, \quad (1.5)$$

где v_3 – скорость вылета забойки из шпура, м/с.

Окончательно условия максимального использования энергии взрыва (1.1), (1.3) и (1.4) с учетом выражений (1.2) и (1.5) можно представить в следующем виде:

- при прямом инициировании

$$v_D l_3 = v_3 (v_D t_p + l_{BB}); \quad (1.6)$$

- при обратном инициировании

- при двустороннем инициировании

$$v_D l_3 = \frac{v_3}{2} (2v_D t_p + l_{BB}). \quad (1.8)$$

Скорость детонации ВВ в заряде определяется типом используемого ВВ и в каждом конкретном случае является величиной известной. Длина заряда устанавливается исходя из величины удельного расхода ВВ, который рассчитывают по известным формулам или принимают на основе практических данных. Время t_p зависит от характера разрушаемого массива, количества свободных поверхностей забоя, величины л. н. с. и для однотипных забоев определяется экспериментальным путем. По данным МакНИИ [34], при длине шпуров около 2 м t_p имеет следующие значения: в песчаниках при одной свободной поверхности забоя $4,3 \dots 10 \text{ мс}$; в тех же

породах при двух свободных поверхностях забоя 0,2...12 мс; в глинистых сланцах при одной свободной поверхности забоя 6... 58 мс; в тех же породах при двух свободных поверхностях забоя 3...27 мс; в угольных забоях при одной свободной поверхности 9...33 мс. Следовательно, для того чтобы по уравнениям (1.6), (1.7) и (1.8) определить оптимальную величину забойки l_3 , необходимо знать еще и скорость вылета забойки из зарядной полости, которая зависит как от типа ВВ, так и от физико-механических свойств забоечного материала.

1.3. Влияние забойки скважин на безопасность взрывных работ

Обеспечивая длительную замкнутость зарядной полости, забойка способствует более полному протеканию вторичных реакций в продуктах детонации и соответственно повышает энергию взрыва; это особенно важно для современных крупнодисперсных ВВ типа гранулитов и граммонитов, у которых значительная доля энергии выделяется в процессе вторичных реакций. Обеспечиваемое забойкой завершение вторичных реакций дополнительно уменьшает количество ядовитых газов в продуктах детонации в 8...14 раз. Отсутствие или недостаточность забойки создают благоприятные условия для возникновения сильной воздушной ударной волны, с расстоянием перерождающейся в звуковую. Звук взрыва вместо глухого становится резким, отмечаются повреждения стекол даже на больших расстояниях [2].

Хорошая забойка обеспечивает полноту детонации ВВ и с ней максимально возможное выделение энергии взрыва и соответственно наиболее высокую температуру взрыва, а чем выше температура взрыва, тем в большей мере равновесная система $2CO + O_2 \rightleftharpoons 2CO_2$ смещается в сторону CO [7].

Чем на большей части скважины происходит воздействие продуктов взрыва на среду (активная часть), тем полнее использование скважины по ее глубине [14]. Активной частью скважины считают только ее участок, заполненный ВВ. Полезное использование энергии взрыва заряда ВВ и степень дробления можно увеличить перераспределением энергии взрыва за счет образования ВП между отдельными частями заряда и между зарядом и забойкой. В этом случае активная часть скважины складывается из участков скважины, заполненных как ВВ, так и ВП. В связи с этим возникла необходимость установить минимально необходимую активную часть скважины.

Забойка необходима, однако ее следует понимать как необходимость удаления верхней части скважинного заряда ВВ от устья на такое расстояние, при котором взрыв верхней части заряда не произвел бы выброса породы в направлении к устью скважины, сопровождающегося большим разлетом кусков породы и снижением полезного использования энергии взрыва. Именно этим расстоянием предопределяется минимальная длина неактивной верхней части скважины.

При отсутствии воздушного промежутка между забойкой и зарядом длина забойки в неактивной части скважины и ее сопротивление должны быть как можно большими. При наличии воздушного промежутка, разделяющего заряд от забойки, газы взрыва, расширяясь в воздушном промежутке, снижают начальное давление, действующее на столб забойки; поэтому длина забойки при наличии воздушного промежутка между зарядом и забойкой может быть меньше, чем при сплошной забойке, и выполняться в виде «пробки» внизу неактивной части скважины, длина которой подбирается опытным путем.

При отсутствии или недостаточности величины забойки продукты детонации, вырывающиеся через устье скважины, не только создают силь-

ную воздушную волну, способную наносить повреждения зданиям и сооружениям в окрестности, но и выбрасывают на сотни метров из устьевой части скважины куски и отдельные, обусловленные нарушением верхней части массива от взрыва вышележащего уступа [35]. Моделирование взрыва показало, что диаметр среднего куска с 6,52 мм при полной песчаной забойке возрос до 11,64 мм при взрывании без забойки, или на 78 % из-за соответствующих потерь энергии. Напротив, применение воздушного промежутка между зарядом и укороченной песчаной забойкой улучшило дробление, уменьшив диаметр среднего куска до 5,67 мм, или на 13 % по сравнению с полной забойкой.

При многорядном короткозамедленном взрывании (МКЗВ) из-за недостаточности забойки проявляется преобладающее действие взрыва по оси скважины к ее устью; в результате, несмотря на соблюдение принципа максимального заполнения скважины ВВ, наблюдается завышение подошвы уступа.

В работе [36] обосновано использование забоек на жидкостной основе: внутренней гидрогелевой, внешней и внутренней гидрозабойки скважин, а также забоек с применением ПАВ, как основных способов подавления выбросов непосредственно в момент взрыва, способных сократить их количество и значительно погасить высоту подъема формируемого пылегазового облака.

Внутренняя гидрогелевая забойка скважин представляет собой забойку из щебня на высоте 2...2,5 м и гидрогель – в свободной неактивной части скважины. При заправке жидких компонентов в скважину они пропитывают слой щебенки, заполняют трещины в породе, превращаясь в студнеобразную массу. Компоненты гидрогеля над устьем скважины образуют внешнюю гидрогелевую забойку. Собственно гидрогель — это водный раствор жидкого стекла и коагуляторов (отвердите-

лей). В качестве коагуляторов могут использоваться соляная и серная кислоты, серноокислый аммоний, питьевая сода, аммиачная селитра и др. Время гелеобразования регулируется соотношением гелеобразующих компонентов и их температурой. При взрыве гидрогель превращается в жидкую фазу, которая, распыляясь, смешивается с пылью и смачивает ее. При расходе на одну скважину от 100 до 300 кг гидрогеля средняя эффективность пылеподавления, по данным НИИБТГ, составила 58 % (максимальная – 70 %). Трудозатраты на забойку 100 скважин при этом составляют 1 ч/смену.

Результаты использования гидрозабойки при массовых взрывах на карьерах Кривбасса по данным восьми экспериментальных взрывов представлены в табл. 1.6.

Анализ данных кинорегистрации процесса формирования пылегазового облака при применении внешней гидрозабойки показал, что этот метод уменьшает начальную скорость вылета газов взрыва и забойки из скважины в среднем на 30...40 % и максимальную высоту подъема пылегазового облака в 3...4 раза. Причем за счет коагуляции оптическая плотность облака быстро уменьшается. Получены также представительные экспериментальные данные по эффективности пылегазоподавления: эффективность пылеподавления – 33...55 %, а газоподавления – от 32 до 64 %. Вследствие того, что использование забоек на жидкостной основе позволяет более чем в 2 раза снизить высоту подъема пылегазового облака, пылевые выбросы оседают в карьере, практически не выходя за его пределы.

Необходимо отметить, что эффективность пылегазоподавления может быть повышена за счет применения в жидкостных забойках экологически чистых поверхностно-активных веществ (ПАВ) и увеличения расхода воды во внешней гидрозабойке. Правда, ПАВ резко увеличи-

вают затраты на забойку и себестоимость взрывания. Объемы горной массы, отбитой в 1990 и 1991 г. с использованием забоек на жидкостной основе, составили соответственно 6908 и 24 251 *тыс. м³*, позволивших уменьшить вынос пыли из карьеров на 1039,5 и 3152,6 *т*.

Таблица 1.6

Показатели экспериментальных взрывов с использованием гидрозабойки [36]

Тип и крепость пород	Участок блока	Объем взорванной горной массы, <i>тыс. м³</i>	Удельный расход ВВ, <i>кг/м³</i>	Тип забойки	Средняя концентрация пыли в облаке, <i>мг/м³</i>	Удельный расход воды, <i>л/кг</i>	Эффективность подавления, % (пыли/газа)
Магнетито-гематитовые, $f = 10 \dots 12$	<i>K</i>	29	0,59	<i>З</i>	1570	–	–
	<i>Э</i>	42	0,59	<i>Г</i>	675	0,67	52/64
Тальковые сланцы, $f = 6 \dots 8$	<i>K</i>	22	0,47	<i>З</i>	183	–	–
	<i>Э</i>	79	0,47	<i>Г</i>	121	0,36	33/32
Сланцы, $f = 6 \dots 8$	<i>K</i>	142	0,71	<i>З</i>	198	–	–
	<i>Э</i>	61	0,71	<i>Г</i>	126	0,37	35
Магнетито-силикатные кварциты, $f = 10 \dots 14$	<i>K</i>	39,8	0,5–0,8	<i>З</i>	1160	–	–
	<i>Э</i>	32	0,5–0,8	<i>Г</i>	520	0,54	55/52

Примечания: *K* – контрольный участок блока; *Э* – экспериментальный участок блока; *З* – засыпная забойка отсевом горной массы; *Г* – гидрозабойка.

Близкие результаты приведены в работе [37]. Эффективность пылеподавления при массовых взрывах определялась путем сравнения концентрации пыли в пылегазовом облаке при взрывах блоков одинаковых пород с применением гидрозабойки и без нее, т. е. с забойкой из отсева дробильно-сортировочной фабрики.

Эффективность пылеподавления при массовых взрывах на карье-

ре «Северный» составила: с использованием комбинированной гидрозабойки 89,4 %, внутренней 84,7 %, и внешней 53,1 %. Удельный расход воды составлял соответственно 1,38, 0,79 и 1,04 кг/м³ при взрыве скважинных зарядов массой 126...294 кг. При взрывах на карьере НКГОКа с внутренней гидрозабойкой скважин эффективность пылеподавления составила 50,4 % при взрыве скважинных зарядов массой 450...620 кг с удельным расходом воды 0,46 кг/м³.

Авторы статьи отмечают, что эффективность пылеподавления возрастает при увеличении удельного расхода воды и уменьшении массы скважинного заряда.

Патентом РФ [38] предложено размещение в неактивной части скважины изолирующего рукава с забойкой на основе водного раствора анионо-активного ПАВ (АПАВ), отделенного от ВВ воздушным пространством, величина которого составляет не менее 0,35 длины неактивной части скважины. Испытания такого устройства дали положительные результаты по осаждению облака пыли. Однако такая забойка слабо запирает продукты взрыва и снижает КПД взрыва.

Забойка из растворов ПАВ, позволяющая за счет смачивания пыли снизить воздействие взрыва на окружающую среду, испытывалась в полигонных условиях. С помощью взрыва заряда ВВ производили выброс навески железорудной пыли массой 40 кг с крупностью частиц менее 71 мкм, подавление пылегазового выброса осуществляли струей диспергированного раствора, которая выбрасывалась в эпицентральный зону взрыва с помощью аппарата импульсного выброса с расстояния 25 м. Масса раствора при этом во всех опытах была постоянной и составляла 100 кг. Регистрация процесса развития пылегазового облака взрыва и эффективности его подавления осуществлялись киносъемкой со скоростью 48 кадр/с. Для сравнительной оценки эффективности пылеподавления киносъемкой

фикси́ровали развитие пылегазового облака при взрыве без пылеподавления, с применением пылеподавления диспергированной водой, водным раствором АПАВ и водным раствором ПАВ композиционного состава по предлагаемому способу.

При пылеподавлении водой пылегазовое облако взрыва проходило через столб диспергированной воды, практически не смачиваясь, и под действием ветровой нагрузки перемещалось за пределы полигона. При использовании раствора АПАВ 1%-й концентрации не коагулировалось до 30...40 % выбрасываемой пыли за счет проскока ее из-за недостаточной смачивающей способности АПАВ. Применением раствора 0,8%-й концентрации ПАВ предлагаемой композиции в условиях эксперимента вся пыль коагулировалась и осаждалась в зоне взрыва. Через 3 с с момента взрыва в атмосфере оставались преимущественно следы газовой фазы.

Промышленные испытания, проведенные на карьерах СевГОКа, подтвердили результаты лабораторных и полигонных испытаний. Испытания проводились на промышленных блоках при существующих на карьерах параметрах буровзрывных работ. На контрольных блоках забойку скважин производили кварцитным отсевом обогатительных фабрик, а на опытных блоках – водным раствором АПАВ и раствором ПАВ композиционного состава.

В условиях испытаний в скважины размещали по описанной выше технологии 90...110 л раствора. Концентрация раствора ПАВ изменялась от 0,5 до 1,5 %. Воздушный промежуток между зарядом и раствором ПАВ составлял 0,35...0,50 от длины неактивной части скважины. Развитие пылегазового облака фикси́ровали с помощью фотосъемки, замер концентрации пыли в ближней зоне проводили с помощью автоматических пылегазоотборников, устанавливаемых на расстоянии 40...50 м от блока. Кроме того, производили отбор газа из взорванного массива. Замеры концентрации

пыли и газа производили совместно с сотрудниками ВНИИБТГ.

В результате проведенной серии взрывов было установлено, что за время формирования пылегазового облака (5...7 с) высота его подъема на контрольных блоках была в 2...3 раза больше, чем на опытных; процесс коагуляции пыли в облаке при применении растворов ПАВ завершался за 70...80 с с момента взрыва. При этом следы облака не выходили за пределы защитной санитарной зоны карьера.

Для достижения указанного эффекта концентрация предлагаемой смеси не превышала 0,8 % АПАВ, минимальная концентрация составляла 1,5 %. Расход водного раствора ПАВ составил 0,12...0,26 л на 1 м³ взорванной горной массы. В момент взрыва с использованием предложенного способа пылеподавления в атмосферу поднималось в 1,8...2,5 раза меньше пыли, количество ядовитых газов (условное СО) во взорванном массиве при штатной забойке (кварцитный отсев) составляло 45,62 л/м³, а с применением раствора ПАВ композиционного состава – 16,9 л/м³.

Таким образом, проведенные лабораторные, полигонные и промышленные испытания предложенного способа ведения взрывных работ показали, что он предохраняет изолирующую оболочку рукава от разрыва, повышает эффективность воздействия продуктов детонации ВВ на массив, при уменьшенном расходе ПАВ обеспечивает эффективное пылегазоподавление при массовых взрывах.

В работе [39] подчеркивается, что одним из факторов, влияющих на эффективность действия взрыва, является забойка скважин (ее конструкция, величина, материал, качество). Несмотря на большой опыт применения различных типов забойки и запирающих зарядов как на отечественных предприятиях, так и на зарубежных, забойка как метод совершенствования БВР на карьерах НПО «Сибруда» широкого распространения не получила. Так, на карьерах Антоновского РУ, разрабатыва-

ющего месторождение кварцита с определенными требованиями к товарному продукту (фракции 25...120 и 120...300 мм), обычно применяют забойку двух типов: полную забойку скважины буровой мелочью и сплошную забойку с размещением в устье скважины дополнительного заряда ВВ массой до 10 кг.

Учеными ВостНИГРИ совместно со специалистами Антоновского РУ разработано несколько типов забойки: забойка неполная (с уменьшенной массой забоечного материала), ступенчатая забойка (забоечный материал рассредоточен на секции воздушными промежутками), запирающий заряд. В лабораторных условиях испытание забоек различных типов проводилось на моделях из свинца и песчано-цементных образцах. Анализ результатов испытаний показал, что разработанные конструкции забоек и запирающий заряд различаются эффективностью запираения. На моделях из свинца после взрыва образуются разные по форме и объему полости.

Взрывание без забойки или с применением запирающего заряда приводит к образованию полости сферической формы небольшого объема непосредственно в месте нахождения сосредоточенного заряда и к максимальной интенсивности ударной воздушной волны (УВВ). Взрывание с неполной, полной и ступенчатой забойками ведет к образованию полости грушевидной формы, большей по сравнению с полостью, получаемой от взрывания заряда без забойки, в 1,95...2,02 раза, и к снижению интенсивности УВВ более чем в 3 раза. Изменение интенсивности УВВ, объема полости, ее формы показывает, что тип забойки влияет на процесс истечения продуктов детонации из скважин, а значит, и на действие взрывных газов на стенки взрывной полости.

Оценка результатов взрывов по отбитому объему модели и диаметру среднего куска показывает, что взрывание без забойки или с запирающим

зарядом почти в 2 раза уменьшает объем отбиваемой массы модели (по сравнению с применением забойки различных типов). Это подтверждает необходимость использования забойки. Применение в качестве забойки запирающего заряда незначительно (на 6,9 %) уменьшает средний диаметр куска по сравнению с взрыванием без забойки. Применение забоек различных типов дает приблизительно одинаковый выход отбитой массы на одну скважину, но ступенчатая забойка и забойка-пробка обеспечивают меньшее число негабаритных кусков. Диаметр среднего куска при использовании ступенчатой забойки на 23,3 % меньше, чем при взрывании без забойки. Разработанные конструкции забойки испытаны в условиях карьера Антоновского кварцитового рудника в блоках № 47 а, 50 и 51 на гор. +226 м. Блоки, представленные кварцитом средней крепости ($f = 10 \dots 12$), были обурены двумя-тремя рядами наклонных скважин ($D = 243 \text{ мм}$). Удельный расход ВВ, сетка расположения скважин, интервалы замедления принимались типичными для рудоуправления. Длина наклонных скважин равнялась 14...15 м, масса заряда – 200...300 кг, длина забойки – 8...11 м. Эффективность забойки оценивалась по времени задержки выброса ее из скважины и сравнивалась с взрыванием зарядов с полной (до устья скважины) забойкой и без нее. Момент инициирования и начало вылета забойки из скважины зафиксированы при помощи скоростной кинокамеры.

Различные типы забойки создавались следующим образом:

- при неполной забойке скважины верхняя часть (40 %) оставалась незаполненной;
- при создании ступенчатой забойки на основном заряде располагали забоечный материал 1,6...2,0 м, затем с помощью специального устройства формировали воздушный промежуток высотой 1,5...2,0 м, оставшуюся часть скважины засыпали забойкой;

— для запирающих зарядов инициирующе-запирающие устройства изготавливали на расходном складе, доставляли на заряжаемый блок и размещали в скважинах над основным зарядом.

Блоки разбивали на контрольные и экспериментальные участки, причем число скважин на участке было не менее пяти в ряду.

Анализ результатов взрыва показал, что развал горной массы на экспериментальных участках практически не отличался от развала, полученного при взрывании с применением полной забойки скважины. На участках, где проводилось взрывание без забойки, на поверхности развала наблюдался крупнокусковой кварцит. Применение запирающего заряда увеличивает время задержки выброса из скважины продуктов детонации по сравнению с взрыванием без забойки в среднем на 16 *мс*.

Время задержки выброса забойки из скважины составляет: 124...140 *мс* для полной забойки, 120...128 *мс* для неполной и 135...145 *мс* для ступенчатой забойки. Следовательно, неполная забойка обеспечивает время задержки выброса продуктов взрыва в среднем на 6,7 % меньше, а ступенчатая — на 6,7 % больше, чем обычно применяемая полная забойка. С учетом полученных результатов рекомендовано применять более экономичные неполную и ступенчатую забойки.

В то же время в работе [40] указывается, что максимальная высота подъема пылегазового потока во времени при активной забойке примерно в 1,5 раза ниже, по сравнению с взрывом зарядов при обычной забойке (рис. 1.9).

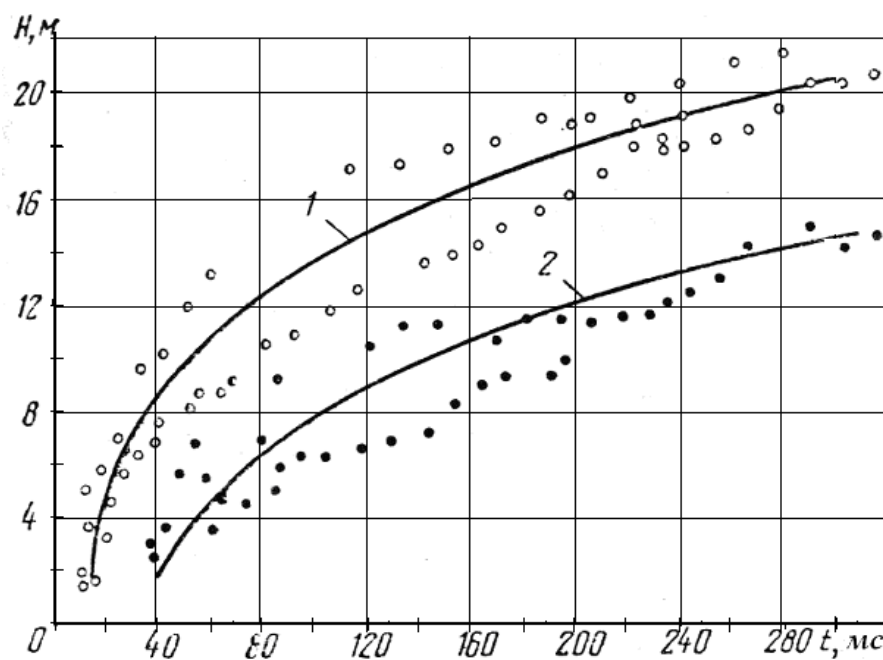


Рис. 1.9. Изменение высоты подъема газов взрыва из устья скважин во времени:
 1 – при зарядах с обычной забойкой из бурового шлама; 2 – при зарядах с активной забойкой

Таким образом, ведение взрывных работ без забойки ни с экономической, ни с санитарно-гигиенической точки зрения нельзя признать обоснованным.

Глава 2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАБОЙКАМ НА КАРЬЕРАХ

2.1. Материалы, используемые для забойки скважин

Качество забойки зарядов ВВ прежде всего зависит от применяемого забоечного материала. Специальными исследованиями [41] установлено, что величина сопротивления, приходящегося на единицу площади поперечного сечения забойки одинаковой длины, но изготовленной из различных материалов, изменяется в широких пределах (рис. 2.1). Поэтому правильный выбор материала забойки имеет большое практическое значение.

Основными требованиями, предъявляемыми к забоечным материалам, являются: обеспечение высокой эффективности взрыва; удобство в обращении и возможность механизации работ по забойке, а также низкая стоимость. Из-за хорошей пластичности и дешевизны в качестве забоечного материала наиболее часто используют глину, суглинки или искусственно приготовленную песчано-глинистую смесь. Однако осуществление такой забойки связано с большой трудоемкостью. Это привело к поискам новых более эффективных видов забоечных материалов. Неясность теоретических предпосылок о влиянии забойки в процессе взрывного разрушения горных пород и сейчас еще не позволяет решить вопрос о выборе наиболее подходящих материалов для забойки с учетом всех факторов. Поэтому применение на первый взгляд прогрессивного вида забойки часто не обеспечивает улучшения показателей взрыва.

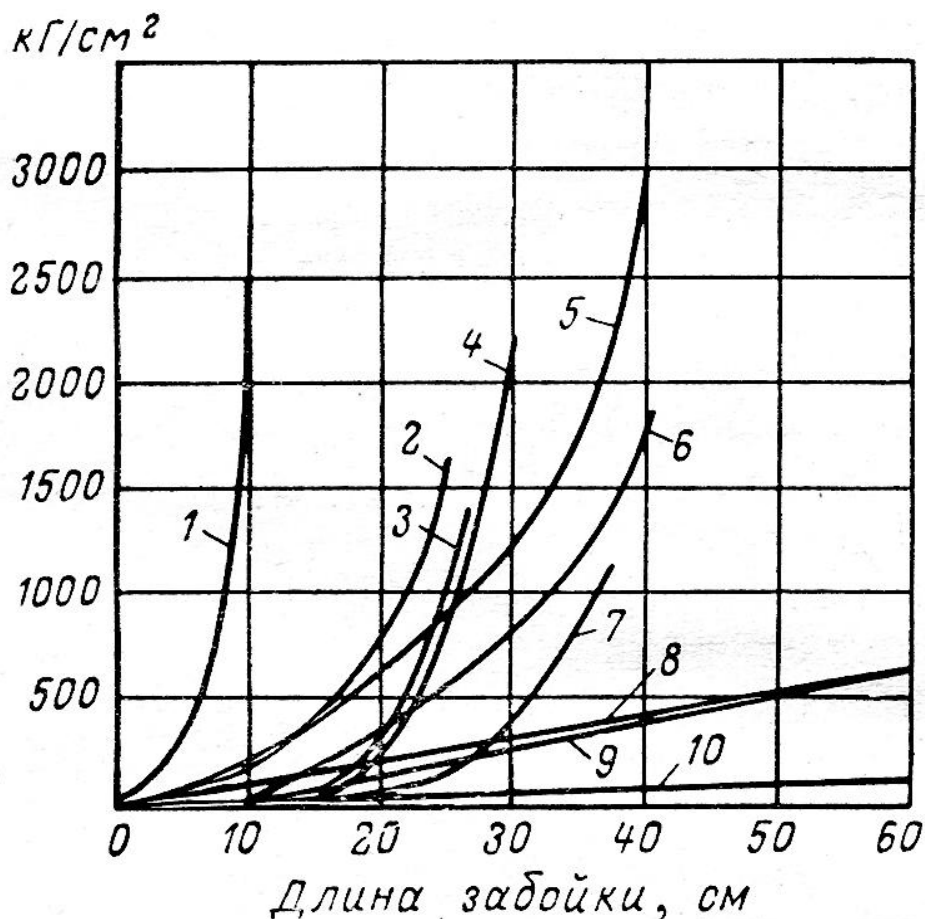


Рис. 2.1. График зависимости сопротивления забойки от ее длины для различных материалов (по Тейлору): 1 – песок с 50-миллиметровой пробкой из пластика; 2 – сухая сланцевая мелочь; 3 – смесь известковой мелочи с песком; 4 – известковая пыль; 5 – мокрый песок; 6 – песчано-глинистая смесь при влажности 7 %; 7 – смесь известковой крошки с песком; 8 – глина при влажности 7 %; 9 – песчано-глинистая смесь при влажности 12 %; 10 – глина при влажности 16 %

Многолетняя практика ведения взрывных работ показывает, что даже один и тот же тип забойки в разных условиях обеспечивает неодинаковые результаты взрыва. Поэтому все новые виды забойки необходимо тщательно изучать и вопросы выбора материала для забойки зарядов следует решать на основе всестороннего учета конкретных условий ведения взрывных работ, свойств разрушаемых пород и применяемых ВВ, и пр. По физико-механическим свойствам и характеру сопротивления, препятствующему истечению из шпура газообразных продуктов детонации, забойки можно сгруппировать следующим образом.

1. Забойка из пластичных материалов (глиняная, песчано-глинистая и забойка из суглинков) оказывает сопротивление выталкивающему действию продуктов детонации за счет совместного действия инерции покоя массы забойки, сил трения и сил внутреннего сцепления забоечного материала.

2. Забойка из сыпучих материалов (песка, бурового шлама, гранулированного доменного шлама и т. п.) оказывает сопротивление продуктам детонации только за счет инерции своей массы и сил трения, поскольку силы сцепления между частицами сыпучих материалов отсутствуют. Обеспечивает весьма надежную герметизацию зарядной камеры.

3. Жидкостная забойка имеет две разновидности: полную заливку водой, оставляемой под забойку зарядной полости или использование наполненных водой или растворами смачивателей пластиковых ампул. В последнем случае устье скважин иногда частично заполняют песчано-глинистой забойкой.

Сюда же относится и забойка из текучих материалов (пульпа из породной пыли или буровой мелочи и пасты). По сопротивлению, оказываемому продуктам детонации, забойка этого типа занимает промежуточное положение между забойками из пластичных и жидких материалов.

4. Забойка пробками из твердых материалов (дерева, пластмассы) удерживает продукты детонации в зарядной полости в основном за счет расклинивания пробок в устье скважины. К этому типу можно отнести также забойку из минеральной ваты.

5. Забойка растворами быстротвердеющих вяжущих веществ оказывает сопротивление выталкивающему действию продуктов детонации главным образом за счет сил сцепления забоечного материала со стенками зарядной полости, инерции покоя массы забойки и частично за счет сил трения.

Существуют различные мнения по выбору материала забойки и опре-

делению ее оптимальной длины. Были проведены исследования влияния забойки в лабораторных и производственных условиях в породах крепостью $f = 4 \dots 16$ с применением разных типов ВВ и материалов забойки [13].

Влияние забойки наиболее резко сказывается при разрушении слабых и средней крепости пород: изменение выхода различных фракций колеблется в пределах до $25 \dots 27$ %. В то же время влияние забойки на разрушение образцов из крепких пород менее заметно (изменение выхода различных фракций не превышает $5 \dots 6$ % от общей массы образца).

Забойка, особенно из сыпучих материалов, более действенно сопротивляется ударной нагрузке, которой в первый момент является взрыв заряда. При этом забойка уплотняется, образуется «пробка», которая затем эффективно сопротивляется нарастающему и установившемуся давлению газообразных продуктов взрыва. Чем выше скорость приложения нагрузки, тем короче, но плотнее образовавшаяся «пробка». Чем ниже скорость распространения ударных волн в применяемых забоечных материалах, тем выше их эффект как забойки. Поэтому сыпучие материалы (песок, соль, буровая мелочь, металлургический шлак) являются наиболее эффективными и пространственными материалами забойки.

В работе [42] на модели скважины диаметром 10 мм и длиной 130 мм определяли скорость движения забойки из различных материалов с учетом их сжимаемости. На рис. 2.2 показано изменение скорости движения участка забойки длиной 10 см, выполненной из смеси дробленого гранита фракции $2 \dots 3$ мм (60 % массы забойки) с мелким песком фракции $0,25 \dots 0,5$ мм. Видно, что характер изменения скорости движения забойки различен при разной глубине. Анализ экспериментальных данных скорости вылета нижних слоев, расположенных на глубине 80 мм (кривая 3), показывает, что вначале происходит возрастание скорости движения забойки вследствие воздействия на ее торец ударной волны и поршнево-

го давления продуктов взрыва.

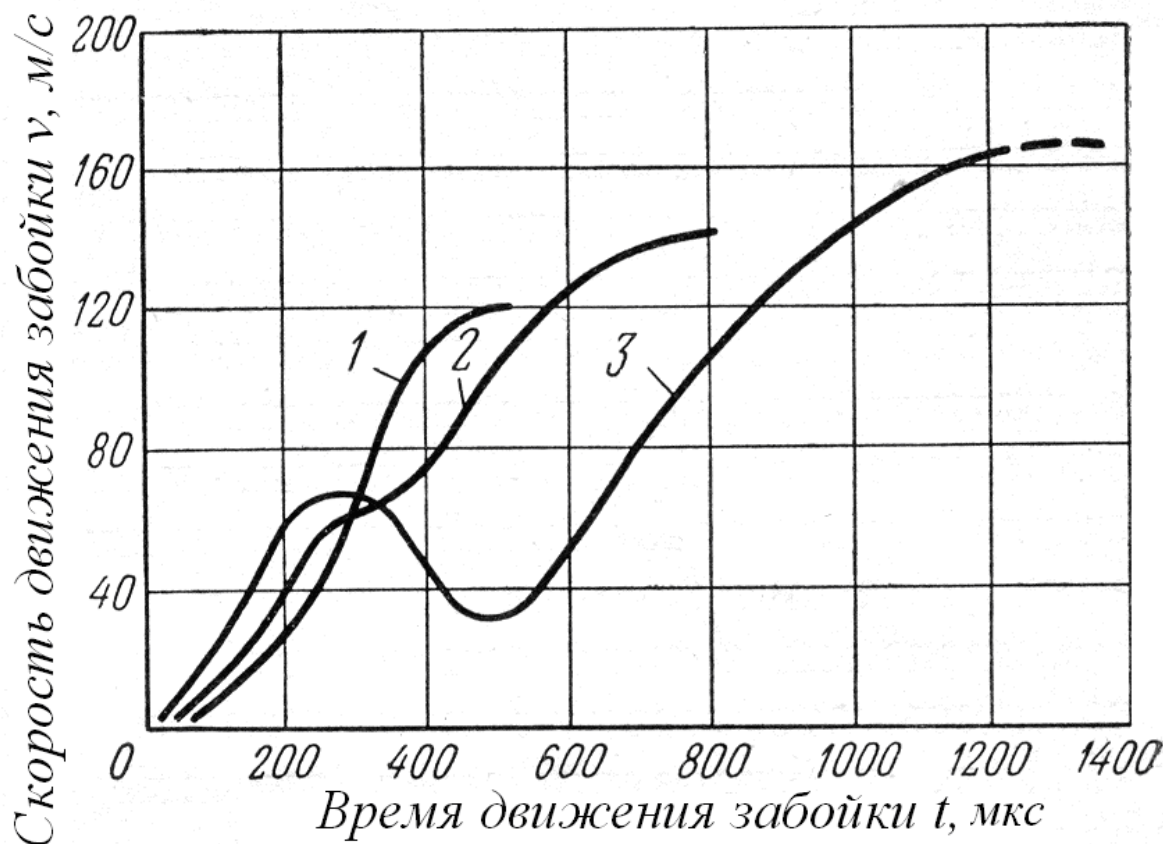


Рис. 2.2. Характер изменения скорости движения различных слоев забойки в скважине, в зависимости от их расположения по глубине:
1 — 20 мм от устья скважины; 2 — 50 мм; 3 — 80 мм.

Нижняя часть забойки, получившая ударный импульс, передает его соседним частицам, в результате чего происходит резкое уплотнение забоечного материала и увеличение сил трения как между частицами забоечного материала, так и между забойкой и стенками скважины. Вследствие переуплотнения нижней части забойки скорость ее вылета несколько снижается. Касательные напряжения становятся равными напряжению внутреннего трения, забойка переходит в состояние предельного равновесия, а при увеличении касательного напряжения она разрушается — происходит сдвиг. В результате действия сил трения забойка не скользит, а срезается по цилиндрической поверхности, весьма близко совпадающей с боковой поверхностью скважины, и вылетает с возрастающей скоростью.

После среза забойки дальнейшему ее движению препятствуют лишь ее масса и силы трения.

Определение скорости вылета верхней части забойки (кривая 1) показало, что здесь отсутствуют характерные перепады скорости движения забойки, наблюдавшиеся в нижней ее части. Движение верхней части забойки начинается позже и с возрастающей скоростью продолжается вплоть до вылета ее из скважины. На основании полученных результатов можно полагать, что существует критическая длина забойки $L_{кр}$, на протяжении которой ее материал уплотняется и срезается под действием взрывной нагрузки, остальная же часть ($L_z - L_{кр}$) представляет собой инерционную преграду при вылете нижних слоев. Эта часть забойки, будучи вовлечена в движение, в дальнейшем мало влияет на движение основной ее части.

Эксперименты в производственных условиях подтвердили высокую эффективность забойки вообще и сыпучей в особенности при любой крепости разрушаемого массива, хотя влияние забойки в крепких породах меньше, чем в слабых и средней крепости. Чем выше была скорость детонации применявшегося ВВ, тем короче получалась необходимая длина забойки без снижения эффективности взрыва. Следует подчеркнуть, что хотя в крепких породах влияние забойки на основные показатели взрыва меньше, чем в породах мягких и средней крепости, тем не менее ее наличие уменьшает развал взорванной породы и выход негабарита (на 30...40 % и более), увеличивая производительность и коэффициент использования выемочно-погрузочных машин.

В работе [43] изложены результаты экспериментальных исследований по взрыванию шпуров глубиной 1,5 м в породах крепостью $f = 1...6$, причем большинство из них вязкие. В этих условиях *стаканы* имеют сильно раздутую форму – диаметр шпура увеличивается в 5...7 раз. Эксперименты

производили с песчано-глинистой забойкой, деревянными и самозаклинивающимися бетонными пробками, сопоставляя результаты с взрывами без забойки. По сравнению с показателями при взрывании без забойки применение песчано-глинистой забойки, деревянных и бетонных самозаклинивающихся пробок позволило соответственно снизить: удельный расход ВВ – на 12,9 %, 3,1 и 19,6 %; трудоемкость буровзрывных работ – на 4,5, 7,9 и 14,6 % и основных операций выемочного цикла – на 10,8, 16,4 и 19,2 %. Улучшение показателей при использовании бетонных самозаклинивающихся пробок автор объясняет их лучшим сопротивлением выталкивающим силам, поскольку с увеличением последних возрастает боковой распор, увеличивающий силу трения между стенками шпура и клиньями забойки.

В работе [44] предложена конструкция забойки скважинного заряда на воздушной подушке (с воздушным промежутком между зарядом и забойкой), позволяющая при оптимальном соотношении длины промежутка к длине заряда 0,12...0,43 увеличивать длительность воздействия взрыва на массив, снижать сейсмический эффект в 1,4...2,0 раза и локализацию ударных воздушных волн в 3...4 раза. Исследованы различные конструкции забойки в приустьевой части скважин, взрывааемых на одну свободную поверхность. Во всех экспериментах применяли фиксированную массу заряда в 21 кг (длина заряда 0,5 м) при изменении глубины скважин от 2 до 4 м. Были отмечены резкие различия интенсивности ударных воздушных волн для разных конструкций забойки: при опытных взрывах зарядов со сплошной забойкой и с забойкой на воздушной подушке различия давлений в УВВ составляли от 3,5 до 4,5 раз. По сейсмическому эффекту различия ниже и составляют от 1,5 до 2,0 раз. Забойка, сформированная непосредственно на заряд, имеет худшие показатели, чем такая же длина забойного материала, отделенная от заряда ВВ воздушной подушкой.

Подавляющее большинство методов, снижающих сейсмическое и ударно-волновое действие взрыва, одновременно приводит к лучшему дроблению массива [45]. Таким образом, снижение сейсмического и ударно-волнового эффекта при взрывании с забойкой на воздушной подушке подтверждает повышение качества дробления пород за счет увеличения КПД взрыва.

2.2. Определение рациональной длины забойки

Многолетняя практика взрывных работ, а также специальные экспериментальные и аналитические исследования свидетельствуют о том, что при хорошем качестве забоечного материала и достаточной длине забойка настолько уплотняется в шпурах, что возникающее при этом трение превышает выталкивающее действие продуктов детонации. Такая забойка образует в шпуре плотный клин, который из шпура не вылетает, а движется вместе с разрушаемым массивом. Об этом свидетельствуют также экспериментальные исследования И. И. Гогичева [13], который установил, что при воздействии ударной нагрузки на колонку засыпанного в трубку песка некоторая часть последнего плотно расклинивается, образуя прочную пробку. Причем длина этой пробки уменьшается с увеличением скорости приложения нагрузки. Минимальная длина запирающей забойки, т. е. такой, при которой образуется прочный не вылетающий из шпура клин, может быть определена из условия, что суммарное сопротивление сил трения по поверхности сдвига забойки должно быть больше или по крайней мере равно выталкивающему воздействию продуктов детонации

$$\Sigma Q_{mp} \geq S, \quad (2.1)$$

где ΣQ_{mp} – суммарное сопротивление сил трения на поверхности сдвига

забойки, H ; S – выталкивающее усилие продуктов детонации, H .

Левую часть неравенства (2.1) можно представить в виде выражения

$$\Sigma Q_{mp} = \pi d l_z \tau_{mp}, \quad (2.2)$$

где d – диаметр шпура, m ; l_z – длина забойки, m ; τ_{mp} – интенсивность сил внутреннего трения уплотненного взрывом забоечного материала, $Па$.

Выталкивающее усилие продуктов детонации S в случае применения пластичной (глиняной или песчано-глинистой) забойки, когда забоечная масса полностью перекрывает сечение шпура и примыкающий непосредственно к заряду торец забойки может рассматриваться как сплошной поршень, будет

$$S_{nl} = \frac{\pi d^2}{4} P, \quad (2.3)$$

где P – среднее давление продуктов детонации в шпуре, $Па$.

При забойке из зернистых материалов, обладающих определенной пористостью, усилие S , выталкивающее забойку, будет меньше, так как торец забойки будет воспринимать давление продуктов детонации не как сплошной поршень, а как поршень с отверстиями. Поэтому усилие продуктов детонации, выталкивающее из шпура забойку из зернистых материалов, определится выражением

$$S_{зep} = \frac{\pi d^2}{4} P(1 - K_n), \quad (2.4)$$

где K_n — коэффициент пористости зернистого забоечного материала. Для песка средней крепости $K_n \approx 0,3...0,4$.

Тогда, с учетом выражений (2.2–2.4), неравенство (2.1) для пластичных и зернистых забоечных материалов можно представить соответственно как

$$l_3 \tau_{TP} \geq \frac{Pd}{4}, \quad (2.5)$$

$$l_3 \tau_{TP} \geq \frac{Pd}{4}(1 - K_n). \quad (2.6)$$

Из выражений (2.5) и (2.6) нетрудно определить минимальную длину запирающей зарядную полость невылетающей пробки. Однако экспериментальные исследования, результаты которых изложены далее, свидетельствуют о том, что некоторая часть забойки, примыкающая непосредственно к устью зарядной полости, через 0,4...0,5 мс с момента начала детонации заряда отрывается и под действием отраженных ударных волн выбрасывается из устья. Поэтому при определении минимальной длины забойки, образующей невылетающую пробку, в выражения (2.5) и (2.6) необходимо вводить поправку, учитывающую отрывающуюся часть забоечного материала. В результате для определения длины соответственно пластичной и зернистой забойки получены следующие выражения:

$$l_{3.пл} \geq \frac{Pd}{4\tau_{mp}} + l_{3.отп}, \quad (2.7)$$

$$l_{3.зер} \geq \frac{Pd(1 - K_n)}{4\tau_{mp}} + l_{3.отп}, \quad (2.8)$$

где $l_{3.пл}$ – длина забойки, при которой в случае использования пластичных забоечных материалов образуется не вылетающая пробка, м; $l_{3.зер}$ – то же, при использовании зернистых забоечных материалов, м; $l_{3.отп}$ – часть за-

бойки в устье шпура, отрываема под действием отраженных ударных волн, *м.*

Исследованием характера выброса забоек различных типов установлено, что величина $l_{з.отр}$ как для пластичных, так и для зернистых материалов составляет в пересчете на диаметр 6...11 диаметров зарядной полости ($D_з$). Произведенный по формулам (2.7) и (2.8) расчет показывает, что пластичная забойка, в зависимости от содержания в ней песка и глины, образует невылетающую пробку при длине забойки $(50...56)D_з$; пробка такой же прочности в случае использования зернистых забоечных материалов образуется при длине забойки $(22...28)D_з$. Однако рекомендовать формулы (2.7) и (2.8) для расчета величины забойки нельзя, поскольку, согласно современным представлениям о механизме взрывного разрушения горных пород и о роли забойки в этом процессе, применение чрезмерно длинной забойки, которая в процессе разрушения массива остается неподвижной в зарядной полости, не может обеспечить оптимальных условий для максимального использования энергии взрыва.

Существование оптимальной величины забойки с точки зрения получения максимального эффекта взрыва подтверждают и экспериментальные исследования И. И. Гогичева [13], который установил, что выход крупных фракций при увеличении длины забойки до определенного значения уменьшается, после чего практически остается неизменным. Выход мелких фракций с увеличением длины забойки, наоборот, имеет тенденцию к возрастанию. Все это еще раз подтверждает, что в каждом конкретном случае существует оптимальная величина сопротивления забойки выбросу из зарядной полости, обеспечивающая максимально возможный, при прочих равных условиях, эффект взрыва.

Одним из основных требований, предъявляемых к результатам буровзрывных работ, является обеспечение достаточно мелкого и равномерно-

го дробления разрушаемого массива, что имеет исключительно большое значение при взрывной отбойке полезных ископаемых. В этом случае хорошее дробление облегчает не только экскавацию и транспорт полезного ископаемого, но и переработку его на обогатительных фабриках.

Для определения рациональной длины забойки с использованием сформулированных выше условий максимального использования энергии взрыва выражений (2.7) и (2.8) и экспериментально измеренных значений скорости вылета забойки, в работе [25] получена формула для определения рациональной длины забойки как при прямом, так и при обратном инициировании зарядов

$$l_z = \beta \sqrt[3]{\frac{Pd(v_D t_p \pm l_{BB})^2}{v_D^2 \gamma_z^2}} \sqrt[6]{\frac{P}{\tau_{mp}}}. \quad (2.9)$$

Знак плюс в выражении под кубическим корнем относится к случаю прямого инициирования зарядов, минус – обратного. Значение коэффициента β определено экспериментальным путем и равно: для забойки из пластичных материалов 0,47, для забойки из зернистых материалов 0,54.

Анализ формулы (2.9) показывает, что необходимая длина забойки зарядной полости определяется свойствами применяемых ВВ (давлением продуктов детонации в зарядной камере и скоростью детонации ВВ), физико-механическими свойствами забоечных материалов (величиной объемной массы и сил внутреннего трения), длиной заряда, направлением его инициирования, а также крепостью разрушаемых пород, количеством свободных поверхностей забоя и величиной л. н. с. Последние три показателя в формуле (2.9) учитываются промежутком времени t_p . На необходимую длину забойки влияет также диаметр зарядной полости. Это объясняется

непропорциональностью роста сопротивления сил трения увеличению выталкивающего забойку усилия продуктов детонации при увеличении диаметра зарядной полости. Если при увеличении последнего выталкивающее забойку усилие возрастает пропорционально диаметру полости в квадрате, то боковая поверхность забойки, а, следовательно, и величина общего сопротивления сил трения увеличиваются пропорционально диаметру полости в первой степени. Именно поэтому для переноса на скважинные заряды качественных и количественных характеристик влияния забойки, полученных на обширном экспериментальном материале для шпуровых зарядов, необходимо использовать диаметр зарядной полости как некую обобщающую характеристику. Формула (2.9) позволяет в каждом конкретном случае решить вопрос о рациональной длине забойки с учетом как свойств ВВ, так и свойств забоечных материалов. Хотя точные значения давления продуктов детонации в зарядной полости для различных типов промышленных ВВ в зависимости от плотности заряжания определить трудно, величины оптимальной длины забойки, определенные по формуле (2.9), с достаточной степенью точности совпадают с данными, полученными в результате специально поставленных экспериментов.

Исследования в алевролитах с $f = 4$ при диаметре скважины 150 мм, высоте уступа 9 м, глубине скважин 10 м и сетке их расположения 4,5х5 м показали, что максимальная длина забойки не должна превышать 32 диаметров скважины – улучшения качественных показателей взрыва нет; минимальная длина забойки равна 16 диаметрам скважины – при дальнейшем ее уменьшении разлет кусков горной массы растет, а качество дробления падает [7]. Экспериментальные исследования влияния укороченной забойки на результаты взрыва, выполненные в работе [46] на объемных моделях из канифоли показали, что наибольшие напряжения распространяются в среде при наличии укороченной забойки из крупнозернистого материала с

рассредоточенным воздушным промежутком зарядом. Оказалось, что материал забойки должен обладать большим коэффициентом внутреннего трения, пластичностью, увеличенной массой и прочностью. При использовании забойки из крупнозернистого материала в момент взрыва крупные частицы забойки из породы расклиниваются и разрушаются одновременно с разрушением массива, способствуя более полному использованию энергии взрыва. Крупнозернистая забойка увеличивает трение от бокового распора и требует большего усилия для среза по боковой поверхности. На основе исследований зависимости времени прорыва продуктов взрыва через забойку и начала ее сдвижения от длины забойки в лабораторных условиях сделан вывод о том, что при ведении взрывных работ длина забойки более $(8...10)D_z$ нецелесообразна. Производственными экспериментами установлено, что забойка длиной до $7D_z$ не снижает эффективность взрывания. Укороченная забойка из дробленого материала: 60 % фракций 15...25 мм, 40 % – отсев с дополнительным зарядом массой 10...20 кг (без увеличения удельного расхода ВВ) снизила выход негабарита на 7...12 %, ширину развала горной массы до 20...25 м при высоте уступа 12...14 м.

2.3. Классификация применяемых забоек скважинных зарядов на карьерах

Практика показала, что полный отказ от забойки привел к увеличению в три раза затрат энергии ВВ и в 1,7 раза объема бурения [2]. Именно поэтому в последнее время все чаще отмечаются поиски новых видов и способов забойки, которые повысили бы эффективность использования энергии ВВ. Идеальной забойкой будет такая, которая будет разрушаться или вылетать из скважины одновременно с разрушением взрываемого массива, тогда можно утверждать, что она полностью выполняет свое назна-

чение. Проведенные опыты по забойке из бетона на гипсглиноземистом расширяющемся цементе показали существенное увеличение объема взрывной полости шпуровых зарядов (в 29 раз) [13]. Наилучшее дробление обеспечивается при применении укороченной забойки и воздушного промежутка над зарядом. Наихудшее – при взрывании без забойки.

Применяемые забойки скважин можно классифицировать по ряду признаков: принципу применения, конструкции, материалу и т. д. На рис. 2.2. приведена многоуровневая классификация забоек – по принципу применения (уровень 1), конструкции (уровень 2) и местоположению конструктивных элементов и материалам для их исполнения (уровень 3).

Рассмотрим подробнее применяемые в настоящее время забойки на конкретных примерах их применения в практике взрывных работ за достаточно обширный исторический период. Рассмотрение начнем, естественно, с наиболее распространенного вида забоек – засыпных (1а), являющихся самым распространенным и самым первым из применяемых видов забойки скважинных зарядов на открытых горных работах.

Засыпные забойки (1а–2а–3а), выполненные из мелких сыпучих материалов и размещенные непосредственно на заряд ВВ, имеют наибольшее применение. Такую забойку скважин необходимо производить после окончания интенсивной усадки колонки заряда ВВ. При этом проводники инициирующего импульса (электрический провод, детонирующий шнур и волноводы) должны иметь слабину, чтобы в случае последующей дополнительной усадки заряда при смещении забойки вниз не произошло их обрыва. При заполнении скважин сыпучей забойкой вручную (рис. 2.3, а) используют либо буровой шлам, либо материал в виде песка, суглинка и тому подобных сыпучих мелкофракционных материалов, которые разрешено завозить на заряжаемый блок автосамосвалами, оборудованными искрога-

сителями и огнетушителями. При этом должен быть исключен наезд на детонирующий шнур.

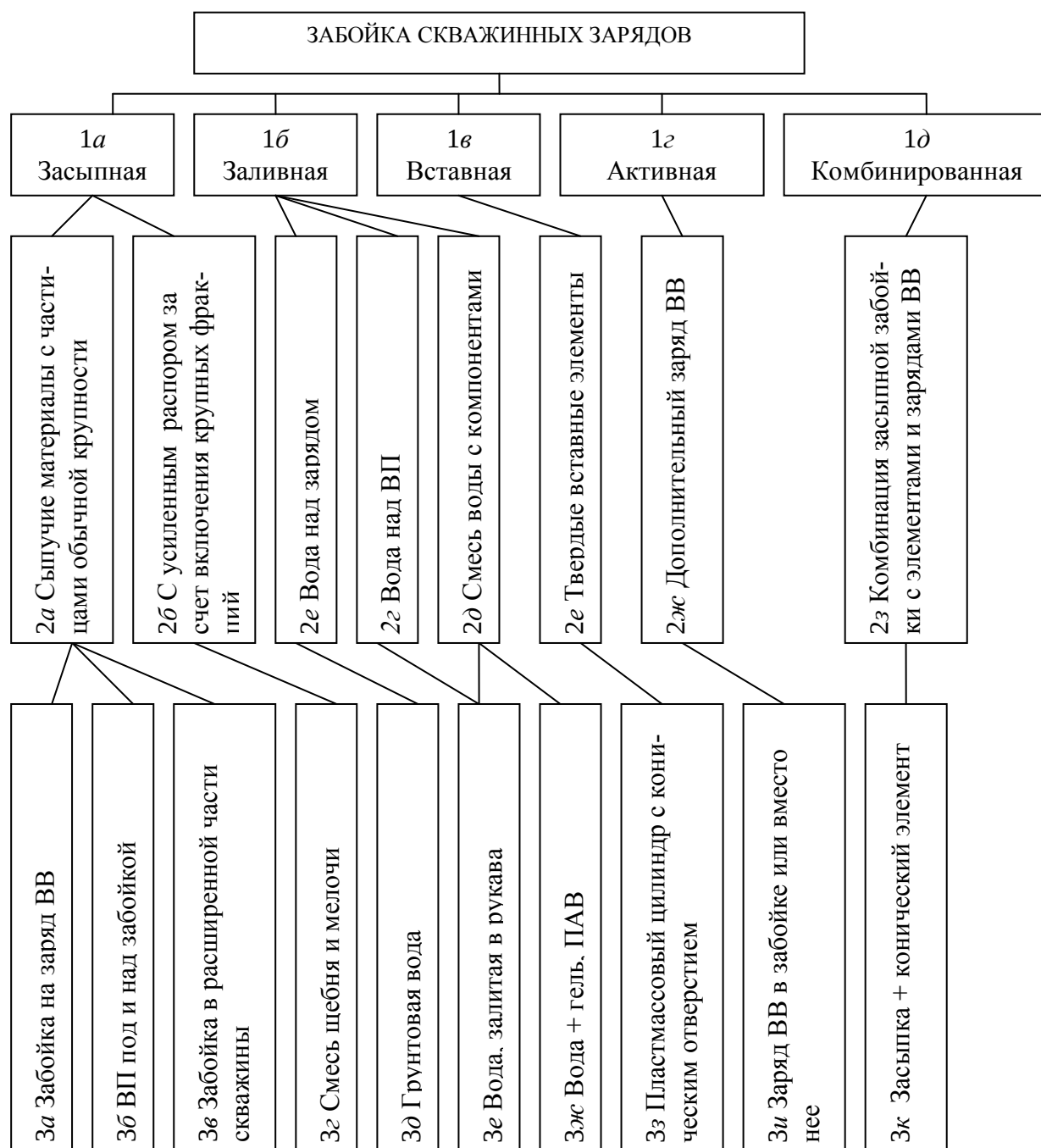


Рис. 2.2. Классификация применяемых забоек скважинных зарядов на карьерах



а)



б)

Рис. 2.3. Заполнение скважины забоечным материалом вручную (а) и общий вид скважинного заряда с засыпной забойкой из бурового шлама (б)

В качестве забойки скважин нельзя применять кусковатый и горючий материал. Заполнять скважины забоечным материалом вручную следует осторожно. Общий вид скважинного заряда с забойкой из бурового шлама представлен на рис. 2.3, б.

Для механизации забойки скважин сыпучими инертными материалами применяют забоечные машины, например, ЗС-1 или ЗС-2 (рис. 2.4, а).



а)



б)

Рис. 2.4. Общий вид забоечной машины на блоке (а) и процесс истечения материала забойки по желобу в скважину (б)

Такая машина, перемещаясь вдоль ряда скважин, заполняет их сыпучим материалом через желоб для засыпки забойки (рис. 2.4, б). Размещать

забойку в скважинах с помощью забоечных машин необходимо в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

Забойку следует различать двух видов: плотно запирающую продукты взрыва в скважине и пористую, через которую происходит фильтрация газов [15]. Первый тип забойки может рассматриваться как поршень с известной массой, равной массе забойки. Пористая забойка может быть представлена как своеобразный фильтр, в котором набегающий газовый поток увлекает частицы забойки. Легкие мелкие частицы увлекаются очень быстро и практически движутся со скоростью газа, тяжелые вылетают значительно позже. Количество истекающих газов определяется эквивалентным отверстием, которое зависит от свойств и размеров забойки.

Подтверждением тезиса о пористой забойке, прозрачной для продуктов детонации являются наши наблюдения при ведении взрывных работ под укрытием из автошин. На рис. 2.5, *а* представлены видеокadres развития взрыва, показывающие действительно первичный прорыв газов взрыва на кадрах слева и только затем выброс забойки (рис. 2.5, *б*). При этом замедление кадров справа достигает 120...160 *мс*.

Засыпная забойка (1а–2а–3б) скважинного заряда предложена в работе [44] в виде конструкции забойки на воздушной подушке (с воздушным промежутком между зарядом и забойкой), позволяющей при оптимальном соотношении длины промежутка к длине заряда 0,12...0,43 увеличивать длительность воздействия взрыва на массив, снижать сейсмический эффект в 1,4...2 раза и локализацию ударных воздушных волн в 3...4 раза (подробнее см. 2.1). В случае взрывания зарядов с воздушными промежутками между ВВ и забойкой разрушение массива происходит с опережением по сравнению с аналогичными, но имеющими полную забойку. Разрушение массива пород как по верхней площадке уступа, так и по ЛНС, при взрыве зарядов, имеющих воздушный промежуток, во всех экспериментах

происходило быстрее, чем при обычных зарядах. Это может быть объяснено только перераспределением энергии взрыва в зарядах с воздушными промежутками, т. е. уменьшением доли энергии, идущей на бесполезное переизмельчение породы, прилегающей к заряду, ибо все остальные параметры оставались постоянными в пределах производственных возможностей.



Рис. 2.5. Проникновение продуктов детонации через засыпную забойку

При применении в четных скважинах (при однорядном их расположении) воздушных полостей между зарядом ВВ и забойкой, а в нечетных — полной забойки при сплошных зарядах разрушение породы будет разновременным, несмотря на одновременность инициирования всех зарядов.

То же происходит, если первый ряд скважин имеет конструкцию забойки с воздушным промежутком, а второй – без него. При такой схеме исключается ряд недостатков КЗВ: отпадает надобность во второй сети ДШ для зарядов, взрываемых с замедлением; упрощается взрывная сеть; не нужны замедлители и нет подбоя ДШ вследствие одновременности взрыва во всех скважинах.

Величину оптимального воздушного промежутка проще и точнее устанавливать по времени начала разрушения массива в зависимости от длины промежутка, которая в конкретных условиях будет соответствовать минимальному времени начала разрушения.

Осциллографирование не обнаружило существенной разницы во времени начала вылета обычной забойки и укороченной с воздушным промежутком: в том и другом случае вылет забойки начинался через 0,4...0,5 мс после инициирования. Это время в 200...250 раз больше времени максимального развития давления в скважине (≈ 2 мкс).

При проведении опытных взрывов с укороченной забойкой [42] использовали принцип воздушного промежутка – его размещали между зарядом и забойкой в скважинах диаметром 230...260 мм в известняках Каракубского месторождения с $f = 8...11$, сложенных горизонтальными слоями от 0,3 до 3 м. В первом опыте в скважине глубиной 15 м основной заряд массой 250 кг помещали в нижнюю часть скважины на длине 6 м; дополнительный заряд массой 30 кг длиной 0,5 м подвешивали на расстоянии 3 м от устья скважины (рис. 2.6, а). Между основным и дополнительным зарядами создавали воздушные промежутки длиной 5,5 м ($20D_3$), близкой к длине нижнего заряда. Верхнюю часть скважины до устья засыпали забойкой длиной 3 м, в то время как при сплошном заряде длина забойки достигала 10 м. При взрыве трехметровый столб забойки из скважины был выброшен, сильно разрушена верхняя часть уступа с отбросом от-

дельных камней на большое расстояние.

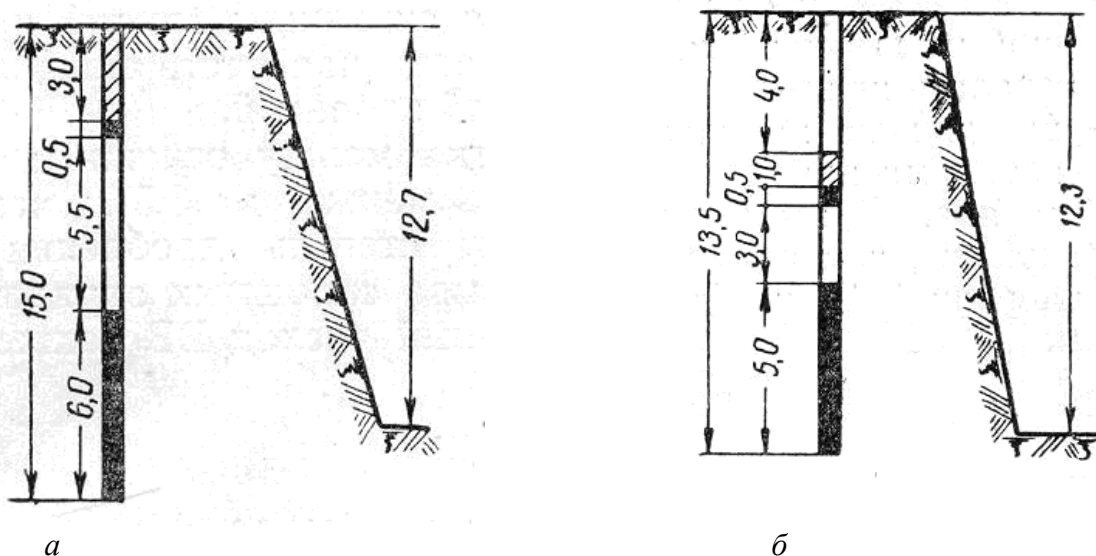


Рис. 2.6. Конструкции зарядов с воздушными промежутками под забойкой

В опыте 2 в скважине глубиной 13,5 м дополнительный заряд был помещен на расстоянии 5 м от устья, высота воздушного промежутка – 3 м (10...12) D_z , на 2 м меньше основного заряда. Сверху дополнительного заряда засыпали метровую забойку, а далее, до устья, оставляли 4 м без забойки, т. е. воздушный промежуток размещали как под забойкой, так и над нею. Выброса забойки не было, дробление породы значительно улучшилось при неизменном удельном расходе ВВ по сравнению со сплошным зарядом и забойкой длиной 8 м. Выход негабарита снизился в 7 раз. Выход фракции размером 20...40 см уменьшился на 19 %, а фракций 41...60, 61...80 и 81...120 см – увеличился соответственно на 6, 10 и 50 %.

В работе [15] было установлено, что скорость вылета забойки в значительной степени зависит от величины воздушного промежутка. Так, время вылета забойки, приведенное к длине забойки 2,7 м и массе заряда 208 кг, составляет 27 мс. Время вылета забойки для заряда с воздушным промежутком составляет 39 мс, т.е. на 12 мс больше. Воздушный промежуток позволяет удлинить взрывной импульс на 15...35 %, чем может быть до-

стигнуто повышение КПД взрыва. При плотной забойке не наблюдается интенсивного разрушения устья скважины и не разрушенных участков на уровне подошвы уступа и в верхней части уступа, как это имеет место при отсутствии забойки. Наличие забойки увеличивает продолжительность взрывного импульса на 35...40 %. Количество плотной забойки для крепких пород желательно иметь в пределах 0,3...1,0 массы заряда ВВ.

Наличие забойки и воздушного промежутка под ней оказывает положительное влияние на дробление среды, уменьшая выход негабарита. Модель с воздушным промежутком и длиной забойки 8 мм оказалась раздробленной лучше, чем модель с длиной забойки 8 мм, но без воздушного промежутка.

Применение конструкции заряда с воздушным промежутком между зарядом ВВ и забойкой позволяет перераспределить энергию взрыва и увеличить период действия взрыва на массив. Подобрав определенное соотношение между длиной забойки и длиной воздушного промежутка, можно добиться хорошего дробления среды. Применение заряда с воздушным промежутком дает возможность значительно сократить величину забойки.

Воздушные промежутки между зарядом и забойкой, уменьшающие потребность забоечного материала и трудоемкость процесса забойки, сокращают выход негабаритных фракций и диаметр среднего куска по сравнению с взрыванием без воздушного промежутка [7].

Чем на большей части скважины происходит воздействие продуктов взрыва на среду (активная часть), тем полнее использование скважины по ее глубине. Активной частью скважины считают только ее участок, заполненный ВВ [17]. Полезное использование энергии взрыва заряда ВВ и степень дробления можно увеличить перераспределением энергии взрыва за счет образования воздушных промежутков между отдельными частями заряда и между зарядом и забойкой. В этом случае активная часть скважины

слагается из участков скважины, заполненных как ВВ, так и воздушным промежутком. В связи с этим возникла необходимость установить минимально необходимую активную часть скважины.

Забойка необходима, однако ее следует понимать как необходимость удаления верхней части скважинного заряда ВВ от устья на такое расстояние, при котором взрыв верхней части заряда не произвел бы выброса породы в направлении к устью скважины, сопровождающегося большим разлетом кусков породы и снижением полезного использования энергии взрыва. Этим расстоянием предопределяется минимальная длина неактивной части верхней части скважины.

При отсутствии воздушных промежутков между забойкой и зарядом длина забойки в неактивной части скважины и ее сопротивление должны быть как можно большими.

При наличии воздушного промежутка, разделяющего заряд от забойки, газы взрыва, расширяясь в воздушном промежутке, снижают начальное давление, воздействующее на столб забойки; поэтому длина забойки при наличии воздушного промежутка между зарядом и забойкой может быть меньше, чем при сплошной забойке, и выполняться в виде «пробки» внизу неактивной части скважины, длина которой подбирается опытным путем.

На Мокрянском месторождении гранитов XII...XIV категории по шкале ЕНВ и Р при диаметре скважин 200 мм применение воздушных промежутков в заряде и под забойкой позволило снизить выход негабарита с 45 до 27 % [18]. Наиболее эффективной признана следующая конструкция заряда: 8 м основной заряд, 3 м воздушный промежуток ($15D_3$), 3 м дополнительный заряд, 3 м воздушный промежуток и 3 м забойка с отношением суммарной длины воздушных промежутков к суммарной длине заряда 0,55. Воздушные промежутки осуществляли установкой пробок из бумажной тары на нужной глубине при помощи специальных шестов, способ

прост и надежен.

Засыпные забойки (1а–2а–3в) представлены взрывной скважиной (рис. 2.7), содержащей цилиндрический ствол 1 с нижней частью, заряженной зарядом взрывчатого вещества 4, и верхней частью, заполненной забоечным материалом, в которой на расстоянии $\frac{1}{2} \dots \frac{2}{3}$ длины верхней части от устья скважины выполнена заполненная забоечным материалом 3 сферическая выемка 2, диаметром в 1,5...3 диаметра скважины [47].

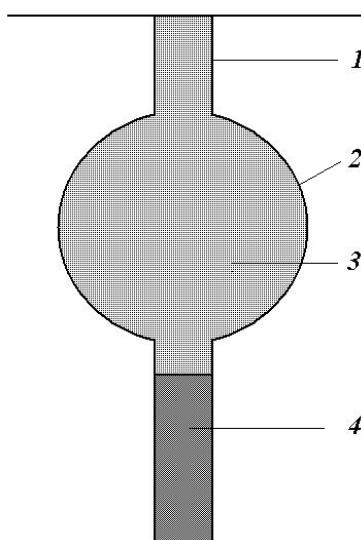


Рис. 2.7. Засыпная забойка в расширенной части цилиндрической скважины

При взрыве заряда в такой скважине нижняя часть забойки уплотняется и при движении смещает впереди себя остальной забоечный материал. По мнению авторов изобретения, за счет сил трения между частицами в движение вовлекается в основном вся масса забоечного материала, сосредоточенного в сферической выемке и происходит его закупорка в зоне перехода сферической части скважины в цилиндрическую. Недостатком этой взрывной скважины является то, что при давлении на забоечный материал плотной «пробки» меньшего диаметра в сферической выемке будет вовлекаться в движение материал цилиндрической формы с размерами, близкими диаметру скважины. И только небольшая часть материала выемки за счет сил трения будет вовлечена в движение и сможет создать закупори-

вающий эффект.

Засыпные забойки (1а–2б–3г)

В работе [48] приведены результаты исследований по моделированию движения в скважине забоек различного состава по крупности. Анализ экспериментальных данных скорости вылета нижних слоев, приведенных на рис. 2.8, показывает следующее.

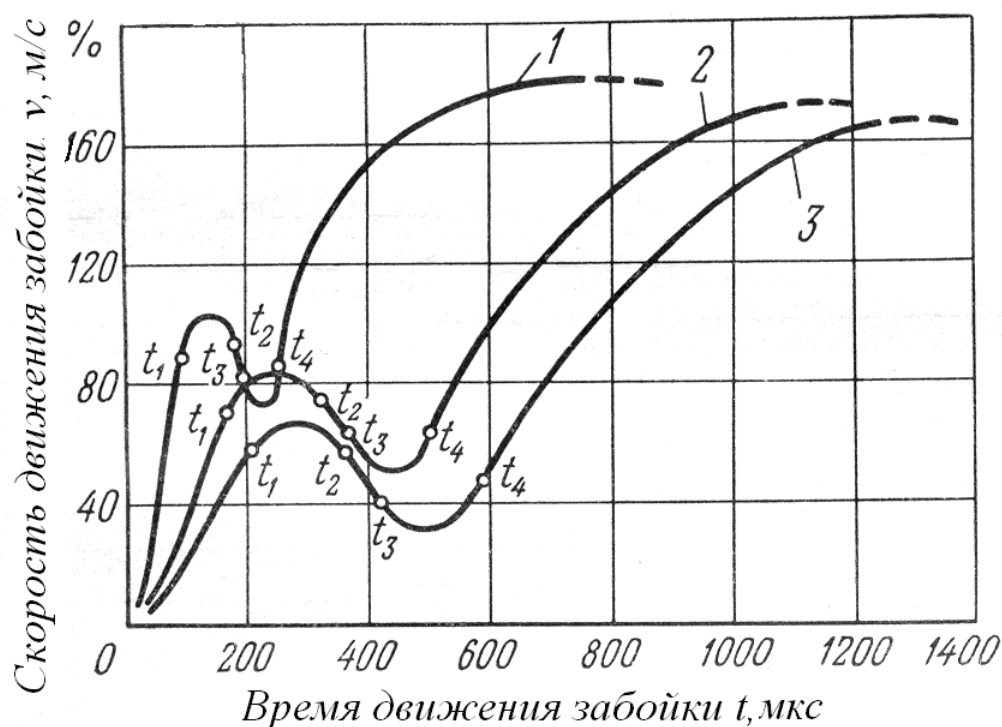


Рис. 2.8. Изменение скорости движения нижней части забойки $L_{кр}$ с глубины 80 мм от устья скважины: 1 – глина; 2 – песок; 3 – смесь дробленого гранита (60 %) фракции 2...3 мм с песком

Вначале происходит возрастание скорости движения забойки (на отрезке времени $0-t_1$) вследствие воздействия на торец ударной волны и поршневого давления продуктов взрыва. Это воздействие приводит к уплотнению материала и возникновению сил трения за счет бокового распора, превосходящих сопротивляемость забоечного материала сдвигу. Забойка под давлением газов и реакции стенок скважины оказывается в сложном напряженном состоянии. До некоторого критического момента эта система будет находиться в равновесии, пока не про-

изойдет срез материала забойки или разрушение среды, окружающей забойку.

Нижняя часть забойки, получившая ударный импульс, передает его соседним частицам, в результате чего происходит резкое уплотнение забоечного материала и увеличение сил трения как между частицами забоечного материала, так и между забойкой и стенками скважины. Вследствие переуплотнения нижней части забойки скорость ее вылета несколько снижается. Касательные напряжения становятся равными напряжению внутреннего трения. Забойка находится в состоянии предельного равновесия, при увеличении касательного напряжения забойка разрушается — происходит сдвиг. В результате действия сил трения забойка не скользит, а срезается по цилиндрической поверхности, весьма близко совпадающей с боковой поверхностью скважины, и вылетает с возрастающей скоростью. После среза забойки дальнейшему ее движению препятствуют ее масса и силы трения.

Определение скорости вылета верхней части забойки показало, что здесь отсутствуют характерные перепады скорости движения забойки, наблюдавшиеся в нижней ее части. Движение верхней части забойки начинается позже и с возрастающей скоростью продолжается вплоть до вылета ее из скважины. На основании полученных результатов можно полагать, что существует критическая длина забойки $L_{кр}$, на протяжении которой материал ее уплотняется и срезается под действием взрывной нагрузки, остальная же часть $(L_з - L_{кр})$ представляет собой инерционную преграду при вылете нижних слоев. Эта часть забойки, будучи вовлечена в движение, в дальнейшем мало влияет на движение основной ее части. Время вылета забойки определялось расчетным путем по графикам скорости. Таким образом, лабораторными исследованиями установлено преимущество крупнозернистого материала забойки перед мелкозернистым

Заливные забойки (1б–2в–3д).

При заряджании обводненных взрывных скважин грунтовые воды, находящиеся в массиве, вытесняются зарядом вверх по скважине и, при достаточной высоте столба воды, являются забойкой (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Забойка скважины столбом вытесненной воды

Заливные забойки (1б–2г–3е)

В 1990 г. на карьерах Кривбасса была внедрена технология пылегазоподавления с применением полиэтиленовых вкладышей и полиэтиленовых рукавов, заполненных технической водой. Вкладыши представляют собой полиэтиленовые емкости, вмещающие до 600 л воды. Полиэтиленовые рукава имеют толщину стенки 0,15...0,20 мм, диаметр – 200 и 260 мм [49]. Вкладыши и рукава с водой размещают на поверхности взрываемых блоков до коммутации взрывной сети. Схема их укладки предусматривает максимальное использование ударной воздушной волны при взрыве, соударения потоков разрушенных пород, что должно обеспечить более рациональное распыление воды.

Наполнение вкладышей и рукавов на блоке производится поливоч-

ной машиной, оборудованной насосом с подсоединенным к нему шлангом. К свободному концу шланга крепится кран (пистолет – топливозаправщик). Подаваемая вода разворачивает вкладыш или рукав на всю его длину и заполняет весь внутренний объем полиэтиленовой емкости. По окончании заправки водой полиэтиленовой емкости патрубок загибается и укладывается на внешнюю ее поверхность. Эффективность пылегазоподавления устанавливали путем анализа данных кинорегистрации, процесса образования пылегазового облака, а также на основе данных НИИБТГ по замеру концентрации газа и пыли на контрольных и экспериментальных участках.

Выполнение заливных забоек (гидрозабоек) предусматривает использование гидроизоляционного материала — полиэтилена. Это относительно прочный, эластичный материал, позволяющий изготавливать из него емкости различной формы и размеров. Необходимое условие выполнения гидрозабойки — механизация изготовления емкостей, размещения их в скважинах и наполнения водой.

В работе [49] предложена конструкция внешней гидрозабойки скважин, включающая размещение полиэтиленовых рукавов диаметром 0,93 м и более вдоль рядов скважин (рис. 2.10, а). Длина рукава диктуется состоянием поверхности заряженного блока и контуром взрывных скважин. При отсутствии на блоке больших уклонов в условиях прямолинейности расположения скважин рукав может укладываться вдоль ряда всех скважин. Наполнение водой рукава осуществится поливочной машиной. Полностью заполненный рукав принимает форму параллелепипеда со скругленными гранями. Высота (толщина) слоя воды составляет 0,20—0,23 м.

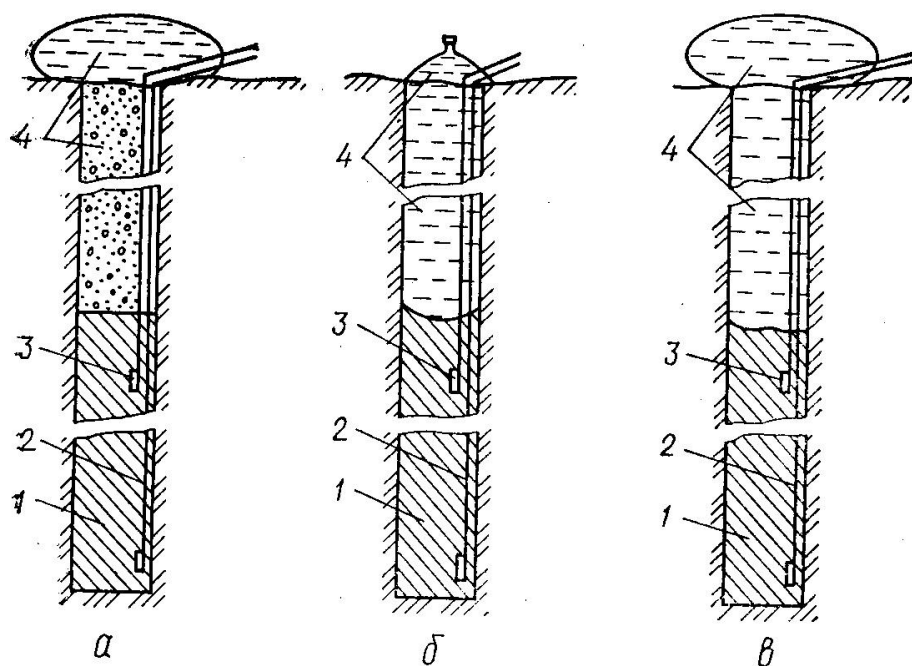


Рис. 2.10. Конструкции гидрозабоек скважин на карьерах:
а, б, в – соответственно внешняя, внутренняя и комбинированная гидрозабойки;
 1 – заряд ВВ, 2 – ДШ, 3 – промежуточный боевик, 4 – забойка

Внутренняя гидрозабойка скважин (рис. 2.10, *б*) представляет собой полиэтиленовый рукав диаметром на 15 мм больше диаметра скважины и длиной на всю ее неактивную часть.

Для исключения дополнительных напряжений на дно рукава, возникающих при усадке ВВ в скважине, формируют дно рукава с компенсатором напряжений. Последний представляет собой часть рукава (длиной 0,15...0,20 м), подвернутого внутрь его и удерживаемого резиновой тесьмой. Технология выполнения внутренней гидрозабойки следующая. Рукав, собранный в произвольные гофры на полосовой оправе, укладывается на приспособлении для введения его в скважину (рис. 2.11, *а*).

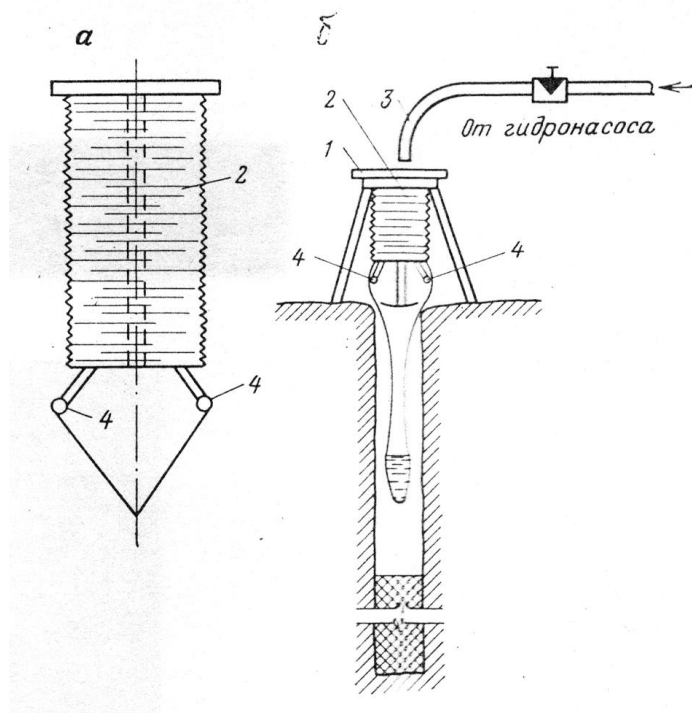


Рис. 2.11. Устройство для размещения полиэтиленового рукава под гидрозабойку в скважину:

а – подготовленный рукав; *б* – размещение рукава в скважину; 1 – подставка; 2 – рукав; 3 – шланг подачи воды; 4 – ограничитель скорости сползания рукава

Последнее устанавливается над скважиной по ее вертикальной оси. От поливочной машины по шлангу с небольшим расходом подается вода, которая собирается у дна рукава. При поступлении массы воды, достаточной для снятия рукава (1,0...1,5 кг), он свободно спускается вниз, не касаясь стенок скважины (рис. 2.11, б). Далее, за счет увеличения расхода воды заполняется вся полость рукава.

Общий вид внутренней гидрозабойки показан на рис. 2.12. Заправленный рукав является саморасклинивающимся. Благодаря компенсатору напряжений при усадке ВВ рукав самоудлинняется.

Промышленные исследования эффективности пылеподавления при массовых взрывах с помощью внешней, внутренней и комбинированной гидрозабойки скважин проводились на карьере «Северный» рудоправления им. Дзержинского ПО «Кривбассруда» и внутренней гидрозабойки на карьерах Новокриворожского горно-обогатительного

комбината (НКГОК).

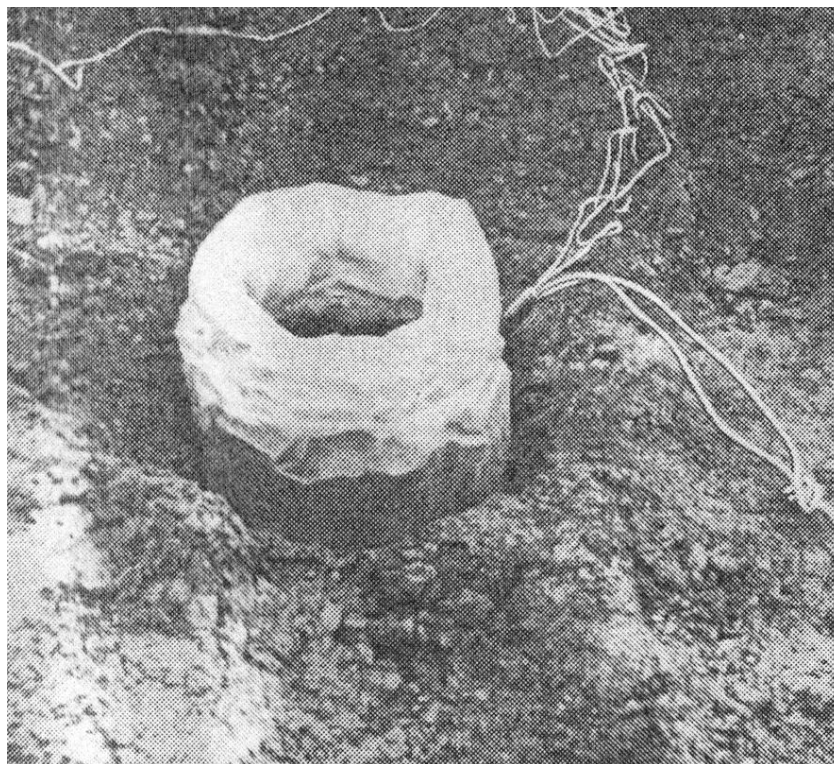


Рис. 2.12. Общий вид скважины с установленной внутренней гидрозабойкой

Эффективность пылеподавления при массовых взрывах определялась путем сравнения концентрации пыли в пылегазовом облаке при взрывах блоков одинаковых пород с применением гидрозабойки и без нее, т. е. с забойкой отсеком дробильно-сортировочной фабрики. На карьере «Северный» она составила: для комбинированной гидрозабойки 89,4 %, внутренней 84,7 %, и внешней 53,1 %. Удельный расход воды при этом составлял соответственно 1,38, 0,79 и 1,04 кг/м³ при взрыве скважинных зарядов массой 126...294 кг. При взрывах на карьере НКГОКа с внутренней гидрозабойкой скважин эффективность пылеподавления составила 50,4 % с удельным расходом воды 0,46 кг/м³ при взрыве скважинных зарядов массой 450...620 кг.

Заливные забойки (1б–2д–3е)

В способе ведения взрывных работ, защищенном патентом РФ № 2051763 [38], забойку выполняют раствором поверхностно-активных веществ (ПАВ), который размещают в рукаве с зачехленной донной частью и с оставлением воздушного промежутка между зарядом ВВ и раствором ПАВ (рис. 2.13).



Рис. 2.13. Заливная забойка из водного раствора ПАВ над воздушным промежутком

В качестве смачивающей и пенообразующей добавки в водном растворе применяют смесь анионоактивных ПАВ (АПАВ) и неионногенных ПАВ (НПАВ) в соотношении от 1:4 до 4:1 с концентрацией ПАВ от 0,1 до 0,8 мас.%. Способ позволяет повысить эффективность действия взрыва, снизить расход ПАВ и подавить пылегазовое облако. Для предохранения изолирующего рукава от разрыва и утечки из него раствора, а также для повышения надежности саморасклинивания рукава в скважине на его наиболее нагруженную донную часть надевают чехол. Оставление воздушного

промежутка предотвращает разложение раствора ПАВ от воздействия высокотемпературных продуктов детонации ВВ и повышает время действия взрывного импульса на разрушаемый массив за счет сочетания демпфирующих свойств воздушного промежутка и диспергированного водного раствора ПАВ при меньшем его расходе.

Эффективность запирающего действия диспергированного раствора композиционных ПАВ на начальной стадии расширения газообразных продуктов взрыва скважинного заряда повышается за счет присутствия в растворе НПАВ, усиливающего вспениваемость раствора в процессе его диспергирования газообразными продуктами взрыва. Повышаются и структурно-механические свойства пены, образующейся в процессе диспергации, и ее стабилизация, обусловленные присутствием в растворе композиционных ПАВ смешанных мицелл, состоящих из молекул НПАВ и АПАВ.

Более высокая эффективность воздействия диспергированного раствора на процесс пылеподавления обусловлена повышенной смачивающей и коагулирующей способностями гидроаэрозолей композиционных ПАВ в сравнении с АПАВ.

Способ был апробирован на массовых взрывах на Первомайском и Анновском карьерах Северного горно-обогатительного комбината Кривбасса. В скважины диаметром 250 мм и глубиной 16...18 м заряжали ВВ массой 350...600 кг. При этом длина неактивной части в заряженных скважинах составляла 6,0...7,0 м. В заряженную скважину устанавливали полиэтиленовый рукав длиной 2,0...2,5 м, диаметром 267 мм, с толщиной стенок 150...200 мкм. Перед установкой рукава в скважину нижний торец герметизировали сварным швом и надевали на него чехол, представляющий отрезок такого же рукава длиной $(3,5...4,0)D_3$. При этом чехол надевали на донную часть рукава на половину его длины, а оставшуюся половину чех-

ла подгибали, и при установке рукава в скважину она фиксировалась между стенкой скважины и рукавом.

В установленный рукав из раствородаставочной машины по материалопроводу заливали раствор ПАВ в количестве 90...110 л. При этом, благодаря наличию чехла, происходило надежное саморасклинивание прежде всего донной части рукава и полностью устранялись разрывы изолирующей оболочки, особенно в донной части, наиболее подверженной растягивающим напряжениям. Количество взрываемых скважин на блоках в процессе апробации способа достигало 178 шт., объем взрываемой горной массы свыше 80 тыс. м³. Интенсивное осаждение пыли в пределах санитарно-защитной зоны карьера обеспечивалось в течение 70...80 с с момента взрыва при ветровой нагрузке 8...14 м/с.

Заливные забойки (1б–2д–3ж)

Внутренняя гидрогелевая забойка скважин представляет собой забойку из щебня на высоте 2...2,5 м и гидрогелевую – в свободной неактивной части скважины. При заправке жидких компонентов в скважину они пропитывают слой щебенки, заполняют трещины в породе, превращаясь в студнеобразную массу. Компоненты гидрогеля над устьем скважины образуют внешнюю гидрогелевую забойку. Собственно гидрогель – это водный раствор жидкого стекла и коагуляторов (отвердителей). В качестве коагуляторов могут использоваться соляная и серная кислоты, сернокислый аммоний, питьевая сода, аммиачная селитра и др. Время гелеобразования регулируется соотношением гелеобразующих компонентов и их температурой. При взрыве гидрогель превращается в жидкую фазу, которая, распыляясь, смешивается с пылью и смачивает ее.

Процесс приготовления гидрогеля и выполнения внутренней гидрогелевой забойки полностью механизирован (рис. 2.14). В Кривбассе в 90-х годах прошлого века были построены пункты приготовления, хранения

компонентов гидрогеля и заправки их в автомобильные транспортные установки. Для транспортирования компонентов и выполнения гидрогелевой забойки изготовлены и эксплуатируются три автомашины на базе МАЗа, КрАЗа и БелАЗа. Объем применения гидрогелевой забойки в 1992 г. достиг 30 млн. м³ взорванной горной массы.

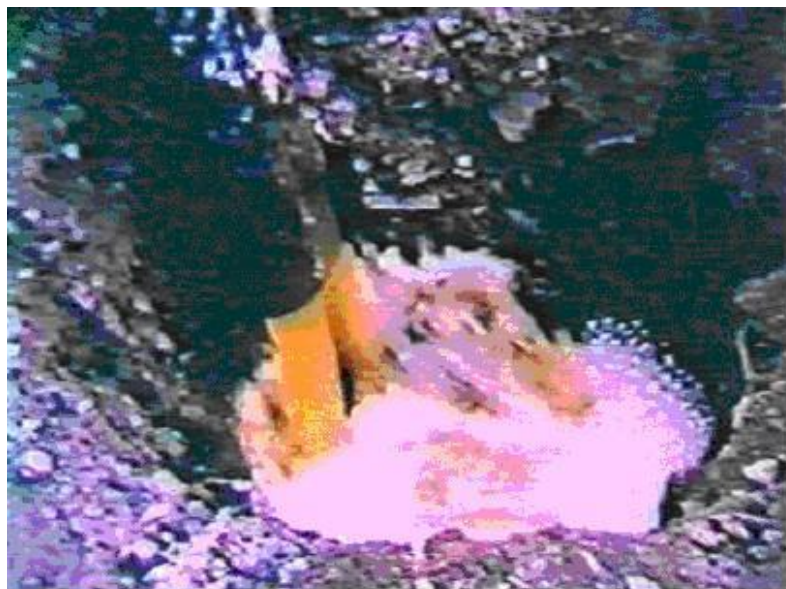


Рис. 2.14. Процесс формирования гидрогелевой забойки скважин

Вставная забойка (1в–2е–3з) предложенная в работе [20] представляет собой газодинамическое запирающее устройство (ЗГДУ), изменяющее режим истечения продуктов детонации через устье скважины большого диаметра. Забойка имеет форму цилиндра с осевой внутренней полостью, непосредственно примыкающей к заряду взрывчатого вещества, и выполнена из композиционного материала с полиэтиленом высокого давления в качестве пластификатора и наполнителем из песка. Полость внутреннего сечения забойки имеет вид вытянутой полусферы, совмещенной с усеченным конусом при соотношении длин сферической части и конической 1 : 1, общей длине забойки $l_z = 5R_z$, где R_z – радиус забойки, причем забой-

ка снабжена распирающими лопастями для центрирования положения в скважине (рис. 2.15).

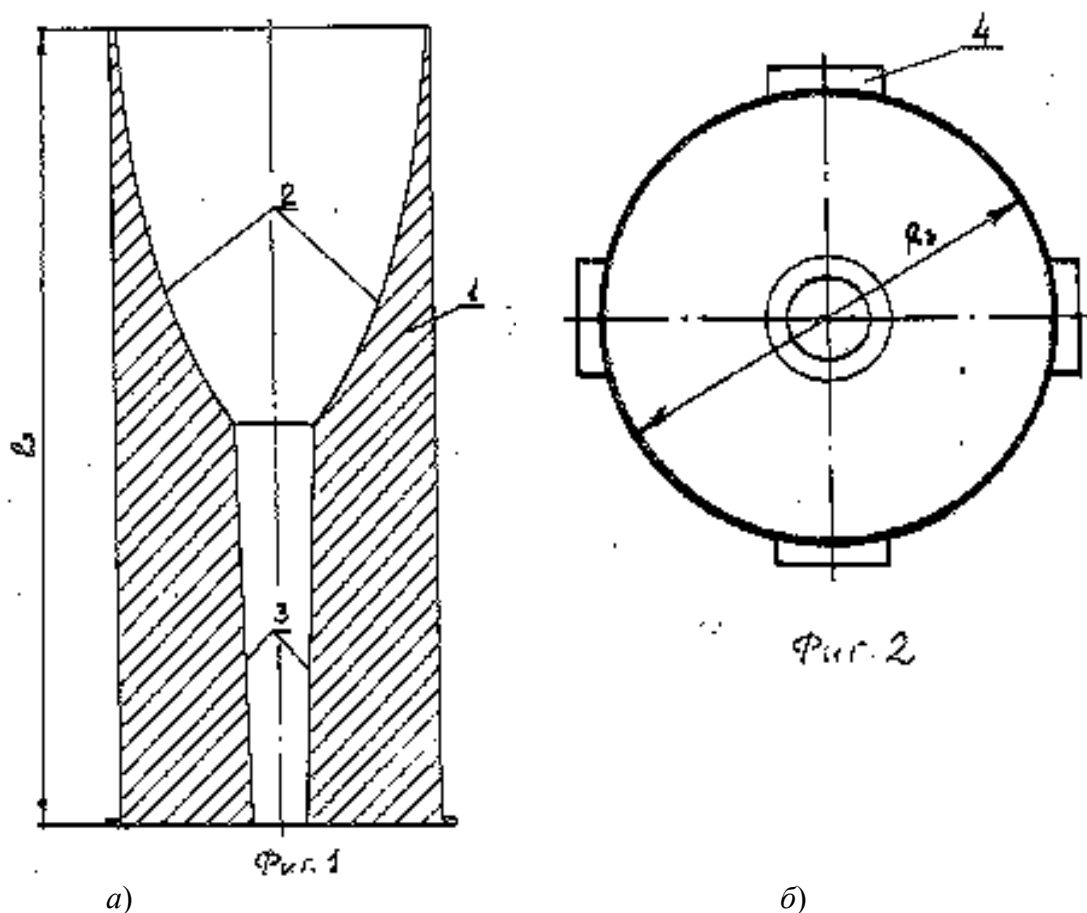


Рис. 2.15. Запирающее газодинамическое устройство в разрезе (а) и вид сверху (б)

Часть энергии взрыва, уходящая через устье при отсутствии забойки, задерживается в полости взрыва и участвует в процессах нагружения массива в квазистатической стадии. Эксперименты проводили в породах крепостью $f = 3 \dots 4$ в шпурах диаметром 38 мм. В каждом опыте взрывали 3 шпура по 1,1 м, располагая их через 2...2,2 м с одинаковым зарядом в два патрона аммонита № 6ЖВ, массой 0,2 кг и длиной 0,2 м. Забойка длиной 0,2 м была применена ЗГДУ, песчано-глинистая, водяной ампулой. Скоростную киносъемку вели камерой ПУСК-16 с частотой съемки 400 кадров/с. Задержка времени вылета как водяной, так и песчано-глинистой забоек составила от 2,5 до 15 мс. Начало истечения ПД из шпура с ЗГДУ

совпадает с их истечением без забойки, но скорость истечения ниже, что свидетельствует о фиксации ЗГДУ в шпуре при ударном нагружении его осевого канала продуктами детонации. По мере выгорания канала резко нарастает скорость струи, эффективное время запираания составляет 10 мс.

Эксперимент выполняли и на скважинах диаметром 95 мм с зарядом гранулошлака массой 9,5 кг, взрывая их по три одновременно – без забойки, с забойкой породной мелочью и с ЗГДУ. Кроме магистральных трещин между скважинами (максимальная у скважин с ЗГДУ составляет 5...10 см) отмечается зона вертикальных радиальных трещин. У скважин с ЗГДУ – 3...5 трещин длиной до 2 м и откол блоков до 0,5 м³, при сплошной забойке – 2...3 трещины до 0,8 м и без забойки – 1...2 волосные трещины длиной до 0,5 м. Воронка выброса у скважин с ЗГДУ засыпана дробленой породой и имеет характерный диаметр 0,5...1,0 м, при сплошной забойке – засыпана дробленой породой незначительно и диаметр 0,4...0,6 м, а без забойки дробление приустьевой части отсутствует. Во всех опытах отмечалась задержка времени истечения ПД из скважин с ЗГДУ по сравнению со скважинами без забойки. При расположении одного фрагмента ЗГДУ у заряда, а другого – у дневной поверхности, задержка имеет порядок временной задержки у сплошной забойки. Если ближе – показатели хуже.

Как в случае шпуров, так и скважин зона разрушающего действия взрыва при использовании ЗГДУ увеличивается на 30...40 %.

Активная забойка (1г–2ж–3и)

Ф. И. Кучерявый [18] установил, что при высоте уступа около 15 м и одинаковой массе заряда замена забойки высотой 6,5 м дополнительным зарядом в 20 кг в 2,5 м от устья скважины, отделенным от основного заряда воздушным промежутком длиной 4 м, снижает выход негабарита с 0,8 % до 0,5 %. Таким образом, небольшой по величине верхний заряд может стать «запирающим» и заменить своим взрывом плотную забойку с боль-

шой массой за счет газодинамического затвора в воздушном промежутке.

Забойки в виде «запирающего» заряда применяют в тех случаях, когда верхняя часть уступа сложена более крепкими и плотными породами по сравнению с нижней его частью; применение нормальной забойки в таких условиях приводит к дроблению, иногда выносу нижней части уступа и проседанию верхней, плотной части без какого-либо разрушения.

Следует отметить, что опасность воздушной ударной волны, свойственная взрыванию без забойки (с бумажной «пробкой»), сохраняется и при «запирающем» заряде: в одном из карьеров Кузбасса стекла из окон вылетали на расстоянии свыше 1 км от взрыва.

Общеизвестен факт, что породы в области забойки не подвержены непосредственному действию взрыва, вследствие чего верхняя часть уступа, как правило, дробится плохо. В Каракубских известняках при $f = 8 \dots 11$ взрывают от 3 до 12 рядов скважин диаметром 230...250 мм при высоте уступа 12...15 м. Сравнивали забойку из отходов обогатительной фабрики и дополнительный заряд массой от 9 до 26 кг на расстоянии 2,5...3 м от устья скважины вместо забойки. Под зарядом размещали воздушный промежуток длиной 3 м $(10 \dots 12)D_z$. Наилучшие результаты получены при массе дополнительного заряда 15...20 кг. Выход негабарита снизился на 0,3 %.

Известна конструкция скважинного заряда ВВ с активной забойкой из аммиачной селитры, флегматизированной 10...15 % воды, который снабжен дополнительной секцией ВВ с детонационной характеристикой, большей, чем у активной забойки, и меньшей, чем у основного ВВ, расположенной между активной забойкой и секцией основного ВВ [50].

В работе [48] отмечено, что размещение дополнительного заряда внутри забойки (рис. 2.16, а) повышает эффективность ее действия за счет возникновения сил бокового распора на большей поверхности

среза. Повышенное сопротивление материала забойки сдвигу создается как в нижней, так и в верхней частях заряда (рис. 2.16, б).

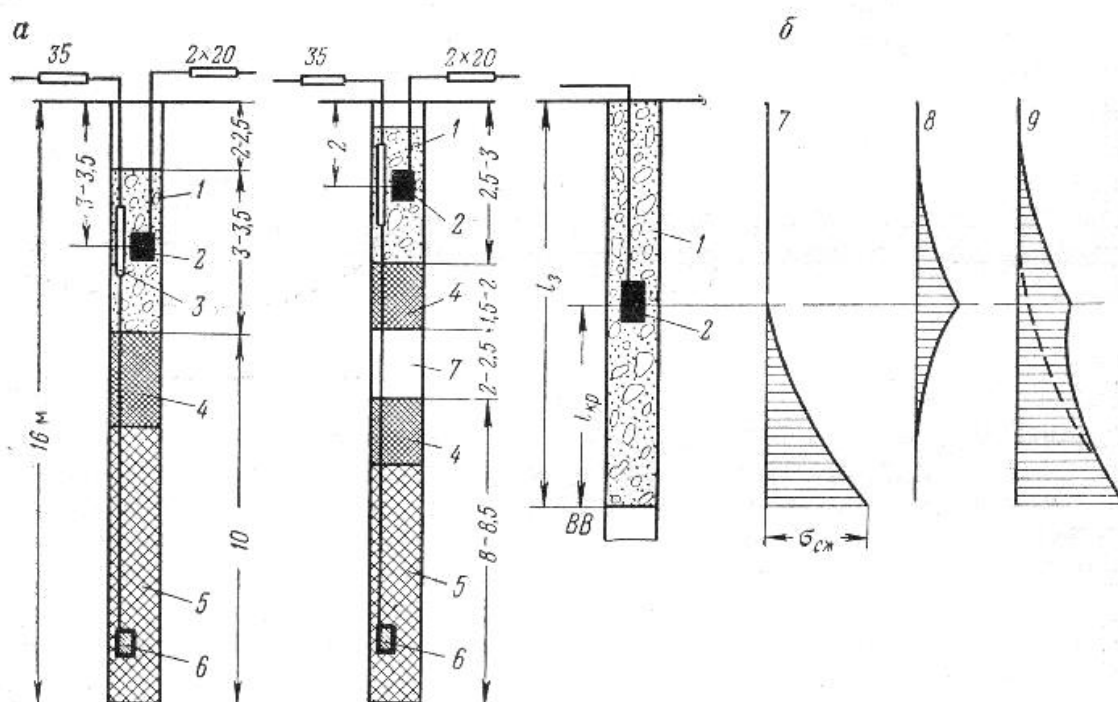


Рис. 2.16. Конструкция зарядов с активной забойкой:

1 – крупнозернистая забойка; 2 – дополнительный заряд; 3 – трубка, не передающая детонацию; 4 – аммонит № 6ЖВ; 5 – гранулированный тротил; 6 – боевик; 7 и 8 – эпюры сжимающих напряжений соответственно от оси заряда и от дополнительного заряда в забойке; 9 – результирующая эпюра напряжений

При такой конструкции забойка более надежно запирает продукты взрыва, вылетает на 8...10 мс позже обычной и улучшает дробление. Замеры гранулометрического состава по развалу и по заходкам экскаватора показали, что взрывание с прочной забойкой снизило выход негабарита в 1,6...1,8 раза, а выход мелких фракций (до 200 мм) увеличился примерно на 10 %. Отклонений уровня подошвы уступа от проектной отметки не отмечено.

В обводненных условиях карьера ИнГОКа применение крупнозернистой забойки с дополнительным зарядом снизило выход негабарита на 10...13 % по сравнению с песчано-глинистой. Время начала сдвижения такой забойки возрастает на 50...60 %, что способствует увели-

чению продолжительности взрывной нагрузки.

В работе [51] предложен способ формирования скважинного заряда путем размещения в скважине основного заряда ВВ, средств инициирования, забойки из сыпучего материала, запирающего заряда в забойке и воздушного промежутка между основным зарядом ВВ и забойкой. Под запирающим зарядом ВВ в нижней части забойки формируют дополнительный воздушный промежуток, высотой, равной 0,5...1,0 высоты запирающего заряда, а высоту нижней части забойки выбирают в 2...3 раза меньше высоты верхней части забойки. Заряд формируют следующим образом. В пробуренную скважину 1 (рис. 2.17) размещают промежуточный детонатор 2, например из шашки ТГ-400, закрепленный на детонирующем шнуре 3, размещают основной заряд взрывчатого вещества 4 в нижней части скважины. Затем устанавливают пробку 5 на глубине, обеспечивающей формирование воздушного промежутка 6 над основным зарядом ВВ согласно принятым технологическим параметрам. Затем скважину заполняют сыпучим материалом и формируют нижнюю часть забойки 7, после чего формируют дополнительный воздушный промежуток 8, например, из бумажных или полиэтиленовых мешков, наполненных воздухом, или размещением пробки. После этого скважину заполняют взрывчатым веществом и создают запирающий заряд 9, инициируемый детонирующим шнуром 3 основного заряда 4 или дополнительной нитью детонирующего шнура 10 и промежуточным детонатором 11. Величина запирающего заряда ВВ составляет на практике от 20 до 40 кг и принимается согласно установленным технологическим параметрам. Величина дополнительного воздушного промежутка 8 в забойке по высоте составляет 0,5...1 длины запирающего заряда.

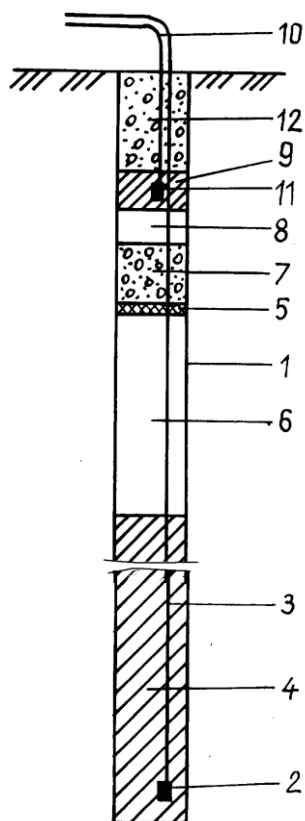


Рис. 2.17. Конструкция скважинного заряда с запирающим зарядом и дополнительным участком забойки

Затем скважину заполняют сыпучим материалом и создают верхнюю часть забойки 12, высота которой в 2...3 раза превышает высоту нижней забойки 7. После инициирования детонирующих шнуров 3 и 10 детонирует запирающий заряд 9, затем основной заряд 4.

При взрыве запирающего заряда 9 продукты детонации расширяются вниз к дополнительному воздушному промежутку 8, поскольку верхняя часть забойки 12 сдерживает давление ПД за счет сил трения сыпучего материала о стенки скважины. ПД образуют газовый поток, направленный на нижнюю часть забойки из сыпучего материала, который проникает в сыпучий материал нижней части забойки 7 и образуется газосмесевой поток с высоким инерционным импульсом вниз по скважине за счет вовлечения массы сыпучего материала в движение. Газосмесевой поток от запирающего заряда встречается в воздушном промежутке 6 с ПД основного заряда 4

и сдерживает расширение газов в скважине, что увеличивает время воздействия и передачи энергии основного заряда в массив на разрушение. Для обеспечения гарантированного движения нижней части забойки и удержания газового давления в скважине после расширения ПД запирающего заряда 9 в дополнительном воздушном промежутке 8, высоту нижней части забойки принимают в 2...3 раза меньшей высоты верхней части забойки. Силы трения пропорциональны площади контакта забойки со скважиной, следовательно, сопротивление забойки определяется ее высотой, поэтому нижняя часть забойки в 2...3 раза меньше ее верхней части.

Таким образом, за счет формирования под запирающим зарядом дополнительного воздушного промежутка в нижней части забойки высотой в 1,5...2,0 раза больше высоты запирающего заряда и создания нижней части забойки в 2...3 раза меньшей по высоте верхней ее части образуется газосмесевой поток, который сдерживает расширение газов основного заряда ВВ и увеличивает время передачи энергии заряда ВВ в массив, тем самым повышается эффективность действия взрыва скважинного заряда.

Комбинированные забойки (1д–2з–3к)

Устройство [52] содержит конический элемент, который располагается в скважине над зарядом ВВ, причем узкий конец элемента обращен к устью скважины. Над коническим элементом размещают материал забойки. При детонации заряда элемент воздействует на материал забойки, смещая его с уплотнением к стенкам скважины.

Скважинный заряд [53] с колонкой взрывчатого вещества, рассредоточенной на части инертными прослойками в виде дискретно-инертных промежутков, представлен на рис. 2.18.

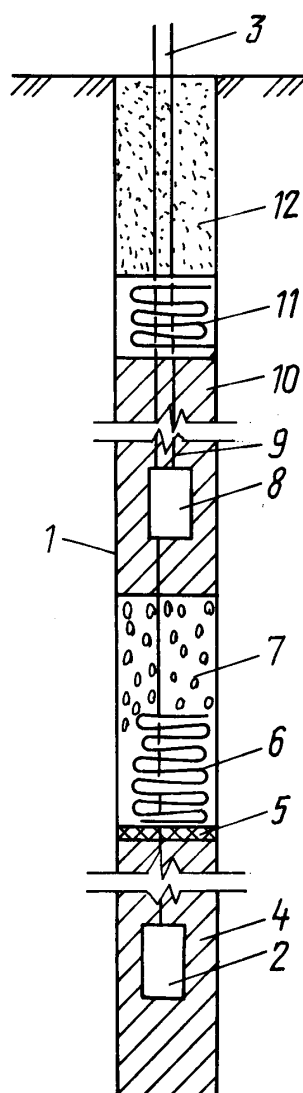


Рис. 2.18. Конструкция скважинного заряда с комбинированной забойкой из запирающего заряда и кускового материала с воздушным промежутком

Верхняя часть промежутка и забойки выполнена из кускового материала, а нижняя — из гофрированного материала, что позволяет в процессе движения продуктов детонации формировать криволинейную вогнутую поверхность нижней кусковой части забойки и промежутка, а также обеспечивает расклинивающее действие переуплотненного кускового материала. Ограничение верхней части колонки взрывчатого вещества снизу кусковым материалом прослойки обеспечивает создание пульсирующего давления продуктов детонации в нижней части скважины и за счет многократного импульсного нагружения породы способствует повышению каче-

ства дробления и снижению выхода мелких фракций.

Ограничение верхней части колонки взрывчатого вещества сверху гофрированным материалом позволяет сократить длину забойки, сформированной из кускового материала, тем самым значительно уменьшить зону нерегулируемого дробления, которая характеризуется увеличенным входом негабаритных фракций, избегая при этом образования мелких некондиционных фракций.

Конструкция скважинного заряда с дискретным промежутком обеспечивает удлинение квазистатического действия взрыва и перераспределение энергии поглощения в зоне гофрированной (пористой) части дискретного промежутка.

Формирование скважинного заряда осуществляется следующим образом. В донную часть скважины 1 засыпают порцию гранулированного ВВ и размещают боевик 2 на ДШ 3, затем досыпают порцию ВВ, образуя нижнюю часть 4 заряда, на которой для изоляции размещают пыж 5. Затем над изолированной пыжом 5 частью заряда размещают гофрированную часть 6 дискретно-инертного промежутка, на ней размещают кусковую часть (крошку) 7 дискретно-инертного промежутка. Далее размещают порцию ВВ и устанавливают боевик 8 на ДШ 9, затем досыпают следующую порцию ВВ, образуя верхнюю часть 10 колонки ВВ. На ней размещают гофрированную нижнюю часть 11 и кусковую часть (крошку) 12 забойки. Таким образом, в зависимости от свойств горных пород, осуществляют рассредоточение колонки ВВ.

Гофрированную часть 6 дискретно-инертного промежутка и нижнюю часть забойки 11 формируют из инертных материалов, например из пакета пропиленовых мешков (2...3 шт.), перетянутых стяжкой, после чего досыпают в скважину. При этом линейные размеры гофров не должны превышать диаметра скважины. В процессе размещения кусковой части 7 дис-

кретно-инертного промежутка и забойки 12 крошка заполняет зазор между гофрированной частью 6 дискретно-инертного промежутка, гофрированной частью 11 забойки и стенками скважины, а также между гофрами, оседая на них под углом естественного откоса, характерного для данного типа материала.

Скважинный заряд работает следующим образом. После детонации ВВ верхней части заряда 10 резко возрастает давление ПД в зарядной полости скважины. Газы взрыва воздействуют на торец гофрированной части 11 забойки, деформируя ее, и инертный материал, заполняющий зазор между гофрированной частью 11 забойки 12 и стенками скважины, вовлекается в движение. При этом происходит уплотнение инертного кускового материала забойки 12 и увеличение сил трения как между частицами инертного материала, так и между инертным материалом и стенками скважины. Одновременно происходит уплотнение и перераспределение от периферии к центру заключенного между гофр кускового материала 12, при этом концы гофр зажимаются этим материалом. В результате происходит формирование инертно-пористого слоя, состоящего из кускового и гофрированного материала 11. За счет опережающей деформации инертно-пористого слоя, гофрированной части забойки формируется криволинейная вогнутая ее поверхность.

Продукты детонации воздействуют на криволинейную вогнутую поверхность забойки, по нормали к ней обеспечивают расклинивающее действие переуплотненного кускового материала на стенки скважины, что приводит к росту сил трения кускового материала о поверхность скважины и замедление вылета забойки из скважины. Одновременно продукты детонации верхней колонки ВВ 10 воздействуют на кусковую часть 7 дискретно-инертного промежутка, происходит уплотнение кускового материала и движение его в сторону гофрированной части 6 дискретно-инертного про-

межутка.

После подачи импульса к инициатору 2 происходит взрывание нижней части заряда 4. Аналогично, как и при взрыве верхней части заряда, происходит деформация гофрированной части дискретно-инертного промежутка с образованием криволинейной вогнутой поверхности нижнего торца кусковой части 7 дискретно-инертного промежутка. Противодействие продуктов детонации верхней части заряда 10 и нижней части заряда 4 через кусковой инертный прослой 7 обеспечивает эффект пульсирующего давления продуктов детонации в нижней части скважины. Увеличение времени запираания продуктов детонации в нижней части скважины способствует образованию газодинамического затвора с соответствующим усилением действия взрыва, что приводит к снижению выхода переизмельченных и негабаритных фракций во взорванной горной массе.

Глава 3

ЗАБОЙКИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ИЗ ТВЕРДЕЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Опыт применения бетонных забоек

Известно, что наилучшее дробление горных пород взрывом обеспечивается применением укороченной забойки с воздушным промежутком над зарядом [7]. При этом конструкция забойки, расположенной вблизи устья скважины, над воздушным промежутком, должна обеспечивать полное противодействие ее выбросу действием взрыва до момента разрушения массива [54].

Этим условиям не отвечают засыпные забойки, длина которых велика. Большинство отечественных и зарубежных ученых считает, что оптимальное соотношение длины засыпной забойки и диаметра скважины составляет от 14 в трудновзрываемых породах и до 28 в легковзрываемых, в зависимости от свойств ВВ и породы, а также направления инициирования скважинного заряда.

Таким образом, требуется такая забойка, которая имела бы малую длину, располагалась у устья скважины и надежно запирала скважину до момента разрушения массива.

Еще в 60-е гг. прошлого века эту задачу пробовали решить применением монолитных бетонных забоек. Так, исследованиями Е. Г. Легостаева установлено, что при запирании продуктов взрыва в зарядной полости шпура или скважины монолитной распорной забойкой из бетона на расширяющемся цементе длиной в 19...20 диаметров заряда увеличивается почти в 30 раз объем разрушения горных пород за счет задержки продук-

тов детонации в зарядной камере до начала разрушения массива и сдвижения пород [55].

Однако, как показали исследования по качеству дробления [25], при монолитной твердеющей забойке ухудшается качество дробления за счет отсутствия воздействия взрывных газов на участок скважины, занятый монолитной забойкой. Для скважин диаметром 100...200 мм эта длина может достигать 1,9...4,0 м, поскольку увеличение выталкивающей забойку силы пропорционально квадрату диаметра скважины, а рост сил сцепления забойки на боковой поверхности скважины пропорционален диаметру в первой степени. Только уменьшение длины участка, занятого монолитной забойкой, при сохранении ее сопротивляемости, позволит повысить качество дробления массива в районе забойки. Кроме того, из-за высокой стоимости бетона длина монолитной забойки также желательна минимальной.

Таким образом, возникает кажущееся противоречие: по данным одних исследований значительно увеличивается объем разрушения горных пород, по другим данным – монолитная забойка ухудшает качество дробления. Для устранения этого противоречия следует определить условия применения монолитной забойки, и, в первую очередь, состояние горного массива в месте производства буровзрывных работ.

В зависимости от физико-механических свойств разрабатываемой породы и способа ведения буровзрывных работ скважины могут быть следующей конструкции.

1. По форме поперечного сечения:

- круглые;
- овальные.

2. По структуре горной породы:

- с гладкими стенками;
- с вывалами и трещинами в стенках по всей высоте забойки;

– с вывалами и трещинами в стенках в устье скважины.

В скважинах с гладкими, ненарушенными стенками (рис. 3.1, *a*) после взрыва бетонная монолитная забойка удерживается только силами трения и сцепления забойки со стенками скважины.

3.2. Взаимодействие забойки со стенками взрывной скважины

Забойка вылетает во время взрыва из скважины в виде сжатого цилиндра до разрушения окружающего горного массива [56]. Это указывает на то, что преобладающей деформацией, исходя из которой следует определять оптимальную длину забойки, является срез материала забойки по боковой поверхности скважины.

Идеальной забойкой будет такая, материал которой чрезвычайно прочно омоноличивает часть скважины в месте расположения этой забойки с окружающим горным массивом. Когда забойка будет разрушаться в момент взрыва одновременно с окружающим горным массивом, тогда можно утверждать, что она полностью выполняет свое назначение.

Однако применение обычного цемента или бетона в качестве материала забойки, вводимого непосредственно в скважину, не обеспечивает высокой удельной прочности на срез, поскольку твердение их сопровождается усадкой объема на 0,1...0,5 %.

Вполне очевидно, что для подобных целей следует применять расширяющиеся материалы. В качестве одного из них для забойки может быть применен бетон, затворенный на расширяющемся вяжущем веществе с объемным расширением 1...3 %. Проведенные опыты с расширяющейся забойкой показали, что материал забойки должен иметь объемное расширение более 3 % ввиду саморазрушения материала при твердении в замкнутом объеме скважины. Бетон, затворенный на расширяющемся це-

менте, при твердении, расширяясь, плотно заполняет скважину по всему сечению, с большим усилием давит на его стенки, что приводит к резкому увеличению (в 14...20 раз) удельной прочности на срез материала забойки.

В качестве такого материала для забойки применяли бетон на гипсо-глиноземистом расширяющемся цементе состава 1:2 (цемент : песок) при водоцементном отношении 0,3. Длина забойки была принята 0,5 м. Для сравнения взрывали шпуры с песчано-глинистой забойкой и без нее [55]. В результате испытаний установлено, что при песчано-глинистой забойке объем разрушения массива увеличивается в 1,5 раза, а при расширяющейся забойке – в 29 раз больше, чем при взрывании без забойки (табл. 3.1). Удельный расход ВВ снижается соответственно в 30 раз.

Таблица 3.1

Параметры взрывания шпуров с различными забойками

Показатели	Способы заряжания		
	без забойки	песчано-глинистая забойка	бетонная забойка
Количество опытов	8	8	23
Длина шпуров, м	2,4	2,4	2,4
Диаметр шпуров, мм	26	26	26
Длина забойки, м	-	0,5	0,5
Средний диаметр шпура после взрыва, мм	41	43	112
Средний объем разрушенного массива, см ³	720	1050	21200
Средний удельный расход ВВ, г/см ³	1,94	1,35	0,066

Снижая давление газов в зарядной полости путем создания воздушных промежутков или применения низкобризантных ВВ, а также уменьшая диаметр зарядов и увеличивая удельную прочность на срез забоечного материала, можно управлять длиной забойки.

Таким образом, в скважинах с гладкими, ненарушенной структуры стенками (рис. 3.1, а) применение бетонной монолитной забойки нецелесообразно, что и объясняет утверждение [56] об ухудшении качества дробления.

В скважинах с вывалами и трещинами в стенках (рис. 3.1, б) при формировании монолитной бетонной забойки бетонная смесь заполняет впадины и трещины в стенках скважины. Изготовленная таким образом забойка даже из обычного, а не расширяющегося цемента, после взрыва будет удерживаться в скважине не за счет сил трения и сцепления между стенками скважины и монолитной забойкой, а за счет того, что бетон будет работать на срез, возникающие при этом сопротивления соизмеримы сопротивлениям горной породы.

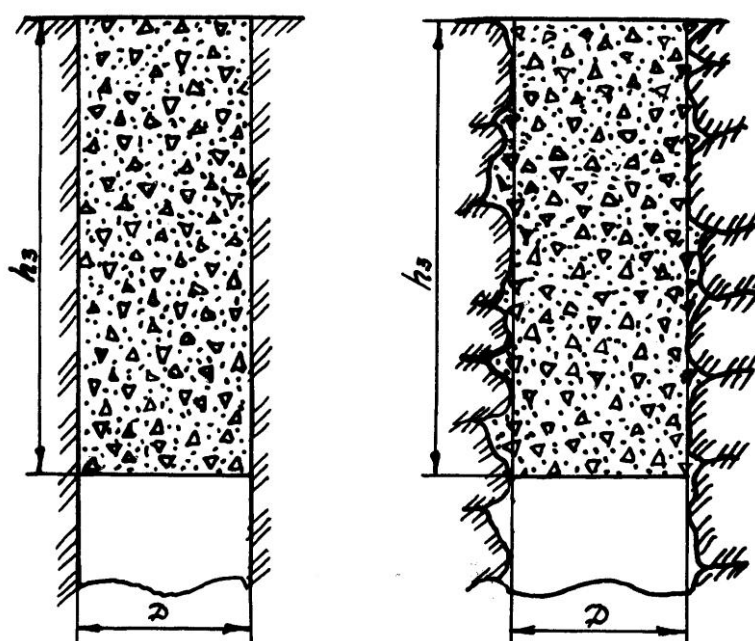


Рис. 3.1. Бетонная забойка: *а* – в скважине с гладкими ровными стенками; *б* – в скважине с вывалами и трещинами в стенках

Бетон хорошо работает на сжатие, сопротивление же его растяжению в 10...20 раз меньше. В то же время прочность его на срез в 1,5... 2,0 раза больше, чем при растяжении [57], поскольку существенное влияние при срезе оказывает сопротивление крупных зерен заполнителя, которые, попадая в плоскость среза, работают как своего рода шпонки. Кроме того, при ударной нагрузке сопротивление бетона по сравнению со статической нагрузкой повышается на 10...30 %, ввиду запаздывания развития микро-

трещин.

Прочность бетона зависит в первую очередь от прочности цемента, входящего в его состав, которая при соответствующих условиях внешней среды со временем возрастает (рис. 3.2). Даже после тепловой обработки прочность бетона после твердения, как правило, не превышает 70 % проектной [58]. В скважине твердение забойки из бетона идет естественным образом, без тепловой обработки, поэтому для получения достаточной прочности класс бетона следует завышать примерно в два раза, одновременно используя те или иные способы снижения времени твердения.

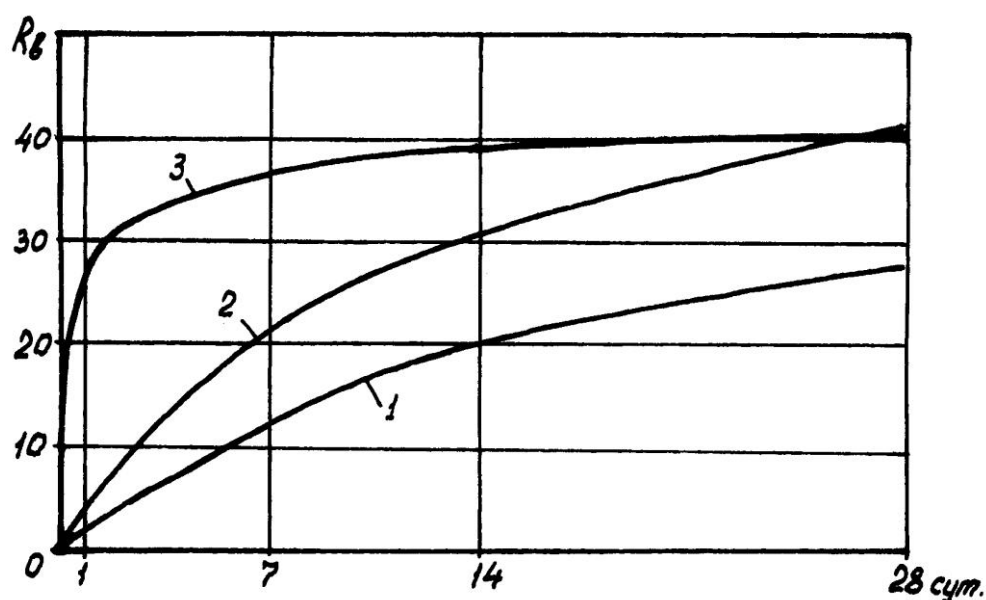


Рис. 3.2. Кривые роста прочности цемента по времени:
1 – твердение при температуре 5 °C; 2 – нормальное твердение при 20 °C;
3 – пропаривание при 85 °C

Твердение бетона является сложным физико-химическим процессом, в связи с чем условно выделяют три способа ускорения твердения бетона: физико-технологический, химический и тепловой [59].

Под физико-технологическим способом ускорения твердения понимают применение быстротвердеющих цементов, применение жестких бетонных смесей, виброактивацию бетонной смеси, вибропомол цемента и пр.

При химическом способе ускорения твердения бетона в бетонную

смесь вводят различные химические добавки (хлориды кальция, натрия, аммония, алюминия, жидкое стекло и т. п.), которые способствуют активизации твердения.

Метод выдерживания с применением термической обработки бетона имеет следующие разновидности: электрический прогрев бетона с использованием электродов; прогрев в электромагнитном поле; обогрев нагревателями инфракрасного излучения; электрообогрев в термоактивной опалубке и, наконец, паровой нагрев бетона.

Из всех перечисленных способов ускорения твердения бетона для создания монолитных забоек взрывных скважин наиболее применимо использование жестких бетонных смесей, быстротвердеющих цементов и химические способы.

Жесткие бетонные смеси обеспечивают более быстрое твердение бетона, чем подвижные, поскольку имеют меньшее начальное содержание воды.

Быстротвердеющие цементы выпускаются промышленностью различного химического состава.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) обладает более интенсивным, чем обычный портландцемент, возрастанием прочности в начальный период твердения (рис. 3.3) благодаря повышенному тепловыделению в результате его химической реакции с водой.

Однако, как видно из рис. 3.3, за первые сутки твердения бетон набирает лишь до 10 % прочности, что явно недостаточно, а большее время для набора прочности бетонной забойки в карьере далеко не всегда может быть выделено по причинам технологического порядка, необходимости круглосуточной охраны заряженных скважин и т. п.

Глиноземистый цемент является быстротвердеющим, но не быстросхватывающимся вяжущим веществом. В начале процесса твердения глино-

земистый цемент выделяет тепла в 1,5...2,0 раза больше, чем портландцемент, что способствует увеличению скорости твердения – через 8...10 ч после начала твердения он достигает такой прочности, какую обычный портландцемент приобретает к 3...5 сут твердения. Однако этот цемент в 3...4 раза дороже портландцемента.

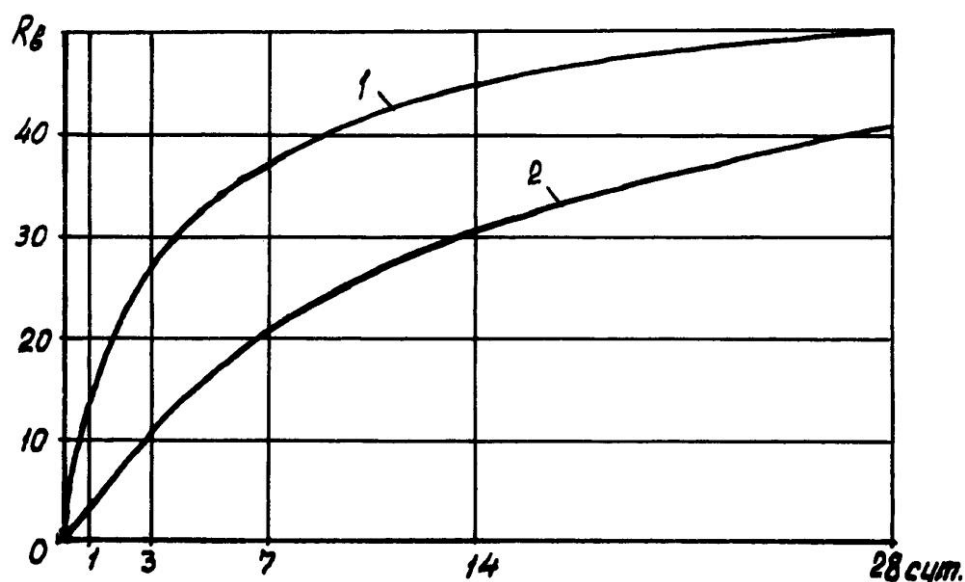


Рис. 3.3. Темпы твердения БТЦ (кривая 1) и обычного портландцемента марки 500 (кривая 2)

Бесалит – особо быстротвердеющее вяжущее, которое через 6 ч твердения в воздушно-влажных условиях набирает до 25 % проектной прочности. Начало схватывания бесалита наступает не ранее 5 мин, а окончание – не позднее 1 ч после затворения [60]. Бесалит рекомендуется применять без тепловлажностной обработки в естественных условиях твердения, а также при низких температурах. Однако из-за быстрого схватывания требуется сокращать время транспортных операций, укладки и уплотнения бетонной смеси.

Особое внимание следует уделить изготовлению бетонных забоек в зимнее время, когда понижение температуры ведет к снижению скорости твердения бетонной смеси, в случае замерзания воды затворения – к остановке процесса набора прочности. При ведении строительных работ на по-

верхности особые требования к бетонированию предъявляются уже при ожидаемой среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5 °С и минимальной суточной температуре ниже 0 °С. Другое дело – изготовление бетонной забойки в скважине, где ее температура повышается из-за поступления тепла из нижней ее части, пробуренной ниже уровня промерзания пород. После бетонирования забойка находится ниже уровня земли и не охлаждается ветром, теплоотдача бетонной смеси стенкам скважины невелика ввиду низкой теплопроводности горных пород и в скважине сохраняется положительная температура. Тем не менее, в холодное время года в бетонную смесь следует добавлять противоморозные добавки – химические соединения, вводимые в количестве 2...10 % массы цемента (в зависимости от вида добавки и температуры бетона) и способствующие твердению бетона при отрицательных температурах.

Добавки ускоряют процесс твердения бетона, снижают температуру замерзания воды, обеспечивая сохранение в бетоне жидкой фазы при отрицательной температуре, и, следовательно, позволяют увеличить продолжительность твердения бетона. К добавкам, ускоряющим твердение, относятся хлорид кальция ($CaCl_2$), хлорид натрия ($NaCl$), нитрит натрия ($NaNO_2$), сульфат натрия (Na_2SO_4). К добавкам, снижающим температуру замерзания воды в бетоне, относятся комплексные добавки $NaNO_3 + CaCl_2$ и $NaCl + CaCl_2$.

3.3. Конструкции бетонных забоек

Снижению трудоемкости работ в карьере по изготовлению бетонной забойки в технической литературе уделено определенное внимание. Известна забойка в виде самозаклинивающейся пробки из отвердевшего бетона, состоящей из конуса, размещенного на глиняной пробке над зарядом ВВ и направленного острием вверх, и боковых клиньев, насаживаемых на

конус [43]. Как утверждают авторы, такая забойка обладает достаточной прочностью, хорошим сопротивлением выталкивающим силам, т. к. с их увеличением возрастает боковой распор, увеличивающий силу трения между стенками скважины и боковыми клиньями.

Недостатком такой конструкции является плохое сцепление боковых бетонных клиньев со стенками скважины нарушенной структуры (с вывалами стенок), что не обеспечивает необходимого удерживающего усилия.

Нами предложена бетонная забойка (рис. 3.4), включающая конический элемент 1, выполненный монолитным из затвердевшего бетона и обращенный узким концом к устью скважины. Он расположен на пробке 2 из пенополистирола, отделяющей его от заряда ВВ, а материалом забойки между ним и стенками скважины является бетонная смесь. Конический элемент выполнен с основанием диаметром на 4...8 % меньше диаметра скважины, что позволяет ему свободно входить в скважину [61].

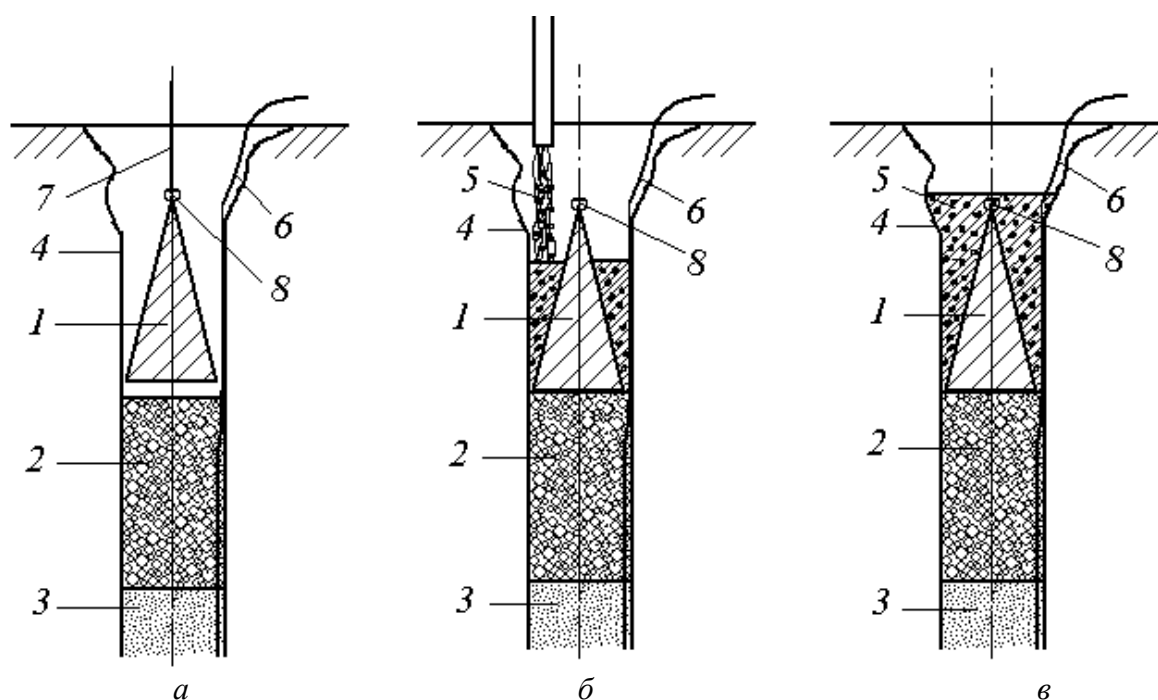


Рис. 3.4. Схема процесса создания бетонной забойки: *а* – опускание конического элемента в скважину; *б* – заливка бетонной смеси на конический элемент; *в* – бетонная комбинированная забойка в скважине

Бетонную забойку формируют следующим образом. В скважине 4 фор-

мируют заряд ВВ 3 заданной высоты и выводят проводник инициирующего импульса 6 вдоль стенки скважины. Над зарядом ВВ размещают пробку из пенополистирола засыпкой гранулированного вспененного полистирола на расчетную высоту. В связи с тем, что стенки скважин в верхней части часто бывают нарушены, периодически замеряют высоту полученной пробки.

Для облегчения процесса формирования пробки может быть использован пенопласт в виде параллелепипеда заданной высоты с наибольшим размером в сечении 0,52 диаметра скважины, а зазор между ним и стенками скважины засыпают пенополистиролом. На пробку на шнуре 7 опускают конический элемент острием вверх, используя кольцо 8. Затем заливают бетонную смесь 5. Вспененный полистирол препятствует утечке жидкой части бетонной смеси. Замеры показали, что как гранулированный вспененный полистирол, так и пенопласт выдерживают достаточно высокую нагрузку при незначительной величине осадки. На этом процесс формирования бетонной забойки заканчивается, и она остается до набора бетонной смесью необходимой прочности. При использовании быстротвердеющего цемента этот процесс завершается в течение нескольких часов, а зарядка блоков обычно продолжается в несколько раз дольше. После отвердевания бетонная смесь получает прочное сцепление с коническим элементом и стенками скважины, превращая забойку в единый монолит.

При детонации заряда конический элемент, за счет сил сцепления отвердевшей бетонной смеси с ним и стенками скважины, оказывает сопротивление выталкивающему действию продуктов взрыва вплоть до начала разрушения стенок скважины. Уменьшение за счет пробки из пенополистирола, выполняющей роль воздушного промежутка, длины забойки позволяет повысить зону регулируемого дробления в скважине, а запирающие продукты детонации до полного разрушения пород массива увеличи-

вает время действия взрыва на массив, что повышает использование энергии взрыва на массив горных пород. Использование конического элемента позволяет ускорить процесс формирования забойки и уменьшить объем доставляемой на блок бетонной смеси.

Однако остается еще один существенный недостаток – большой расход бетона и, соответственно, повышение стоимости буровзрывных работ. Предлагается снизить расход бетона при изготовлении забоек взрывных скважин следующим образом. Как уже указывалось выше, бетонные забойки следует применять в скважинах с вывалами и трещинами в стенках, когда при формировании забойки бетонная смесь заполняет впадины и трещины в стенках скважины. Изготовленная таким образом забойка после взрыва будет удерживаться в скважине не за счет сил трения и сцепления между стенками скважины и монолитной забойкой, бетон будет работать на срез, возникающие при этом сопротивления соизмеримы сопротивлениям горной породы.

Как уже указывалось, бетон хорошо работает на сжатие, сопротивление же его растяжению в 10...20 раз меньше. В то же время прочность его на срез в 1,5... 2,0 раза больше, чем при растяжении, что объясняется сопротивлением зерен крупного заполнителя срезающим усилиям.

Временное сопротивление бетона на срез R_{bq} равно:

$$R_{bq} = \zeta_q \sqrt{R_b R_{bt}} , \quad (3.1)$$

где ζ_q – коэффициент, учитывающий вид бетона ($\zeta_q = 0,7$ для тяжелого цементобетона, $\zeta_q = 0,6$ для мелкозернистого цементобетона); R_b – временное сопротивление бетона сжатию; R_{bt} – временное сопротивление бетона растяжению.

Связь между временным сопротивлением бетона на сжатие и растяже-

ние выражается следующим образом:

для цементобетонов слабой и средней прочности

$$R_{bt} = 0,23\sqrt[3]{R_b^2}, \quad (3.2)$$

для высокопрочных бетонов

$$R_{bt} = 0,32\sqrt{R_b}. \quad (3.3)$$

Учитывая вышеизложенное, связь между временным сопротивлением бетона на срез и сжатие выражается следующим образом:

для бетонов слабой и средней прочности

$$R_{bq} = 0,29\sqrt[6]{R_b^5} = 0,29R_b^{0,83}, \quad (3.4)$$

для высокопрочных бетонов

$$R_{bt} = 0,392\sqrt[4]{R_b^3} = 0,392R_b^{0,75}. \quad (3.5)$$

Бетонная забойка испытывает большие сжимающие напряжения от давления продуктов детонации в несколько десятков тысяч атмосфер, а также динамический удар газов по забойке. Однако, как видно из выражений (3.4) и (3.5), бетон выдерживает нагрузки на срез на порядок меньшие, поэтому на работоспособность бетонной забойки площадь ее контакта со стенками скважины оказывает существенно большее влияние, чем длина забойки по высоте (толщина) забойки.

Таким образом, предлагается конструкция бетонной забойки, у которой развита площадь боковой поверхности, контактирующей со стенками

скважины и работающая на срез, и ослаблена толщина монолитной забойки. Это достигается тем, что конический элемент выполняется из плотного картона или пластика [62], или пенопласта [63]. При детонации заряда температура продуктов взрыва достигает 3 000 К, поэтому конический элемент сгорает, продукты взрыва воздействуют на коническую поверхность бетона забойки с усилием в тысячи мегапаскалей, увеличивая силу сцепления со стенками скважины отвердевшей бетонной смеси и сопротивление забойки выталкивающему действию продуктов взрыва вплоть до начала разрушения стенок скважины.

3.4. Экспериментальные исследования бетонных забоек

Приведенные выше положения были проверены экспериментальными исследованиями на объектах ОАО «Амурвзрывпром». Исследовали эффективность действия двух видов забойки: обычно применяемой на карьере засыпной забойки из бурового шлама и экспериментальной бетонной.

На рис. 3.6. представлена схема конструкции зарядов в скважинах диаметром 115 мм. Скважины располагали по первом ряду уступа и взрывали одновременно. Экспериментальный блок располагался на восточном борту Корфовского каменного карьера и представлен гранодиоритами XII категории крепости по СНиП.

Заряд ВВ комбинированный – в нижней, обводненной, части скважин размещали водостойчивый граммонит 30/70, далее – неводостойчивый граммонит 79/21. Масса заряда в скважинах 1...3 составила 100 кг, в скважинах 4 и 5 – 90 кг.

В скважине 1 размещена цементно-песчаная забойка на расширяющемся быстротвердеющем цементе длиной 0,8 м. Конструкция забойки схематично представлена на рис. 3.7, а. Детонирующий шнур (для предохра-

ния от воздействия расширяющегося цемента) пропускали через тонкостенную металлическую трубку, на нижнем конце которой закреплен кружок из оргалита, служащий основанием забойки. Трубку удерживали на заданном уровне с помощью зажима на верхнем конце, опирающегося на прутки поперек скважины (рис. 3.7, б).

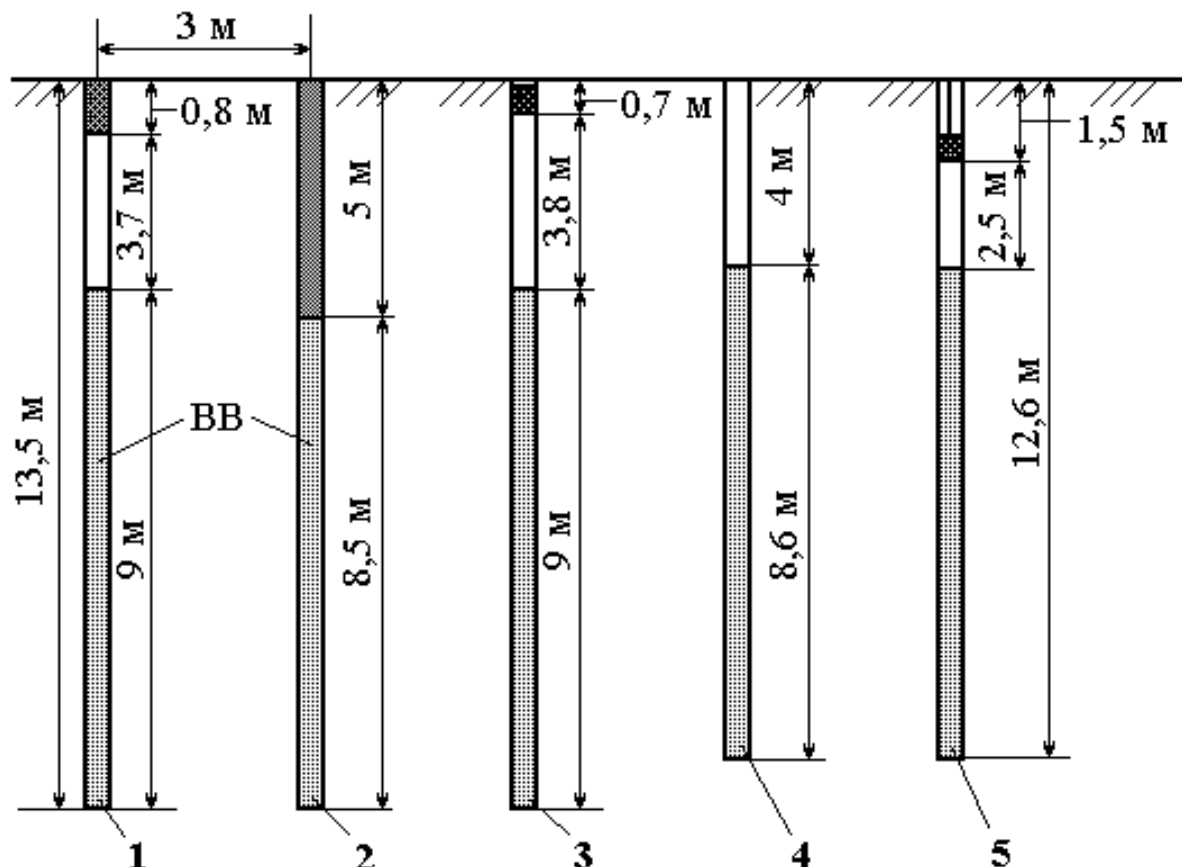


Рис. 3.6. Конструкция зарядов скважин экспериментального взрыва

Бетонную смесь состава песок : цемент 3:1 при водоцементном отношении 0,3 готовили непосредственно на блоке в небольшой емкости и порциями подавали в скважину, уплотняя ее штыкованием металлическим прутком. Время выдержки бетонной забойки до взрыва составило 3,5 ч.

В скважине 2 выполнена обычно применяемая на карьере забойка из бурового шлама, скважины 3 и 5 – с металлическими забойками, работа которых описана в 4.5, скважина 4 – без забойки.

Экспериментальный взрыв был проведен 25 июля 2005 г. Скважина с

бетонной забойкой смогла произвести интенсивное заколообразование в глубь массива (рис. 3.8, *а*) и вдоль уступа (рис. 3.8, *б*). В районе этой скважины отмечается более мелкое дробление горной массы (рис. 3.9, *а*), чем у других скважин (рис. 3.9, *б*).

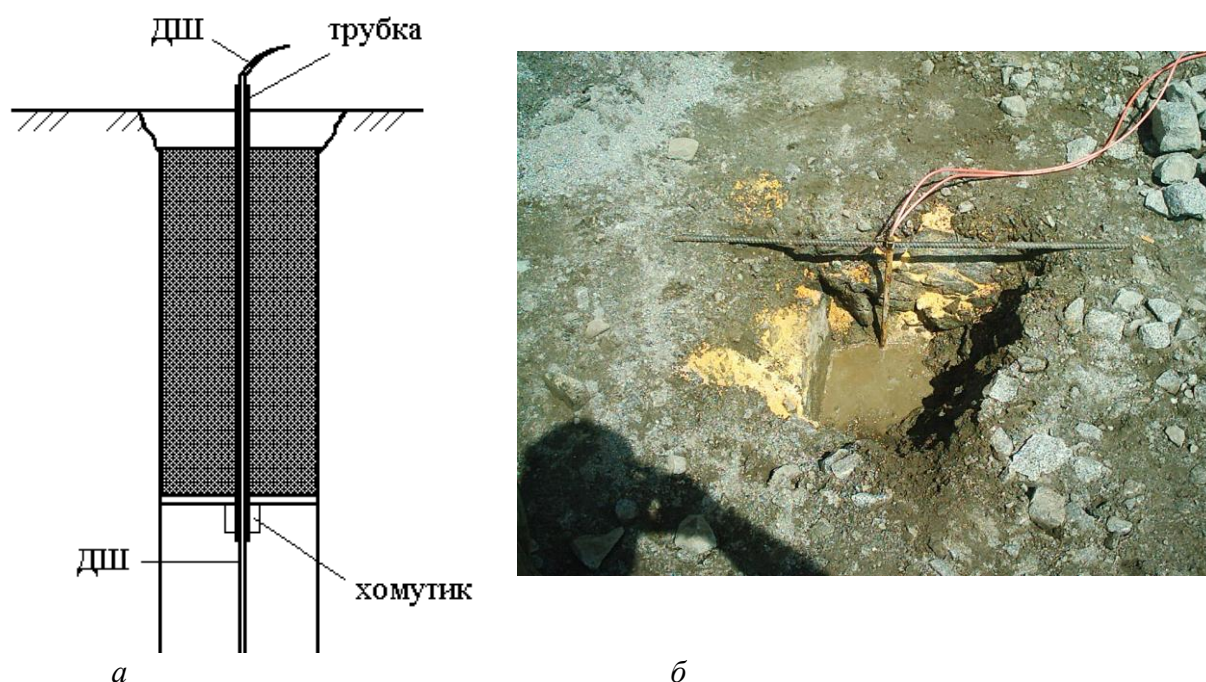


Рис. 3.7. Конструкция (*а*) и исполнение (*б*) бетонной забойки

Таким образом, времени в 3,5 ч оказалось достаточно для обретения бетонной смесью на быстротвердеющем цементе прочности, способной противостоять взрыву заряда ВВ массой 100 кг. В то же время задержка газов взрыва во взрывной полости такой забойкой даже до 40 мс резко усилила действие взрыва, о чем свидетельствуют заколы на уступе и более мелкое дробление горной массы в районе этой скважины. Одновременно в полигонных условиях выявлен недостаток бетонной забойки – трудоемкость ее изготовления, т. к. подача бетонной смеси в скважину и ее уплотнение производились вручную, что неприемлемо для производственных условий.



а

б

Рис. 3.8. Закол от скважины с забойкой из цементно-песчаной смеси вглубь массива (*а*) и вдоль уступа (*б*)



а

б

Рис. 3.9. Дробление у скважины с бетонной забойкой (*а*) и у других скважин (*б*)

Дальнейшие экспериментальные исследования работы бетонных забоек проводились в карьере ОАО «Теплоозерский цементный завод» в июле 2007 г. Горные породы представлены известняками VIII категории крепости по СНИП. Скважины расположены в ряд на нескольких участках с визуально выявленными выходами минимально нарушенных предшествующими взрывами горных пород. С целью получения качественной видеосъемки весь обуренный объем скважин был разбит на два участка, и на каждом из них экспериментальный взрыв проводился отдельно. Первый экспериментальный участок (рис. 3.10) обурен четырьмя скважинами диаметром 110 мм и глубиной 2 м.

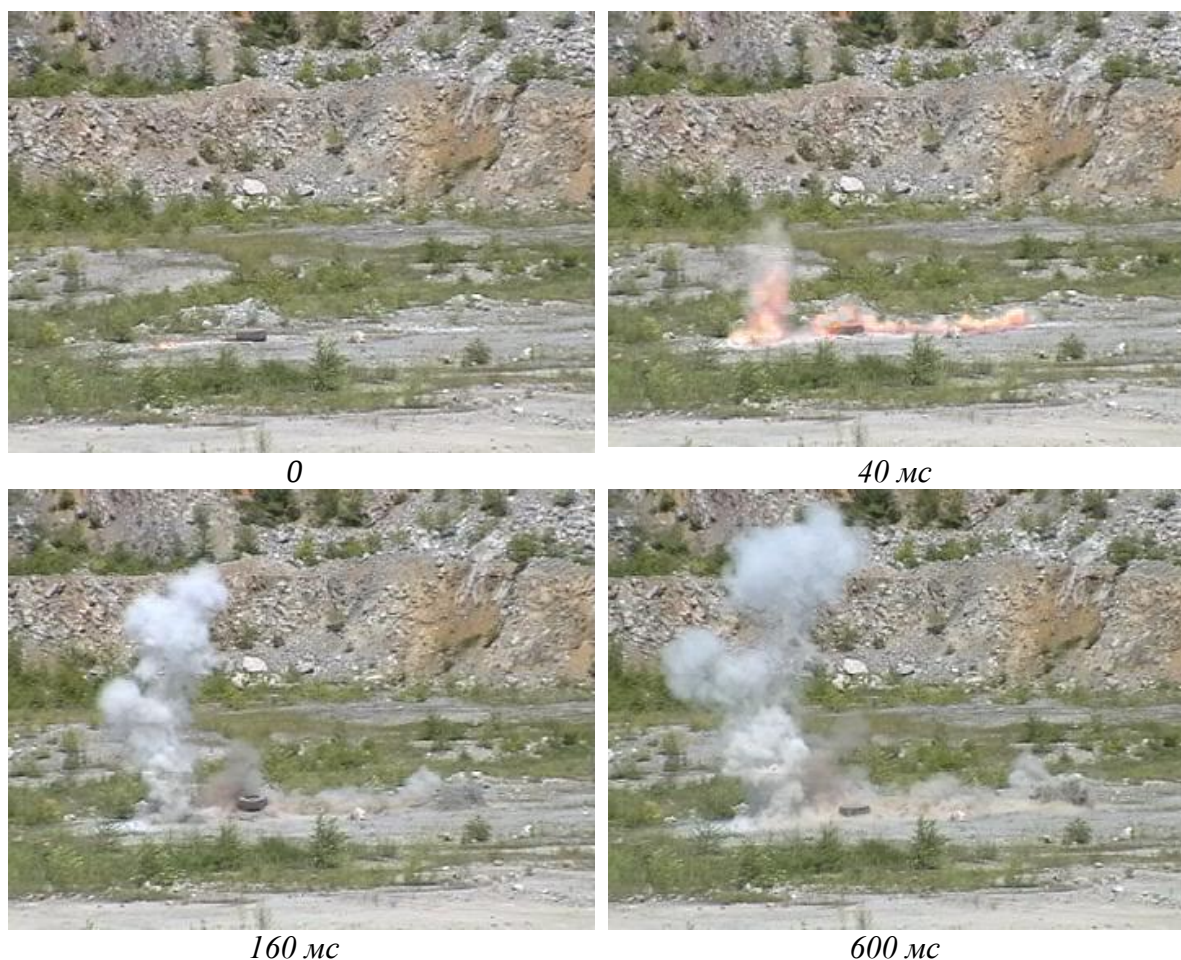


Рис. 3.10. Видеограмма развития первого экспериментального полигонного взрыва на карьере Теплоозерского цементного завода

Первая слева скважина выполнена без забойки, во вторую установлена металлическая подвесная забойка, в третью – бетонная, и в четвертую – засыпная забойка из буровой мелочи. Скважины сухие, ВВ – патронированный аммонит АПВ в патронах диаметром 90 мм и массой по 3 кг. Заряд каждой скважины составлял 3 кг и занимал 0,5 м длины скважины. Бетонные и засыпные забойки выполнялись длиной 1,5 м.

Второй экспериментальный участок (рис. 3.11) был обустроен тремя скважинами. Первая слева скважина выполнена с засыпной забойкой, вторая – с металлической стержневой и третья – с бетонной забойкой. Параметры скважин, зарядов и забоек те же, что и на первом участке.

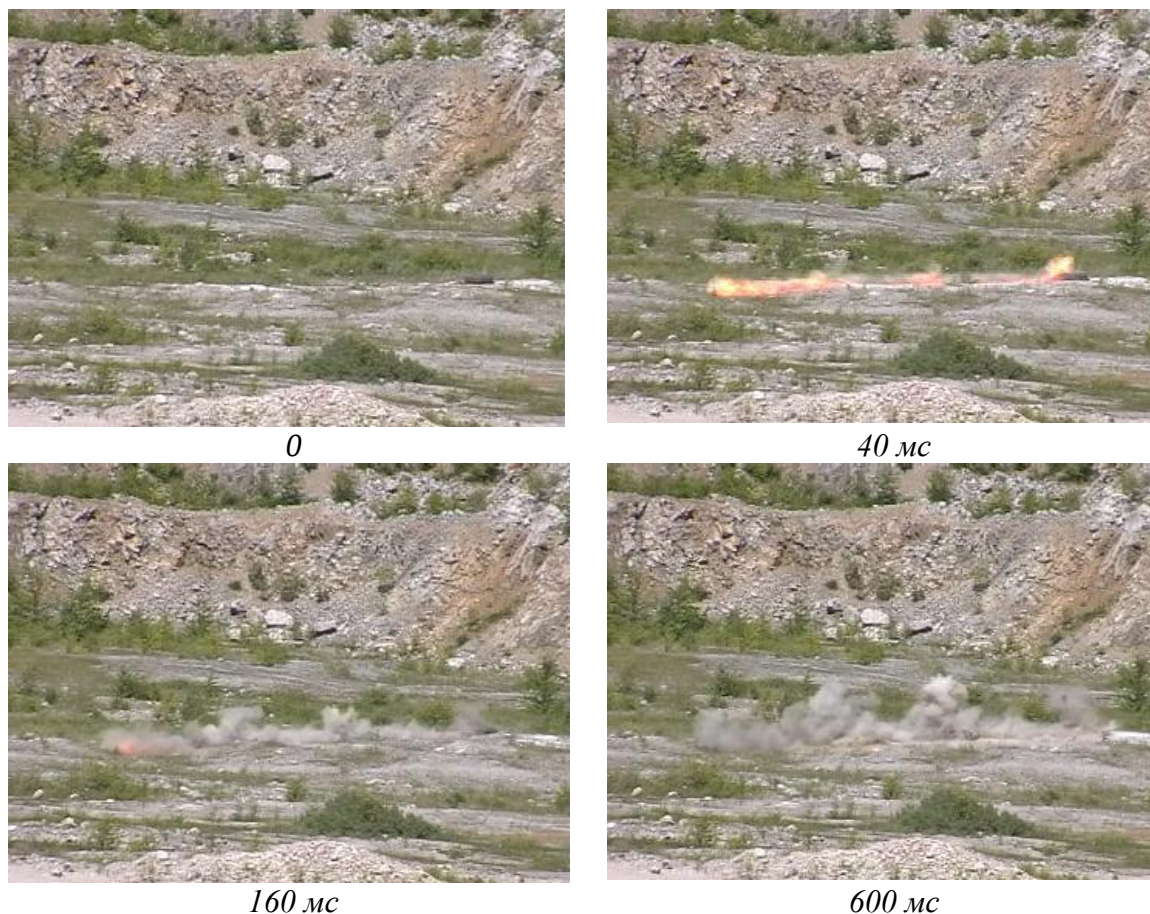


Рис. 3.11. Видеограмма развития второго экспериментального полигонного взрыва на карьере Теплоозерского цементного завода

Результаты взрыва бетонных забоек представлены на рис. 3.12. Видимый размер воронки выброса составил 1,7...1,8 м по диаметру при высоте выброшенной породы около 0,3...0,4 м. Объем разрушенной породы в воронке выброса составил 1,5...1,7 м³, а объем выброса породы – приблизительно 0,84 м³.

Анализ работы засыпных забоек показал (рис.3.13), что видимый размер воронки выброса составил 1,4...1,6 м по диаметру при высоте выброшенной породы около 0,3...0,4 м. Объем разрушенной породы в воронке выброса составил 1,0...1,3 м³, а объем выброса породы – приблизительно 0,62 м³.



Рис.3.12. Воронки выброса после взрыва скважин с бетонными забойками



Рис. 3.13. Воронки выброса после взрыва скважин с засыпными забойками

Таким образом, объем воронки выброса при установке бетонной забойки на 30...50 % больше, чем при взрыве с засыпной забойкой.

Дальнейшие экспериментальные исследования работы бетонных забоек проводились в выемке на строящейся федеральной автодороге № 58 «Амур» на участке 1906 –1983 км. Горные породы представлены доломитами VIII категории крепости по СНИП.

Экспериментальный участок был обустроен пятью скважинами диаметром 110 мм и глубиной 2 м. Скважины расположены произвольно, на участках с визуально выявленными выходами ненарушенных предшествующими взрывами пород (рис. 3.14, а). Скважины сухие, ВВ – патронированный аммонит АПВ в патронах диаметром 90 мм и массой по 3 кг. Заряд каждой

скважины составлял 5 кг и занимал 0,65...0,7 м длины скважины. Длина забойки во всех скважинах принята одинаковой – 0,8 м, пространство между забойкой и зарядом заполняли вспененным полистиролом. Конструкция заряда приведена на рис. 3.14, б.



а



б

Рис. 3.14. Расположение скважин на полигоне (а) и конструкция заряда (б)

Скважина № 1 была взорвана без забойки. В скважину № 2 установлена металлическая распорная забойка, работа которой описана в 4.5, в скважине № 3 размещена засыпная забойка из бурового шлама, в скважине № 4 установлена забойка из органики (деревянный конус с резиновой транспортной лентой), работа которой описана в 5.5, в скважину № 5 установили забойку из бетона. На каждую скважину укладывали соосно с ней укрытие в виде изношенной автошины от автомобиля БелАЗ массой около 280 кг поверх сложенной вдвое сетки Рабитца. После укладки шин через сетку извлекали ДШ из скважин и проводили монтаж взрывной сети поверх автошин. Взрывание всех скважин проводили одновременно.

Экспериментальный массовый взрыв был проведен 27 июля 2007 г. На рис. 3.15 показано развитие полигонного взрыва (время от начала развития взрыва приведено под кадрами).

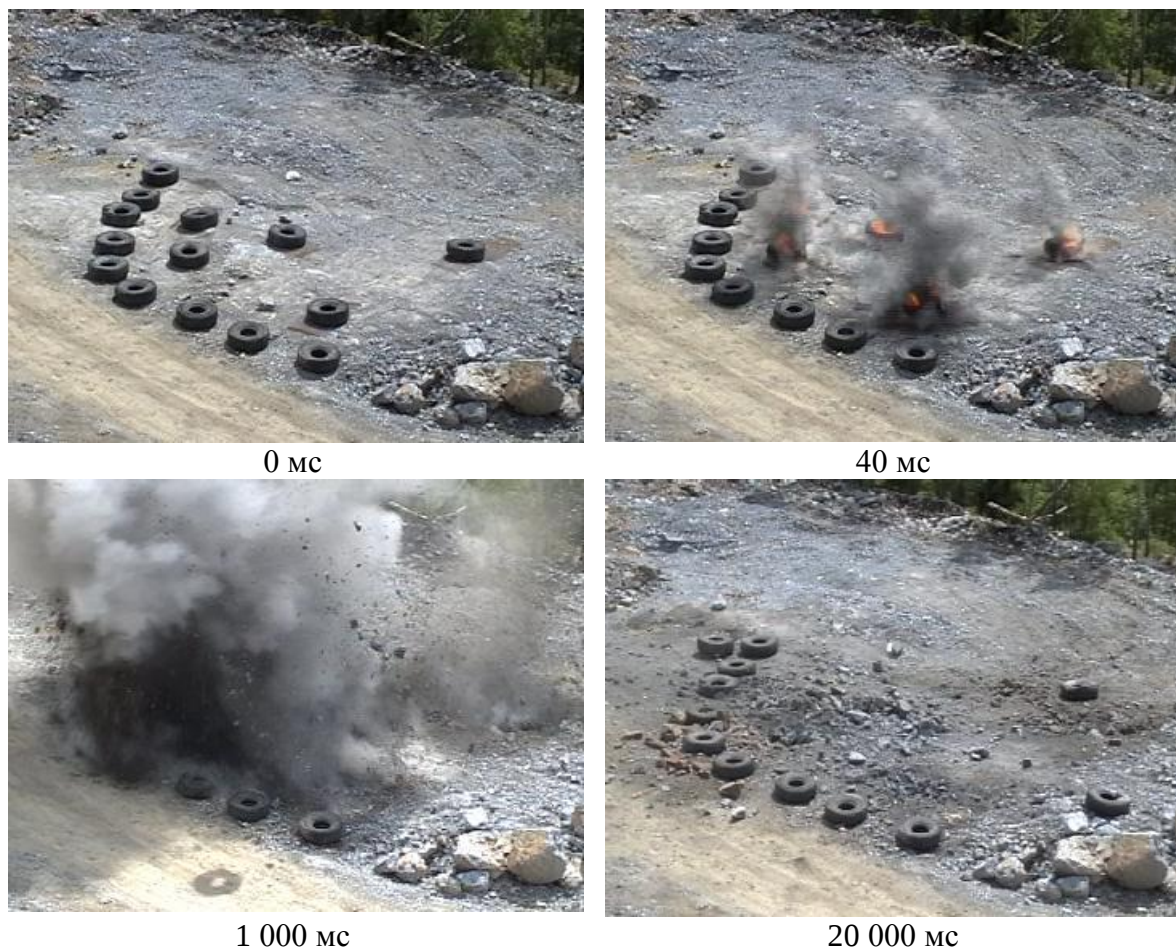


Рис. 3.15. Видеограмма развития экспериментального полигонного взрыва

При глубине размещения заряда в 2,0 м расчетный диаметр воронки рыхления по верху составляет около 4,0 м, т. е. существенно выше, чем размер поверхности уступа укрываемый сеткой, расположенной под шиной (ширина сетки 1,5 м, длина 5 м), поэтому не исключался разлет кусков горной массы из-под укрытия. Видеосъемка перемещения отдельных шин при взрыве (см. рис. 3.15) показала разлет камней (кадр 1 000 мс). По перемещениям тени от шин (см. кадр 1 000 мс) и скорости их падения установлено, что шины были подброшены на высоту 16...18 м.

Результаты взрыва бетонной забойки представлены на рис. 3.16, а. Видимый размер воронки выброса составил 2,2 м по диаметру. Объем разрушенной породы в воронке выброса составил около 2,5 м³. Анализ работы засыпных забоек показал (рис. 3.16, б), что видимый размер воронки вы-

броса составил 1,6 м по диаметру, объем разрушенной породы в воронке выброса составил около 1,4 м³.



а



б

Рис. 3.16. Видимые воронки взрыва скважин: *а* – с бетонной забойкой; *б* – с засыпной забойкой

После очистки воронок взрывов от горной массы с помощью экскаватора (рис. 3.17, *а*), объемы разрушенной породы в воронках от бетонной и засыпной забоек сопоставляли между собой. Объем разрушенной породы при взрыве с бетонной забойкой на 30...50 % больше, чем при взрыве с засыпной забойкой.



а



б

Рис. 3.17. Очистка воронок взрыва экскаватором (*а*) и вид воронки скважины с бетонной забойкой (*б*)

Таким образом, полигонные испытания бетонных и засыпных забоек в различных условиях подтвердили повышение эффективности взрывного

рыхления пород с применением бетонных забоек на 30...50 % в сравнении с засыпными забойками из бурового шлама.

3.5. Доставка бетонной смеси в карьер

Применение бетонных забоек в карьерах требует организации приготовления бетонной смеси на горном предприятии или же транспортирования готовой бетонной смеси с близлежащего бетоносмесительного завода.

Приготовление бетонной смеси на месте требует приобретения бетоносмесительной установки, включающей склады заполнителей и цемента, узел питания, дозирочное и смесительное оборудование. Достаточно большие капитальные затраты на приобретение и монтаж бетоносмесительной установки могут позволить себе лишь горные предприятия большой мощности.

На предприятиях средней и малой мощности предпочтительна доставка готовой бетонной смеси в карьер с действующих бетоносмесительных установок или заводов железобетонных изделий, для чего могут быть использованы автосамосвалы или автобетоносмесители.

Самым дешевым способом доставки готовой бетонной смеси на объект является перевозка автосамосвалом общего назначения. Однако при этом ухудшается качество бетонной смеси в результате ее расслоения, усыхания или увлажнения ее верхнего слоя и потерь цементного молока. Автосамосвалами можно перевозить бетонную смесь по дорогам с асфальтобетонным покрытием на расстояния до 25 км, а по другим видам дорог – не более 15 км. Кроме того, перевозка бетонной смеси автосамосвалами приводит к значительным затратам ручного труда для очистки кузова, дополнительного перемешивания смеси после разгрузки, дозирования с помощью мерных емкостей и распределения по скважинам.

Применение для доставки бетонной смеси в карьер автобетоносмесите-

лей требует больших капитальных затрат, однако они имеют значительные преимущества перед автосамосвалами. Автобетоносмесители предназначены для доставки дозированных компонентов бетонной смеси, приготовления ее в пути следования или по прибытии на объект, а также доставке готовой бетонной смеси и выдаче ее потребителю. Они могут загружаться от специальных установок для выдачи сухих смесей, а также от передвижных или стационарных бетонных заводов, приспособленных для выдачи сухих смесей. В автобетоносмесителях можно перевозить смесь практически на неограниченные расстояния, однако наибольшая эффективность достигается при транспортировании на расстояние до 80 км.

Однако при использовании для перевозки бетонной смеси в карьеры находящихся в настоящее время в эксплуатации автобетоносмесителей с гравитационным перемешиванием возникает проблема. Как уже указывалось, для изготовления бетонных забоек взрывных скважин следует применять жесткую бетонную смесь, однако гравитационным перемешиванием почти невозможно добиться качественного перемешивания жестких смесей с крупным заполнителем. Кроме того, существующие автобетоносмесители готовят сразу большую порцию бетонной смеси, тогда как забойка большого количества скважин в забое требует приготовления малых порций и распределения их готовности по времени.

Таким образом, для забойки взрывных скважин бетонной смесью автобетоносмеситель должен готовить малыми порциями жесткую бетонную смесь. Для решения поставленных задач была предложена конструкция автобетоносмесителя комбинированного перемешивания [64], представленная на рис. 3.18. Автобетоносмеситель состоит из грузового автомобиля 1, дополнительного двигателя внутреннего сгорания 2 и гидрообъемного привода 3 смесительных барабанов 4 и 5. На бетоносмесительном заводе сухие отдозированные компоненты жесткой бетонной смеси через загрузочную воронку 6 подаются в смесительный барабан комбинированного перемешивания 4, а вода

заливается в бак 7.

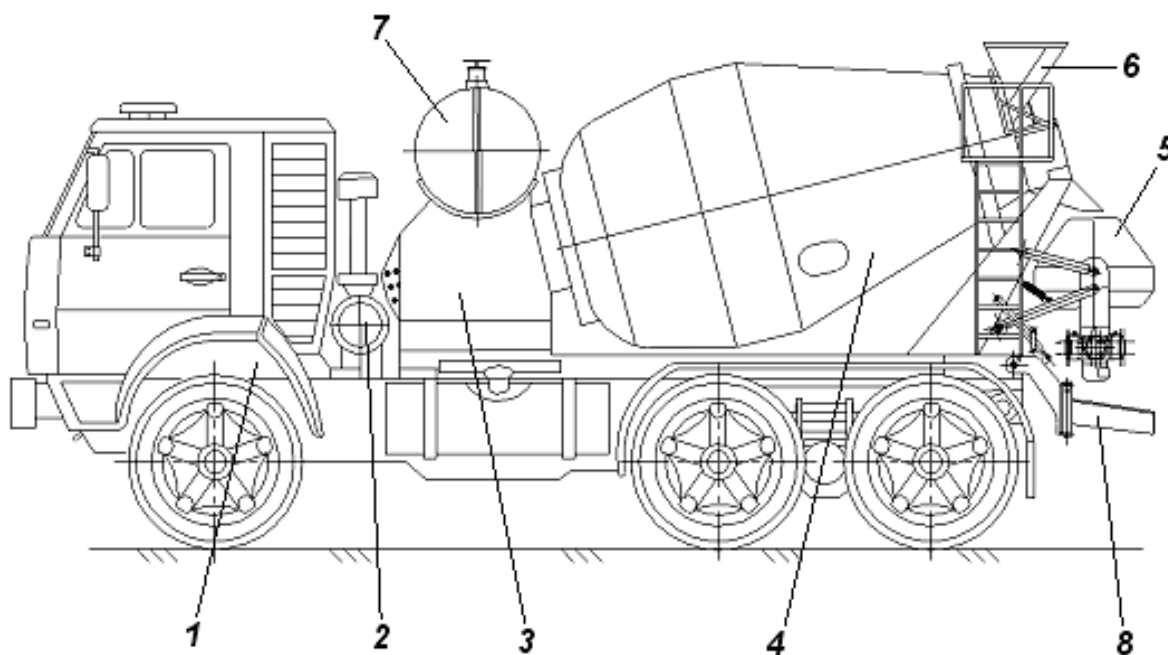


Рис. 3.18. Общий вид автобетоносмесителя для забойки взрывных скважин

За 10...15 мин до прибытия в карьер водитель начинает перемешивание сухих компонентов бетонной смеси в барабане 4. Для этого он включает тормоз 1 (рис. 3.19) и останавливает водило 2 планетарного редуктора. Лопастной вал 3 получает крутящий момент от гидромотора и вращается, перемешивая и перемещая бетонную смесь лопастями 4 от днища смесительного барабана. Одновременно крутящий момент от вала 3 через центральное колесо 5, сателлиты 6 и коронное колесо 7 вращает смесительный барабан в противоположную направлению вращения вала сторону, лопасти 8 перемещают смесь от разгрузочного отверстия к днищу. Интенсивное перемешивание смеси достигается тем, что лопастной вал перемешивает смесь принудительным способом, а вращающийся встречно смесительный барабан – гравитационным способом.

Для выгрузки смеси из смесительного барабана выключается тормоз и водило, коронное колесо и смесительный барабан вращаются как одно целое с центральным колесом и лопастным валом, при этом лопасти смесительно-

го барабана и лопасти вала перемещают готовую смесь к разгрузочному отверстию.

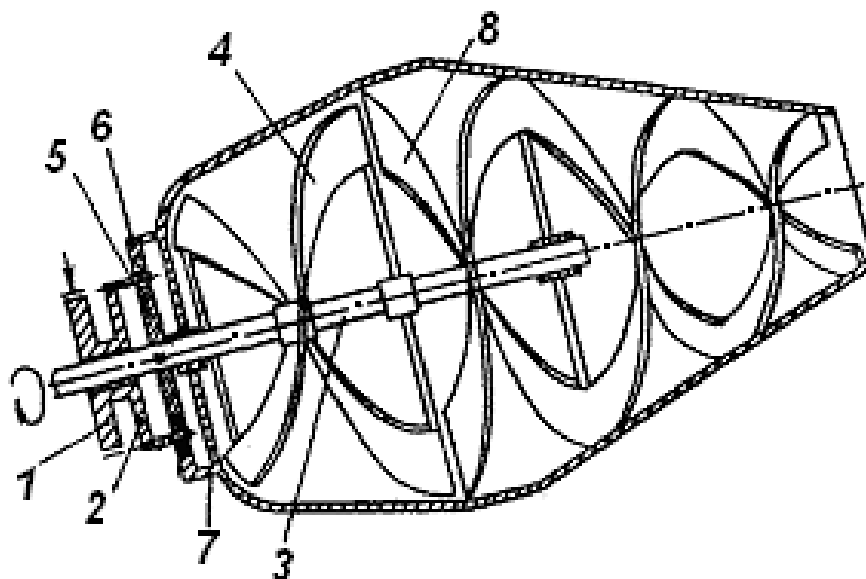


Рис. 3.19 Смесительный барабан с приводом вращения

Для приготовления малых порций готовой смеси к основному барабану добавлен навесной дозирующий бункер-смеситель 5 (см. рис. 3.18), который навешивается под отверстие смесительного барабана для выдачи смеси. У начала заряжаемого блока автобетоносмеситель начинает разводочный рейс. Машина останавливается, основной барабан приводится во вращение, лопасти выталкивают порцию смеси в нижерасположенный навесной бетоносмеситель гравитационного перемешивания. После загрузки необходимой массы смеси в барабане зажигается сигнал, барабан основного смесителя останавливается, прекращая загрузку навесного смесителя. Затем в навесной смеситель, привод вращения которого был включен еще до загрузки смеси, подается из бака порция воды. Готовая смесь с помощью поворотных гидроцилиндров выгружается и по направляющему желобу 8 направляется в скважину.

Объем готового замеса в навесном смесителе должен быть кратен нескольким объемам забойки одной скважины и рассчитываться в зависимости от затрат времени на переезды от скважины к скважине и времени формирования забойки.

Глава 4

РАСПОРНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЗАБОЙКИ

4.1. Взаимодействие забоек со стенками скважин

Для забойки скважин с гладкими стенками разработана конструкция распорной забойки. В принципе она представляет собой полый разрезной металлический цилиндр, в который вставлен распорный металлический конус (рис. 4.1).

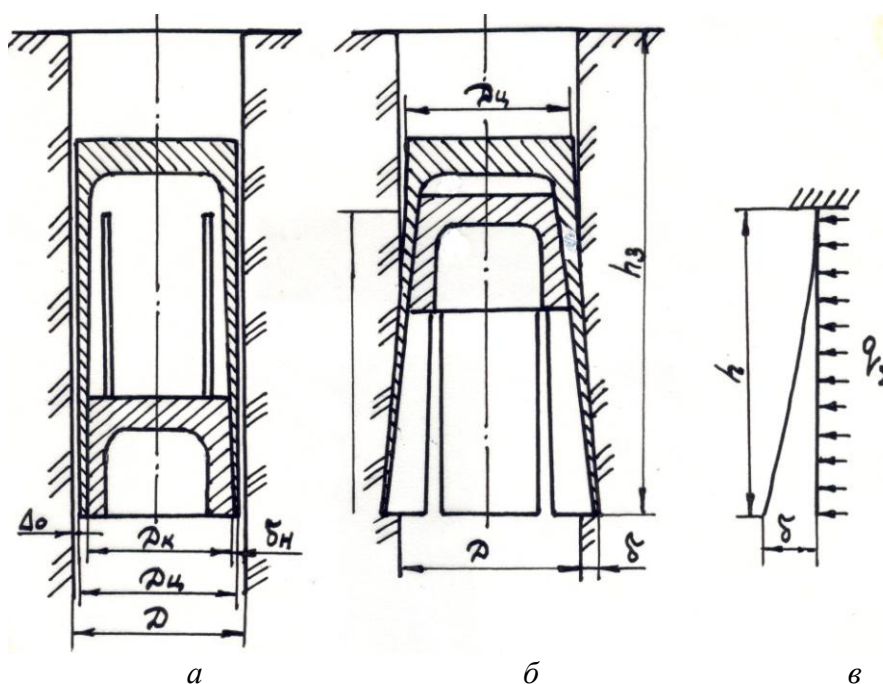


Рис. 4.1. Схемы для расчета основных параметров распорной забойки:
а – положение распорного конуса до взрыва; б – положение распорного конуса после взрыва; в – схема деформации разрезных элементов

Рассмотрим механизм взаимодействия распорной забойки со стенками взрывной скважины. В первый момент после взрыва сплошной жесткий распорный конус под действием газообразных продуктов взрыва работает как клин. Сила P , с которой давят газообразные продукты взрыва на тор-

цевую поверхность забойки и выдавливают ее из скважины, равна

$$P = \rho \pi \frac{D_{\text{ц}}^2}{4}, \quad (4.1)$$

где ρ – давление газов взрыва, МПа; $D_{\text{ц}}$ – наружный диаметр разрезного цилиндра, м.

Сила P_{κ} , с которой распорный конус вдавливается газами в разрезной цилиндр, определяется:

$$P_{\kappa} = \rho \pi \frac{D_{\kappa}^2}{4}, \quad (4.2)$$

где D_{κ} – диаметр нижнего основания распорного конуса, м.

Расклинивающее усилие N , действующее от распорного конуса на разрезной цилиндр, определяется из выражения:

$$N = P_{\kappa} \sin \alpha, \quad (4.3)$$

где α – угол наклона образующей распорного конуса к вертикальной плоскости, град.

Учитывая, что диаметр скважины D , наружный диаметр цилиндра $D_{\text{ц}}$ и диаметр нижнего основания распорного конуса D_{κ} незначительно отличаются по величине, с достаточной степенью точности можно сделать допущение об их равенстве и принять равными D .

Сила, с которой разрезные элементы цилиндра прижимаются к стенкам скважины, равна:

$$Q = N \cos \alpha = P_k \sin \alpha \cos \alpha = \rho \pi \frac{D^2}{8} \sin 2\alpha, \quad (4.4)$$

Эту силу можно рассматривать как распределенную нагрузку на разрезные элементы цилиндра. Интенсивность q_p распределенной нагрузки на один элемент разрезного цилиндра равна:

$$q_p = \frac{Q}{h z} = \frac{\rho \pi D^2 \sin 2\alpha}{8 h z},$$

где z — количество разрезных элементов цилиндра; h — длина разрезного элемента.

Деформации разрезного элемента препятствует не только его жесткость, но и порода стенок скважин, в которую упирается забойка. Поэтому интенсивность суммарной вдавливающей в породу разрезной элемент распределенной нагрузки q_Σ определится как разность нагрузки от действия распорного конуса и предела прочности на сжатие породы σ , в которую вдавливаются разрезной элемент:

$$q_\Sigma = \frac{\rho \pi D^2 \sin 2\alpha}{8 z h} - \frac{\pi D \sigma}{z} = \frac{\pi D}{z} \left(\frac{\rho D \sin 2\alpha}{8 h} - \sigma \right). \quad (4.5)$$

Анализ зависимости (4.5) показывает, что при выполнении условия

$$\sigma \succ \frac{\rho D \sin 2\alpha}{8 h} \quad (4.6)$$

внедрения в породу разрезных элементов цилиндра забойки не происходит и забойка удерживается силой трения о стенки скважины. При несоблюдении условия (4.6) разрезные элементы внедряются в породу на вели-

чину δ . Характер работы забойки зависит не только от величины давления газов p , но и отношения высоты разрезных элементов забойки h к диаметру скважины D и угла наклона образующей распорного конуса α к вертикали.

На рис. 4.2 показана зависимость предела прочности породы, в которую возможно внедрение разрезных элементов забойки, в зависимости от указанных параметров. В породы, прочность которых находится в области над кривой, разрезные элементы забойки вдавиться не могут, и такая забойка в скважине будет удерживаться только силами трения. В менее прочные породы (область под кривой) разрезные элементы забойки вдавливаются, и такая забойка в скважине будет работать как клин и срезать породу.

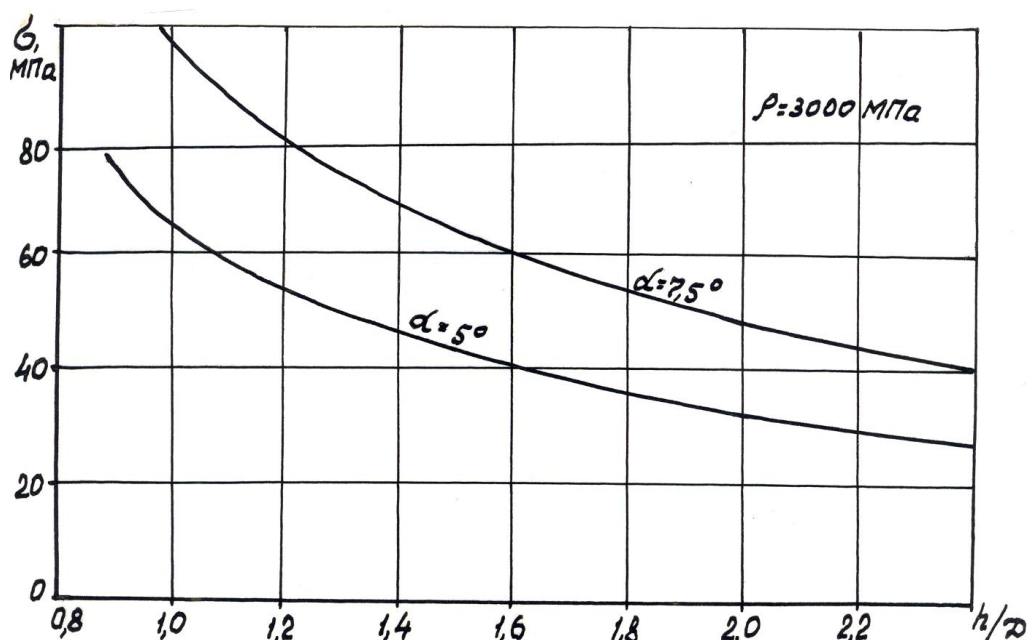


Рис. 4.2. Зависимость предела прочности σ породы, в которую возможно внедрение забойки, от соотношения h/D

Таким образом, в зависимости от прочности породы и мощности взрыва распорные забойки по виду взаимодействия со стенками скважины подразделяются:

- на забойки, удерживаемые трением о стенки скважины;
- забойки, работающие на срез.

4.2. Распорные забойки, удерживаемые трением

Распорный конус под давлением газообразных продуктов взрыва работает как клин. Сила трения F , удерживающая забойку в скважине, равна

$$F = Q \quad f = \frac{\rho \pi D^2}{8} \sin 2\alpha, \quad (4.7)$$

где f – коэффициент трения разрезного цилиндра о стенки скважины.

Для того чтобы забойка не вылетела из скважины до разрушения породы в устье скважины, где она установлена, должно соблюдаться условие:

$$P \leq F, \quad (4.8)$$

или

$$\pi \rho \frac{D_u^2}{4} \leq \rho f \pi \frac{D_{\text{кн}}^2}{8} \sin 2\alpha,$$

а коэффициент трения f материала забойки о стенки скважины

$$f \geq \frac{2D_u^2}{D_{\text{кн}}^2 \sin 2\alpha}. \quad (4.9)$$

Анализ выражения (4.9) показывает, что коэффициент трения разрезного цилиндра о стенки скважины должен быть в несколько раз больше единицы, что невозможно. Отсюда можно сделать вывод, что нельзя удержать забойку в скважине при взрыве только за счет трения о стенки скважины расклинивающим действием распорного конуса.

Замерами значительного количества пробуренных скважин нами уста-

новлено, что поперечное сечение скважины может быть не только круглым, но и овальным, поэтому разрезные элементы цилиндра распорной забойки будут прижиматься распорным конусом к стенкам скважины в направлении длинной оси эллипса с меньшим усилием, и забойка может не удержаться в скважине. В этом случае следует рассматривать два варианта:

- распорное усилие достаточно велико, чтобы вдавить разрезные элементы в стенки скважины, и тогда удерживающая сила выровняется;
- конструкция забойки такова, что используется давление газов на разрезные элементы цилиндра для удержания забойки в скважине.

Таким образом, для обеспечения запираания устья скважины при взрыве требуются забойки такой конструкции, чтобы для удержания использовалось не только расклинивающее воздействие распорного конуса на разрезной цилиндр, но и давление газообразных продуктов взрыва. С точки зрения соотношения длин контактирующих поверхностей разрезного цилиндра и распорного конуса забойка может быть трех типов (рис. 4.3).

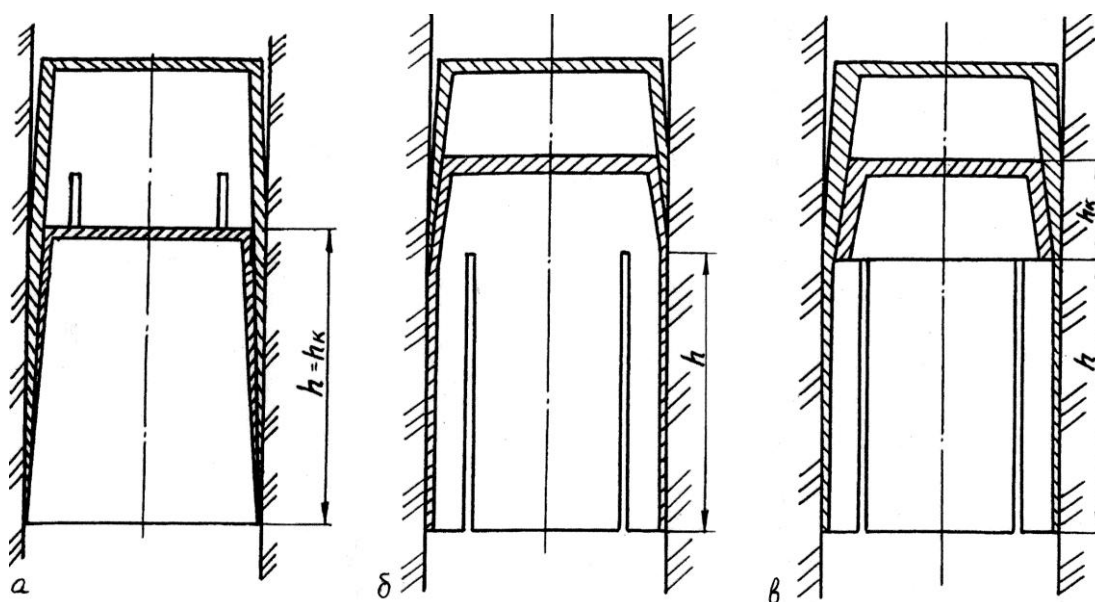


Рис. 4.3. Типы забоек: *a* – распорный конус высотой $h_k = h$; *б* – укороченный разрезной цилиндр; *в* – распорный конус высотой $h_k < h$

а) распорный конус выполнен с разрезными элементами и имеет высоту

$h_k = h$. Предварительно разрезной распорный конус механически затягивается во внутреннюю коническую полость разрезного цилиндра, создавая распорное усилие, удерживающее забойку на заданной высоте в скважине. После взрыва заряда под действием газов распорный конус полностью входит в разрезной цилиндр, забойка удерживается в скважине давлением газов на боковые стенки полости распорного конуса, который распирает разрезной цилиндр;

б) распорный конус имеет высоту $h_k > h$. Предварительно распорный конус механически затягивается во внутреннюю коническую полость разрезного цилиндра, создавая распорное усилие, удерживающее забойку на заданной высоте в скважине. После взрыва заряда под действием газов распорный конус при движении вверх своей цилиндрической частью дополнительно распирает верхнюю часть разрезного цилиндра, но забойка удерживается в скважине в основном давлением газов на боковые стенки цилиндрической полости распорного конуса;

в) распорный конус имеет высоту $h_k < h$. Предварительно распорный конус механически затягивается во внутреннюю коническую полость разрезного цилиндра, создавая распорное усилие, удерживающее забойку на заданной высоте в скважине. После взрыва заряда под действием газов распорный конус при движении вверх дополнительно распирает верхнюю часть разрезного цилиндра, но забойка удерживается в скважине в основном давлением газов на боковые стенки полости разрезного цилиндра.

К конструкции запорной забойки предъявляются следующие основные требования:

- простота изготовления, определяющая низкую стоимость;
- многократное использование элементов забойки.

Первый тип запорной забойки, представленной на рис. 4.3, а, сложен в изготовлении, поскольку разрезные элементы используются как в цилин-

дре, так и в распорном конусе. Кроме того, требуется механическая обработка наружной и внутренней поверхностей разрезного цилиндра и распорного конуса. После разрушения породы вокруг забойки и выброса ее под давлением газов из скважины разрезные элементы как цилиндра, так и распорного конуса могут быть деформированы либо падающими кусками горной породы, либо падением самой забойки на развал горной массы. Таким образом, рассмотренный тип распорной забойки не только сложен в изготовлении, но и после первого же применения может быть деформирован или разрушен.

Эти же недостатки присущи и распорной забойке с укороченным разрезным цилиндром (рис. 4.3, б).

В случае применения распорной забойки с укороченным распорным конусом (рис. 4.3, в) деформируемой частью является разрезной цилиндр, а распорный конус является элементом многоразового использования. Поэтому применение такого типа забоек предпочтительно. При такой конструкции забойка удерживается в скважине не только благодаря расклиниванию распорного конуса в цилиндре, но и давлению газов, прижимающих разрезные элементы цилиндра к стенкам скважины.

Сила Q_z , с которой газы давят на внутреннюю боковую поверхность S_k распорного полого разрезного конуса, равна:

$$Q_z = \rho S_k . \quad (4.10)$$

Внутренняя полость разрезного цилиндра имеет коническую форму, тогда площадь S_k определится

$$S_k = \pi h \frac{(D + D_k)}{2},$$

а сила Q_z , с которой газы давят на внутреннюю боковую поверхность распорного полого разрезного конуса:

$$Q_z = \rho \pi h \frac{(D + D_{\kappa})}{2}, \quad (4.11)$$

где h – высота площади контакта забойки со стенками скважины за счет прижатия газами.

Для рассматриваемой конструкции забойки сила трения, удерживающая забойку в скважине, определится:

$$F = (Q + Q_z) f,$$

или, в развернутом виде

$$F = \frac{\pi \rho}{2} \left(\frac{D^2}{4} \sin 2\alpha + (D + D_{\kappa}) h \right) f.$$

Учитывая условие (4.8), чтобы забойка не вылетела из скважины до разрушения породы в устье скважины, можно определить минимально необходимую высоту площади контакта забойки со стенками скважины h за счет прижатия газами:

$$\rho \pi \frac{D^2}{4} \leq \frac{\rho \pi}{2} \left(\frac{D^2}{4} \sin 2\alpha + (D + D_{\kappa}) h \right) f ;$$

отсюда

$$h \geq \frac{D^2 \left(\frac{1}{f} - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}{2(D + D_{\kappa})}.$$

На рис. 4.4 приведены зависимости минимально необходимой высоты контакта забойки h со стенками скважины и отношения h/D от диаметра скважины.

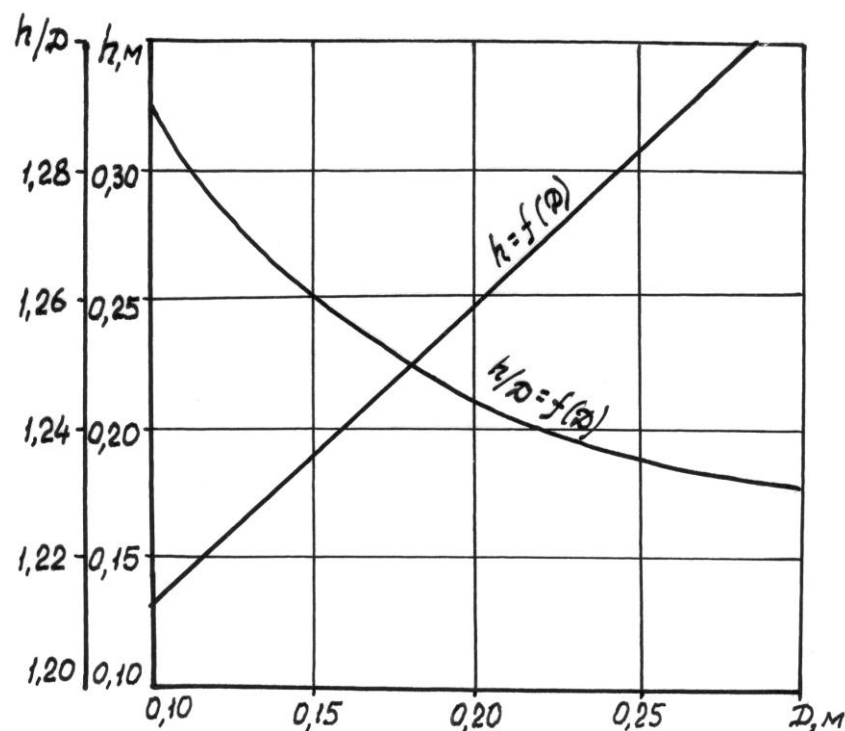


Рис. 4.4. Зависимость минимально необходимой высоты контакта h забойки со стенками скважины от диаметра скважины D

Зазор Δ_o между разрезным цилиндром и стенкой скважины для свободного опускания забойки принят равным 5 мм, а толщина разрезных элементов в нижней части разрезного цилиндра $\delta_n = 2$ мм. Угол наклона образующей конуса к вертикали – 11° .

$$D_{\kappa} = B - 2(\Delta_o + \delta_n).$$

Анализ приведенных графиков показывает, что с увеличением диаметра скважины D необходимая для удержания в скважине высота контакта h забойки со стенками скважины увеличивается, при этом соотношение h/D незначительно снижается. Это уменьшение объясняется тем, что зазор Δ_o , необходимый для свободного опускания забойки в скважину, и толщина разрезных элементов в нижней части цилиндра δ_n не зависят от диаметра скважины, поэтому чем меньше диаметр скважины, тем их влияние на отношение h/D больше.

4.3. Распорные забойки, работающие на срез

Как уже указывалось, при несоблюдении условия (4.6) под давлением газов распорный конус вдавливают разрезные элементы цилиндра распорной забойки в породу. Распорная забойка работает как клин, внедряемый в стенки скважины, и порода работает на срез, чем обеспечивается удержание забойки в скважине (см. рис. 4.1).

Исследованием напряженного состояния горных пород и механизмом их разрушения при вдавливании различных штампов занимались многие авторы [65–68]. Как отметил А. И. Спивак [66], в настоящее время не существует единой точки зрения по вопросу напряженного состояния и механизма разрушения горных пород при вдавливании штампов. Имеются лишь частные и зачастую противоречивые решения рассматриваемых задач. Кроме того, существующие теории создавались для породоразрушающего инструмента, поэтому применимы лишь для штампов малой площади, например, рабочих органов буровых станков (долот, зубьев шарошек и пр.).

Работу распорной забойки, разрезные элементы которой внедрены давлением газов в стенку скважины, можно рассматривать как работу на срез (см. рис. 4.1). Касательное напряжение при срезе равно:

$$\tau_{cp} = \frac{P}{F_{cp}} \leq [\tau_{cp}]$$

где площадь среза F_{cp} определится:

$$F_{cp} = \frac{\pi(D + 2\delta)}{4} - \frac{\pi D^2}{4} = \pi\delta(D + \delta).$$

В этой формуле δ – глубина внедрения разрезных элементов забойки в стенки скважины, определяется из выражения: $\delta = h \operatorname{tg} \alpha$; h_3 – высота срезаемого забойкой слоя породы в скважине.

$$\tau_{cp} = \frac{\rho D^2}{4(D + 2\delta)h_3}.$$

На рис. 4.5. приведена зависимость отношения h/D от угла наклона α образующей распорного конуса к вертикали. Из графиков видно, что даже при малых углах наклона образующей распорного конуса к вертикали α требуемая для внедрения на заданную глубину δ разрезных элементов забойки в стенки скважины относительная высота разрезных элементов невелика. Для того чтобы снизить до минимума выход негабарита, забойка должна находиться как можно ближе к устью скважины. Это условие выполняется при погружении забойки в скважину на глубину $h_3 = 1,5 \dots 2,0$ м, что соответствует отношению $h_3/D = 8 \dots 10$.

На рис. 4.6 представлена зависимость величины касательных напряжений при срезе породы стенок скважины забойкой от диаметра скважины. Это величины минимально необходимых напряжений на срез, чтобы удержать забойку в скважине.

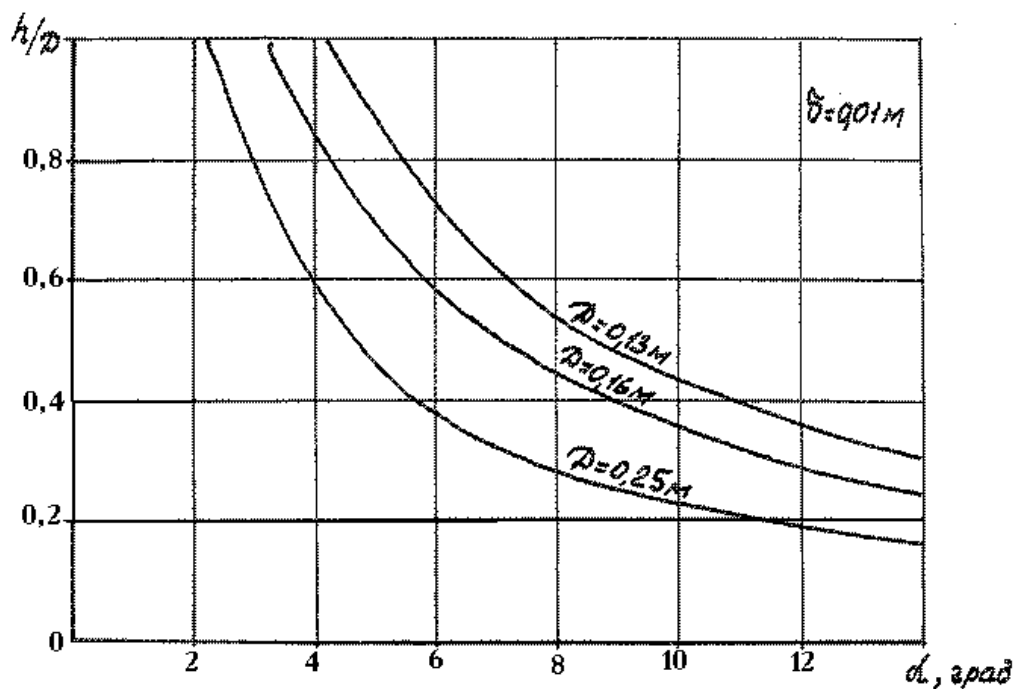


Рис. 4.5. Зависимость отношения h/D от угла наклона образующей распорного конуса α

Известно, что касательные напряжения в породах составляют десятые доли от предела прочности на сжатие. Так, например, по данным различных авторов [69-71], для известняков предел прочности на сжатие составляет от 15 до 400 МПа, а касательные напряжения составляют 0,2 от предела прочности на сжатие. Для гранитов касательные напряжения составляют 0,09 от предела прочности на сжатие, для песчаников – 0,10...0,12.

Исходя из сказанного, получается, что для того, чтобы порода обладала необходимой прочностью на срез для удержания забойки в скважине необходимо, чтобы прочность этой породы на сжатие была в 5...10 раз больше. С одной стороны, порода должна быть достаточно слабой, чтобы разрезные элементы вдавились в стенки скважины, с другой стороны, порода должна быть достаточно прочной на срез. На первый взгляд получилось неразрешимое противоречие. Но если рассмотреть механику процесса среза забойкой породы, то становится ясно, что забойка в виде клина, внедренного в стенки скважины, под давление газов начинает смещаться

вверх, срезая и измельчая породу. Эти вновь образованные куски остаются перед забойкой, попадают в зазор между разрезным цилиндром и стенками скважины, создавая дополнительное сопротивление движению забойки. Кроме того, наряду с сопротивлениями срезу забойку в скважине удерживают сопротивления трения, рассмотренные в предыдущем разделе.

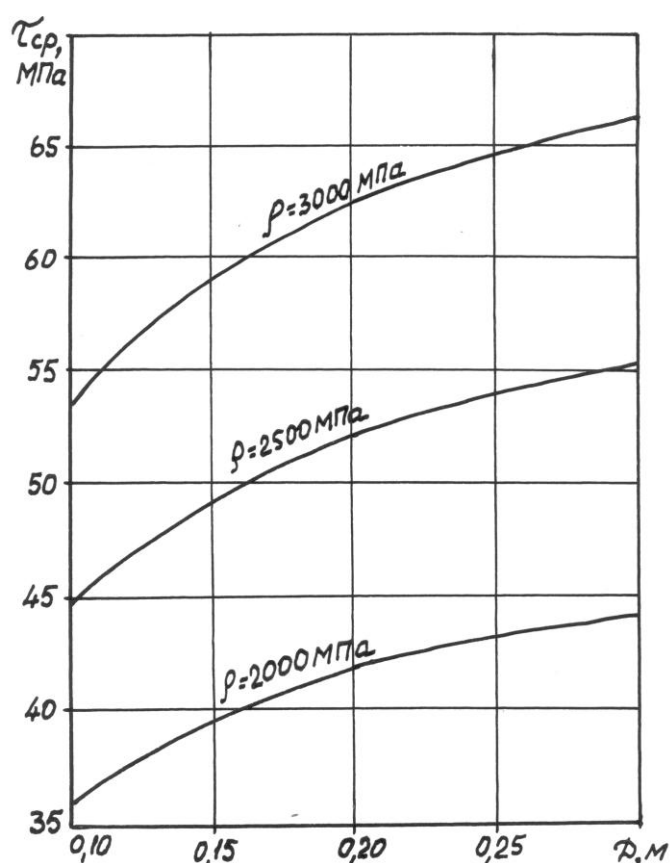


Рис. 4.6. Зависимость касательных напряжений при срезе породы забойкой стенок скважины от диаметра скважины при $h_3/D = 10$, $\delta = 0,02$ м

Таким образом, забойки, работающие на срез при внедрении в слабые и средней прочности породы, благодаря дополнительно удерживающим силам трения надежно удерживаются во взрывных скважинах до начала разрушения породы вокруг забойки. Что же касается скважин в прочных породах, то специальная конструкция забойки позволяет удерживать ее только силами трения. Кроме того, в начальный момент взрыва детонирующим воздействием разрезные элементы внедряются в стенки скважины хотя бы

на небольшую величину, что дополнительно способствует удержанию забойки в скважине.

4.4. Конструкции металлических распорных забоек

На основании проведенных теоретических исследований были разработаны конструкции металлических распорных забоек, которые делятся на следующие группы.

1. Забойки с двумя распорными конусами, которые в свою очередь делятся на:

- а) с верхним и нижним разрезами цилиндра:
 - со сплошным нижним распорным конусом;
 - с полым нижним распорным конусом;
 - с полым разрезным нижним распорным конусом;
- б) со сплошными разрезами цилиндра:
 - простые;
 - с гибкими тягами;
 - с жесткими тягами.

2. Забойки с одним распорным конусом:

- а) трения:
 - простые;
 - с направляющими штифтами;
- б) врезные:
 - винтовые;
 - пружинные.

3. Подвесные забойки:

- а) простые;
- а) с канговым зажимом.

4. Стержневые забойки:

- а) винтовые;
- б) подвесные.

4.4.1. Забойки с двумя распорными конусами (верхним и нижним)
представлены схематично на рис. 4.7 и 4.8 [71–73].

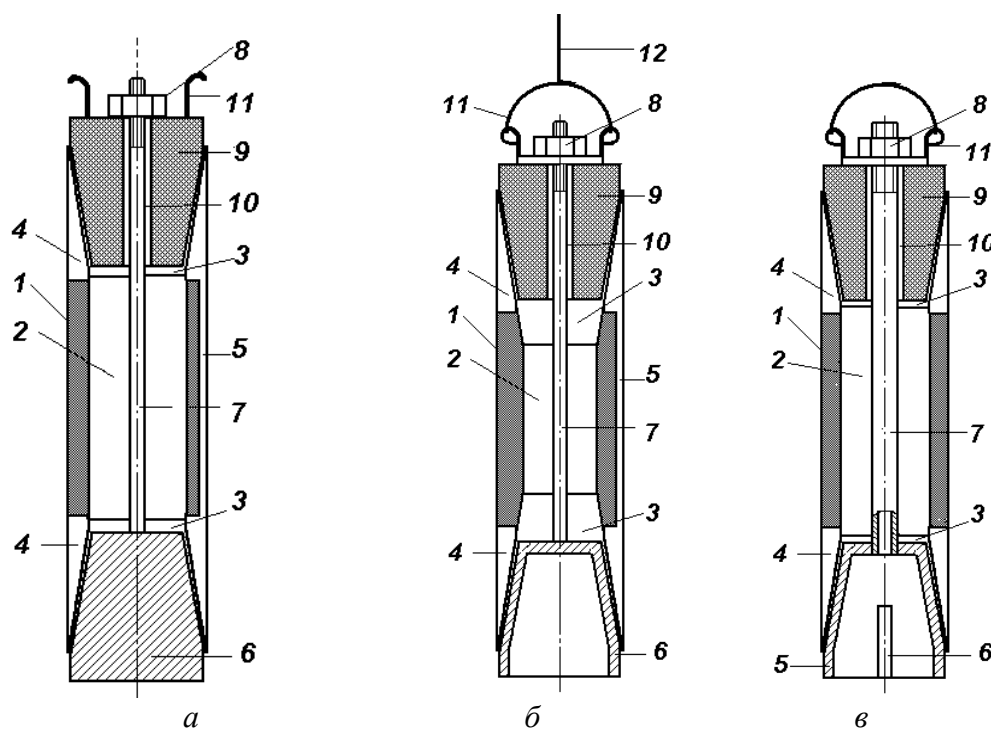
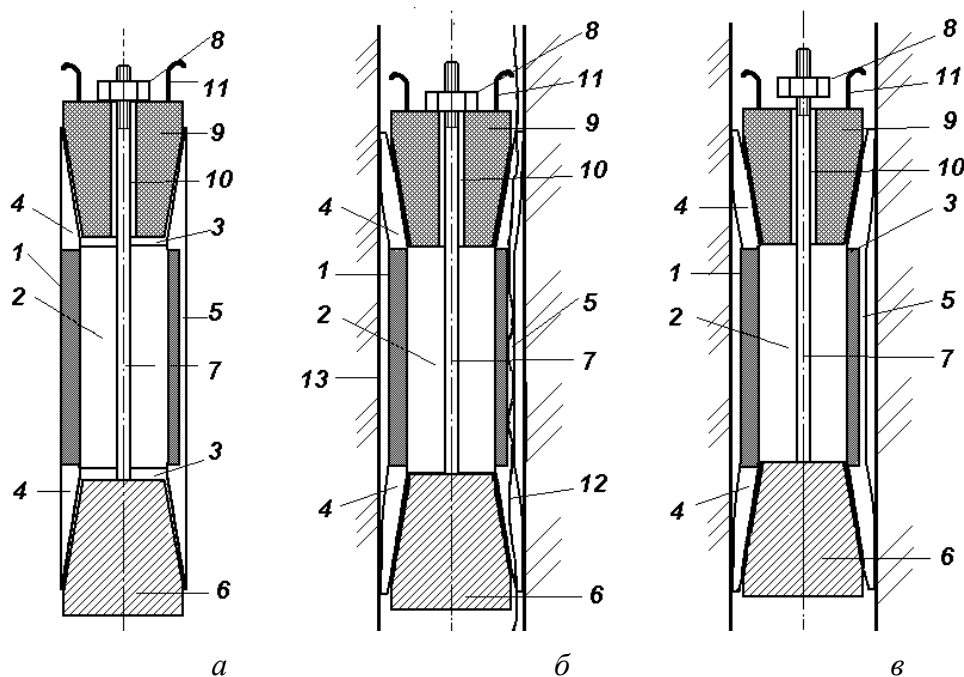


Рис. 4.7. Схемы распорных забоек с верхним и нижним распорными конусами:
а – со сплошным нижним распорным конусом, б – с полым нижним распорным конусом, в – с полым разрезным нижним распорным конусом

Распорная забойка скважин включает металлический цилиндр 1 диаметром на 4...8 мм меньше диаметра скважины с осевой полостью 2. С обеих сторон цилиндр имеет конические расширения 3 с разрезами 4. На боковой поверхности цилиндра выполнена проточка 5, соединяющая разрезы. В конические расширения вставлены нижняя коническая пробка 6 с тягой 7, снабженной гайкой 8, выполненные из металла, и верхняя коническая пробка 9 с осевым каналом 10 и монтажными петлями 11, выполненная из металла или пластической массы.



Рассмотренная конструкция забоек имеет ряд недостатков. Во-первых, разрезной цилиндр состоит из нескольких несвязанных друг с другом частей, и необходимо связывать разрезной цилиндр перед погружением в скважину в единое целое скотчем или подобным материалом. Во-вторых, после разрушения породы вокруг забойки нижний распорный конус под давлением газов прошивает разрезной цилиндр насквозь. Разрезные элементы цилиндра и распорные конусы, соединенные тягой, могут вылететь из скважины по отдельности, что осложнит их извлечение из горной массы в карьере. При этом элементы могут деформироваться, что осложнит их дальнейшее использование.

тягу через осевую полость до выхода ее через осевой канал 8 из верхней конической пробки. Затем на трубчатую тягу надевают монтажную дужку 9 и накручивают гайку 10, подтягивая трубчатой тягой распорный конус до стыковки с разрезными частями цилиндра. Забойка приобретает некоторую жесткость и становится единой конструкцией с диаметром на 4...8 мм меньше диаметра взрывной скважины. После этого через трубчатую тягу пропускают проводник инициирующего импульса и за монтажную дужку забойку опускают нижней частью в скважину. Гайкой втягивают полый распорный конус в осевую полость, ему навстречу смещается верхняя коническая пробка, и они распирают разрезные части цилиндра в стенки скважины. Разрезная забойка готова к работе.

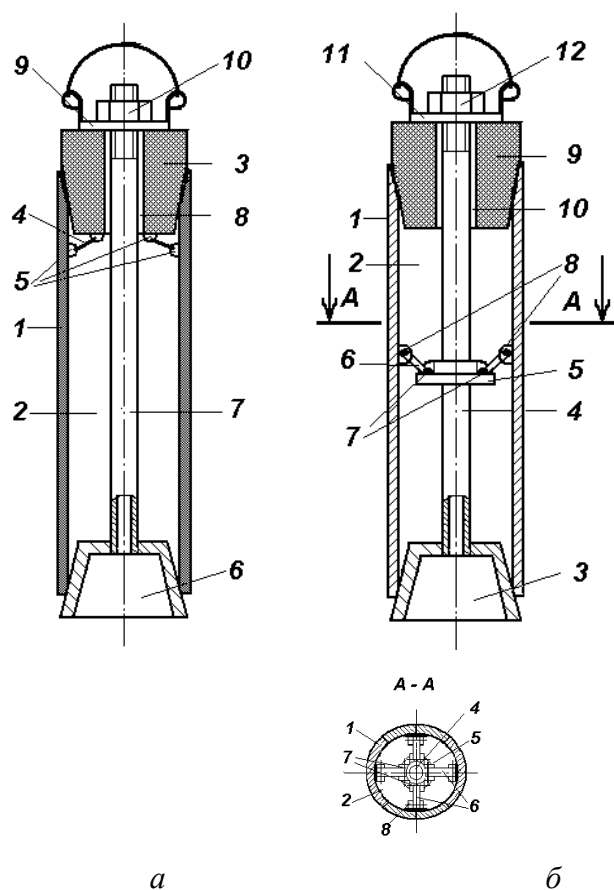


Рис. 4.9. Схемы забоек с тягами: *а* – с гибкой тягой; *б* – с жесткой тягой

В забойке, представленной на рис. 4.9, *б*, разрезные части цилиндра со-

единены с трубчатой тягой через массивную шайбу 5. При смещении полого распорного конуса вверх одновременно смещается вверх и массивная шайба 5, раздвигая к стенкам скважины середину разрезных частей цилиндра с помощью тяг, зафиксированных в проушинах 7 и 8. Разрезная забойка взрывных скважин плотно прижимается к стенкам скважины всей поверхностью цилиндра и готова к работе.

После детонации заряда ВВ под давлением газов происходит вдавливание нижнего конуса в цилиндр, при этом смещается вверх толстостенная труба с массивной шайбой, что приводит к плотному заклиниванию разрезной забойки взрывных скважин по всей длине в скважине.

4.4.2. Забойки с одним распорным конусом упрощенной конструкции с одним распорным конусом, расположенным в нижней части забойки разработаны потому, что общим недостатком забоек с двумя распорными конусами является большое количество деталей, что снижает надежность конструкции и возможность многократного использования.

Забойки трения

Альтернативой приведенным выше забойкам является забойка с одним распорным конусом и с направляющими штифтами [76], удерживаемая в скважине за счет сил трения. Забойка (рис. 4.10, а) включает полый цилиндр 1, разрезанный вдоль образующей цилиндра не менее чем на три части, к которым сверху приварены пальцы 2, вставленные в направляющие втулки 3, закрепленные на днище 4. С другой стороны на днище установлена распорная труба 5, на верхнем конце которой закреплено опорное кольцо 6. В цилиндр вставлен полый распорный конус 7, соединенный с трубчатой тягой 8, свободно проходящей через отверстие 9 в днище цилиндра и отверстие 10 в опорном кольце. Верхняя часть трубчатой тяги снабжена резьбой, на которую накручивают гайку 11.

Недостатком данной конструкции забойки является наличие слабых уз-

лов – штифтов и направляющих втулок, которые при вылете из скважины ведут к разрушению всей забойки.

На рис. 4.10, б представлена забойка с одним распорным конусом и консольным креплением разрезных элементов цилиндра [77].

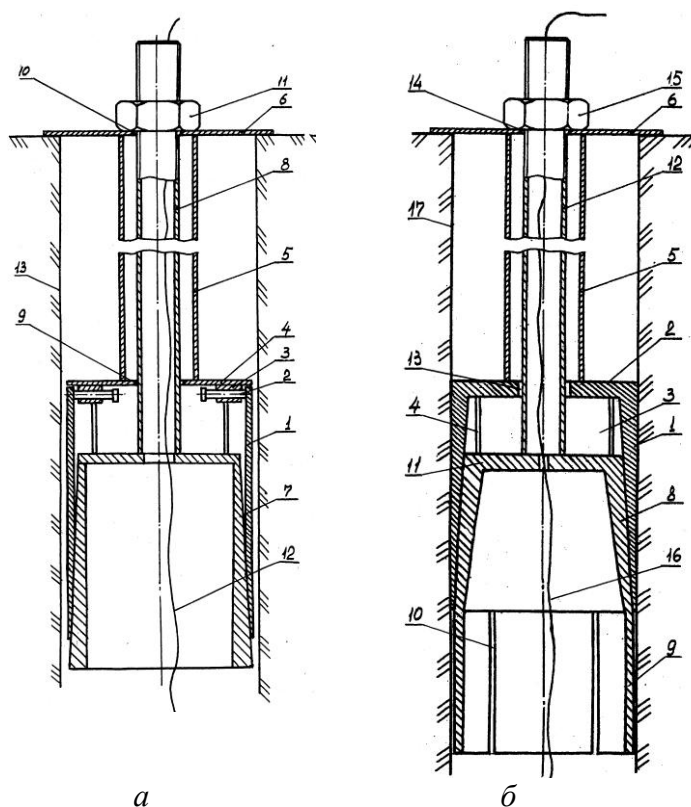


Рис. 4.10. Схемы забоек трения: а – с направляющими штифтами; б – консольные

После взрыва забойку извлекают из горной массы, раскручивают гайку, выбивают распорный конус из цилиндра, калибруют их по диаметру скважины и вновь собирают забойку для повторного использования. Такая конструкция более надежна, однако наличие трубчатой тяги способствует деформации забойки после вылета из скважины и не обеспечивает много-разового использования.

Врезные забойки

Наряду с забойками, которые рассчитаны на удержание в скважине за счет сил трения, были разработаны конструкции забоек, удерживаемых за счет внедрения элементов разрезного цилиндра в стенки скважины. На

рис. 4.11, *а* представлена забойка с одним распорным конусом и консольным креплением разрезных элементов цилиндра [78]. Отличие данной забойки от вышеописанной заключается в том, что разрезные элементы цилиндра снабжены снаружи выступами, внедряющимися в стенки скважины и удерживающими забойку при взрыве.

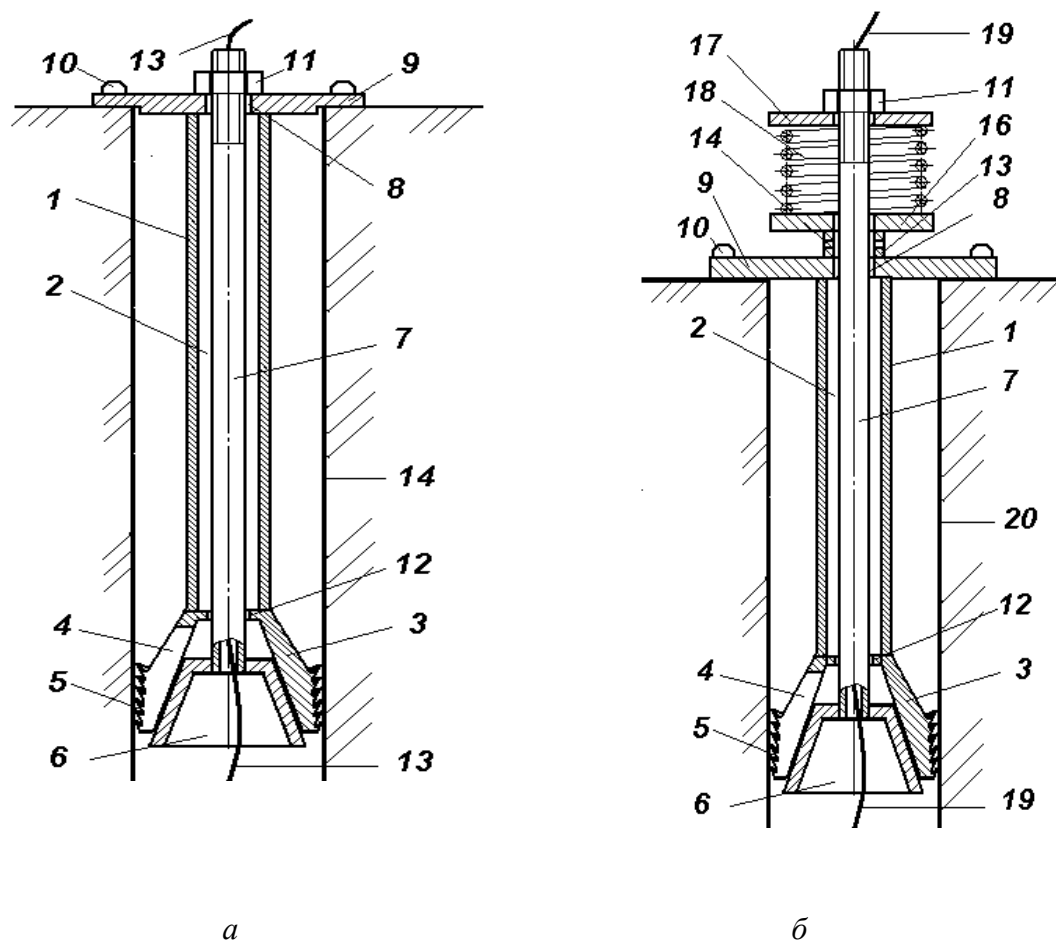


Рис. 4.11. Схемы врезных забоек: *а* – винтовая врезная забойка;
б – пружинная врезная забойка

Для облегчения процесса установки забойки в конструкцию внесено дополнительное устройство [79] (рис. 4.11, *б*). Пружинная забойка работает следующим образом (рис. 4.12). В механических мастерских забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого вставляют распорный конус с трубчатой тягой в коническое расширение цилиндра, пропускают

трубчатую тягу через перемычку и осевую полость до выхода ее из цилиндра через осевой канал опорной шайбы и стопорную втулку. После этого на трубчатую тягу надевают нижнюю опорную шайбу 16, пружину 18, верхнюю опорную шайбу 17 и накручивают гайку 11, подтягивая тягой распорный конус до входа в коническое расширение. Затем подбирают ближайшее отверстие в трубчатой тяге, совмещают его с отверстием 14 в стопорной втулке, чтобы распорный конус оставался на некотором расстоянии от конического расширения, и вставляют стопор 15. После этого затягивают гайку до полного сжатия пружины. Забойка готова к применению и ее увозят на взрывной блок.

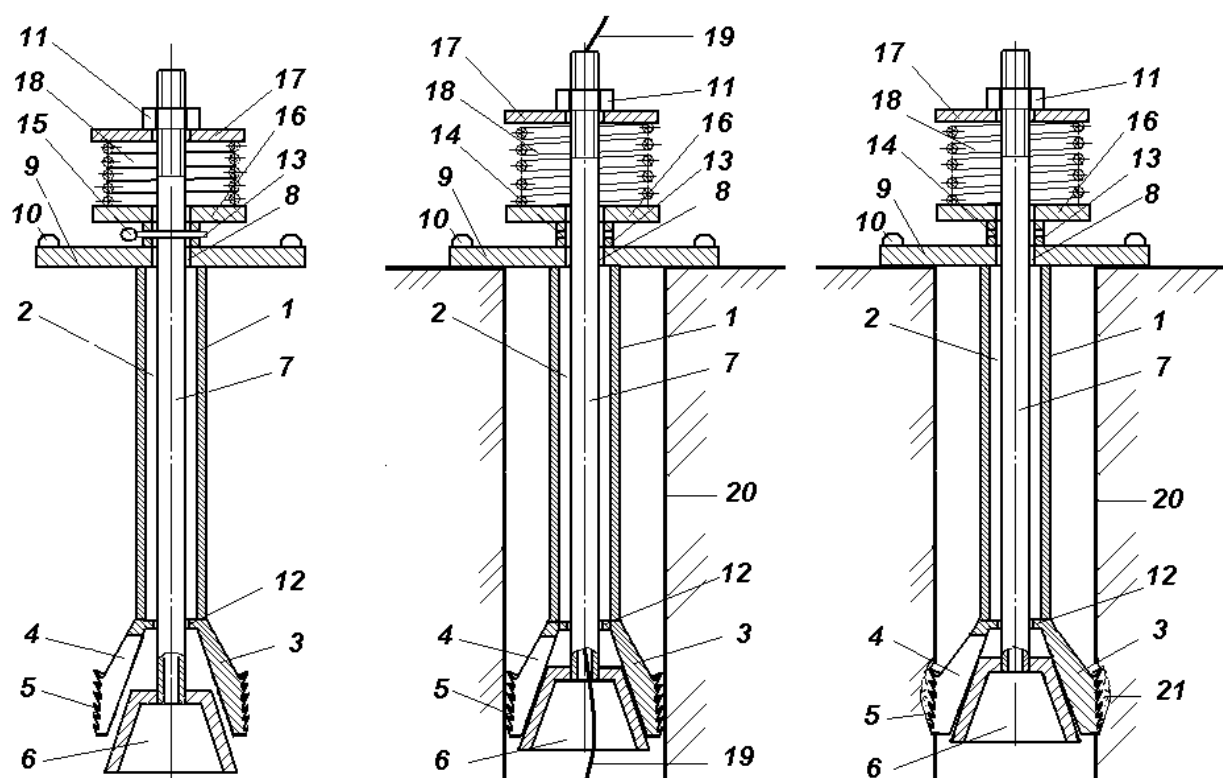


Рис. 4.11. Схема пружинной распорной забойки: *а* – забойка в сборе, *б* – в рабочем положении в скважине, *в* – после начала детонации заряда ВВ

На взрывном блоке забойки раскладывают у каждой скважины и начинают устанавливать. Для этого через трубчатую тягу пропускают провод-

ник инициирующего импульса и за монтажные петли забойку опускают нижней частью в скважину. После этого вынимают стопор, пружина резко разжимается и распорный конус толчком входит в коническое расширение, распирая за счет прорезей нижнюю часть конического расширения, снабженную снаружи выступами, в стенки скважины. Забойка готова к работе.

4.4.3. Подвесные забойки разработаны для исправления слабого места забоек с трубчатой тягой, которая способствует деформации забойки после вылета из скважины и не обеспечивает многоразового использования. В связи с этим в подвесных забойках затяжка распорного конуса в разрезной цилиндр проводится с помощью каната [80, 81].

Подвесная на канате забойка работает следующим образом (рис. 4.12).

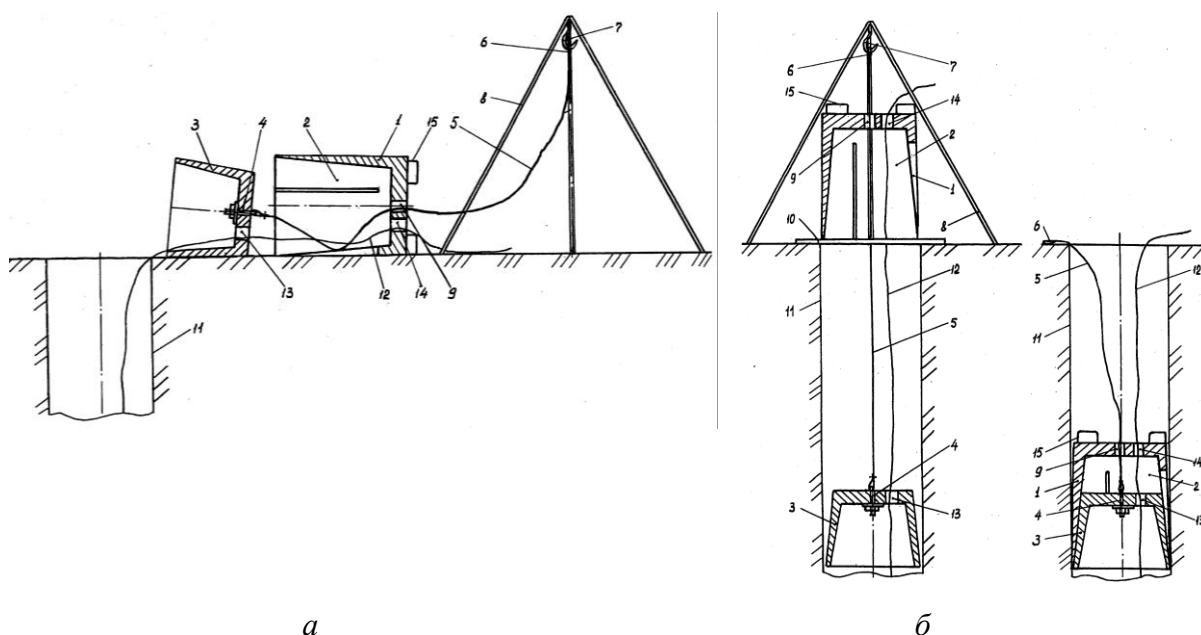


Рис. 4.12. Схема подвесной забойки: *а* – порядок сборки подвесной забойки на поверхности уступа, *б* – положение подвесной забойки перед установкой в рабочее положение, *в* – подвесная забойка в рабочем положении в скважине

На поверхности блока забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого разрезной цилиндр 1 и распорный конус 3 укладываются на поверхности уступа около скважины 11. Проводник инициирующего импульса 12 пропускают через отверстие 13 распорного конуса и отверстие

14 разрезного цилиндра, а канатную тягу 5 пропускают через отверстие 9 в днище разрезного цилиндра, петля 6 закрепляется на крюке 7 треноги 8. После этого распорный конус опускают в скважину, при этом треногу и разрезной цилиндр надвигают по поверхности уступа и устанавливают согласно скважине, подкладывая под разрезной цилиндр крестовину 10.

Для установки подвесной забойки в рабочее положение поднимают разрезной цилиндр за рукоятки 15, убирают крестовину и сбрасывают разрезной цилиндр в скважину, придерживая в натянутом состоянии канатную тягу и проводник иницирующего импульса. Разрезной цилиндр, двигаясь с ускорением, надвигается на распорный конус, неподвижно подвешенный на канатной тяге, при этом нижняя часть разрезного цилиндра расходится и плотно прижимается к стенкам скважины. После этого тренога убирается, а петля канатной тяги соединяется с поверхностной системой последующего извлечения забойки из взорванной горной массы, например, канатами, автошинами и т. п., и подвесная забойка готова к работе.

При установке забойки в скважине для того, чтобы натяжение канатной тяги не ослабевало, а также для предотвращения выпадения распорного конуса из осевой полости во время перестановки пальца в другое отверстие серьги, разработана конструкция подвесной забойки с цанговым захватом (рис. 4.13).

Канатная тяга 1 пропущена сквозь цанговый захват 2, цанги 3 которого позволяют двигаться канатной тяге вверх, но под действием пружины 4 препятствуют движению ее вниз.

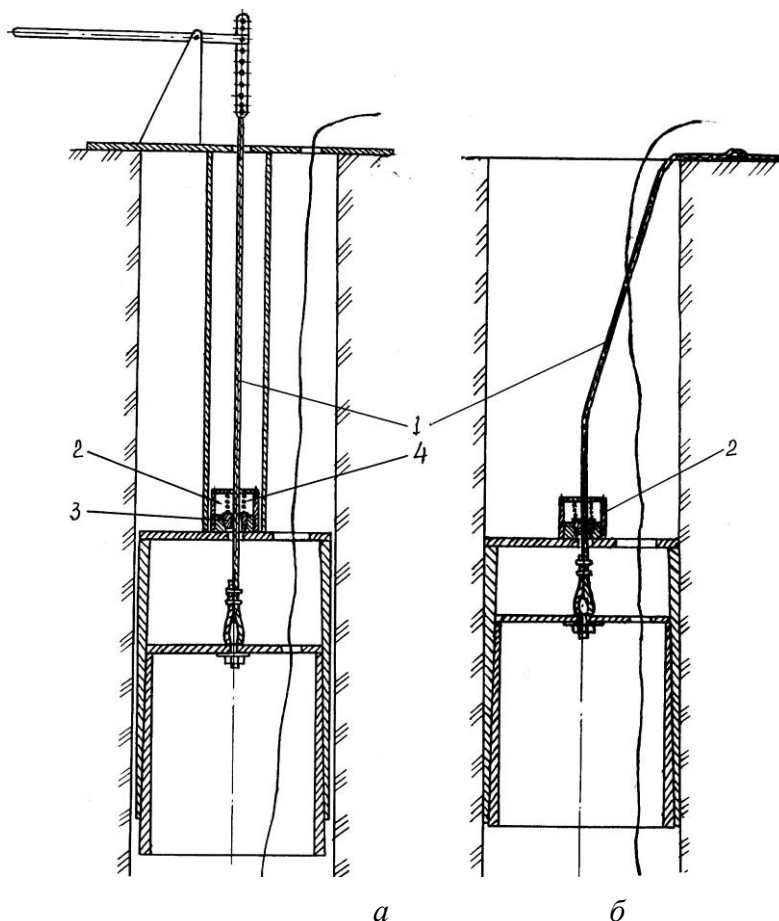


Рис. 4.13. Схемы подвесной забойки с цанговым захватом: *а* – в сборе; *б* – в рабочем положении в скважине

4.4.4. Стержневые забойки были предложены в развитие конструкции цилиндрических забоек [82-85]. Цилиндр в них изготавливается из отдельных стержней. Конструкция стержневых забоек на рис. 4.14, *а, б*, аналогична описанным выше.

Особый интерес представляет подвесная забойка с разрезным распорным конусом и эластичной юбкой (рис. 4.14, *в*). Такая забойка представляет собой решетчатый цилиндр 1, образованный рифлеными стержнями 2, выполненными, например, из арматуры, с головками 3 сверху и фасками 4 снизу, вставленными в отверстия 5 по краю диска 6 и зафиксированными в них шплинтами 7. Фаска выполнена под углом к вертикали, близким к углу наклона образующей полого распорного конуса 8, вставленного снизу в

решетчатый цилиндр и снабженного креплением 9 для присоединения канатика 10. Снизу к полному распорному конусу на штырях с головками 11 крепится прочная эластичная юбка 12 с несколькими разрезами 13, выполненная из резинокордовой конвейерной ленты.

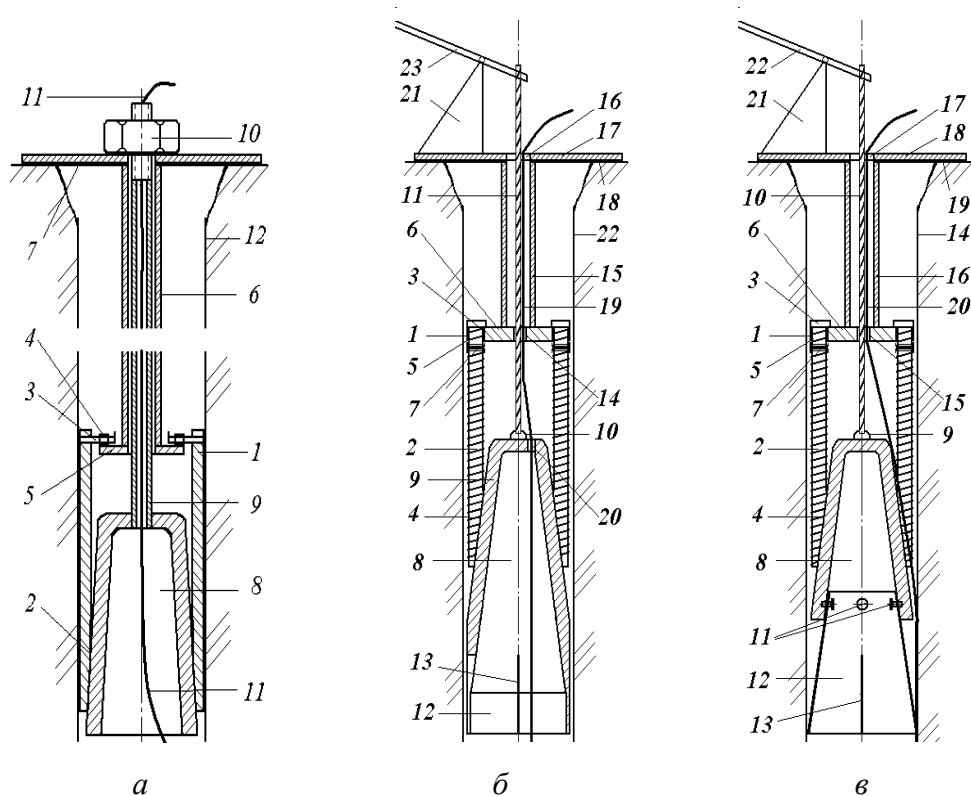


Рис. 4.14. Схемы стержневых забоек: а – винтовая с направляющими штифтами; б – подвесная; в – подвесная с разрезным распорным конусом и эластичной юбкой

Длина эластичной юбки выбирается такой, чтобы ее нижняя часть была по размеру равна или несколько больше диаметра скважины. Ее наличие позволяет снизить и даже исключить прорыв продуктов взрыва в атмосферу через зазоры между рифлеными стержнями, отстоящими друг от друга на величину разности диаметров стержня и его головки. На поверхности блока забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого вставляют полый распорный конус с канатиком в решетчатый цилиндр, пропуская канатик через центральное отверстие в диске, распорную трубу и отверстие 17 в опорной плите 18 (рис. 4.15).

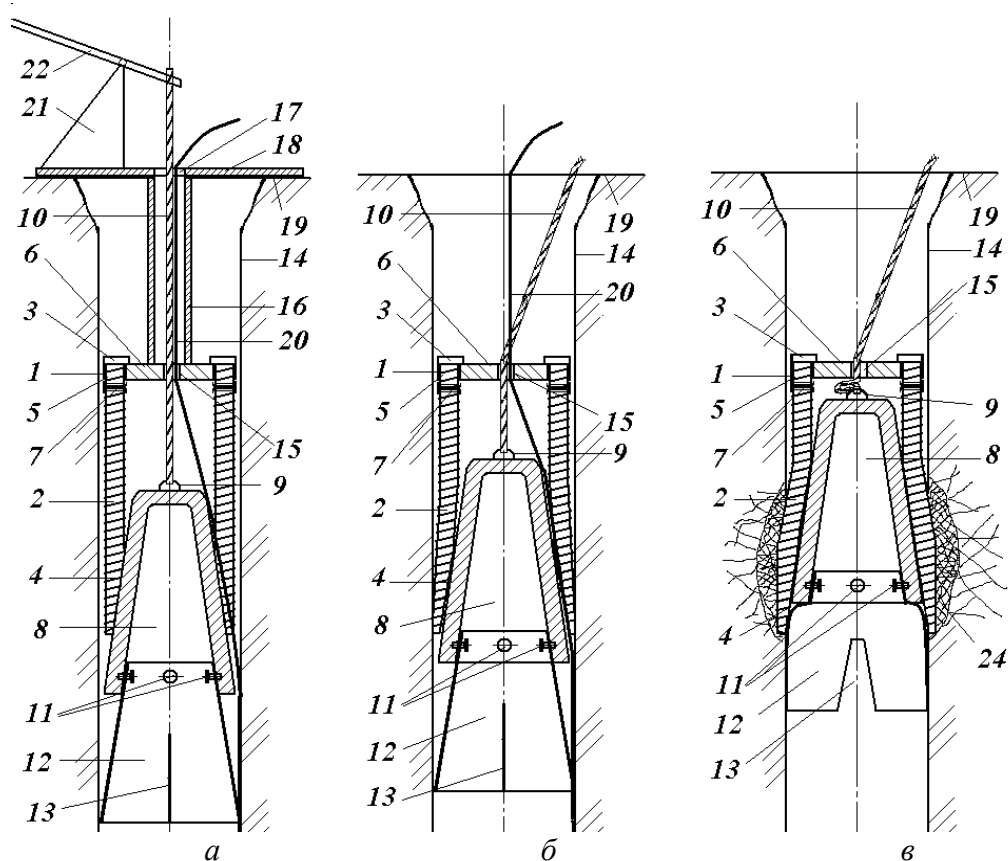


Рис. 4.15. Схема работы подвесной стержневой забойки с разрезным распорным конусом и эластичной юбкой: *а* – положение в скважине забойки; *б* – после предварительного распора; *в* – после детонации заряда ВВ

После сборки забойки пропускают проводник инициирующего импульса 20 между рифлеными стержнями, через центральное отверстие в диске, через трубу и опорную плиту. Затем приставляют распорную трубу к диску 6 и натягивают канатик, соединяя в единое целое расклинивающуюся металлическую забойку с натяжным устройством 21. Сжимают эластичную юбку в районе разрезов до размеров, меньших диаметра скважины и забойку на канатике опускают нижней частью в скважину, придерживая натянутым проводник инициирующего импульса, чтобы он оставался между рифлеными стержнями. После этого канатик набрасывают несколькими витками на опущенный нижний конец рычага 22 натяжного устройства, расположенного на опорной плите, и, придерживая свободный конец канатика, подтягивают распорный конус внутрь решетчатого цилиндра,

нажатием на верхний конец рычага. При этом за счет распорной трубы решетчатый цилиндр остается неподвижным. Перемещаясь вверх вдоль факоса, распорный конус изгибает рифленые стержни и прижимает их нижние концы к стенкам скважины, создавая предварительный распор забойки.

После установки забойки опорную плиту с натяжным устройством и распорной трубой снимают, соединяют каждую забойку 2 гибкой связью 1 с соединительным элементом 3, размещенным между скважинами, при этом забойки каждой ступени замедления соединяются со своим соединительным элементом (рис. 4.16). Соединительные элементы выполнены из изношенных автомобильных шин, а гибкие связи – из тонких цепей или прядей канатов грузоподъемных машин. При этом к одному соединительному элементу подсоединяют канатики только от скважин, взрывааемых в одной ступени замедления, что позволяет снизить динамические нагрузки на соединительные элементы.

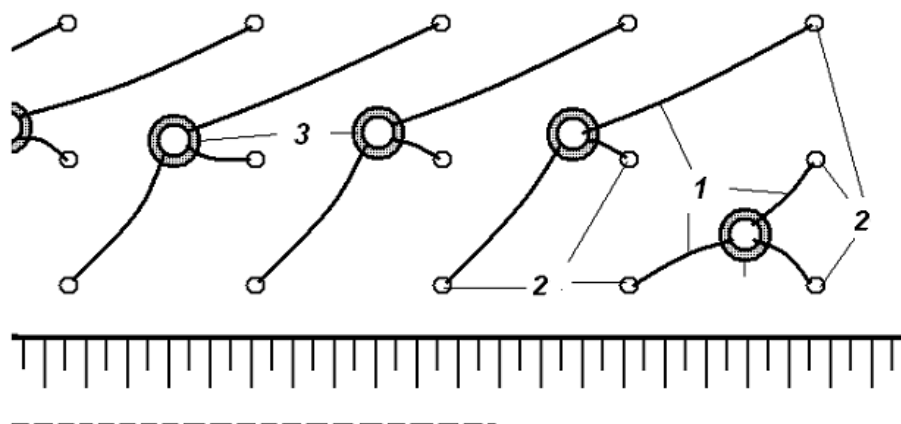


Рис. 4.16. Схема соединения металлических забоек с соединительными элементами

Автошины после взрыва убирают с поверхности взорванного блока, например, бульдозером, технологическим автосамосвалом и т. п. и вместе с ними извлекают из горной массы забойки для повторного использования.

При детонации заряда ВВ в зарядной полости резко возрастает давле-

ние продуктов взрыва и происходит динамический удар газов по большой поверхности эластичной юбки и полого распорного конуса. Эластичная юбка, прилегающая к стенкам скважины, препятствует утечке взрывных газов из скважины через зазор между рифлеными стержнями: под действием давления этих газов она деформируется, плотно прижимается к стенкам скважины, усиливая свое герметизирующее действие. Давление взрывных газов приводит к вдавливанию полого распорного конуса в решетчатый цилиндр. Перемещаясь вдоль рифленых стержней, он раздвигает их все шире, поэтому нижняя часть стержней внедряется в горную породу, образуя зону смятия и раздавливания 24. Чем выше перемещается распорный конус вдоль рифленых стержней, тем на большую глубину они внедряются в горную породу и тем сильнее расклинивается забойка в скважине. При этом отдельные стержни могут внедряться на большую величину, если в этом месте сопротивление пород слабее. Такая избирательность способствует лучшей сопротивляемости забойки в целом выталкивающему действию взрывных газов. И наступает момент, когда движение распорного конуса прекращается и забойка окончательно расклинивается в скважине.

Таким положение забойки остается вплоть до прорыва продуктов детонации из зарядной полости в атмосферу через образующиеся в разрушаемом массиве трещины и начала разрушения стенок скважины. Прорыв взрывных газов через трещины массива снимает давление в скважине, а разрушающиеся стенки скважины снимают распор с рифленых стержней решетчатого цилиндра и забойка может быть выброшена из скважины остаточным давлением продуктов взрыва. Канатик, присоединенный к шине, удерживает забойку в случае ее выброса из скважины.

После взрыва шины, остающиеся на поверхности взорванной горной массы, как подтверждает эксперимент, стягивают, например, бульдозером, и они вытаскивают за собой канатиками забойки. Последние могут распо-

лагаться как на поверхности горной массы, если они выброшены из скважины, так и на некоторой глубине, если они остались в разрушенной скважине; учитывая слабую связность взорванной горной массы, она не будет оказывать особого сопротивления этой операции. После извлечения забойки и отсоединения от шин, выбивают из решетчатого цилиндра распорный конус, решетчатый цилиндр калибруют по размеру на 4...6 мм менее диаметра скважины, ставят новую эластичную юбку и вновь собирают забойку для повторного использования. При этом могут быть заменены отдельные рифленные стержни после удаления шплинтов.

Изменяя диаметр диска и рифленых стержней, с одним полым распорным конусом можно обеспечить установку забойки в разных по диаметру скважинах. Это повышает универсальность и «живучесть» забойки.

4.5. Экспериментальные исследования работы металлических забоек

Теоретические предпосылки работы металлических забоек и их конструкции были проверены экспериментальными исследованиями на объектах ОАО «Амурвзрывпром» с целью установления эффективности запирания продуктов детонации в цилиндрических вертикальных скважинах различными видами забойки и возможности их повторного использования.

В механическом цехе ОАО «Корфовский каменный карьер» была изготовлена **забойка с направляющими штифтами** (рис. 4.17). Забойка выполнена из металла и включает полый цилиндр 1 разрезанный вдоль образующей цилиндра на четыре части, со штифтами 2 вверху, вставленными в направляющие втулки 3 на днище 4. С другой стороны на днище установлена распорная труба 5 с опорным кольцом 6 на верхнем конце. В цилиндр вставлен полый распорный конус 7, соединенный с трубчатой тягой 8, свободно проходящей через осевой канал опорного кольца. Верхняя часть

трубчатой тяги снабжена резьбой, на которую накручивают гайку 9.

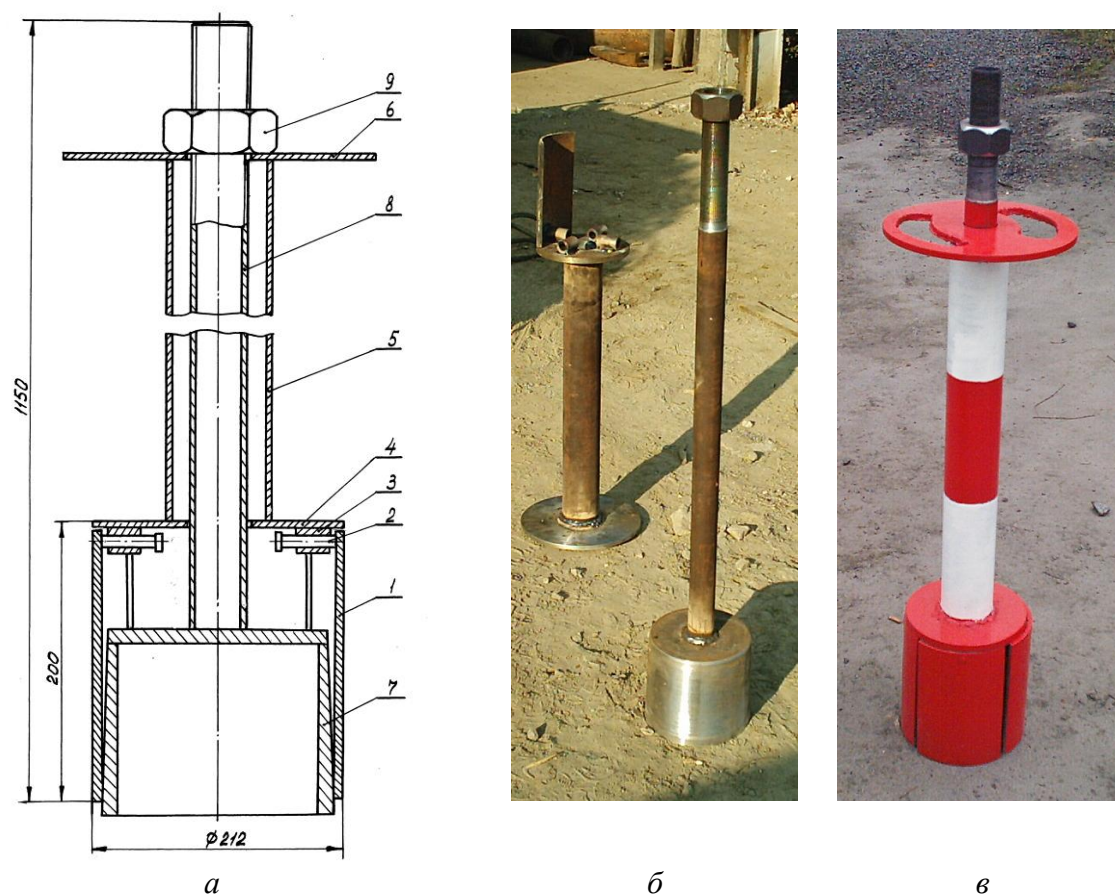


Рис. 4.17. Забойка с направляющими штифтами: *а* – схема забойки; *б* – элементы забойки; *в* – забойка в сборе

Испытания забойки были проведены в Корфовском каменном карьере в декабре 2004 г. в скважинах диаметром 215 мм и глубиной 2,6 м. Зарядка скважин осуществлялась граммонитом 79/21 по 13,5 кг в каждую скважину. Одна из трех скважин была без забойки, вторая – с забойкой из буровой мелочи. В третью скважину была установлена распорная забойка, однако скважина была пробурена изношенным шарошечным долотом в горном массиве, нарушенном предыдущими взрывами. Поэтому забойку удалось погрузить в скважину лишь на глубину около 0,5 м, она попала в пробуренную долотом часть скважины лишь на 4...5 см, остальная часть цилиндра с распорным конусом оказалась в зоне вывала пород диаметром около 250...280 мм (рис. 4.18, *а*). Поэтому и не удалось достичь при за-

тяжке гайки достаточного распора секций цилиндра.



Рис. 4.18. Испытания забойки с направляющими штифтами: *а* – положение забойки после установки в скважину *б* – деформированное состояние забойки после взрыва

На рис. 4.19 представлена покадровая развертка взрывов. Уже к 40 *мс* после взрыва распорной забойки в скважине нет – она вылетела раньше, чем из скважины с засыпной забойкой была выброшена буровая мелочь, практически одновременно с выбросом газов из скважины без забойки.

После взрыва распорная забойка была найдена примерно в 50 *м* от скважины и была полностью разрушена (рис. 4.18, *б*). Поблизости от скважины найден один разрезной элемент от цилиндра со следами его разрыва, на расстоянии около 30 *м* найдена часть разрушенного распорного конуса.

Представляется следующая картина поведения забойки при взрыве. Распор нижней части лепестков цилиндра длиной 40...50 *мм* затяжкой гайки позволила создать первичное сопротивление забойки, о чем свидетельствует дальность ее отброса на 50 *м* и время полета более 5,5 *с*.

Характер разрушения распорного конуса показал, что толщина его стенок в 2 *мм* и сварное соединение дна со стенками недостаточны для сопротивления давлению продуктов взрыва.

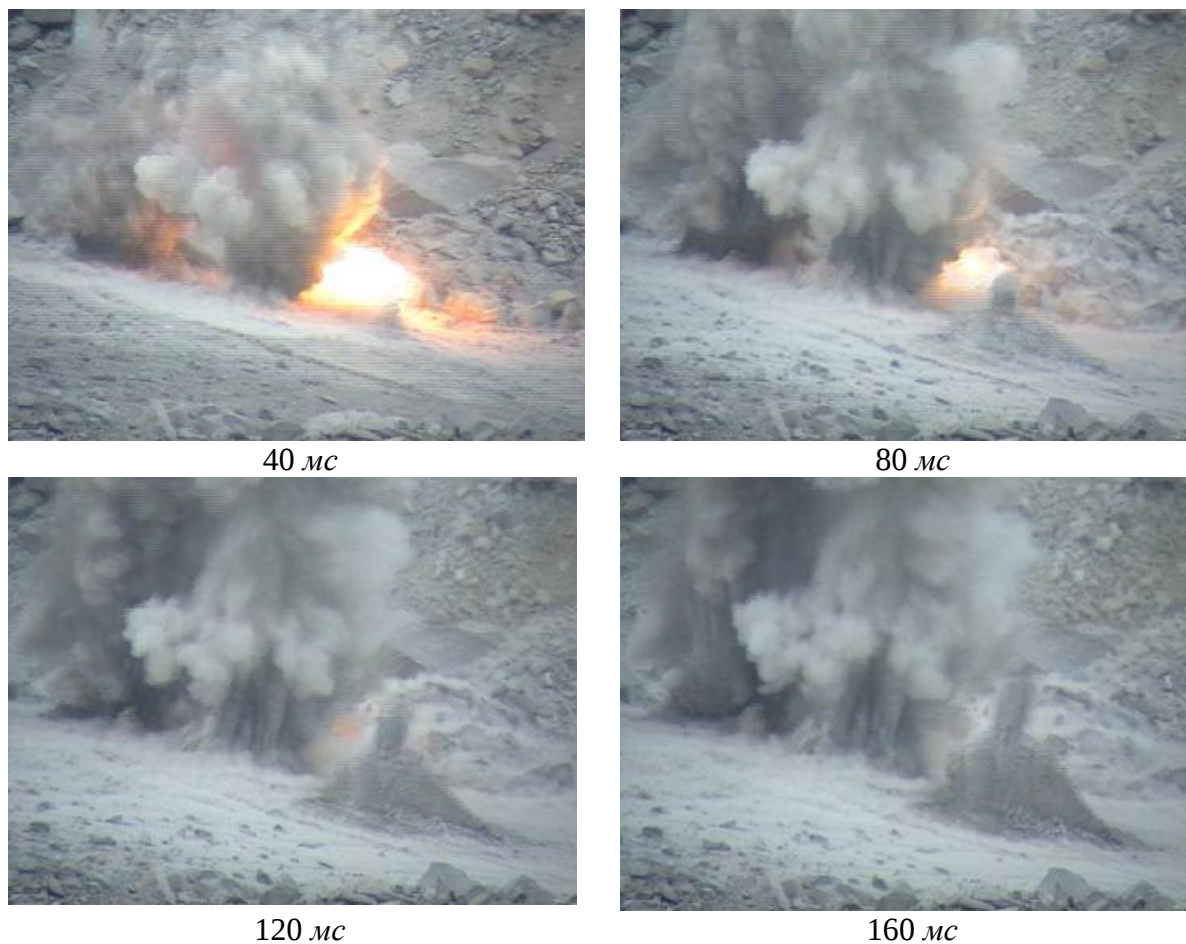


Рис. 4.19. Покадровая развертка взрывов: правый взрыв – скважина с забойкой из буровой мелочи; средний – без забойки; левый – скважина с металлической забойкой

После выскальзывания из скважины в полость вывала забойка начала разрушаться предположительно по следующей схеме.

Распорный конус (см. рис. 4.17) резким рывком был брошен вперед, смял направляющие втулки, деформировав при этом днище. Одновременно были срезаны штифты с частичным разрывом лепестков цилиндра. Затем под давлением газов распорный конус разрушился и оставшаяся часть забойки была выброшена из скважины.

Возможен и другой сценарий разрушения. Сначала разрушился распорный конус, оторвавшееся по сварке днище повредило втулки, срезало штифты с частичным разрывом лепестков, все еще зажатых внизу в скважине, а после полного разрушения распорного конуса начался выброс частей забойки из скважины. Основное давление газов пришлось на распор-

ный конус (его части найдены в 30 м от скважины) и днище с распорной трубой (найжены в 50 м как более массивный узел, имеющий большую кинетическую энергию), а разрезной элемент найден у скважины.

Испытания показали, что конструкция запорной забойки требует значительной доработки. Причем работа должна вестись в следующих направлениях:

1. Обоснование геометрических параметров забойки с возможностью изменения наружного диаметра на 10...15 мм.
2. Обеспечение надежности созданием максимально простой конструкции с минимальным количеством деталей.
3. Обеспечение прочности забойки, особенно ее распорного конуса.
4. Максимально возможное снижение массы забойки для обеспечения удобства эксплуатации.

Для дальнейших исследований были изготовлены две забойки: металлическая забойка с двумя распорными конусами и подвесная забойка. Схема конструкции зарядов в скважинах диаметром 115 мм представлена на рис. 3.6.

В скважине 1 забойка выполнена из бетона, ее работа описана в 5.3. В скважине 2 – обычно применяемая на карьере забойка из бурового шлама. В третьей скважине размещена металлическая забойка с двумя распорными конусами, заряд в скважине 4 выполнен без забойки для фиксирования момента взрыва серии скважин на видеопленке. В пятую скважину установлена подвесная забойка.

Экспериментальный блок был расположен на восточном борту Корфовского каменного карьера и представлен гранодиоритами XII категории крепости по СНИП. Скважины располагали в первом ряду и взрывали одновременно. Заряд ВВ комбинированный – в нижней, обводненной, части скважин размещали водоустойчивый граммонит 30/70, далее – неводо-

устойчивый граммонит 79/21. Масса заряда в скважинах составила 100 кг.

Металлическая забойка с двумя распорными конусами (рис. 4.20) на поверхности блока собирается в конструктивный элемент, для чего вставляют коническую пробку 5 с тягой 7 в нижнее коническое расширение 3 цилиндра 1, пропускают тягу 7 через осевую полость 2 до выхода ее из цилиндра. Затем на тягу через осевой канал 10 надевают коническую пробку 9 и монтажную петлю 11 с опущенной дужкой, затем накручивают гайку 8, подтягивая тягой навстречу друг другу конические пробки до соприкосновения их с коническими расширениями. После этого через тягу пропускают детонирующий шнур.

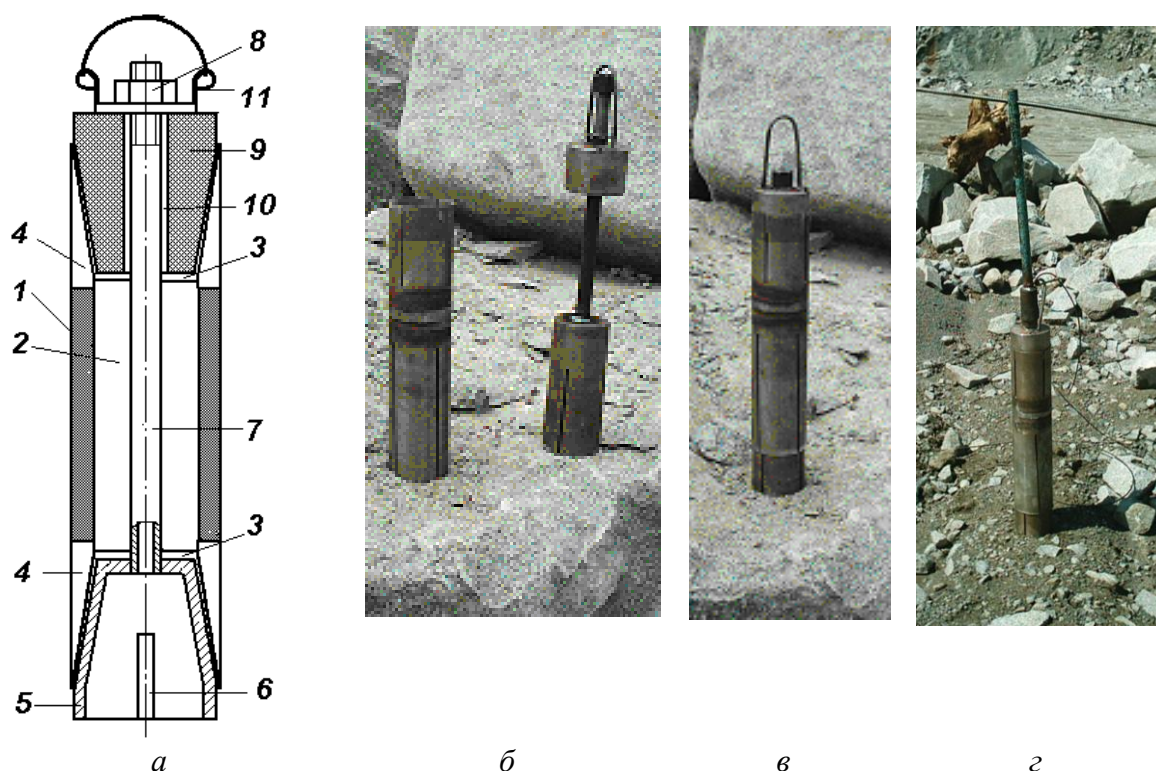


Рис. 4.20. Металлическая запирающая забойка с двумя распорными конусами:
а – схема забойки; *б* – элементы забойки (распорные конусы и разрезной цилиндр),
в – забойка в сборе, *г* – забойка перед погружением в скважину с ключом для стягивания распорных конусов

К монтажной петле подвязывают канатик и забойку опускают в скважину до нужного уровня (рис. 4.21). При вращении ключом гайки на тяге,

жестко связанной с нижним распорным конусом, распорные конусы сдвигаются навстречу друг другу, обеспечивая предварительный распор цилиндра путем расширения его разрезных элементов. Забойка готова к работе.



а



б

Рис. 4.21. Установка металлической забойки с двумя распорными конусами в скважине: *а* – опускание забойки в скважину; *б* – затягивание гайки монтажным ключом

После детонации заряда ВВ в зарядной полости резко возрастает давление продуктов детонации до величин в десятки тысяч атмосфер и происходит динамический удар газов по нижнему распорному конусу. За счет большой внутренней поверхности конуса величина воспринимаемого усилия значительна, что приводит к дополнительному вдавливанию его в нижнее коническое расширение корпуса и окончательному его заклиниванию в скважине. Тяга при этом свободно проходит через осевой канал верхней конической пробки, расклинившей верхнюю часть корпуса в стенки скважины, не нарушая ее положения. По техническим причинам забойка длиной 0,6 м была погружена в скважину только на 0,7 м.

Подвесная металлическая забойка (рис. 4.22, *а*) представляет собой разрезанный параллельно образующей на четыре элемента цилиндр 1, в который вставлен полый распорный конус 2 с канатиком 3. Канатик про-

пускается через центральное отверстие в днище цилиндра, распорную трубу 4 и отверстие в опорной плите 5.

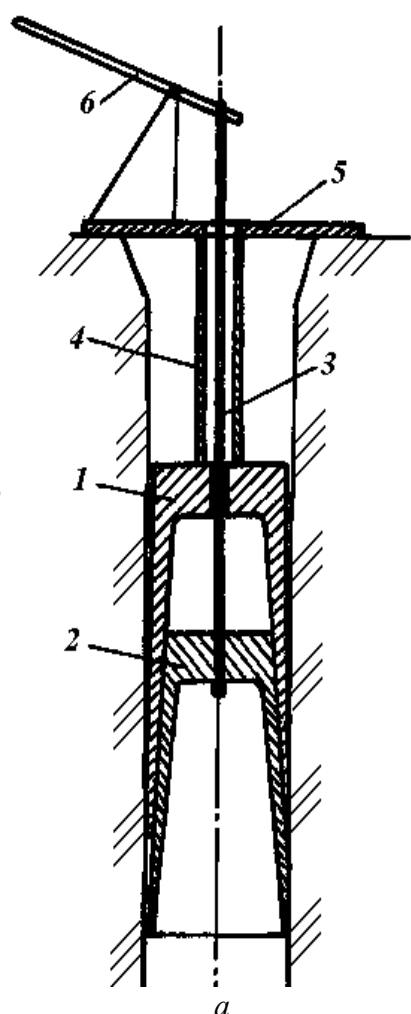


Рис. 4.22. Подвесная металлическая забойка: а – схема забойки; б – элементы забойки; в – забойка в сборе

Подвесная металлическая забойка размещается в скважине опусканием на удерживающем канатике (рис. 4.22, в), а устанавливается в скважине с помощью натяжного приспособления, для чего она опускается на глубину, обеспечивающую размещение верха распорной трубы на уровне поверхности уступа (рис. 4.23, а). Затем на скважину устанавливается натяжное приспособление, канатик забойки пропускается через отверстие платформы приспособления (рис. 4.23, б).



а



б

Рис. 4.23. Размещение подвесной металлической забойки в скважине (*а*) и натяжного приспособления над скважиной (*б*)

Распорная труба подвесной забойки (см. рис. 4.22, *а*) упирается снизу в платформу натяжного приспособления и удерживает разрезной цилиндр забойки в неподвижном положении, в то время как распорный конус канатиком, наброшенным в несколько витков на натяжной рычаг *б*, втягивается в цилиндр. При смещении распорного конуса вверх он раздвигает элементы нижней части разрезного цилиндра, прижимает их к стенкам скважины и создает предварительный распор забойки (рис. 4.24, *а*).

При взрыве динамический удар по распорному конусу продуктов взрыва с весьма высоким давлением вдавливают его в стенки цилиндра и окончательно заклинивают забойку в скважине.

После установки металлических забоек в скважинах они канатиками были соединены с изношенной шиной автомобиля (рис. 4.24, *б*).



а



б

Рис. 4.24. Установка подвесной металлической забойки (*а*) и соединение ее с автошиной (*б*)

Экспериментальный взрыв был проведен 25 июля 2005 г. Видеосъемка взрыва осуществлялась цифровой видеокамерой NV-GS11 с 24-кратным оптическим увеличением с расстояния 700 м (из-за пределов опасной зоны взрыва). Покадровая видеограмма развития взрыва приведена на рис. 4.25.

Анализируя рис. 4.25, можно отметить следующее. Поскольку частота съемки видеокамерой составляет 25 *кадр/с*, интервал между кадрами в 40 *мс* для взрыва достаточно велик, но, тем не менее, можно сделать определенные выводы о процессе развития взрыва во времени и пространстве.

На кадре с отметкой времени 0 *мс* видно пламя от детонации поверхностной сети ДШ и одновременно заметно начало выброса продуктов детонации из скважины без забойки, что свидетельствует о том, что во всех скважинах заряд сдетонировал. Однако в остальных скважинах забойки удерживают продукты взрыва, оказывая положительное влияние на процесс разрушения пород взрывом.

К 40 *мс* произошел выброс обеих металлических забоек из скважин — четко видны столбы выброса продуктов детонации. Этот же кадр зафиксировал начало прорыва газов в верхней части уступа в сторону откоса через массив горных пород толщиной не менее 2 м (отмечены овалами) и вспу-

чивание верхней части уступа. Это можно считать началом процесса разрушения уступа в его верхней части в районе скважин 3, 4 и 5.

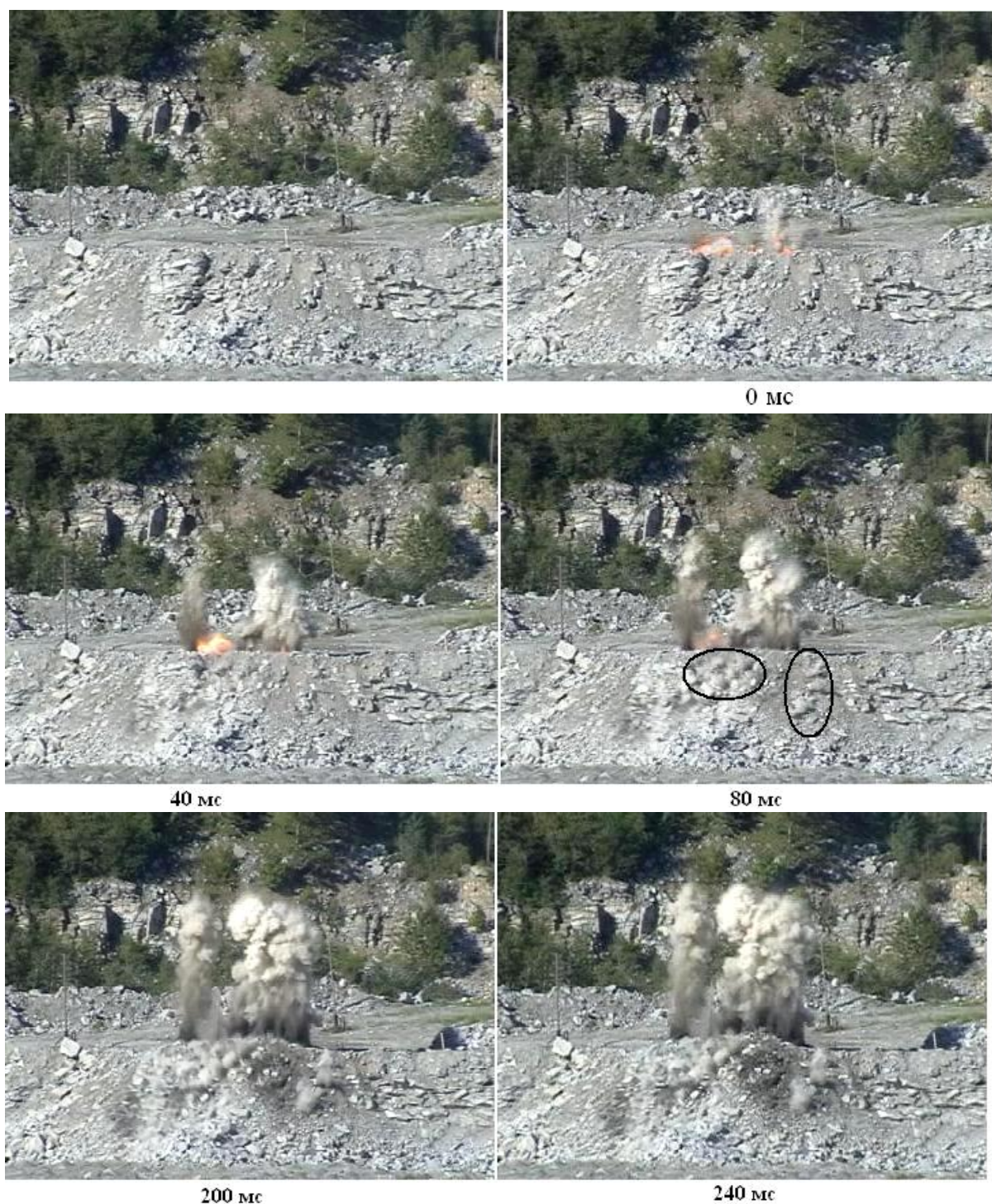


Рис. 4.25. Видеограмма развития экспериментального массового взрыва

На последующих кадрах видно, что развитие взрыва опережающим путем происходит именно в районе металлических забоек. При этом следует

учесть, что нижняя часть двухконусной забойки располагалась в скважине 3 на глубине 0,7 м, нижняя часть подвесной забойки в скважине 5 – на глубине 1,5 м, а в скважине 4 забойки не было вообще. Поэтому разрушение горной породы и началось в районе устья скважин, в сторону наименьшего сопротивления, при очень высоком давлении продуктов детонации (они еще не прорвались через горную породу в районе откоса уступа). Что и повлекло разрушение корпусов металлических забоек, освободившихся от контакта со стенками скважин.

В районе скважины 2 таких процессов не наблюдается, поскольку длина забойки из бурового шлама в 5 м исключает воздействие заряда первой скважины на верхнюю часть уступа. Это хорошо видно на рис. 4.26 – только у скважины 2 видны крупные камни в верхней части уступа, в месте расположения засыпной забойки, т. е. в зоне нерегулируемого дробления. А металлические забойки в скважинах 3 и 5 создали настолько хорошее запирающее действие газов взрыва, что смогли компенсировать слабое действие скважины 4 без забойки и обеспечить ровный и качественный отрыв породы по верху уступа в районе этих трех скважин даже с захватом в глубину уступа в сравнении со скважиной 2 именно за счет уменьшения этой зоны нерегулируемого дробления до 0,7 м и 1,5 м соответственно.

Фрагменты разрушенных металлических забоек, собранные после взрыва, позволяют сделать вывод о том, что они были выброшены из скважин именно в результате разрушения горной породы в районе устья скважин. На разрезном цилиндре двухконусной забойки нет следов скольжения по скважине (рис. 4.27, а), так же как и на разрезном элементе цилиндра подвесной забойки (рис. 4.27, б). В то же время на разрезном элементе подвесной забойки четко виден след от удара падающим камнем, что свидетельствует о достаточной мягкости металла, на котором следы скольжения по скважине отпечатались бы обязательно.



Рис. 4.26. Общий вид забоя после взрыва



а



б

Рис. 4.27. Фрагменты металлических забоек после взрыва

Тот факт, что металлические забойки удерживались в скважинах до разрушения породы стенок скважин в районе их устья подтверждается характером разрушения распорной трубки подвесной забойки (рис. 4.28, б). Подвесная забойка держала высокое давление, и газы, вырывавшиеся через зауженное отверстие в верхней части распорной трубки, разорвали ее.

Разрушающаяся порода стенок скважин сняла распор с металлических забоек, они были выброшены подобно снарядам из ствола орудия. А как только распора в породе не стало, гигантское давление газов взрыва начало разрушать тонкие стенки разрезных цилиндров забоек и тонкостенного распорного конуса подвесной забойки. Обрыву разрезных элементов распорного конуса способствовала и неудачная конфигурация прямоугольного их примыкания к днищу (рис. 4.28, *а*).



а



б

Рис. 4.28. Разрушение распорного конуса и трубки распорной забойки

Оба канатика, связывавшие металлические забойки с автошиной оказались оборванными вследствие высокой скорости вылета забоек.

Судя по разрыву разрезного цилиндра запирающей забойки (см. рис. 4.27, *а*), распорный конус ее прошел под действием давления газов взрыва корпус насквозь и был отброшен далеко, найти его не удалось. В то же время остальные фрагменты забоек были собраны достаточно близко от скважин (рис. 4.29).

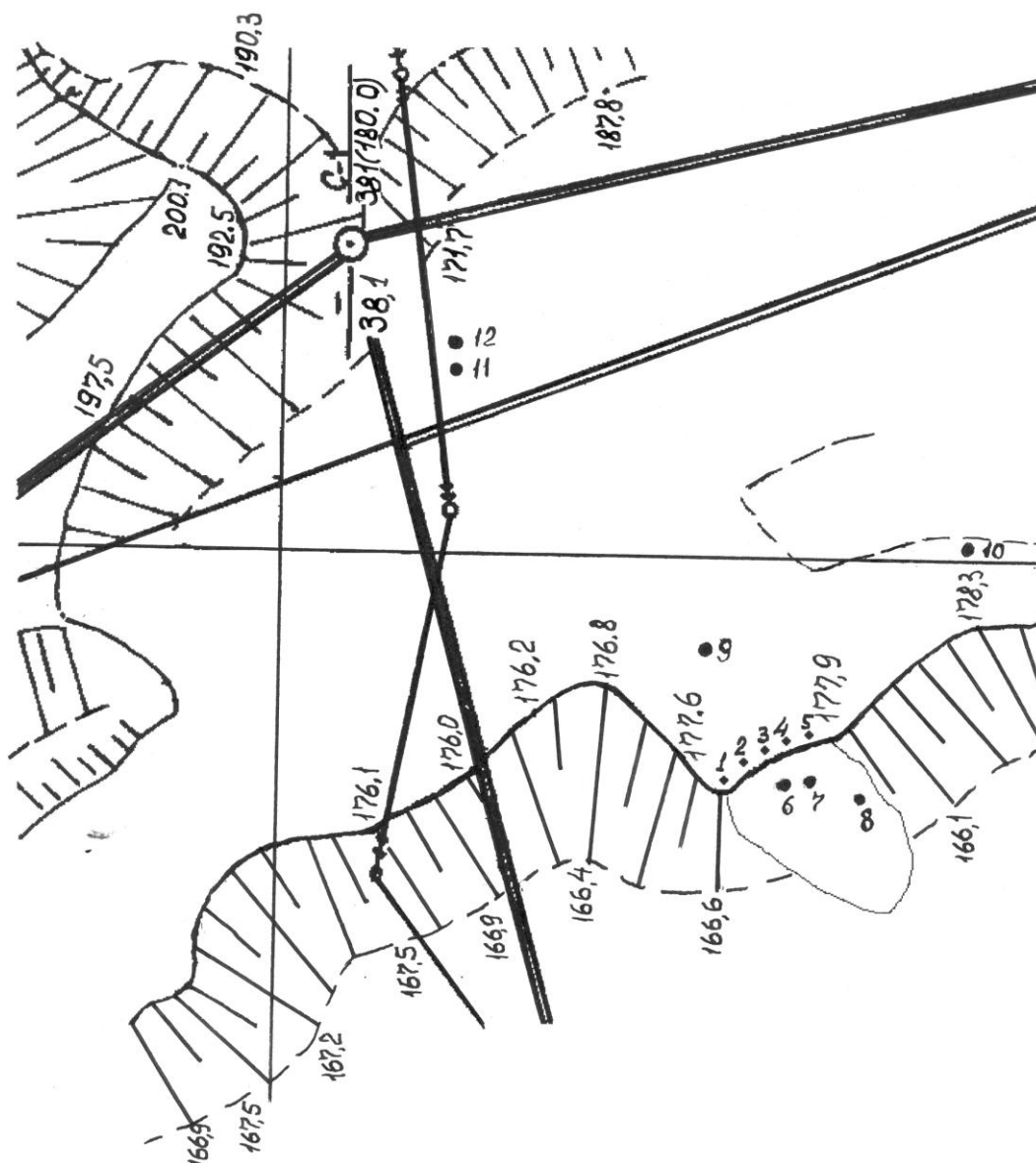


Рис. 4.29. Схема разброса фрагментов металлических забоек после взрыва:
 1-5 – взрывные скважины; 6 –разрезной цилиндр двухконусной забойки; 7, 8 – элемен-
 ты распорного конуса подвесной забойки; 9 – разрезной элемент цилиндра подвесной
 забойки; 10, 11 – обломки распорной трубы подвесной забойки; 12 – днище распорного
 конуса подвесной забойки

Таким образом, в результате эксперимента выявлено, что металличе-
 ские распорные забойки выдерживают давление газов взрыва зарядов ВВ
 массой 90...100 кг, вплоть до разрушения окружающих их горных пород,
 без скольжения по скважине. В результате запираения взрывной скважины
 в районе устья дробление пород улучшено. Однако металлические забойки
 в результате взрыва были разрушены и стали непригодными для повторно-

го использования. Поэтому направление дальнейших исследований – разработка прочных забоек и выявление условий для их работы без разрушений.

Последующие экспериментальные исследования работы металлических забоек проводились в карьере ОАО «Теплоозерский цементный завод» в июле 2007 г. Горные породы представлены известняками VIII категории крепости по СНИП. Скважины располагали в ряд на участках с визуально выявленными выходами ненарушенных предшествующими взрывами пород. С целью получения качественной видеосъемки весь ряд скважин был разбит на два участка, и на каждом из них экспериментальный взрыв проводился отдельно. Первый экспериментальный участок (см. рис. 3.10) обустроен четырьмя скважинами диаметром 110 мм и глубиной 2 м. Следует отметить, что скважины были пробурены в породе с ненарушенной структурой, стенки скважин были ровные и гладкие, разрушения в устье скважины отсутствовали. Первая слева скважина выполнена без забойки, во вторую установлена металлическая подвесная забойка (рис. 4.30, *а*), в третью – бетонная, и в четвертую – засыпная забойка из буровой мелочи.



а



б

Рис. 4.30. Металлические забойки, испытывавшиеся в карьере ОАО «Теплоозерский цементный завод»: *а* – подвесная цилиндрическая; *б* – подвесная стержневая
Скважины сухие, ВВ – патронированный аммонит АПВ в патронах

диаметром 90 мм и массой по 3 кг. Заряд каждой скважины составлял 3 кг и занимал в длину 0,5 м. Бетонные и засыпные забойки выполнялись длиной 1,5 м.

Второй экспериментальный участок (см. рис. 3.11) обустроен с теми же параметрами скважин, зарядов и забоек, что и на первом участке. Первая скважина выполнена с засыпной забойкой, вторая – с металлической стержневой (рис. 4.30, б) и третья – с бетонной забойкой. Скважины с металлическими забойками укрывали сложенной вдвое сеткой Рабитца, а сверху укладывались шины от БелАЗа массой 280 кг каждая (рис. 4.31, а).



а



б

Рис. 4.31. Скважина с металлической забойкой на блоке: а – расположение до взрыва; б – результаты взрыва

Как в случае с подвесной цилиндрической, так и с подвесной стержневой видимого размера воронки выброса нет (рис. 4.31, б). Произошло полное заклинивание взрывных скважин, и в результате взрыва выброса забоек не произошло. В обоих случаях получился полный камуфлет. По диаметру 1,3...1,5 м расположены радиальные трещины и есть небольшое вспучивание породы. В результате взрыва в пределах воронки выброса порода была разрушена и легко разбиралась. На рис. 4.32 показаны результаты взрыва скважины с цилиндрической подвесной забойкой. Аналогичный результат был получен и в результате взрыва скважины со стержневой подвесной забойкой (рис. 4.33).



a



б

Рис. 4.32. Результаты взрыва скважины с цилиндрической подвесной забойкой: *a* – забойка после раскопки; *б* – воронка выброса со скважиной в камуфлетную полость



a



б



в



г

Рис. 4.33. Результаты взрыва скважины со стержневой подвесной забойкой: *a, б* – раскопка забойки; *в* – раскопанная воронка выброса; *г* – скважина в камуфлетную полость

Таким образом, по результатам взрывов можно сделать вывод о том, что металлические забойки, установленные в скважины с ровными и глад-

кими стенками, хорошо удерживаются в скважине и запирают газы. После разрушения породы вокруг забойки она не может далее удерживаться в скважине за счет сил трения и внедрения в породу.

После разрушения устья скважины, в котором установлена забойка, остаточным давлением газов она выбрасывается из скважины. Попадание металлической забойки с горной массой в дробилку влечет ее поломку или остановку. В связи с этим требуются особые условия работы с металлическими забойками, которые заключаются в обеспечении щадящего режима взрывания, четкого соблюдения расчетных параметров зарядки взрывных скважин, обеспечения укрытия взрываемого блока и крепления забоек к соединительным элементам. Такой способ извлечения металлических забоек из горной массы [86] описан в 4.4 (см. рис. 4.16).

Глава 5

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАБОЙКИ

5.1. Бетонно-засыпные забойки

Повысить эффективность взрывного дробления горных пород за счет полного запирания продуктов детонации в зарядной полости до разрушения окружающей породы можно комбинированной бетонно-засыпной забойкой (рис. 5.1, *а*).

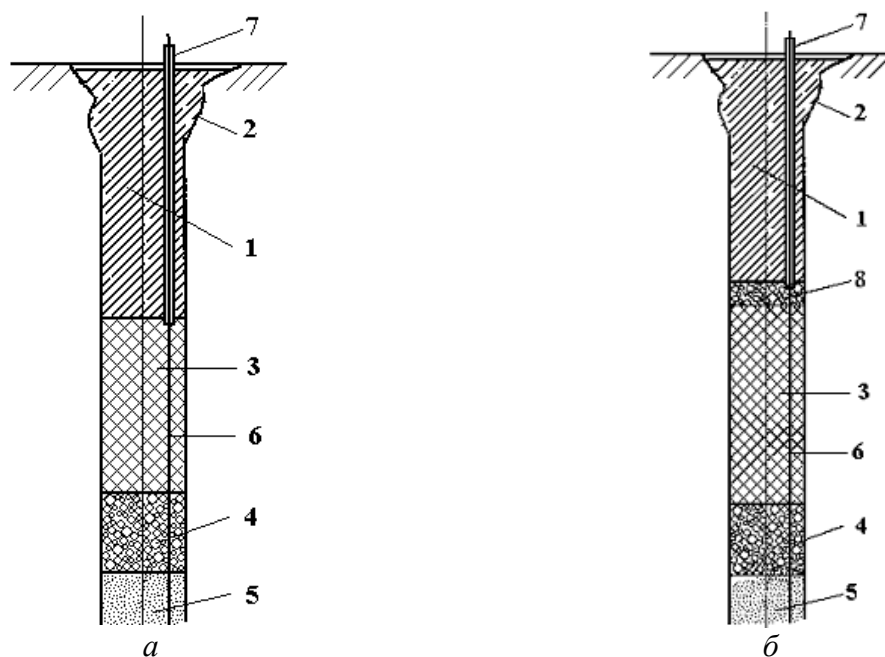


Рис. 5.1. Схемы бетонно-засыпных забоек

Верхняя часть комбинированной засыпной забойки выполнена в виде монолитной пробки 1 из бетона [87]. Наружная поверхность верхней части забойки сцепляется при твердении со стенками устья скважины 2, имеющими, как правило, неровную поверхность с вывалами и трещинами. Нижняя часть комбинированной засыпной забойки состоит из засыпного участка 3, заполненного песком, песчано-глинистой смесью, буровым

шламом и т. п. и воздушного промежутка 4, выполненного из вспененного полистирола.

Комбинированная засыпная забойка работает следующим образом. Вначале над зарядом ВВ 5 выполняют воздушный промежуток из вспененного полистирола, засыпая его из мерной емкости, например, ведра. Затем формируют засыпной участок размещением сыпучего инертного материала на заданную высоту. После этого формируют монолитную пробку из твердеющих материалов, например, бетона, алебаstra с влажным песком и т. п. В случае применения расширяющихся быстротвердеющих цемента, проводник инициирующего импульса 6 помещают в защитный короб или трубку 7, для защиты от повреждения при увеличении объема расширяющегося бетона. Длину участков скважины, занятых воздушным промежутком, засыпным участком и монолитной пробкой подбирают опытным путем или по аналогии. Толщина монолитной пробки принимается исходя из размера негабарита, который наиболее часто на предприятиях составляет 0,6...0,8 м и чаще всего именно на такую глубину наблюдаются сильные нарушения верхней части уступа взрывами на вышележащем горизонте. Длина засыпного участка принимается как разность общей длины комбинированной засыпной забойки и длин монолитной пробки и воздушного промежутка.

После детонации заряда ВВ в зарядной полости происходит динамический удар газов по засыпной забойке, несколько смягченный наличием воздушного промежутка, снижающего пиковое давление продуктов детонации. Наличие монолитной пробки над засыпной частью забойки позволит исключить выброс забойки до полного разрушения массива горных пород в районе устья скважины и прорыва продуктов детонации из зарядной полости в атмосферу через трещины в разрушенном массиве.

Обеспечивая длительную замкнутость зарядной полости, такая забойка

способствует более полному протеканию вторичных реакций в продуктах детонации и соответственно повышает энергию взрыва.

Конструкция бетонно-засыпной забойки, представленной на рис. 5.1, б, отличается от вышеописанной тем, что между монолитной пробкой 1 и засыпным участком 3 помещен буферный промежуток 8 из вспененного полистирола [88]. Длина засыпного участка 3 принимается как разность общей длины комбинированной забойки и длин монолитной пробки 1, буферного промежутка 8 и воздушного промежутка 4.

После детонации заряда ВВ в зарядной полости происходит динамический удар газов засыпному участку забойки, несколько смягченный наличием воздушного промежутка, снижающего пиковое давление продуктов детонации. В нижней части начавшего движение засыпного участка забойки формируется пробка из уплотненного материала, снижающего скорость движения забойки. На сжатие буферного промежутка 8 затрачивается некоторая часть энергии движения, что смягчает удар по бетонной пробке. При этом начинает формироваться вторая пробка уплотнения сыпучего материала забойки, повышающая удерживающую способность засыпного участка забойки. Это позволяет сделать бетонную пробку короче, снизив тем самым расход материалов на нее при сохранении удерживающей способности.

Укороченная за счет воздушных промежутков монолитная бетонная пробка над засыпной частью забойки позволит исключить выброс комбинированной забойки до полного разрушения массива горных пород в районе устья скважины и прорыва продуктов детонации из зарядной полости в атмосферу через трещины в разрушенном массиве. Этим достигается увеличение полезного использования энергии взрыва на дробление скальных горных пород.

5.2. Бетонно-металлические забойки с разрезным цилиндром

Распорная комбинированная бетонно-металлическая забойка [89] выполнена из верхней и нижней частей, соединенных между собой силами сцепления твердеющих материалов, причем верхняя часть 1 (рис. 5.2, а) представляет собой монолитную пробку из быстротвердеющих вяжущих материалов, а нижняя 2 – полый металлический цилиндр, в стенках которого по образующей выполнено не менее трех прорезей 4, имеющий входящее внутрь монолитной пробки днище в виде усеченного конуса с рифленой наружной поверхностью 3.

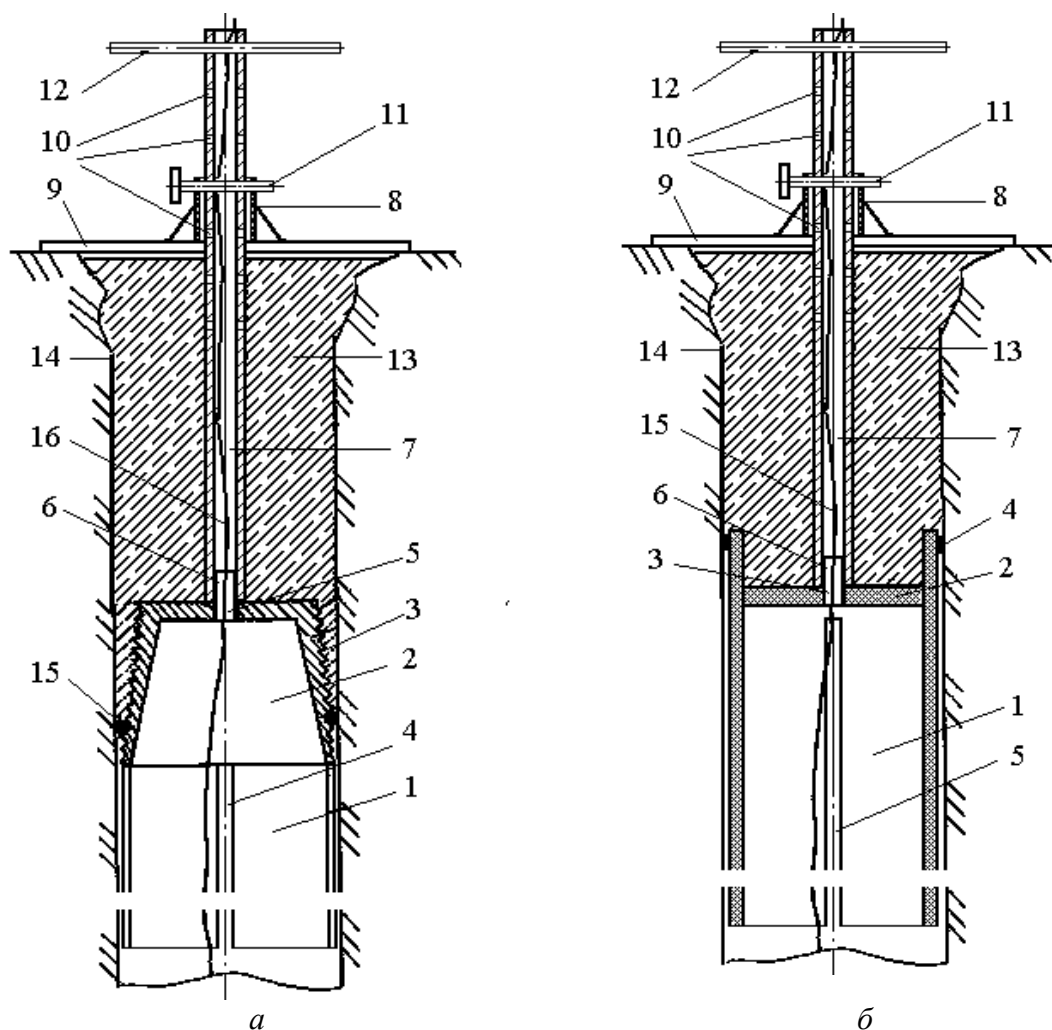


Рис. 5.2. Распорная комбинированная забойка: а – бетонно-металлическая;
б – бетонно-пластиковая

Длина монолитной пробки из быстротвердеющих вяжущих материалов составляет от 0,6 до 0,8 м.

Длина полого металлического цилиндра составляет не менее 5...7 диаметров скважины. В качестве быстротвердеющих вяжущих материалов используют бетонную смесь.

В днище закреплен патрубок 5, на резьбовой конец 6 которого навинчивается трубчатая тяга 7, свободно проходящая через направляющую втулку 8, закрепленную на крестовине 9. Трубчатая тяга снабжена рядом парных отверстий 10, в одну из которых вставляют штифт 11 для соединения трубчатой тяги с направляющей втулкой, а в другую – рукоятку 12. Верхняя часть распорной комбинированной забойки выполнена в виде монолитной пробки 13 из бетона, наружная поверхность которой сцепляется при твердении со стенками скважины 14, а внутренняя – с рифлениями днища цилиндра. Нижняя часть днища снабжена резиновой манжетой 15.

На поверхности блока комбинированную забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого на днище устанавливают резиновую манжету, на резьбовой конец патрубка навинчивают трубчатую тягу, которую затем вставляют в направляющую втулку крестовины. Через трубчатую тягу пропускают проводник иницирующего импульса 16, в верхнюю пару отверстий трубчатой тяги вставляют рукоятку и с ее помощью собранный конструктивный элемент устанавливают вертикально у скважины.

Нижний конец трубчатой тяги на величину верхней части забойки смазывают консистентной смазкой или оборачивают бумагой для предотвращения сцепления ее с монолитной пробкой при твердении последней. Крестовину размещают на трубчатой тяге на расстоянии 0,6...0,8 м от днища, соответствующем длине пробки, и фиксируют ее установкой штифта в ближайшую пару отверстий. За рукоятку распорную комбинированную забойку опускают в скважину. Диаметр цилиндра на 4...6 мм меньше диаметра скважины, что позволяет распорной комбинированной забойке свободно входить в скважину до расположения крестовины на поверхности

уступа. Через проемы крестовины в скважину подают бетонную смесь и уплотняют ее. Бетонная смесь сцепляется со стенками скважины и рифлениями днища. Резиновая манжета предотвращает вытекание цементного молока в скважину. После твердения монолитной пробки с помощью рукоятки трубчатую тягу отвинчивают от резьбового конца патрубка, убирают трубчатую тягу с крестовиной из скважины и распорная комбинированная забойка готова к работе.

После детонации заряда ВВ в зарядной полости удар газов приходится по большой поверхности внутренней полости цилиндра. В результате этого разрезная часть цилиндра распирается продуктами взрыва в стенки скважины, воспринимая на себя значительную часть энергии взрыва и совместно с бетонной пробкой запирает продукты взрыва в зарядной полости до разрушения массива.

5.3. Бетонно-пластиковые забойки

Распорная комбинированная бетонно-пластиковая забойка [90, 91] выполнена из верхней и нижней частей (рис. 5.2, б), связанных между собой силами сцепления твердеющих материалов, причем верхняя часть представляет собой монолитную пробку из бетона, а нижняя – эластичный полый цилиндр, выполненный, например, из резиновой трубы с пластмассовым днищем, заглубленным на $\frac{1}{4}$ от его верхнего среза. Нижняя часть монолитной пробки из быстротвердеющих материалов входит внутрь эластичного цилиндра до его пластмассового днища для обеспечения надежного сцепления верхней и нижней частей комбинированной распорной забойки между собой. Установка забойки в скважину и работа аналогичны бетонно-металлической забойке.

Быстротвердеющие вяжущие материалы сцепляется со стенками скважины, днищем и верхней внутренней частью цилиндра. Резиновая манжета 15 предотвращает вытекание жидкой части смеси в скважину. После твердения монолитной пробки с помощью рукоятки трубчатую тягу отвинчивают от резьбового конца пластмассового патрубка, убирают трубчатую тягу с крестовиной из скважины, и комбинированная забойка готова к работе.

После детонации заряда ВВ в результате удара газов по поверхности внутренней полости цилиндра его разрезная часть распирается продуктами взрыва в стенки скважины, воспринимая на себя значительную часть энергии взрыва и совместно с укороченной бетонной пробкой запирает продукты взрыва в зарядной полости до разрушения массива.

5.4. Засыпная забойка в расширенной части скважины

Во второй главе на рис. 2.7 приведена конструкция засыпной забойки в расширенной части скважины и там же даны ее недостатки. Для устранения этих недостатков нами предложена иная конструкция засыпной забойки, приведенная на рис. 5.4 [92].

Взрывная скважина состоит из цилиндрического ствола 1 и выемки 2 конической формы. Верхняя часть цилиндрического ствола и выемки заполнены сыпучим забоечным материалом 3, при этом нижняя часть выемки, со стороны большего основания, не менее чем на 10 % высоты заполнена взрывчатым веществом заряда 4, заполняющего нижнюю часть цилиндрического ствола, к которому подведен проводник инициирующего импульса 5.

В такой взрывной скважине увеличение сопротивляемости забоечного материала действию газообразных продуктов взрыва, образующихся при

детонации заряда, обеспечивается посредством размещения забоечного материала в верхней части цилиндрического ствола и выемке.

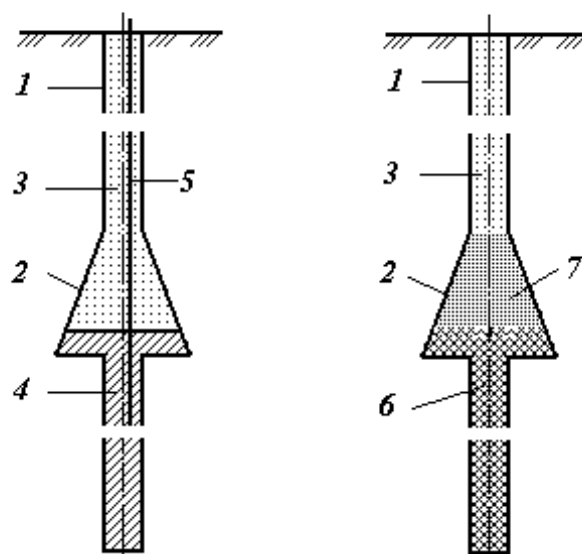


Рис. 5.4. Комбинированная распорно-засыпная забойка

При детонации заряда взрывчатого вещества забоечный материал в районе нижнего основания конуса выемки уплотняется давлением газов газообразных продуктов взрыва 6, образуя «пробку» 7. Чем выше скорость приложения нагрузки, тем короче, но плотнее образовавшаяся «пробка». Эта «пробка» под давлением продуктов детонации начинает смещаться вверх и, как поршнем, запрессовывает забоечный материал, находящийся в выемке, смещая его по сходящимся стенкам выемки к верхней цилиндрической части. Во всей выемке сила трения между частицами забоечного материала возрастает, коэффициент сцепления забоечного материала со сходящимися стенками выемки увеличивается. Сопротивляемость забойки давлению газов газообразных продуктов взрыва многократно возрастает, поскольку происходит запрессовка забоечного материала по всей площади сходящихся стенок конической выемки и эффективность взрывного дробления горных пород повышается.

5.5. Засыпные забойки со стержневым цилиндром

Главным элементом комбинированной забойки [93] является стержневая забойка, описанная в 4.4.4.

Комбинированную расклинивающую забойку 1 (рис. 5.5) устанавливают следующим образом.

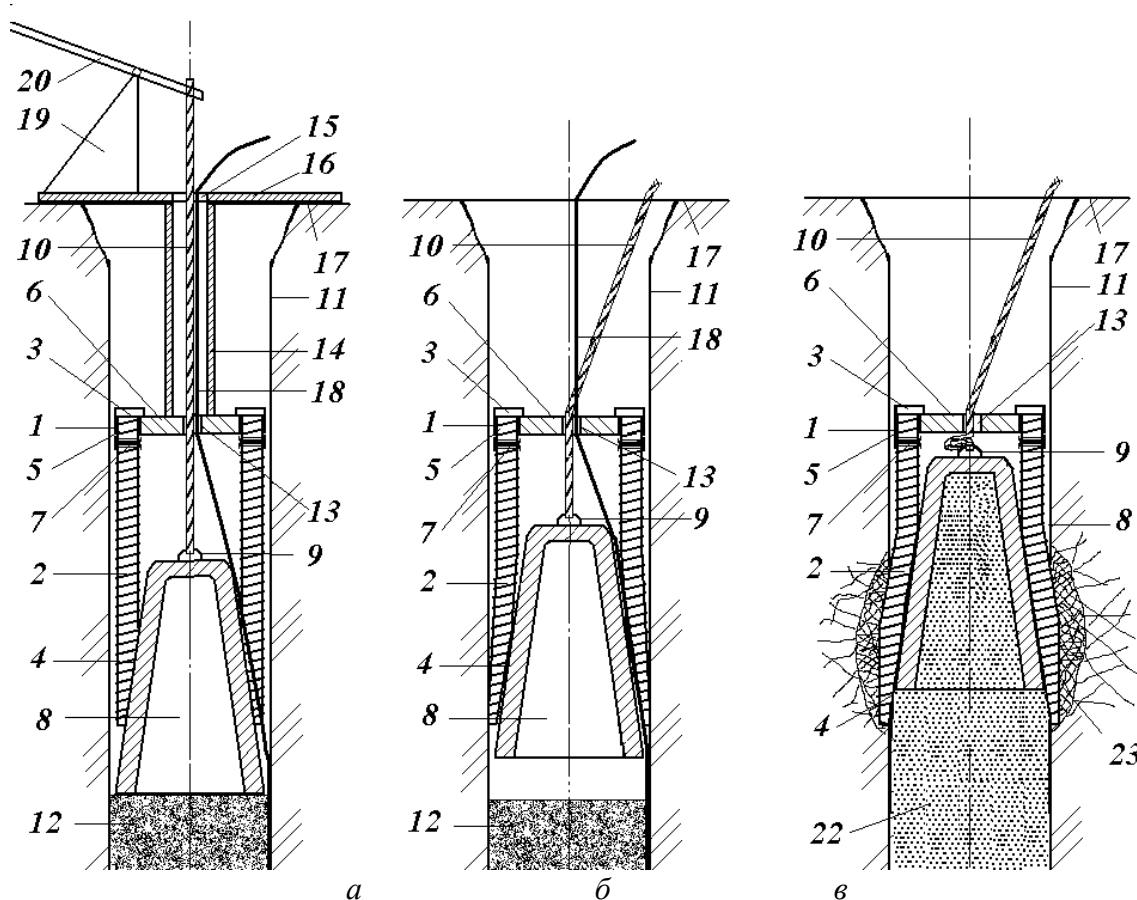


Рис. 5.5. Схема засыпной забойки со стержневым цилиндром: *а* – положение в скважине; *б* – после предварительного распора; *в* – после детонации заряда ВВ

Вначале, до глубины ее размещения согласно паспорту взрыва, над зарядом ВВ в скважине формируют воздушный промежуток, например, из вспененного полистирола, при этом последние два-три диаметра вместо полистирола засыпают инертный материал 2, например, песок или буровой шлам. После сборки забойки в конструктивный элемент ее на гибкой связи 3 опускают нижней частью в скважину. С помощью натяжного устрой-

ства распорный конус 4 прижимает рифленые стержни к стенкам скважины, создавая предварительный распор забойки. После этого натяжное устройство снимают, и комбинированная забойка готова к работе.

При детонации заряда ВВ в зарядной полости происходит динамический удар газов по нижней части сыпучего материала. Вначале сыпучий материал уплотняется в виде пробки, воспринимающей первый, самый жесткий удар продуктов детонации и перекрывающей путь к выбросу взрывных газов в зазор между прутками, образующийся ввиду разности диаметров головок и прутков. Затем продукты детонации сдвигают эту пробку, смешиваются с ее материалом, диспергируют его и этот пылегазовый поток оказывает мощное давление на распорный конус, что приводит к вдавливанию его в решетчатый цилиндр. Перемещаясь вдоль рифленых стержней, распорный конус раздвигает их все шире, поэтому нижняя часть рифленых стержней внедряется в горную породу, образуя зону смятия и раздавливания. Чем выше перемещается полый распорный конус вдоль рифленых стержней, тем на большую глубину они внедряются в горную породу и тем сильнее расклинивается забойка в скважине. При этом отдельные рифленые стержни могут внедряться на большую величину, если в этом месте сопротивление пород слабее. Такая избирательность способствует лучшей сопротивляемости забойки в целом выталкивающему действию взрывных газов. И наступает момент, когда движение полого распорного конуса 8 прекращается и забойка окончательно расклинивается в скважине. Таким положение комбинированной расклинивающейся забойки остается вплоть до прорыва продуктов детонации из зарядной полости через образующиеся в разрушаемом массиве трещины в атмосферу.

5.6. Органические забойки в комбинации с засыпкой

Как уже указывалось в разделе 4.6, использование металлических забо-

ек при взрывных работах в карьерах создает определенные трудности. В связи с этим нами разработаны несколько конструкций комбинированных забоек, состоящих из органической распорной и засыпной частей.

Комбинированная органическая распорно-засыпная забойка представлена на рис. 5.5.

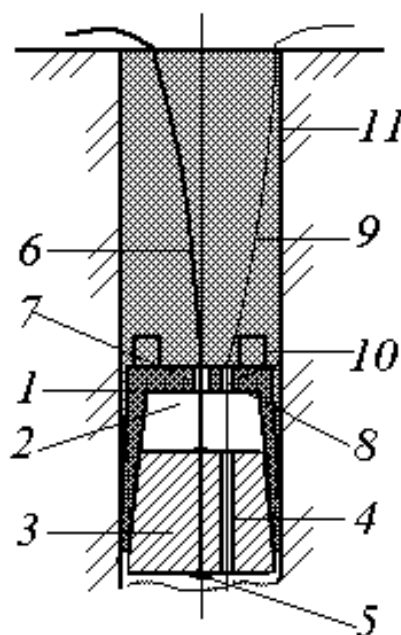


Рис. 5.5. Комбинированная органическая распорно-засыпная забойка

Подвесная часть комбинированной органической распорно-засыпной забойки выполняется из органического материала, например, резины, дерева, пластической массы и т. п. Она включает разрезной цилиндр 1, разрезанный вдоль не менее чем на три одинаковые части, с полостью 2, в которую снизу вставляется распорный конус 3 с отверстием 4, соединенный рым-болтом 5 с канатной тягой 6. Канатная тяга проходит сквозь отверстие 7 в днище разрезного цилиндра. Через отверстие распорного конуса и отверстие 8 днища разрезного цилиндра проходит проводник инициирующего импульса 9. На днище разрезного цилиндра установлены ручки 10 для его переноски. На поверхности блока забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого через отверстие распорного конуса и отверстие днища

разрезного цилиндра пропускают проводник инициирующего импульса, например, детонирующий шнур или волновод системы СИНВ, а через отверстие в днище разрезного цилиндра пропускают канатную тягу. После этого распорный конус опускают в скважину 11 на заданную глубину на канатной тяге. Затем разрезной цилиндр за ручки сбрасывают в скважину, придерживая канатную тягу и проводник инициирующего импульса в натянутом состоянии. Разрезной цилиндр, двигаясь с ускорением, надвигается на распорный конус, неподвижно подвешенный на канатной тяге. Нижняя часть разрезного цилиндра расходится и плотно прижимается к стенкам скважины. После этого канатная тяга соединяется с поверхностной системой последующего извлечения забойки из взорванной горной массы, например, канатами, автошинами и т. п., а полость скважины над подвесной забойкой заполняется сыпучим забоечным материалом, например буровым шламом, и забойка готова к работе.

После детонации заряда ВВ происходит динамический удар газов по большой поверхности распорного конуса, что приводит к дальнейшему вдавливанию его в цилиндр на некоторую величину и увеличению таким образом распора в стенки скважины. Таким положение подвесной забойки остается вплоть до начала разрушения стенок скважины и прорыва части продуктов детонации из зарядной полости в атмосферу через трещины в разрушенном массиве. В этот момент сцепление стенок разрезного цилиндра с расходящимися стенками скважины нарушается и подвесная забойка начинает смещаться под действием еще очень высокого давления продуктов детонации вверх по скважине. Засыпная часть забойки при этом уплотняется, образуя «пробку», препятствующую дальнейшему смещению подвесной забойки вверх и прорыву газов взрыва через устье скважины. Таким путем обеспечивается длительная замкнутость зарядной полости.

После взрыва подвесную забойку извлекают из горной массы и она готова для повторного использования. В случае необнаружения она может быть отгружена с горной массой, не представляя опасности для дробилок.

На рис. 5.6 приведен пример выполнения такой забойки, цилиндр которой вырезан из ленты конвейера, а распорный цилиндр выточен из дерева и имеет в торцевой части два отверстия. В одно отверстие пропущен и закреплен канатик для подвески распорного конуса, а через второе отверстие пропускается проводник иницирующего импульса.



Рис. 5.6. Органическая забойка: *а* – элементы забойки; *б* – в сборе

При сборке забойки развертка цилиндра оборачивается вокруг распорного конуса и связывается в верхней части скотчем. Достоинствами такой забойки являются низкая стоимость и отсутствие необходимости извлекать из горной массы.

На рис. 5.7 представлен другой вариант комбинированной забойки. Распорная часть комбинированной забойки включает стакан 1, выполненный из эластичного материала, например, резины, с конической полостью 2. Толщина стенок стакана благодаря конической форме полости уменьшается сверху вниз, придавая им переменную эластичность, наибольшую в нижней части, в районе дна 3. На распорном конусе 4, снабженном кольцевым выступом 5 и отверстием 6, закреплена канатная тяга 7. Днище

имеет отверстие 8 по размеру кольцевого выступа.

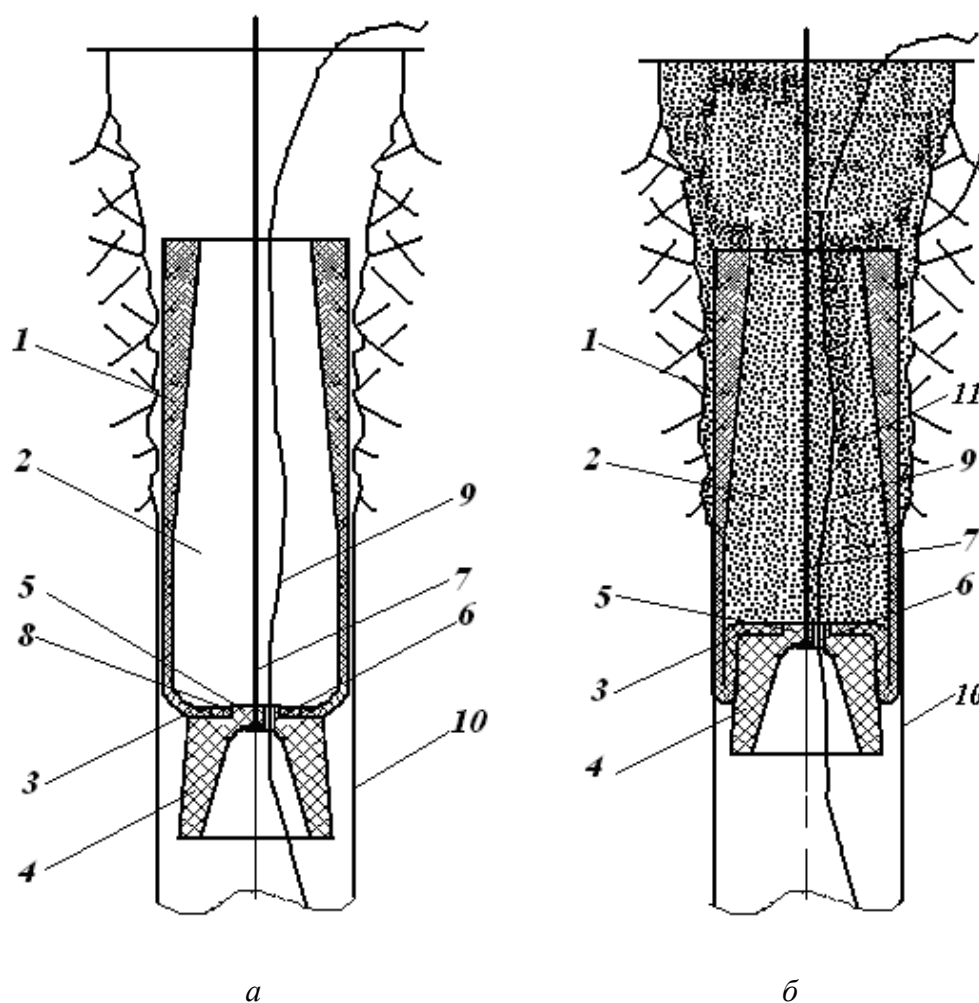


Рис. 5.7. Комбинированная забойка: *а* – распорная часть забойки после размещения в скважину на заданную глубину; *б* – забойка в сборе

На поверхности блока распорную забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого через отверстие 6 распорного конуса и стакан пропускают проводник инициирующего импульса 9, например, детонирующий шнур или волновод системы СИНВ, и канатную тягу. Для предохранения от перекосов в скважине кольцевой выступ распорного конуса вставляют в отверстие днища и на канатной тяге опускают распорную часть забойки в скважину 10 на заданную глубину. Затем, придерживая проводник инициирующего импульса и канатную тягу в натянутом состоянии, начинают понемногу подсыпать в скважину буровой шлам 11. После

того, как с помощью бурового шлама в конической полости распорная часть забойка заклинится в скважине, натягивают канатную тягу, выворачивая распорным конусом днище внутрь стакана, и нижняя часть стакана плотно прижимается к стенкам скважины, создавая таким образом комбинированную забойку. Затем канатную тягу соединяют с поверхностной системой последующего извлечения забойки из взорванной горной массы, а полость скважины над распорной частью забойки до устья заполняется буровым шламом, который попадает и в зазор между стаканом и стенками скважины. Комбинированная забойка готова к работе.

После детонации заряда ВВ динамическим ударом газов распорный конус вдавливаются дальше в стакан и увеличивает распор в стенки скважины. При этом буровой шлам в конической полости давит на эластичные стенки стакана, деформирует и прижимает их к стенкам скважины, обеспечивая хорошее сцепление стенок стакана как с гладкими, так и с нарушенными скважины. Таким положение распорной части комбинированной забойки остается вплоть до начала разрушения стенок скважины и прорыва части продуктов детонации из зарядной полости в атмосферу через трещины в разрушенном массиве. Далее распорная часть взаимодействует с засыпной, как описано выше.

На рис. 5.8 представлен еще один вариант комбинированной забойки. Подвесная забойка включает корпус 1 в виде полого усеченного конуса, выполненный из эластичного материала, например, резины, с конической полостью 2. Стенки корпуса выполнены переменной эластичности с наибольшей эластичностью в нижней части. В коническую полость снизу вставляется распорный конус 3, на котором закреплена канатная тяга 4, проходящая сквозь отверстие 5 в днище 6. Через отверстие 7 распорного конуса и отверстие 8 в днище проходит проводник инициирующего импульса 9.

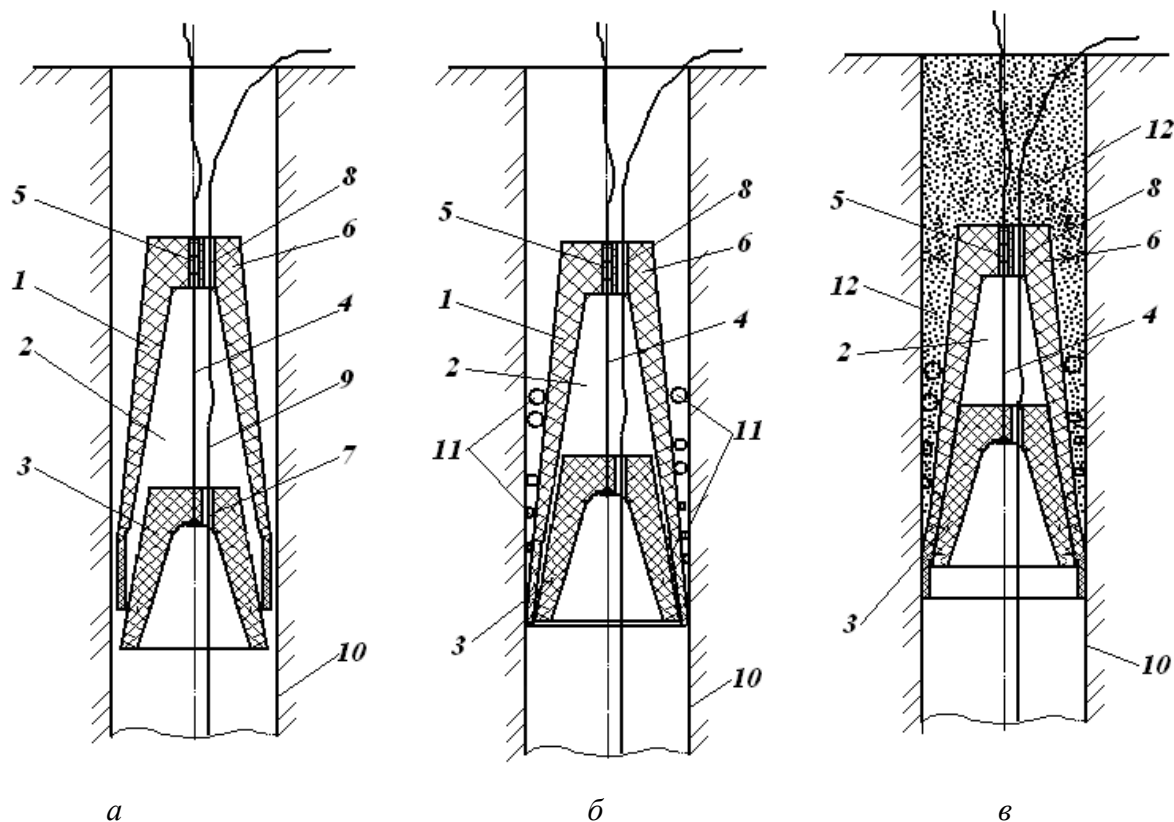


Рис. 5.8. Комбинированная забойка с конической распорной частью: *а* – распорная часть после размещения в скважину на заданную глубину; *б* – в процессе установки, *в* – забойка в сборе

На поверхности блока подвесную забойку собирают в конструктивный элемент. Для этого через отверстия распорного конуса и днища пропускают детонирующий шнур или волновод системы СИНВ и канатную тягу. Распорную забойку на канатной тяге опускают в скважину 10 на заданную глубину. Затем, придерживая проводник инициирующего импульса и канатную тягу в натянутом состоянии, подсыпают в скважину небольшое количество щебня 11 фракции 10-20 мм. Куски щебня заклинивают корпус, и при натяжении канатной тяги распорный конус, вдвигаясь в коническую полость корпуса, растягивает в радиальном направлении его наиболее эластичную нижнюю часть, прижимая ее к стенкам скважины. Далее забойка работает по вышеописанной схеме.

5.7. Экспериментальные исследования работы комбинированных забоек

Экспериментальные исследования работы **засыпной забойки со стержневым цилиндром** проводились в выемке на строящейся федеральной автодороге № 58 «Амур» на участке 1906...1983 км. Горные породы представлены доломитами VIII категории крепости по СНиП.

Экспериментальный участок был обустроен пятью скважинами диаметром 110 мм и глубиной 2 м. Скважины расположены произвольно, на участках с визуально выявленными выходами ненарушенных предшествующими взрывами пород (см. рис. 3.14, *а*). Скважины сухие, ВВ – патронированный аммонит АПВ в патронах диаметром 90 мм и массой по 3 кг. Заряд каждой скважины составлял 5 кг и занимал 0,65...0,70 м длины скважины. Длина забойки во всех скважинах принята одинаковой – 0,8 м, пространство между забойкой и зарядом заполняли вспененным полистиролом. Конструкция заряда приведена на рис. 3.14, *б*.

Скважина № 1 была взорвана без забойки. В скважину № 2 была установлена подвесная прутковая забойка (рис. 5.9), в скважине № 3 была размещена засыпная забойка из бурового шлама, в скважине № 4 была установлена забойка из органики, в скважину № 5 установили забойку из бетона, работа которой описана в 3.4.



Рис. 5.9. Распорная металлическая забойка: *а* – сборочные единицы, *б* – в сборе

Забойка во второй скважине была выполнена комбинированной, т. е. на

воздушный промежуток из пенополистирола был засыпан слой буровой мелочи высотой, равной двум диаметрам скважины, а после установки прутковой забойки на нее сверху был засыпан слой буровой мелочи такой же высоты, как и под забойкой. На каждую скважину укладывали соосно с ней укрытие в виде изношенной автошины от автомобиля БелАЗ массой около 280 кг поверх сложенной вдвое сетки Рабитца (см. рис. 3.15).

После укладки шин через сетку извлекали ДШ из скважин и проводили монтаж взрывной сети поверх автошин. Взрывание всех скважин проводили одновременно.

Результаты взрыва скважины с комбинированной металлической и засыпной забойкой представлены на рис. 5.8, а. Видимый размер воронки выброса составил 2,2...2,3 м по диаметру. Анализ работы просто засыпных забоек показал (рис. 5.10, б), что видимый размер воронки выброса составил 1,6 м по диаметру.

Воронки взрывов всех скважин были очищены от горной массы с помощью экскаватора (рис. 5.11). Объем разрушенной породы после взрыва скважины с комбинированной забойкой составил около 2,5...2,7 м³, в то время как объем разрушенной породы после взрыва скважины с засыпной забойкой составил около 1,6 м³ (рис. 5.12).



а



б

Рис. 5.10. Видимые воронки выброса после взрыва скважин: а - с комбинированной забойкой; б – с засыпной забойкой



Рис. 5.11. Воронки выброса после очистки от горной массы экскаватором



а



б

Рис. 5.12. Очищенные экскаватором от породы воронки взрыва: *а* – с комбинированной металлической и засыпной забойкой; *б* - с засыпной забойкой

Однако после взрыва металлическая забойка была остаточным давлением газов выброшена из скважины. Это объясняется в первую очередь избыточной мощностью заряда. Кроме того, не было сделано укрытие сква-

жины, поэтому при любой мощности заряда забойка будет выброшена из скважины, поскольку окружающая ее порода разрушена, и ничто ее не удерживает в скважине.

Таким образом, объем разрушенной породы при установке металлической забойки значительно больше, чем при взрыве с засыпной забойкой.

Испытания работы комбинированной органической и засыпной забойки проводились одновременно с испытаниями комбинированной металлической и засыпной забойки. Органическая забойка в четвертой скважине была выполнена комбинированной, т. е. на воздушный промежуток из пенополистирола был засыпан слой буровой мелочи высотой, равной двум диаметрам скважины, а после установки органической забойки на нее сверху был засыпан слой буровой мелочи такой же высоты, как и под забойкой. На каждую скважину укладывали соосно с ней укрытие в виде изношенной автошины от автомобиля БелАЗ массой около 280 кг поверх сложенной вдвое сетки Рабита (см. рис. 3.15).

После укладки шин через сетку извлекали ДШ из скважин и проводили монтаж взрывной сети поверх автошин. Взрывание всех скважин проводили одновременно.

Результаты взрыва скважины с комбинированной органической и засыпной забойкой представлены на рис. 5.10, а. Видимый размер воронки выброса составил около 2 м по диаметру. Видимый размер воронки выброса засыпных забоек (рис. 5.10, б) составил 1,6 м по диаметру.

Воронки взрывов всех скважин были очищены от горной массы с помощью экскаватора (см. рис. 5.11). Объем разрушенной породы после взрыва скважины с комбинированной органической и засыпной забойкой составил около 2 м^3 , в то время как объем разрушенной породы после взрыва скважины с засыпной забойкой составил около $1,6 \text{ м}^3$ (рис. 5.13).

После взрыва органическая забойка была остаточным давлением газов

выброшена из скважины. Это объясняется в первую очередь избыточной мощностью заряда. Кроме того, не было сделано укрытие скважины, поэтому при любой мощности заряда забойка будет выброшена из скважины, поскольку окружающая ее порода разрушена, и ничто ее не удерживает в скважине.



Рис. 5.13. Очищенные экскаватором от породы воронки взрыва: *а* – с комбинированной органической и засыпной забойкой; *б* – с засыпной забойкой

Таким образом, объем разрушенной породы при установке комбинированной органической и засыпной забойки значительно больше, чем при взрыве только с засыпной забойкой, что свидетельствует о неоспоримых преимуществах комбинированных забоек, несмотря на повышенную сложность.

Испытания влияния различного типа забоек на качество взрыва были продолжены в карьере ОАО «Теплоозерский цементный завод». Горные породы представлены известняками VIII категории крепости по СНиП.

Экспериментальный участок обурен скважинами диаметром 110 мм и глубиной 1,6...1,7 м. Скважины расположены на расстоянии 4...6 м друг от друга, на участке с визуально выявленным выходом ненарушенных предшествующими взрывами пород.

Скважины сухие, ВВ – аммонит АПВ – высыпали из патронов диа-

метром 90 мм, формируя насыпной заряд массой 3 кг в каждой скважине. Конструкция зарядов приведена на рис. 5.14. Скважина № 1 (рис. 5.14, а) взорвана без забойки, в скважине № 2 (рис. 5.14, б) установлена засыпная песчано-илистая забойка. В скважине № 3 установили бетонную забойку на цементе марки 400 длиной 0,6 м над воздушным промежутком из пенополистирола длиной 0,8 м (рис. 5.14, в), а в скважине № 4 – комбинированную бетонно-засыпную забойку (рис. 5.14, г). С момента от формирования бетонных забоек до взрыва прошло около 26 часов.

Вокруг каждой скважины поверх сетки Рабитца размером 1,4х1,4 м размещали пригрузку из трех изношенных автомобильных шин от автомобиля БелАЗ массой около 280 кг каждая. Шины располагали под углом 120° и связывали друг с другом стальным канатиком диаметром 3 мм.

Видеосъемку взрыва осуществляли цифровыми видеокамерами типа NV-GS25 с 24-кратным оптическим увеличением и частотой кадров 25 кадр/с.

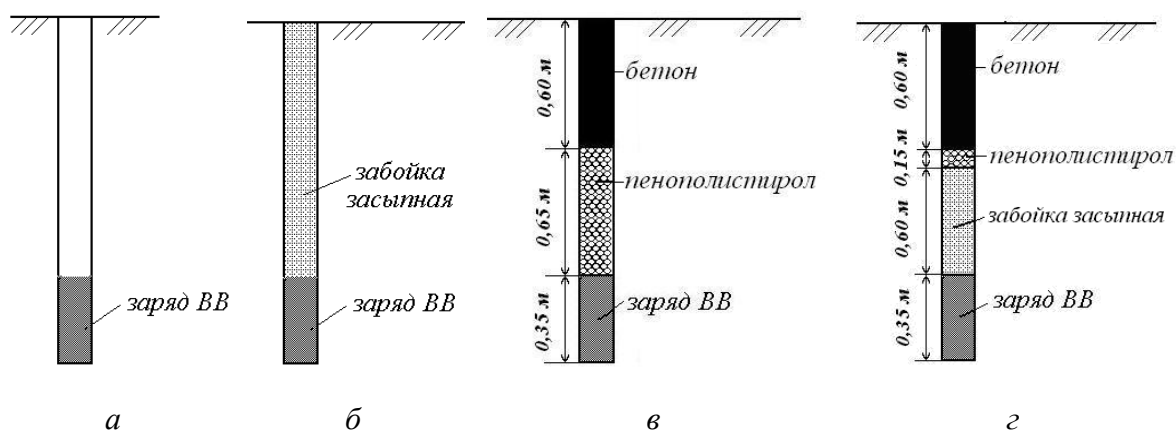


Рис. 5.14. Конструкции зарядов

В скважине № 1, взорванной без забойки, уже через 40 мс высота выброса газов взрыва достигла более 7 м, в то время как в скважине с бетонной забойкой выброс газов заметно меньшей интенсивности достиг лишь 1,8 м (рис. 5.15). К 80 мс его величина достигла 4,7 м, к 120 мс – 5,9 м. Таким образом, скорость выброса газов взрыва из скважины без забойки до-

стигла к 40 мс 180 м/с и выброс неактивный, а из скважины с бетонной забойкой – 45 м/с, далее она резко возрастает, достигая к 80 мс 72 м/с, и так же резко падает до 30 м/с к 120 мс и до 8 м/с к 160 мс. Засыпная забойка из левой скважины к 40 мс достигает высоты 5,1 м и выброс неактивный, к 80 мс – 7,8 мс, к 120 мс – 9,2 мс. Соответственно скорость выброса 127 м/с, 67 м/с и 35 м/с. Из правой скважины выброс активный к 40 мс и достиг высоты 8,8 м (скорость 220 м/с) к 80 мс – 9,4 м и потерял активность (скорость 15 м/с). Из скважины с бетонно-засыпной выброса газов взрыва не наблюдается вообще.

Высота подброса шин пригрузки также существенно отличается: при взрывании без забойки высота подброса шин достигла чуть больше метра, в то время как при взрывании с комбинированной забойкой – 1,7 м, с бетонной забойкой – 3 м, а при взрывании с засыпной забойкой – 3,8...4,0 м.



0 мс



40 мс



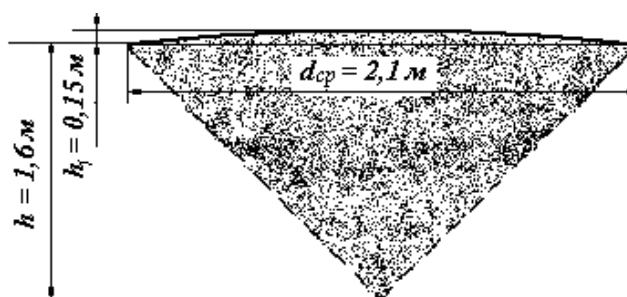
80 мс



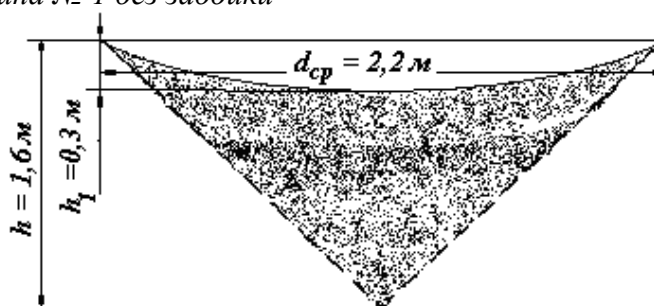
120 мс

Рис. 5.15. Параметры выброса забоек из скважин

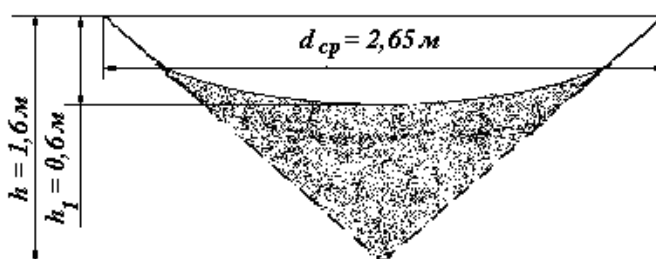
После взрыва и уборки шин были сфотографированы (рис. 5.16, слева) и измерены видимые воронки взрыва (рис. 5.16, справа).



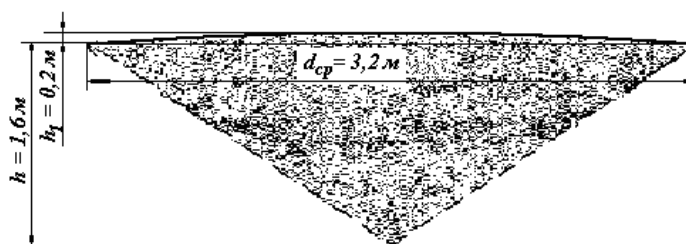
Скважина № 1 без забойки



Скважина № 2 с засыпной забойкой



Скважина № 3 с бетонной забойкой



Скважина № 4 с комбинированной забойкой

Рис. 5.16. Видимые воронки взрыва

Объемы воронок взрыва подсчитаны из условия разрушения породы взрывом на глубину заложения заряда. В связи с тем, что воронки взрыва в плане имеют овальную форму из-за анизотропии горных пород, для расчета их объема принят средний диаметр основания воронки d_{cp} , равный полусумме длин короткой и длинной осей эллипса. На схемах видимой воронки взрыва размер h_1 – видимая глубина воронки взрыва, если произошел выброс породы, или высота вспучивания, если взрыв произошел только на рыхление.

Сравнивая параметры видимых воронок взрыва (рис. 5.17) и перемещения пригрузки из автошин (рис. 5.18) можно сделать ряд заключений.

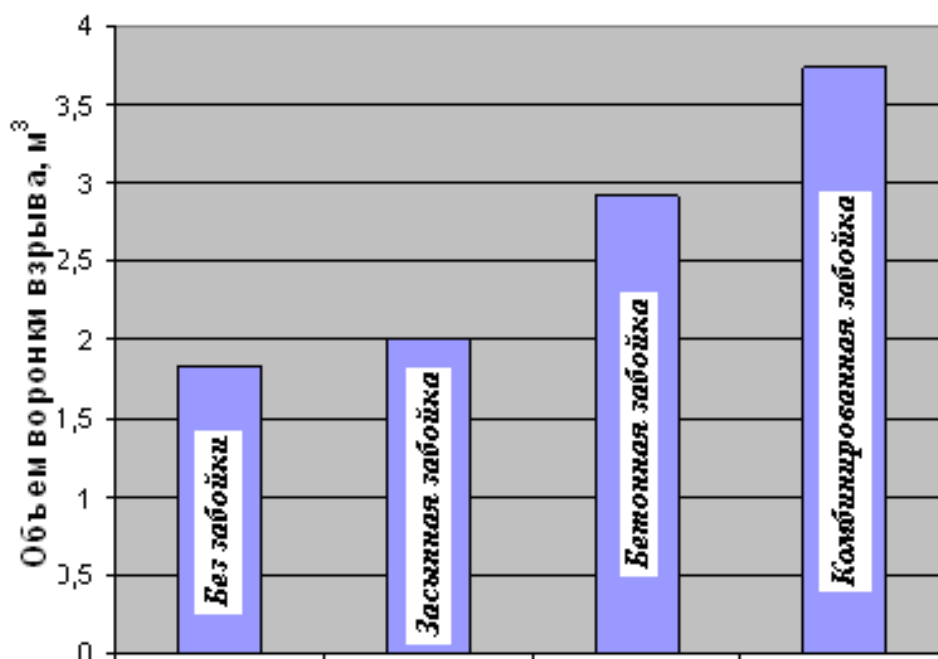


Рис. 5.17. Объемы воронок взрыва для взрывных скважин с различными типами забойки

Энергию взрыва, массу пригрузки и крепость пород для всех четырех взрывов можно считать одинаковыми, поэтому различие в параметрах воронок взрыва и величине подброса зависит от параметров забойки зарядов.

При взрыве скважины № 1 без забойки нет выброса горной массы из воронки разрушения, наблюдается ее вспучивание на высоту около 15 см. Образовалась воронка рыхления за счет потери энергии взрыва с выброшенными в атмосферу взрывными газами – ее не хватило на выброс породы из воронки взрыва. Соответственно и объем разрушения меньше в 1,6 раза по сравнению с бетонной забойкой и в 2,33 раза меньше, чем у комбинированной бетонно-засыпной забойки.

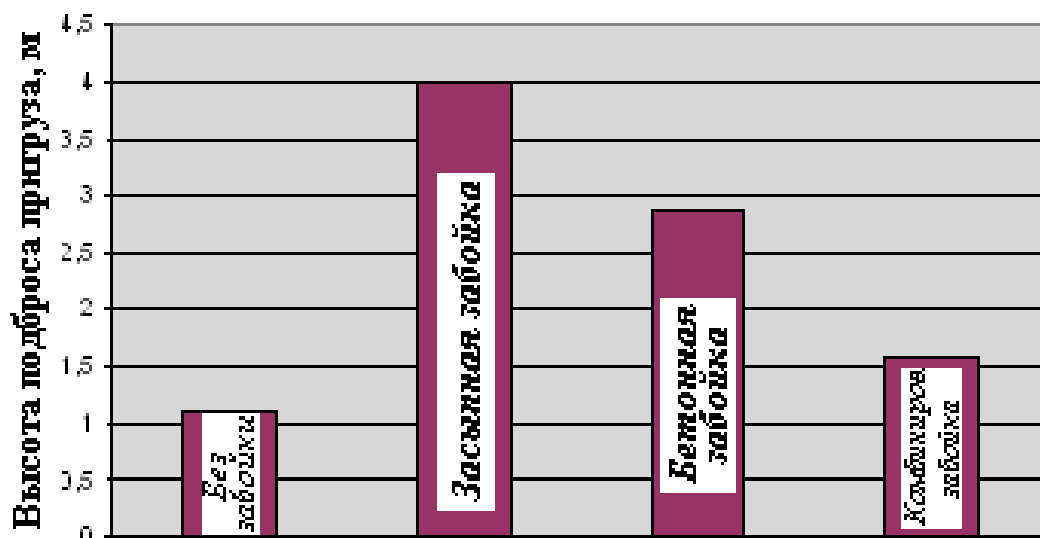


Рис. 5.18. Высота подброса пригрузки из автошин при взрыве скважин с различными типами забойки

Следует отметить особенность перемещения пригрузки над скважинами № 3 и 4. Бетонная часть забойки достаточно надежно запирает продукты детонации зарядов, но в случае бетонной забойки над воздушным промежутком значительная часть энергии взрыва идет на перемещение пригрузки с горной массой – высота подброса достигает 2,7...3,0 м, против 1,5...1,7 м у комбинированной забойки, т. е. почти вдвое больше. Собственно такой эффект и ожидался: при взрывании с воздушным промежутком запирающей частью является только бетон на длине 0,6 м (всего лишь 5,5 диаметра скважины). Комбинированная забойка работает на длине 1,35 м (более 12 диаметров скважины).

Кроме того, сам принцип работы комбинированной забойки существенно отличается. Вначале срабатывает засыпная часть по классическому принципу: забоечный материал в нижней части уплотняется в виде пробки и плотно расклинивается в скважине, затем начинается ее срез и движение засыпной части забойки по скважине.

Начавшая движение засыпная часть забойки сжимает буферный промежуток из пенополистирола, теряя некоторую часть энергии движения и смягчая удар по монолитной бетонной части комбинированной забойки.

При этом начинает формироваться вторая пробка уплотнения сыпучего материала, повышающая удерживающую способность засыпной части забойки. Это наглядно подтверждается уменьшенной высотой подброса пригрузки с горной массой и увеличенным объемом воронки разрушения.

Следует отметить и весьма небольшую величину выброса горной массы из воронки разрушения – ее глубина всего лишь 0,2 м. Следовательно, основная энергия запертых невылетевшей комбинированной забойкой газов взрыва пошла именно на дробление горной массы и меньшая часть – на подброс пригрузки и выброс горной массы.

Таким образом, комбинированная бетонно-засыпная забойка существенно увеличивает долю энергии на дробление. Высота подброса горной массы с пригрузкой массой около 0,9 т снижается в 1,80 раза против бетонной забойки. Объем воронки разрушения увеличивается в 1,28 по сравнению с бетонной забойкой, 1,86 раза по сравнению с засыпной и в 2,04 раза – против взрыва без забойки.

Глава 6

ЗАЩИТА СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ

Применяемая на карьерах технология буровзрывных работ с заряданием скважин в день или накануне взрыва не требует применения специальных устройств или приспособлений для сохранения проводника инициирующего импульса в устье заряженной скважины.

При подготовке массовых взрывов с выполнением операций по зарядке взрывчатыми веществами большого количества скважин в течение нескольких суток требуется предохранение скважин от атмосферного воздействия и попадания в них посторонних предметов при проведении открытых горных работ. Требуется предохранение проводника инициирующего импульса от случайных наездов карьерного транспорта, кроме того, необходимо иметь указатели заряженных скважин, что не позволит потерять их при монтаже взрывной сети, особенно в сложных погодных условиях. И, самое главное, возникает необходимость применения постоянной охраны заряжаемых блоков ввиду наличия на поверхности уступа элементов скважинной взрывной сети – выходящих из скважин частей детонирующих шнуров от боевиков [94]. Эти элементы могут быть несанкционированно использованы, а при возможных наездах на проводник инициирующего импульса зарядных и забоечных машин возникает опасность преждевременного взрыва заряда. Для устранения указанных недостатков необходимо надежно локализовать элементы скважинной взрывной сети на поверхности уступа.

6.1. Пробки для закрывания устья скважин

Для закрывания устья скважин от атмосферного воздействия и попадания в нее посторонних предметов при проведении открытых горных работ была предложена конструкция универсальной пробки для нескольких типоразмеров скважин [95]. Пробка (рис. 6.1) включает крышку 1, на которой с одной стороны установлена ручка 2, а с другой – жестко закреплены взаимно перекрещивающиеся пластины-ребра 3. Ребра сужаются в направлении от крышки и выполнены ступенчатыми.

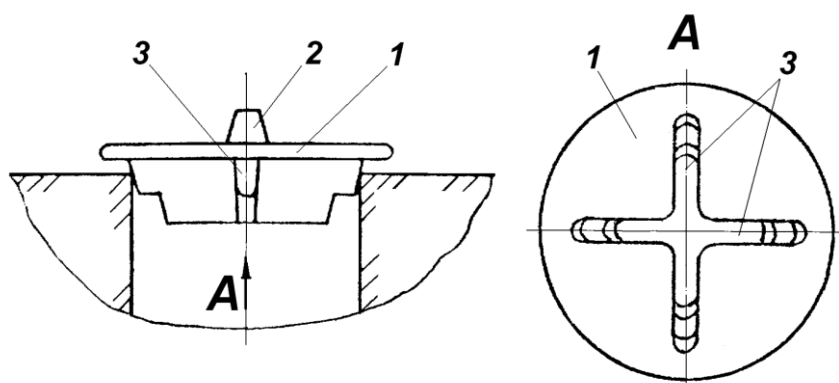


Рис. 6.1. Пробка для закрывания устья скважин

Достоинствами предлагаемого решения является то, что малая площадь контакта пробки с грунтом позволяет предотвратить примерзание в зимнее время крышки к устью скважины, а уступы на ребрах дают возможность устанавливать пробку в скважины различного диаметра. Однако крышка решает локальные задачи, но не является указателем заряженных скважин и не предохраняет заряженную скважину от несанкционированного проникновения.

6.2. Заглушки с указателем заряженных скважин

Известно устройство [96], состоящее из пустотелого цилиндрического корпуса 1 (рис. 6.2), верхней крышки 2 на резьбе и трубки 3, телескопиче-

ски выдвигаемой через крышку внутрь корпуса для пропуска проводника инициирующего импульса 4. Для предохранения от обрушения стенок верхней части скважины пробка размещается в ней непосредственно после окончания бурения, перед заряджанием скважин пробка извлекается, а после заряджания вновь устанавливается в устье скважины. Выдвинутая вверх из корпуса устройства телескопическая трубка с пропущенным через нее проводником инициирующего импульса служит указателем заряженной скважины.

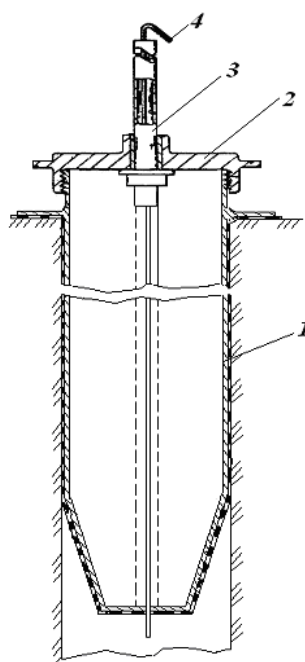


Рис. 6.2. Заглушка для скважины

Таким образом, данное устройство предохраняет скважину от попадания в нее буровой мелочи, воздействия атмосферных осадков на проводник инициирующего импульса, является указателем заряженных скважин, но не предохраняет заряженную скважину от несанкционированного проникновения.

В развитие описанного устройства разработана крышка-указатель заряженных скважин [97]. Устройство имеет цилиндрический корпус 1 (рис. 6.3), конусообразно сужающуюся нижнюю часть 2 и верхнюю рас-

ширяющуюся часть 3, в которой предусмотрен кольцевой паз 4 для крепления крышки 5. В верхней части корпуса размещается герметичная полость 6.

Полость плотно прилегает своими стенками 7 и 8 посредством уплотнительных колец 9 и 10 к крышке. Для пропуска проводника иницирующего импульса 11 в герметическую полость 6 служит патрубок 12, расположенный в дне 13 полости.

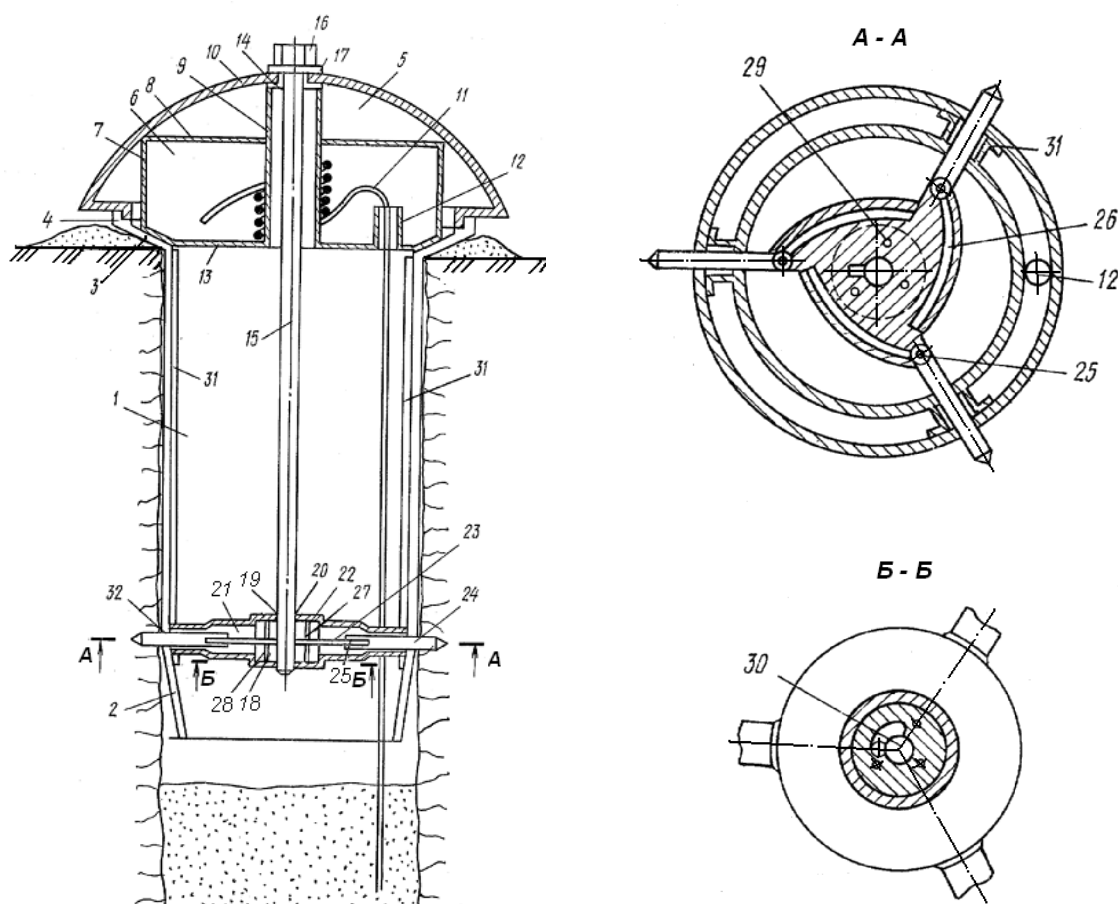


Рис.6.3. Крышка-указатель заряженных скважин

На верхней части крышки 5 имеется отверстие 14, через которое проходит продольная тяга 15. На продольной тяге жестко крепится фигурная гайка 16 с шайбой 17, на другом конце тяги имеется шпонка 18. Нижний конец тяги со шпонкой вставляется через отверстия 19 и 20 в распорное устройство 21. Распорное устройство 21 состоит из корпуса 22, храповика 23 и распирающих стержней 24, способных свободно перемещаться на

заклепках 25 в направляющих отверстиях 26 храповика.

Храповик с распирающими стержнями фиксируется в корпусе 21 посредством цилиндров 27 и 28, которые крепятся к храповику тремя винтами 29. Цилиндры с храповиком имеют свободный ход вокруг своей оси на 120° и скользят по внутренним плоскостям корпуса. В цилиндрах и храповике проходят осевое и шпоночное 19 отверстия для продольной тяги со шпонкой. В нижнем цилиндре имеется двойное шпоночное отверстие 30.

На внутренних боковых поверхностях корпуса имеются направляющие 31 для центрирования отверстий 32 корпуса с распорными стержнями 24.

Устройство используется следующим образом. В устье скважины, не заполненное забойкой на 0,5...0,6 м, вставляется корпус вместе с распорным устройством. Проводник инициирующего импульса пропускается через патрубок 11 и укладывается кольцами в полости 6. На корпус надевается крышка 5 и соединяется продольной тягой 15 с распорным устройством 21. После поворота на 120° фигурной гайки 16 распирающие стержни вдавятся в стенки скважины, а шпонка 18 войдет в двойной шпоночный паз 30, не позволяя продольной тяге перемещаться в вертикальном направлении и снять крышку 5. В намеченный день взрыва устройство разбирается и скважинный проводник инициирующего импульса подсоединяется к общей коммутационной сети.

Устройство разборное и может использоваться многократно. Применение данного устройства при ведении взрывных работ на карьерах, когда требуется длительное сохранение проводника инициирующего импульса в устье скважины, например, при технологии буровзрывных работ с зарядкой скважин вслед за бурением, позволит предохранить проводник инициирующего импульса от намокания и затруднит на необходимое время прямой доступ к нему. Крышка, закрывающая заряженную скважину яв-

ляется указателем заряженной скважины и не позволит утратить ее при монтаже взрывной сети, особенно в сложных погодных условиях.

Однако рассмотренное устройство не предохранит скважину от наезда карьерного транспорта, поскольку возвышается над скважиной и будет неизбежно смято тяжелыми карьерными машинами, особенно в сложных погодных условиях. Кроме того, не составит труда вскрыть устройство и извлечь из него проводник иницирующего импульса, ведь крышка никак не предохраняется от несанкционированного доступа.

Альтернативной является конструкция, представленная на рис. 6.4. Указатель заряженных скважин [98] состоит из основания указателя 1, к которому с помощью шарнира 2 прикреплена крышка 3 с замком 4. Крышка может быть выполнена в виде конуса, цилиндра или иметь другую форму.

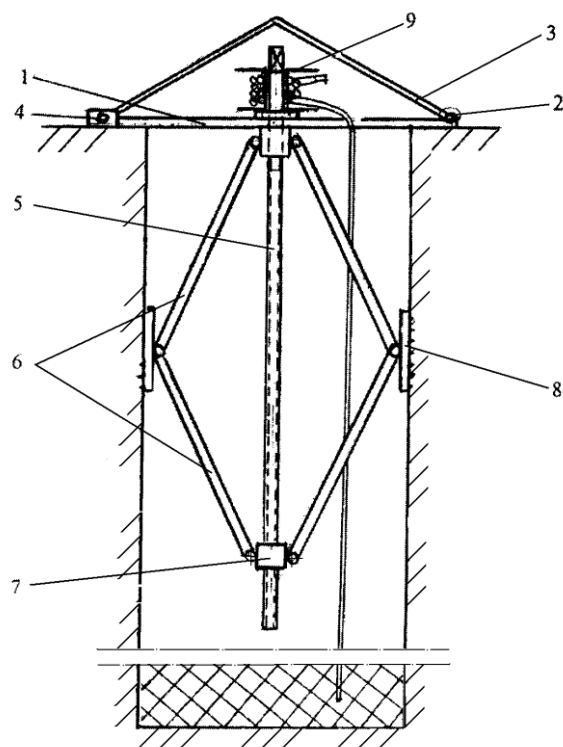


Рис. 6.4. Указатель заряженных скважин

В центре основания указателя перпендикулярно к нему установлен

винт 5 с возможностью вращения. К основанию указателя также прикреплены шарнирно парные распорные рычаги 6, скрепленные нижними концами шарнирно с подвижной гайкой 7, размещенной на винте. В средней части рычаги снабжены шарнирно установленными распорными пластинами 8 с шипами. На верхней части винта выше основания указателя установлена свободно вращающаяся катушка 9 для проводника инициирующего импульса. После зарядания в скважине размещают указатель заряженных скважин таким образом, чтобы винт с парными распорными рычагами вошли в скважину, а основание указателя с размерами, большими диаметра скважины, плотно легло на поверхность устья скважины. При этом крышку держат откинутой. Проводник инициирующего импульса наматывают на катушку через отверстие в основании указателя. Затем вращением винта перемещают подвижную гайку и производят распор парных распорных рычагов и плотное соединение распорных пластин своими шипами со стенками скважины. При этом основание указателя при вращении винта еще плотнее прижимается к поверхности. После полного закрепления указателя заряженных скважин крышкой закрывают ее и замыкают замком.

Недостатком рассмотренного устройства является то, что замок находится на поверхности забоя и легко может быть сбит с крышки.

6.3. Устройства для защиты заряженных скважин от несанкционированного проникновения

Устройство для предохранения заряженных скважин от несанкционированного проникновения [99] представлено на рис. 6.5.

Корпус устройства выполнен из уголков 1, соединенных между собой пластинами 2, одна из которых размещена в нижней части корпуса и снабжена скобой 3 для крепления проводника инициирующего импульса взрывчатых веществ. Зазоры между уголками образуют продольные пазы

4. Для центрирования устройства в скважине на его корпусе установлены кольца 5, жестко соединенные с уголками. В верхней части корпуса закреплена крышка 6. В пазах 4 на осях 7 корпуса шарнирно закреплены поворотные в вертикальной плоскости стержни 8 запорного элемента. Для ограничения поворота стержней до их расположения в горизонтальной плоскости служат упоры 9 корпуса.

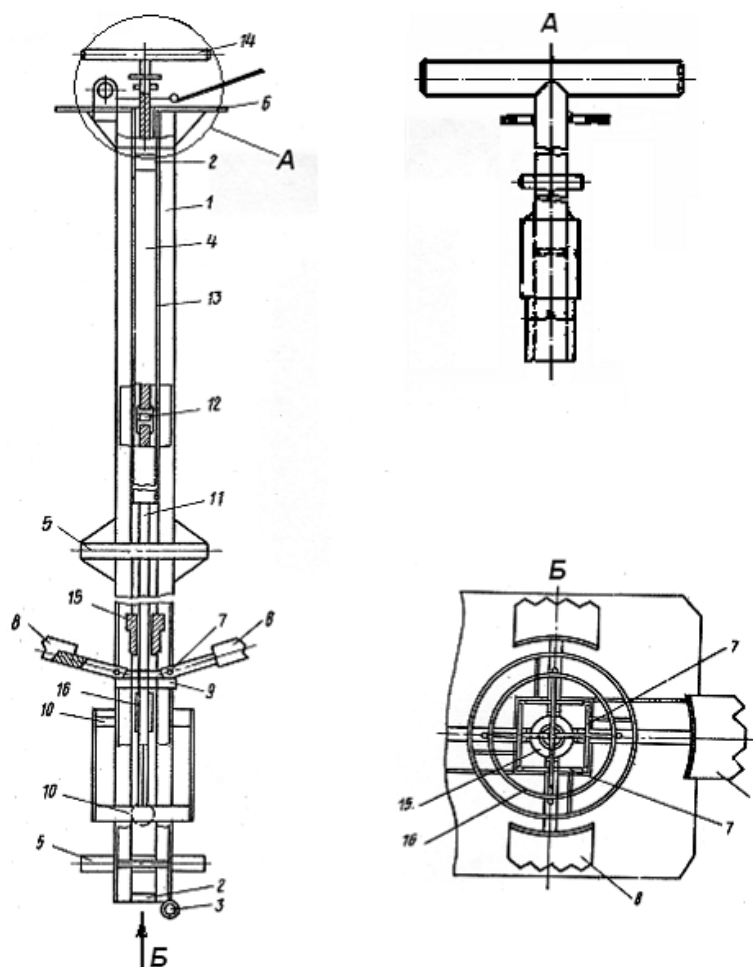


Рис. 6.5. Устройство для закрывания заряженных скважин

Ниже уровня стержней вокруг корпуса установлена с возможностью вертикального перемещения муфта 10, выполненная в виде двух колец, жестко связанных между собой и с подъемной штангой 11, расположенной внутри корпуса и снабженной в верхней части захватом 12, размещенным в направляющей 13 для подъемного ключа 14.

Над стержнями 8 на подъемной штанге 11, с возможностью свободного перемещения вдоль нее, установлена стопорная втулка 15, под которой на подъемной штанге жестко закреплена втулка 16 меньшего наружного диаметра, чем стопорная втулка.

Заряд взрывчатых веществ с проводником иницирующего импульса опускают во взрывную скважину на необходимую глубину. Верхний конец проводника иницирующего импульса, идущего от погруженного в скважину заряда ВВ к земной поверхности, крепят к скобе 3 устройства. Стержни 8 запорного элемента располагают в пазах 4 и закрепляют муфтой 10 путем ее перемещения вдоль корпуса устройства. Устройство опускают в скважину. С началом движения устройства вниз вдоль скважины муфта под тяжестью собственного веса падает вдоль корпуса до упора в кольцо, а стержни свободно скользят вдоль стенок скважины.

По достижении заданной глубины крышка врежется в грунт и перекрывает устье скважины, чем предохраняет устройство от падения в скважину и предотвращает доступ к проводнику иницирующего импульса и заряду взрывчатых веществ лиц, не связанных с взрывными работами.

Вплоть до момента извлечения устройства из скважины для производства взрыва крышка заперта на замок, стержни при этом раскрыты в пределах диаметра скважины.

Перед началом взрывных работ устройство извлекают из скважины, для чего отпирают замок на крышке, затем в направляющую вводят подъемный ключ, который крепят к подъемной штанге через захват, и производят подъем штанги из скважины.

При движении штанги вверх втулка 16 выталкивает стопорную втулку 15 из зацепления со стержнями 8. При дальнейшем движении вверх муфта приходит в соприкосновение со стержнями, которые, по мере ее перемещения вверх, входят в пазы корпуса устройства, чем способствуют бес-

препятственному подъему устройства из скважины. После извлечения устройства из скважины производят взрыв.

При попытке извлечь устройство из скважины без подъемного ключа стержни под тяжестью собственного веса выходят из пазов и при движении устройства вверх, ввиду приложенного усилия, врезаются в стенки скважины. При этом стопорная втулка 15 западает в паз между стержнями запорного элемента, чем препятствует закрытию стержней и извлечению устройства и заряда ВВ из скважины.

Недостатками этого устройства являются сложность конструкции, возможность отказа в работе из-за попадания буровой мелочи в механизм при опускании устройства в скважину.

В результате анализа существующих конструкций предложено устройство для локализации элементов скважинной взрывной сети [100], включающее цилиндр 1 (рис. 6.6), выполненный из металла или пластической массы диаметром на 4...8 мм меньше диаметра скважины и разрезанный по продольной оси, например, на 3 части. По его оси установлена несущая штанга 2 с кулачками 3, на которых с помощью штифтов 4 закреплены толкатели 5, вставленные в силовую трубу 6, которая противоположным концом закреплена штифтом 7 на выступе 8 цилиндра. Внутри силовой трубы между толкателем и выступом размещена пружина 9.

На кулачках выполнены фиксаторы 10. Несущая штанга закреплена на крестовине 11, установленной в нижней части металлической обечайки 12 с помощью шайб 13 с возможностью вращения, и имеет в верхней части грани 14 под торцовый ключ. На крестовине закреплены трубки 15, в которые вставляются штыри 16 от частей цилиндра. В обечайке выполнено отверстие 17 под штырь 18 съемной крышки 19, снабженной запорным элементом 20, и выступ 21 под язычок запорного элемента.

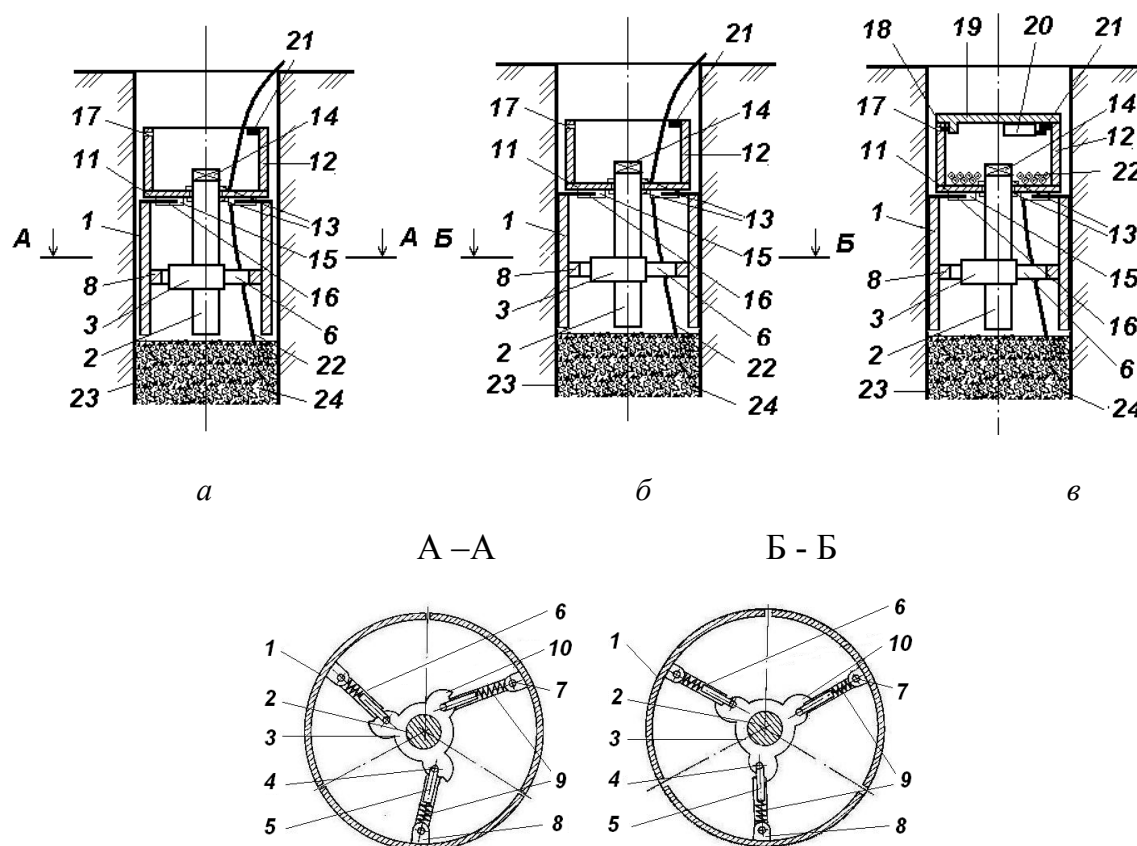


Рис. 6.6. Схема устройства для локализации элементов скважинной взрывной сети:
а - в скважине до распора, *б* - после распора в стенки скважины, *в* - после локализации
 элементов скважинной взрывной сети

На поверхности блока устройство для локализации элементов скважинной взрывной сети собирают в конструктивный элемент. Для этого штыри частей цилиндра вставляют в трубки, пропускают через цилиндр проводник инициирующего импульса 22 и в таком виде устройство опускают в скважину 23 на некоторую глубину, до забойки 24.

После этого торцовым ключом с помощью граней поворачивают несущую штангу до упора фиксаторов в силовую трубу. При этом кулачки поворачиваются и распирают разрезные части цилиндра в стенки скважины с помощью силовой трубы, внутри которой сжимается пружина. Фиксаторы выполнены так, что при их упоре в силовую трубу штифт оказывается за осевой линией силовой трубы, что предотвращает обратный поворот кулачков за счет сжатой пружины. Поскольку верхняя часть скважины, где

размещают устройство для локализации элементов скважинной взрывной сети, расположена в нарушенной предыдущими взрывами части уступа, там часто бывают вывалы в стенках, они неровные. Поэтому при встрече какой-либо части цилиндра с таким вывалом пружина распрямляется и толкает конкретный элемент цилиндра дальше, до соприкосновения со стенкой скважины. При этом силовая труба скользит по толкателю и устройство плотно распирается в скважине. После этого сворачивают в бухточку проводник инициирующего импульса, укладывают его в полость металлической обечайки, вставляют в отверстие штырь съемной крышки, выполненной с гладкой поверхностью по диаметру обечайки, и защелкивают язычок запорного элемента за выступ. Проводник инициирующего импульса надежно защищен – устройство установлено глубоко в узкой скважине, крышка заперта запорным элементом, на ней отсутствуют какие-либо выступы. Перед началом монтажа взрывной сети отпирают запорный элемент устройства, снимают крышку, используя ключ в замке в качестве ручки. Поворотом кулачков в обратном направлении снимают распор устройства в стенки скважины, разворачивают и выводят из обечайки конец проводника инициирующего импульса, и вынимают устройство из скважины для повторного использования. Затем приступают к монтажу поверхностной взрывной сети в обычном порядке.

Выполнение крышки размером по наружному диаметру обечайки защищает ее от возможного акта вандализма (умышленное воздействие для заклинивания, например, удары ломом). Защита внутрискважинной взрывной сети механическим путем позволит отказаться от вооруженной охраны и повысить надежность сохранения взрывчатых материалов на блоках, поскольку в последнее время человеческий фактор становится все чаще причиной хищений взрывчатых материалов.

Альтернативным вышеописанному является устройство для локализа-

ции элементов скважинной взрывной сети [101]. Оно включает цилиндр 1 (рис. 6.7), выполненный из металла или пластической массы диаметром на 4...8 мм меньше диаметра скважины и разрезанный по продольной оси, например, на четыре части.

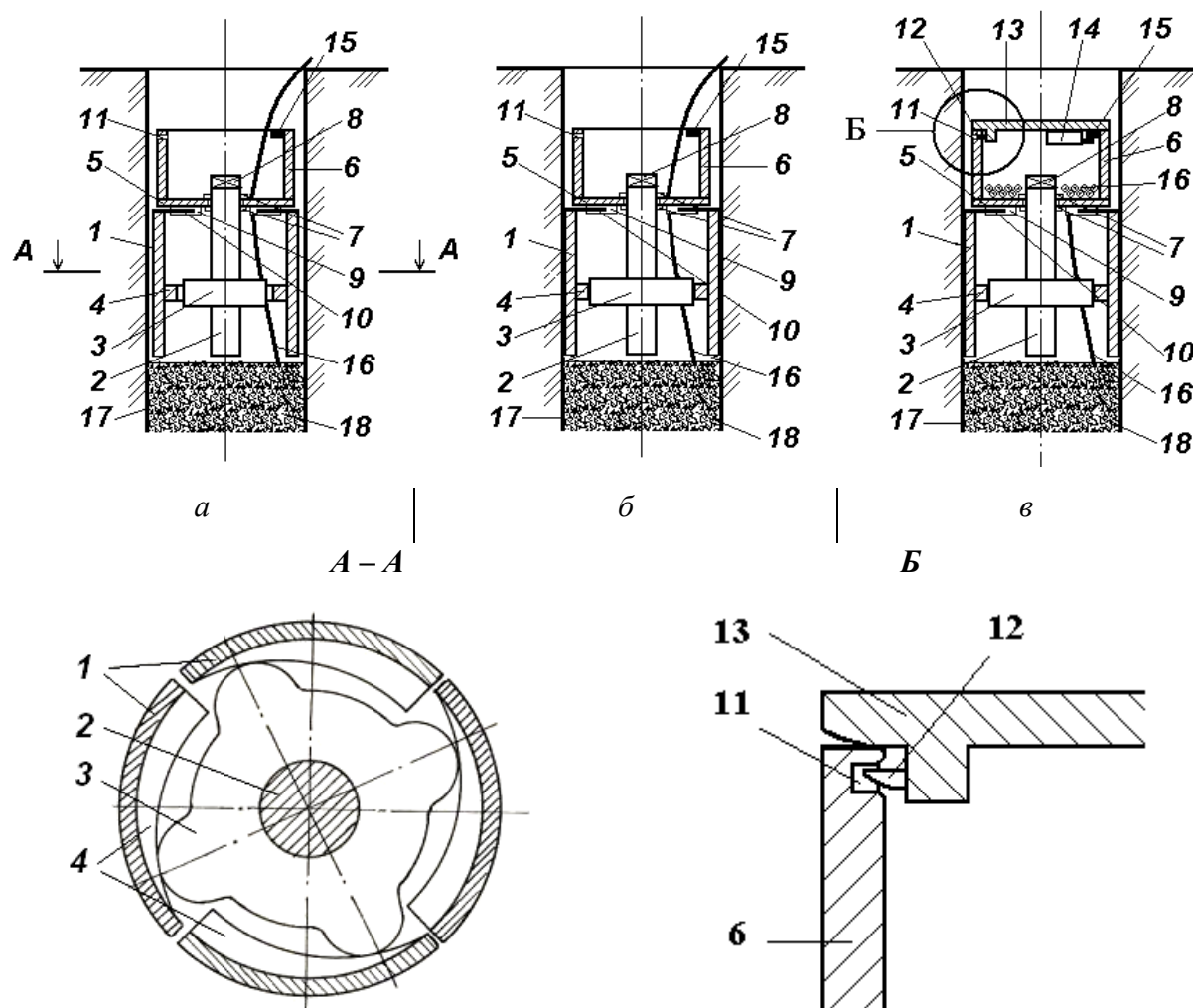


Рис. 6.7. Схема устройства для локализации элементов скважинной взрывной сети: *а* – в скважине до распора, *б* – в рабочем положении в скважине, *в* – после локализации элементов скважинной взрывной сети

По оси цилиндра установлена несущая штанга 2 с кулачками 3. Напротив кулачков на разрезных частях цилиндра размещены эксцентрики 4. Несущая штанга закреплена на крестовине 5, установленной в нижней части металлической обечайки 6 с помощью шайб 7 с возможностью вращения, и имеет в верхней части грани 8 под торцовый ключ. На крестовине за-

креплены трубки 9, в которые вставляются штыри 10 от частей цилиндра. В обечайке выполнено отверстие 11 под штырь 12 съемной крышки 13, снабженной запорным элементом 14, и выступ 15 под язычок запорного элемента.

На поверхности блока устройство собирают в конструктивный элемент. Для этого штыри частей цилиндра вставляют в трубки, пропускают через цилиндр и окна крестовины проводник иницирующего импульса 16 и в таком виде устройство за крестовину опускают в скважину 17 на глубину вытянутой руки. При этом забойка 18 не должна упираться в устройство.

После этого торцовым ключом поворачивают несущую штангу на некоторый угол. При этом кулачки поворачиваются и распирают разрезные части цилиндра с помощью эксцентриков в стенки скважины, закрепляя устройство на заданной глубине в скважине. Затем сворачивают в бухточку проводник иницирующего импульса, взрывник опускается на колени и вручную укладывает его в полость металлической обечайки. После этого в запорный элемент, выполненный, например, в виде английского замка, вставляют ключ и, пользуясь кольцом ключа как несущим элементом, приподнимают съемную крышку, вставляют штырь в отверстие и защелкивают язычок за выступ.

Перед началом монтажа взрывной сети взрывник наклоняется, отпирает запорный элемент устройства, снимает крышку, используя ключ в замке в качестве ручки. Поворотом кулачков в обратном направлении снимает распор устройства в стенки скважины, достает проводник иницирующего импульса, разматывает его и, вынимая за крестовину устройство из скважины для повторного использования, освобождает проводник иницирующего импульса, который выскальзывает из цилиндра. Затем приступают к монтажу поверхностной взрывной сети в обычном порядке.

Описанные выше устройства для локализации взрыва являются авто-

номными и устанавливаются в скважине поверх забойки. Однако возможно объединение в одном устройстве забойки и локализатора элементов взрывной сети [102, 103]. Так, например, в описанной выше конструкции забойки с разрезным цилиндром 1 и двумя конусами верхний конус 2 имеет выемку 3 (рис. 6.8).

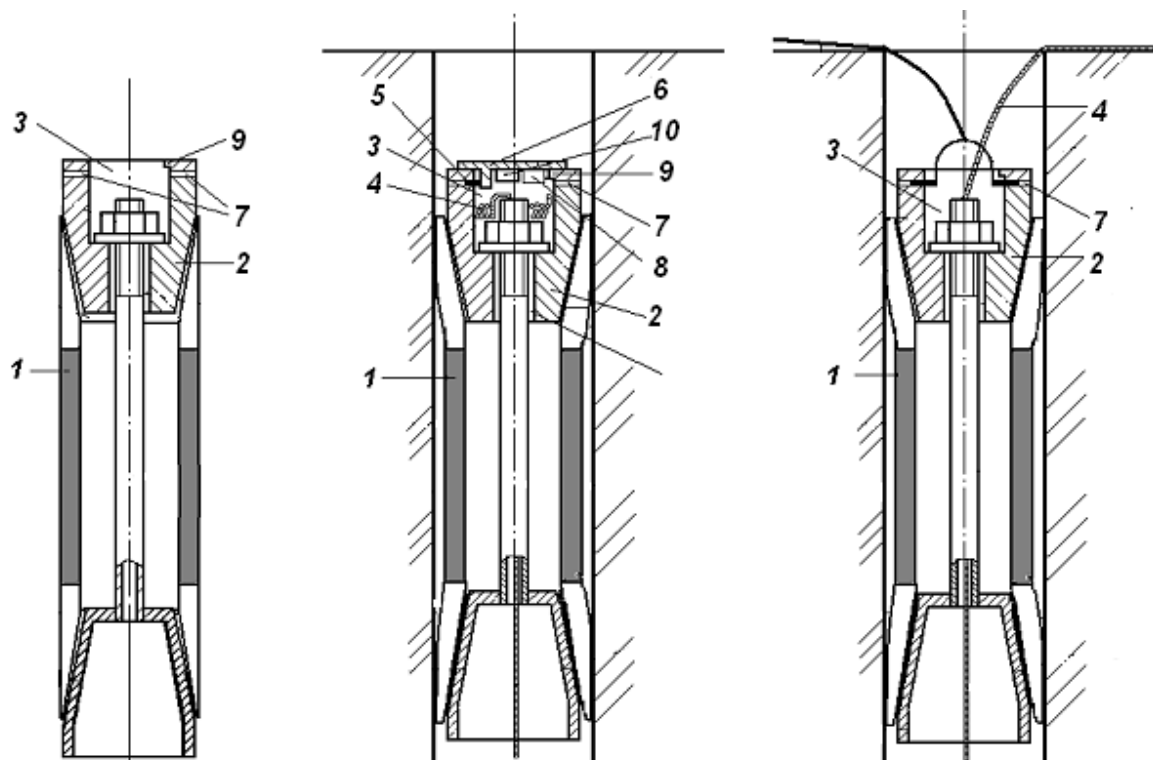


Рис. 6.8. Схема металлической забойки с локализатором взрывной сети:
а – устройство в сборе; *б* – в рабочем положении в скважине после зарядки;
в – после монтажа поверхностной взрывной сети

Перед установкой забойки в скважину проводник инициирующего импульса 4 укладывают в выемку 3, вставляют штифт 5 съемной крышки 6 в отверстие 7 и закрывают крышку до защелкивания язычка механического замка 8 за выступ 9, после чего включают электронный блокиратор 10. Проводник инициирующего импульса надежно защищен: устройство установлено достаточно глубоко в узкой скважине – на глубину вытянутой руки человека, крышка заперта механическим замком и дополнительно блокирована электроникой, на ней отсутствуют какие-либо выступы, мон-

тажная петля снята. Выполнение крышки по диаметру конической пробки без выступов защищает ее от возможных попыток вскрытия. Механическое устройство для длительного запираания продуктов детонации готово к работе.

Перед началом монтажа взрывной сети снимают электронную блокировку, отпирают замок на механическом устройстве, снимают крышку для повторного использования и вставляют на ее место монтажную петлю с гибкой связью, затем вынимают из выемки в механическом устройстве проводник инициирующего импульса и приступают к монтажу поверхностной взрывной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях развития открытых горных работ первостепенное значение в их интенсификации отводится буровзрывным работам. Создание запасов качественно взорванной горной массы обеспечит наиболее полное использование погрузочно-транспортного оборудования.

Существенную роль в величине выделяемой при взрыве энергии играет полнота завершения вторичных реакций в продуктах детонации, особенно у современных крупнодисперсных взрывчатых веществ типа граммонитов, гранулитов, у которых значительная доля энергии взрыва выделяется именно в процессе вторичных реакций. Повышению полезного использования энергии взрыва способствует длительное запирание продуктов детонации в зарядной полости с помощью забойки, роль которой, согласно современным теоретическим представлениям, многообразна.

Длительными исследованиями различных авторов установлено, что забойка играет существенную положительную роль в работе взрыва: она обеспечивает полноту детонации ВВ и, тем самым, выделение наибольшего количества энергии взрыва заряда с данными параметрами; увеличивает продолжительность импульса взрыва и, следовательно, степень использования энергии взрыва, а также предотвращает опасный разброс кусков породы газами взрыва в процессе их истечения через устье скважины. Необходимость применения забойки базируется на фундаментальных принципах, определяющих эффективность и безопасность взрывных работ, поэтому забойку следует рассматривать как важнейшее звено в управлении действием взрыва: она устанавливает соответствие между элементами конструкции скважинных зарядов в карьере.

Рациональные параметры забойки зависят от многих факторов, характеризующих свойства ВВ и забоечного материала, конструкцию заряда, а также среду, в которой производится взрыв.

Анализ выполненных за последние десятилетия теоретических и экспериментальных исследований показывает, что существенное увеличение полезной работы взрыва может быть достигнуто только при одновременном использовании прочной забойки, запирающей в зарядной полости продукты взрыва до момента разрушения взрывающей среды, и воздушных промежутков как внутри скважинных зарядов, так и между зарядом ВВ и забойкой. Запирание продуктов детонации до момента полного разрушения окружающей породы увеличивает время действия взрыва на среду в 6...7 раз, что позволяет снизить удельный расход ВВ на 30 % при одновременном улучшении качества дробления. Наличие же воздушного промежутка под забойкой увеличивает время действия взрывного импульса на массив горных пород и уменьшает зону нерегулируемого дробления пород в районе забойки.

Анализ применяемых типов забойки и способов ее осуществления показывает, что наиболее широко представлены сыпучие и жидкостные забойки скважинных зарядов. Основным фактором, определяющим величину и способы сопротивления выталкивающему действию продуктов взрыва забойкой из сыпучих материалов, являются силы внутреннего трения между их частицами. Инерция покоя массы забойки играет значительно меньшую роль, а значение сил сцепления между частицами забоечного материала вообще ничтожно мало. Поэтому перспективной возможностью улучшения качества забойки является увеличение сил внутреннего трения забоечного материала.

Из используемых забоечных материалов наибольшее значение сил внутреннего трения имеют песок, щебень, гранулированный доменный

шлак. Качественное перемешивание забоечной массы увеличивает силы внутреннего трения между ее частицами.

Длина внутренней забойки зарядов может быть признана оптимальной только в том случае, если она обеспечит герметизацию зарядной камеры на период времени с момента инициирования зарядов до начала разрушения и сдвижения пород, и в то же самое время она должна быть минимальной для снижения размеров зоны нерегулируемого дробления.

Наиболее распространенные забойки из сыпучих материалов имеют слишком большую длину, поэтому в нашей работе проведен широкий поиск конструкций забоек и материалов для их исполнения, направленный на повышение сопротивляемости выталкивающему действию газов взрыва при минимальной их длине в зарядной полости.

Забойки из песчано-цементной смеси и бетона в полигонных условиях на скважинах глубиной 2 м с массой заряда ВВ в 3...5 кг показали, что параметры воронки рыхления у таких забоек на 30...50 % выше, чем у засыпных забоек из сыпучих материалов. Экспериментальный массовый взрыв на скважинах глубиной 12 м с массой заряда ВВ в 100 кг подтвердил высокую работоспособность забоек из твердеющих материалов: скважина с бетонной забойкой произвела сильное заколообразование на поверхности уступа с более мелким дроблением горной массы.

Недостатком бетонной забойки является трудоемкость ее изготовления, т. к. подача бетонной смеси в скважину и ее уплотнение производятся вручную. Поэтому нами предложена конструкция автобетоносмесителя комбинированного перемешивания, в котором готовится жесткая бетонная смесь в процессе переезда от места загрузки на заряжаемый блок. На блоке эта смесь поступает в дополнительный навесной смеситель, разбавляется водой и порциями выгружается в скважины.

Полигонные и промышленные испытания разнообразных конструкций

металлических распорных и подвесных забоек показали, что они выдерживают давление газов взрыва зарядов ВВ массой 90...100 кг без скольжения по скважине вплоть до разрушения окружающих их горных пород. В результате длительного запираания взрывной скважины в районе устья дробление пород улучшено. Однако после разрушения устья скважины, в котором установлена забойка, остаточным давлением газов она выбрасывается из скважины. Попадание металлической забойки с горной массой в дробилку влечет ее поломку или остановку. В связи с этим требуются особые условия работы с металлическими забойками, которые заключаются в обеспечении щадящего режима взрывания, четкого соблюдения расчетных параметров зарядки взрывных скважин, обеспечения укрытия взрываемого блока и крепления забоек к соединительным элементам.

Предложенный ряд конструкций комбинированных забоек позволяет снизить недостатки вышеприведенных конструкций при одновременном усилении их положительных качеств, поэтому мы считаем такие забойки наиболее перспективными.

Устройства для исключения несанкционированного доступа к элементам поверхностной взрывной сети, выполненные как часть металлической забойки или как самостоятельный съемный элемент существенно повышают безопасность работ, позволяют отказаться от охраны блоков при длительном зарядании и снижают угрозу использования взрывчатых материалов в интересах криминальных структур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Пучков Л. А.* Техника и технология взрывных работ в современных условиях. Основные проблемы и причины их возникновения, направления совершенствования // О состоянии взрывного дела в Российской Федерации. Основные проблемы и пути их решения: Материалы Всерос. конф. М.: МГГУ, 2002. С. 18–23.
2. *Демидюк Г. П.* О повышении степени полезного использования энергии взрыва // Взрывное дело № 60/17. М.: Недра, 1966. С. 237–254.
3. *Субботин А. И., Гаврилов Н. И., Колесникова С. В.* Безопасность при взрывных работах: сборник док. Сер. 13. Вып. 1. 2-е изд., испр. и доп. М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. 252 с.
4. *Фокин В. А.* Развитие теории проектирования буровзрывных работ на предельном контуре карьера: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Апатиты, 2005. 45 с.
5. *Буровцов В. П., Тарасенко В. П.* Физико-технические обоснования параметров забойки и оценка ее роли в управлении действием взрыва скважинных зарядов на карьерах // Проблемы взрывного дела: Сб. ст. и докл. № 1. 2002. М.: МГГУ, 2002. С. 5–9.
6. *Беляев А. Ф., Садовский М. А.* О природе фугасного и бризантного действия взрыва // Физика горения и взрыва. 1952. № 1. С. 32–38.
7. *Демидюк Г. П. и др.* Влияние забойки на степень дробления горных пород взрывом // Взрывное дело № 53/10. М.: Недра. 1963. С. 96–105.
8. *Сумин И. П., Гордеев П. А., Зольников В. В.* Исследование влияния длины забойки на степень дробления горной массы взрывом скважинных зарядов // Взрывное дело № 54/11. М.: Недра, 1964. С. 185–189.
9. *Суханов А. Ф.* Современный уровень техники буровзрывных работ и

разрушение горных пород. М.: Недра, 1963. 80 с.

10. *Бродский М. П.* О действии взрыва в твердой среде. // Сб. совещания по буровзрывным работам. – М., Госгортехиздат, 1953. С. 96–102.

11. *Шемякин Е. И., Кочанов А.Н.* О разрушении горных пород в ближней зоне подземного взрыва // Взрывное дело № 92/49. М.: НОИВ, 1999. С. 7–19.

12. *Мосинец В. Н., Абрамов А. В.* Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород М.: Недра, 1982. 248 с.

13. *Гогичев И. И.* Эффективная и оптимальная длина забойки шпуровых зарядов // Взрывное дело № 59/16. М.: Недра, 1966. С. 266–269.

14. *Алексеев А. Ф.* Совершенствование параметров буровзрывных работ на известняковом карьере Камышбурунского железорудного комбината // Взрывное дело № 59/16. М.: Недра, 1966. С. 125–134.

15. *Друкованый М. Ф., Комир В. М., Семенюк И. А.* К вопросу о влиянии величины забойки на качество дробления горных пород взрывом в карьерах // Взрывное дело № 59/16. М.: Недра, 1966. С. 166–177.

16. *Федоров С. А. и др.* Воздушные промежутки как способ управления действием взрыва // Взрывное дело № 54/11. М.: Недра, 1964. С. 153–157.

17. *Китач Г. М.* Параметры подготовки скважин к взрыву // Взрывное дело № 54/11. М.: Недра, 1964. С. 167–173.

18. *Кучерявый Ф. И. и др.* Опыт применения воздушных промежутков при взрывании скважинных зарядов на карьерах // Взрывное дело № 54/11. М.: Недра, 1964. С. 310–317.

19. *Менжулин М. Г. И др.* Метод расчета дополнительного разрушения горных пород на квазистатической стадии действия взрыва // Физические проблемы разрушения горных пород: Сб. тр. Второй междунар. науч. конф., 25-29 сент. 2000 г. Санкт-Петербург: В 2 ч. / С-Петерб. горн. ин-т. СПб., 2001. Ч. 1. С. 138–142.

20. *Парамонов Г.П. и др.* Исследование эффективности применения газодинамических запирающих устройств в качестве забойки скважинных зарядов // Взрывное дело № 91/48. М.: 1998. С. 214–221.

21. *Баум Ф. А.* К вопросу оценки эффективности действия взрыва зарядов с воздушными промежутками // Взрывное дело № 54/11. М.: Недра, 1964. С. 48–52.

22. *Турута Н. У. и др.* К исследованию характера разрушения массива горных пород взрывом скважинных зарядов // Взрывное дело № 54/11. М.: Недра, 1964. С. 145–153.

23. *Покровский Г. И.* Расчет заряда выброса // Действие взрыва в среде и расчет зарядов. М., 1954. С. 54–57.

24. *Покровский Г. И.* Взрыв. М.: Недра, 1973. 184 с.

25. *Миндели Э. О., Демчук П. А., Александров В. Е.* Забойка шпуров М.: Недра, 1968. 152 с.

26. *Родионов В. Н.* К вопросу о повышении эффективности взрыва в твердой среде М.: Недра, 1962. 132 с.

27. *Ханукаев А. Н., Баранов Е. Г., Мосинец В. Н.* Экспериментальные исследования процесса разрушения пород взрывом Фрунзе: Илим, 1961. 134 с.

28. *Ханукаев А. Н.* Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом М.: Наука, 1962. 200 с.

29. *Карасик И. Б.* Повышение использования энергии взрыва зарядов ВВ путем создания забоечного материала, обладающего высокой адгезионной прочностью // Информационное письмо В-75. М., 1962. 14 с.

30. *Атчисон Г. Г., Грант Б. Ф., Дювалл В. И.* Отчет о ходе исследования торпедирования скважин М., 1953. 38 с.

31. *Ведутин В. Ф. и др.* Исследования ВостНИГРИ в области совершенствования буровзрывных работ // Тр. IV науч.-техн. совещ. по буровзрыв-

ным работам. М., 1962. С. 119–124.

32. *Терентьев В. И., Алексеев О. И.* Влияние энергии забойки на эффект взрыва // Горный журнал. 1949. № 10. С. 14–17.

33. *Сисин А. Г.* Реферат по статье Тейлора «Определение сопротивления забойки динамическим нагрузкам» // Бюллетень цветной металлургии. 1959. № 3. С. 19–24.

34. *Галаджий Ф. М.* Безопасность взрывных работ в шахтах М.: Недра, 1962. 96 с.

35. *Демидюк Г. П.* К вопросу управления действием взрыва скважинных зарядов // Взрывное дело № 54/11. М.: Недра, 1964. С. 174–184.

36. *Бондаренко Н. М. и др.* Методы снижения выбросов пыли и газов при массовых взрывах в карьерах и шахтах // Горный журнал. 1992. № 10. С. 46–49.

37. *Бересневич П. В.* Пути сокращения пылевыведения при массовых взрывах в карьерах // Горный журнал. 1980. № 8. С. 54–56.

38. *Способ* ведения взрывных работ при массовых взрывах: Патент РФ № 2051763 МКИ⁶ В 21 С 37/00, F 42 D 1/08, F 42 D 1/26 1991 / А. А. Воровский, А. И. Потапов, И. С. Шляхов, В. Г. Беденко, Б. Е. Чистяков, Т. С. Кулабухова, В. Ф. Борачук.

39. *Акинфиев С. П. и др.* Влияние конструкции забойки и запирающих зарядов на качество взрывной отбойки // Горный журнал. 1988. № 4. С. 35–37.

40. *Сеинов Н. П.* Об эффективности применения запирающей забойки // Взрывное дело № 71/28. М.: Недра, 1972. С. 134–139.

41. *Ситников И. Е.* Реферат по статье Б. Самара «Влияние качества забойки на эффективность взрыва» // Экспресс-информация, серия «Горно-рудная промышленность». 1961. № 12. С. 8–10.

42. *Марченко Л. Н., Кудряшов В. С.* О величине забойки скважинных

зарядов // Взрывное дело № 45/2. М.: Недра, 1960. С. 196–200.

43. *Беришвили Г. А.* Влияние забойки шпуров на эффективность взрыва в условиях Чиатурского марганцевого месторождения // Взрывное дело № 57/14. М.: Недра, 1965. С. 330–338.

44. *Доможиров Д. В.* Совершенствование технологии взрывных работ для снижения сейсмо-акустического эффекта на карьерах: Автореф. дис.... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2001. 22 с.

45. *Демидюк Г. П.* Современные теоретические представления о действии взрыва в среде // Тр. IV науч.-техн. совещ. по буровзрывным работам. М.: Недра, 1962. С. 32–43.

46. *Комир В. М., Семенюк И. А., Петряшин И. Ф.* Экспериментальные исследования влияния укороченной забойки на результаты взрыва / // Взрывное дело № 70/27. М.: Недра, 1971. С. 279–285.

47. *Взрывная скважина*: А.с. СССР № 769296, МКИ³ F 42 D 1/08 1980 / Г. М. Моня, В. Д. Петренко, В. Ф. Джонс.

48. *Друкованый М. Ф.* Методы управления взрывом на карьерах – М.: Недра, 1973. – 416 с.

49. *Михайлов А. М.* Охрана окружающей среды на карьерах : учеб. пособие – К.: Выща школа, 1990. – 264 с.

50. *Скважинный заряд ВВ*: А. с. СССР № 769296, F42D1/08. 1987 /Н. Ф. Кусов, В. И. Пшеничный, З. С. Назаров, Ю. Д. Норов.

51. *Способ формирования скважинного заряда*: Патент РФ № 2112207 МКИ⁶, F42D3/04, 1994 // И. В. Машуков, Ю. М. Карапетян, Г. Г. Монингер, И. В. Любкин, Ю.А. Образцов, В. П.Любкин.

52. *Устройство для забойки скважин и способ его осуществления*: Патент США № 4754705. F 42 B 13/14, F 42 D 3/00 Изобретения стран мира. 1989, № 3.

53. *Скважинный заряд*: Патент РФ № 2229682 МКИ⁷ F 42 D 1/02. 2001

/ В. Н. Уваров, А. В. Дорогунцов, П. А. Филиппов, Л. М. Цинкер, М. В. Дорогунцов, Н. И. Семенов, Е. А. Белоусов, Г. Г. Барабаш.

54. *Яковенко А. И.* Расчет скважинных зарядов в карьерах // Взрывное дело № 51/8. М.: Недра, 1963. С. 108–120.

55. *Легастаев Е. Г.* Исследование влияния расширяющейся забойки шпуров на результаты взрыва // Взрывное дело № 59/16. М.: Недра, 1966. С. 262–266.

56. *Демидюк Г. П.* Роль и эффективность забойки в горных взрывных работах – М.: Изд-во ИГД им. А.А. Скочинского, 1964. 32 с.

57. *Кудзис А. П.* Железобетонные и каменные конструкции. В 2 ч. Ч. 1. Материалы, конструирование, теория и расчет М.: Высшая школа, 1988. 287 с.

58. *Мурадов Э. Г.* Материаловедение для арматурщиков, бетонщиков, плотников М.: Высшая школа, 1990. 223 с.

59. *Шихненко И. В.* Краткий справочник инженера-технолога по производству железобетона – Киев: Будивельник, 1974. – 253 с.

60. *Строительные материалы: Справочник* / А. С. Болдырев, П. П. Золотов и др. М.: Стройиздат, 1989. 567 с.

61. *Бетонная комбинированная забойка: Заявка №2006139243 МПК⁷ F42D 1/08.* / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун – заявл. 07.11.2006.

62. *Укороченная монолитная забойка: Заявка № 2006139570 МПК⁷ E 21 C 37/14.* / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун – заявл. 07.11.2006.

63. *Укороченная твердеющая забойка: Заявка № 2006146389 МПК⁷ E 21 C 37/14.* / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский – заявл. 25.12.2006.

64. *Автобетоносмеситель: Патент РФ № 2101177 МКИ В 28 С 5/ 42* 1996./ А. В. Лещинский.

65. *Шрейнер Л. А.* Физические основы механики горных пород М.: Гостоптехиздат, 1950. 321 с.

66. *Спивак А. И.* Механика горных пород М.: Недра, 1967. 192 с.
67. *Барон Л. И., Веселов Г. М., Коняшин Ю. Г.* Экспериментальные исследования процесса разрушения горных пород ударом М.: АН СССР, 1962. 320 с.
68. *Протасов Ю. И.* Разрушение горных пород М.: МГГУ, 2001. 453 с.
69. *Цигельный П. М.* Предприятия по производству щебня М.: Транспорт, 1967. 332 с.
70. *Олевский В. А.* Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок М.: Транспорт, 1958. 460 с.
71. *Способ* многорядного взрывания и устройство для его осуществления: Патент РФ № 2291388 МПК F 42 D 1/08, F 42 D 3/04. 2004. / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.
72. *Запирающая* забойка: Патент РФ № 2295108 МПК F 42 D 1/08. 2004 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.
73. *Запирающая* забойка шпуров или скважин: Патент РФ № 2301962 МПК F 42 D 1/08. 2004 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.
74. *Разрезная* забойка: Патент РФ № 2301963 МПК F 42 D 1/08. 2004 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.
75. *Разрезная* забойка взрывных скважин: Патент РФ № 2286533 МПК F 42 D 1/08. 2004 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.
76. *Распорная* забойка: Патент РФ № 2285900 МПК F 42 D 1/08. 2005 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, В. П. Куз-

нецов.

77. *Распорная* забойка: Патент РФ № 2285899 МПК F 42 D 1/08. 2005 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.

78. *Распорная* забойка: Патент РФ № 2284011 МПК F 42 D 1/08. 2004 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.

79. *Механическая* забойка: Патент РФ № 2301964 МПК F 42 D 1/08. 2004 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.

80. *Подвесная* забойка: Патент РФ № 2286534 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2005 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин.

81. *Подвесная* забойка взрывных скважин: Патент РФ № 2285898 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2005 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин.

82. *Расклинивающаяся* металлическая забойка: Заявка Российская Федерация, МПК F42D 1/08. / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский – № 2006136677/03; заявл. 16.10.2006.

83. *Комбинированная* расклинивающаяся забойка: Заявка Российская Федерация, МПК F42D 1/08. / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский – № 2006136726/03; заявл. 16.10.2006.

84. *Разрезная* металлическая забойка: Патент РФ № 2312302 МПК F42D 1/08. 2006 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Н. К. Лукашевич.

85. *Расклинивающая* забойка: Патент РФ № 2324892 МПК⁷ F42D 1/08. 2006 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский.

86. *Способ* взрывания скважинных зарядов и механическое устройство для его осуществления: Патент РФ № 2291390 МПК⁷ F42D 1/08. F42D 5/00. 2004 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин, Г. В. Матушкин,

Т. И. Шевкун.

87. *Комбинированная засыпная забойка*: Патент РФ № 2307311 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2006 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин., Г. В. Матушкин, Н. К. Лукашевич.

88. *Забойка комбинированная*: Патент РФ № 2308674 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2005 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин., Г. В. Матушкин, Н. К. Лукашевич.

89. *Распорная комбинированная забойка*: Патент РФ № 2291392 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2006 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Д. В. Левин., Г. В. Матушкин.

90. *Комбинированная распорная забойка*: Патент РФ № 2291393 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2006 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский.

91. *Комбинированная забойка*: Патент РФ № 2291394 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2006 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, С. Н. Иванченко.

92. *Взрывная скважина*: Патент РФ № 2287773 МПК⁷ F 42 D 1/08. 2005 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, Т. И. Шевкун.

93. *Комбинированная расклинивающаяся забойка*: Заявка Рос. Федерация, МПК⁷ F42D 1/08. / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, - № 2006136726/03; заявл. 16.10.2006.

94. *Бабаянц Г.М., Евсин В. Г., Николаев К. П.* Совершенствование взрывных работ на горнорудных предприятиях // Горный журнал. 1995. №12. С 43–52.

95. *Пробка для скважины*: А. с. СССР № 1809047 Е 21 С 37/00. 1991 / Н. Л. Болотов, В. В. Казаков и Н. Н. Тимофеев

96. *Маркерная заглушка для буровой скважины*: Патент США № 3451370. кл. 116–114. / А. Matesan.

97. *Крышка-указатель заряженных скважин*: А. с. СССР № 727849 Е 21 С 37/00, F 42 D 5/04. 1978 / А. А. Хохлов, Г. В. Кузнецов

98. *Указатель* заряженных скважин: Патент РФ № 2263277 F 42 D 1/08, F 42 D 5/00. 2003 / П. Н. Васильев, А. Г. Михайлов, В. А. Шерстов, А. С. Прокопьев.

99. *Устройство* для закрывания заряженных скважин: А. с. СССР № 901516 E 21 C 37/00, 5/04. / Кожухов Н.П.

100. *Устройство* для локализации элементов скважинной взрывной сети: Патент РФ № 2295700 F 42 D 1/08, F 42 D 5/00. 2005 / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун, С. Н. Иванченко, Т. И. Шевкун

101. *Способ* производства массового взрыва и механическое устройство для его осуществления: Патент РФ № 2291389 F 42 D 1/08, F 42 D 3/04, F 42 D 5/00. 2004 / Е. Б. Шевкун, С. Н. Иванченко, А. В. Лещинский, Т. И. Шевкун

102. *Способ* взрывания скважинных зарядов и механическое устройство для его осуществления: Патент РФ № 2291390 F 42 D 1/08, F 42 D 3/04, F 42 D 5/00. 2005 / Д. В. Левин, Г. В. Матушкин, Т. И. Шевкун.

103. *Способ* взрывания уступов под укрытием и механическое устройство для его осуществления: Патент РФ № 2292010 F 42 D 1/08. 2006 / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, И. М. Уренев.

Оглавление

Введение	3
Глава 1	
РОЛЬ ЗАБОЙКИ СКВАЖИН НА КАРЬЕРАХ	5
1.1. Влияние забойки скважин на высвобождение энергии ВВ	6
1.2. Влияние забойки скважин на эффективность дробления горных пород	13
1.3. Влияние забойки скважин на безопасность взрывных работ	37
Глава 2	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ЗАБОЙКАМ НА КАРЬЕРАХ	49
2.1. Материалы, используемые для забойки скважин	49
2.2. Определение рациональной длины забойки	56
2.3. Классификация применяемых забоек скважинных зарядов на карьерах	62
Глава 3	
ЗАБОЙКИ СКВАЖИНЫХ ЗАРЯДОВ ИЗ ТВЕРДЕЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	95
3.1. Опыт применения бетонных забоек	95
3.2. Взаимодействие забойки со стенками взрывной скважины	97
3.3. Конструкции бетонных забоек	104
3.4. Экспериментальные исследования бетонных забоек	108
3.5. Доставка бетонной смеси в карьер	118
Глава 4	
РАСПОРНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЗАБОЙКИ	123
4.1. Взаимодействие забоек со стенками скважин	123
4.2. Распорные забойки, удерживаемые трением	127
4.3. Распорные забойки, работающие на срез	133
4.4. Конструкции металлических распорных забоек	137
4.5. Экспериментальные исследования работы металлических забоек	152
Глава 5	
КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАБОЙКИ	171
5.1. Бетонно-засыпные забойки	171
5.2. Бетонно-металлические забойки с разрезным цилиндром	174
5.3. Бетонно-пластиковые забойки	176
5.4. Засыпная забойка в расширенной части скважины	177
5.5. Засыпные забойки со стержневым цилиндром	179

5.6. Органические забойки в комбинации с засыпкой	181
5.7. Экспериментальные исследования работы комбинированных забоек	187
Глава 6	
ЗАЩИТА СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ПРОНИКНОВЕНИЯ	199
6.1. Пробки для закрывания устья скважин	200
6.2. Заглушки с указателем заряженных скважин	201
6.3. Устройства для предохранения заряженных скважин от несанкционированного проникновения	206
Заключение	215
Библиографический список	219

Научное издание

**Лещинский
Александр Валентинович**

**Шевкун
Евгений Борисович**

ЗАБОЙКА ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН НА КАРЬЕРАХ

Монография

Главный редактор
Л.А. СУЕВАЛОВА
Редактор
Н. Г. ПЕТРЯЕВА
Компьютерный набор
Т. И. ХОХЛОВОЙ
Компьютерная верстка
О. А. СУВОРОВОЙ
Дизайнер обложки
М.В. ПРИВАЛЬЦЕВА

Подписано в печать 24.07.08. Формат 60х84 1/16.
Бумага писчая. Гарнитура «Таймс». Печать цифровая. Усл. печ. л. 13,4. Тираж 500 экз. Заказ 200.

Издательство Тихоокеанского государственного университета. 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета. 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.