

ТС-44

УПРАВЛЕНИЕ «КАРАКУМСТРОЙ»
ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ТРЕСТ
«КАРАКУМОРГТЕХСТРОЙ»

**СТРОИТЕЛЬСТВО
ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ
И КОЛЛЕКТОРОВ ВЗРЫВОМ**

ТС-44

626.8

В.А. Духовный
УПРАВЛЕНИЕ «КАРАКУМСТРОЙ»
ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ТРЕСТ
«КАРАКУМОРГТЕХСТРОЙ»

И. Ф. БОЙКО, И. П. ИГНАТОВ, Ю. А. ПИСАРЕВ

**СТРОИТЕЛЬСТВО
ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ
И КОЛЛЕКТОРОВ ВЗРЫВОМ**

Издательство «Туркменистан»
Ашхабад 1978

120

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из главных задач десятой пятилетки, поставленных XXV съездом КПСС, является ускорение научно-технического прогресса как основного средства увеличения темпов роста и эффективности общественного производства.

В гидромелиоративном строительстве одним из путей повышения производительности труда и улучшения технико-экономических показателей является расширение области применения новых прогрессивных технологий ведения земляных работ.

Современные взрывные технологии строительства оросительных каналов энергией взрыва были впервые промышленно апробированы при строительстве участков Каракумского канала им. В. И. Ленина.

Взрыв горизонтального удлиненного заряда взрывчатого вещества, размещенного в траншее-щели, приводит к образованию открытой профильной выемки в 1,5—2 раза более глубокой, чем зарядная траншея с одновременным разрушением, транспортировкой и укладкой грунта и с использованием эффекта уплотнения и пластического деформирования породного массива, окружающего очаг взрыва.

В настоящей книге изложен опыт строительства Каракумского канала им. В. И. Ленина взрывным способом. Приведены данные, полученные на основе этого опыта, по изменению свойств грунтового массива в зоне действия взрыва. Даны рекомендации для широкого круга специалистов о применении взрыва в гидромелиоративном строительстве, выбора взрывчатых веществ, расчета параметров взрыва. Описаны основные направления комплексной механизации технологических операций. Приведена методика расчета экономической эффективности строительства каналов взрывным методом.

Глава I написана И. Ф. Бойко, глава II — И. П. Игнатовым, глава III — И. Ф. Бойко, Л. И. Демешуком и Ю. П. Андреевым, глава IV — И. П. Игнатовым и О. А. Чернышенко, глава V — Ю. А. Писаревым.

Авторы считают необходимым выразить благодарность док-

тору технических наук профессору Вовку А. А., кандидатам технических наук Черному Г. И., Михалюку А. В., инженеру Гундареву К. А., любезно предоставившим некоторые результаты своих исследований, использованные авторами настоящей книги.

Изложенные исследования были выполнены в 1970—1974 годах и поступили для опубликования в декабре 1974 года.

ВЗРЫВ В ГРУНТАХ

Понятие о взрыве

По своей природе взрыв имеет химическое или физическое происхождение. Взрывом в широком понятии этого слова можно назвать чрезвычайно быстрое химическое превращение вещества из одного состояния в другое, которое сопровождается мгновенным переходом потенциальной энергии в механическую, направленную на разрушение, уплотнение и перемещение окружающей среды.

В большинстве случаев химическое превращение протекает за счет реакции окисления горючих элементов, реже — вследствие разложения неустойчивых соединений.

Химические соединения или механические смеси, способные под влиянием внешнего воздействия изменить с большой скоростью свое состояние, образуя сильно сжатые газообразные продукты и выделяя энергию, являются взрывчатыми веществами (ВВ).

Сила взрыва тем больше, чем больше объем газов или паров по сравнению с объемом вещества до взрыва (при других равных условиях).

Для большинства промышленных ВВ объем газов, который образовался во время взрыва 1 кг вещества, составляет при нормальных атмосферных условиях 600—1100 л.

Поскольку во время взрыва газообразные продукты нагреваются до 3000—3200° С, их объем увеличивается в десятки раз.

Другим важным фактором, который обуславливает работоспособность ВВ, есть запас потенциальной энергии в единице объема, которая освобождается во время взрыва. Для разных ВВ эта энергия равна 600—1600 ккал/кг. Потенциальная энергия ВВ намного меньше, чем у некоторых других веществ, например, мазут имеет 10 500 ккал/кг, керосин — 11 000 ккал/кг и т. д.

Но решающая роль принадлежит здесь скорости образования и передачи этой энергии окружающей среде. Так, например, сила взрыва 1 кг динамита достигает 300 млн. лошадиных сил при продолжении взрывного превращения 0,00002 сек.

Нужно отметить еще одну важную особенность взрывного распада химических промышленных ВВ. Взрывное химическое

превращение, как правило, осуществляется за счет окисления горючих элементов — углерода и кислорода. При этом все химические реакции ВВ осуществляются за счет элементов, что входят в его состав, то есть окисление длится без доступа кислорода извне. Для этого в состав ВВ добавляется вещество, которое содержит излишний кислород, или же он есть в молекуле самого ВВ (например, нитроглицерин). Продукты взрывчатого разложения, воздействуя на окружающую среду, возбуждают в ней ударную волну, или волну напряжений, и, расширяясь, производят работу по механическому перемещению материалов. По физическому состоянию ВВ подразделяются: смеси твердых или жидких веществ с газами (угольная пыль + воздух, капли нефтепродуктов + воздух и т. д.), газовые смеси (водород + кислород, метан + кислород и т. д.); жидкие вещества (нитроглицерин, нитроглицоль), жидкие смеси (нитробензол + азотная кислота); смеси жидких и твердых веществ — динамиты (жидкий нитроглицерин + селитра), оксиквити (жидкий кислород + твердое горючее); твердые соединения или смеси (тринитротолуол, гексоген, селитра + тринитротолуол). Наибольшее распространение при ведении земляных работ в гидромелиоративном строительстве получили простейшие взрывчатые смеси типа игданит (94,5% аммиачной селитры + 5,5% дизельного топлива) и взрывчатые смеси из твердых взрывчатых веществ.

Заранее рассчитанное по массе и форме размещения взрывчатое вещество, уложенное в зарядную полость и снабженное инициатором взрыва, является зарядом.

В гидромелиоративном строительстве применяются в основном внутренние заряды, т. е. заряды, помещенные внутри разрушаемого и выбрасываемого грунта.

Наружные (накладные заряды, которые размещаются на поверхности разрушаемого и уплотняемого объекта) заряды используются в основном для устройства пионерных каналов в болотистом грунте.

По форме различают заряды удлиненные и сосредоточенные. Удлиненные заряды характеризуются своей длиной, которая должна быть более пяти диаметров. У сосредоточенных зарядов форма близка к шару или кубу. Заряды, имеющие форму цилиндра, длина которого не превышает пяти диаметров, или форму прямоугольного параллелепипеда, высота которого не превышает пятикратной величины его малой стороны основания, также относятся к сосредоточенным.

В тех случаях, когда заряд имеет форму крестовую, Т-образную и пр., коэффициент сосредоточения определяется по формуле:

$$\psi = \frac{V \cdot Q}{K},$$

где $V \cdot Q$ — объем зарядов, м^3 ;

R — расстояние от центра заряда до наиболее удаленной его точки, м.

Заряд считается сосредоточенным, если $\psi \geq 0,66$, удлиненным, если $\psi < 0,66$.

Заряд, состоящий из нескольких частей, расположенных в одной зарядной камере и отделенных друг от друга инертным материалом или воздушными пустотами, является рассредоточенным зарядом.

При применении ВВ для ведения земляных работ большое значение имеют плотность заряжения, которая характеризуется отношением веса заряда к объему зарядной камеры, и коэффициент заряжения, характеризующийся отношением объема заряда к объему зарядной камеры.

Для производства взрыва заряд взрывчатого вещества инициируется, т. е. возбуждается, при помощи начального импульса, заключающегося во внешнем воздействии, необходимом и достаточном для возбуждения взрывчатого разложения. Величина начального импульса, необходимого для начала взрывчатого разложения, различна не только для разных ВВ, но и для одного и того же вещества при различном его физическом состоянии и зависит от чувствительности данного вещества к внешним воздействиям.

Существуют три основных вида начального импульса, служащего для возбуждения заряда ВВ: тепловая энергия — воздействие нагретым телом, искрой или пламенем; механическая энергия — удар или трение; энергия взрыва другого ВВ — взрыв детонатора или заряда. Начальным импульсом при взрывных работах в гидромелиоративном строительстве чаще всего служит тепловая энергия (взрывание инициирующего ВВ в детонаторе от огнепроводного шнура или электровоспламенителя), а также взрыв другого ВВ (капсюля-детонатора, электродетонатора при инициировании низкочувствительных ВВ — аммонита, детонита, прессованного тротила и др.).

Полезная работа взрыва

Рассматривая работу взрыва как работу адиабатического расширения продуктов детонации, различают два основных вида полезной внешней работы взрыва: фугасное и бризантное действие. Специфической формой работы является направленное действие, например, кумулятивное. Фугасная работа взрыва в большей степени обеспечивает глубинное уплотнение окружающей среды, метательное и разламывающее действие взрыва. Она обусловлена как действием взрывной волны, так и поршневым давлением от расширения продуктов детонации заряда. Фугасное действие взрыва иначе называют работоспособностью ВВ и оценивают по расширению канала свинцовой бомбы при

взрыве навески ВВ. Определение работоспособности ВВ регламентировано ГОСТ 4546—48. Критерием оценки работоспособности ВВ может служить также тротильный эквивалент. Последний определяется испытанием на баллистическом маятнике.

Бризантное действие заключается в интенсивном дроблении и деформации преград, непосредственно прилегающих к заряду, путем удара продуктов детонации, сжатых до высоких давлений. Бризантная работа взрыва в большой степени проявляется в непосредственной близости от очага взрыва, вызывая переуплотнение непосредственно примыкающей к камуфлетной полости «корки» глинистых пород, разрушение лессовых и супесчаных пород. Бризантное действие (при прочих равных условиях) зависит от формы заряда, места расположения детонатора и неодинаково в разных направлениях от места инициирования детонации. Бризантность промышленных ВВ растет до критических значений, после чего резко падает. Применяется несколько методов оценки бризантности: по обжатию свинцовых цилиндров, отклонению баллистического маятника и др. Сравнительная оценка бризантного действия различных ВВ производится по ГОСТу 5984—51.

Следует отметить, что грань между фугасной и бризантной работой взрыва является в значительной мере условной. Если рассматривать полный импульс с достаточно крутым передним фронтом, то бризантная работа определяется головной его частью, а фугасная работа пропорциональна полному импульсу, т. е. полной энергии взрыва без потерь. Поскольку величина полного импульса на довольно близком расстоянии не зависит от скорости детонации, фугасная работа взрыва в известных пределах также почти не зависит от скорости детонации. В то же время бризантная работа в значительной мере зависит от скорости детонации. В первом приближении бризантную работу можно считать пропорциональной величине давления (максимуму напряжений) во взрывной волне, хотя ее и нельзя отождествлять с величиной давления.

Как бризантная, так и фугасная работа зависит не только от свойств ВВ и размера заряда, но и от условий заряжания, а также механических свойств окружающей заряд среды. Величина совершаемой взрывом бризантной работы возрастает при ВВ с высокой скоростью детонации (таких, как ТЭН, гексоген, тротил и др.) и при большой плотности заряжания.

В то же время применение ВВ с сравнительно небольшой скоростью детонации (зерногранулит, игданит и др.), невысокая плотность заряжания и применение зарядов с воздушными оболочками способствует снижению бризантной работы заряда при сохранении или возрастании фугасной работы.

При взрывании наружных (накладных) зарядов бризантная работа составляет существенную или преобладающую часть

общей (полезной) работы, в то время как у камуфлетных зарядов бризантная работа составляет небольшую часть общей.

Кумулятивное действие ВВ проявляется в зарядах определенной конструкции, посредством которой местное действие взрыва (пробивное, раскалывающее, инициирующее) проявляется в определенном направлении. Достигается это за счет облицованной выемки в заряде (конической, сферической или параболической формы), которая преломляет и формирует в виде сильно уплотненной струи продукты детонации. Благодаря этому скорость продуктов детонации достигает 8—10 км в секунду и превышает скорость детонации самого ВВ.

Основные свойства грунтов

При строительстве ирригационных сооружений взрывным способом выполняется большой объем земляных работ в различных горногеологических (грунтовых) условиях, в зависимости от которых выбирают технологию ведения работ и средства механизации. При применении механизированных технологий ведения взрывных работ в гидромелиоративном строительстве наибольшее значение имеют следующие свойства грунтов.

Прочность. Учитывая тот факт, что грунты, особенно несвязные, имеют незначительную прочность, не удастся пользоваться такими характеристиками, как прочность на одноосное сжатие или растяжение.

Эти характеристики необходимы при расчетах, когда разрабатываются мерзлые или горные породы с целью устройства зарядных полостей в них.

Прочность мерзлых грунтов и пород на растяжение σ_r в 20—30 раз меньше, чем прочность на одноосное сжатие. Из этого следует, что при устройстве зарядных полостей в мерзлых грунтах наиболее выгодно применять заряжающие машины с такими рабочими органами, которые отделяют грунты от массива преимущественно отрывом. Величины прочности различных мерзлых грунтов в зависимости от влажности и температуры приводятся на рис. 1.

Гранулометрический состав, т. е. процентное содержание по весу частиц различной крупности: гальки (40 мм), гравия (2—40 мм), песка (0,25—2 мм), песчаной пыли (0,05—0,25 мм), пылевидных (0,005—0,05 мм) и глинистых (менее 0,005 мм) частиц.

Сопротивление сдвигу. При устройстве зарядных полостей под действием механической нагрузки грунт разрушается в результате деформаций, превосходящих предельные значения. Считается, что эти деформации происходят по плоскостям скольжения (плоскостям, по которым происходит сдвиг частиц относительно других). При разрушении грунта

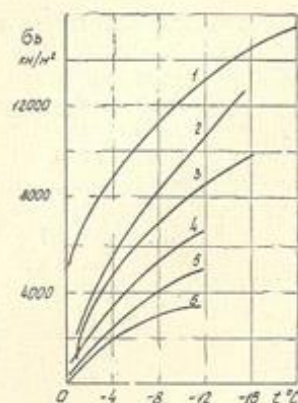


Рис. 1. Изменение прочности при одноосном сжатии мерзлых грунтов в зависимости от температуры и влажности ω (%).

зависящая, в частности, от степени увлажнения, растворимость в воде и др.

Весовая влажность — отношение веса воды к весу сухого грунта в процентах. При заполнении водой не более $1/3$ объема пор грунты считаются сухими, при заполнении от $1/3$ до $2/3$ объема пор — влажными, более $2/3$ объема пор — мокрыми.

Связность (взаимное сцепление частиц) характеризует способность грунта сопротивляться разделению на отдельные частицы под действием внешних нагрузок.

Пластичность — свойство грунта изменять форму под действием внешних сил и сохранять эту форму после удаления внешних сил. Наибольшей пластичностью отличаются влажные глины, песок и др.

Абразивность — способность материала оказывать истирающее действие на другой материал. Абразивность грунтов в значительной степени определяет износ рабочих органов заряжающих машин. Существуют различные методы оценки абразивности, однако все они являются относительными, так как величина износа зависит от удельных давлений, скорости взаимного перемещения, твердости и прочности. При одной и той же прочности и различной твердости величина износа может быть неодинаковой. Наиболее широко пользуются методом, при котором за меру абразивности принят относительный износ ω_0 , измеряемый отношением объемного износа стали Δv_c к объемному износу грунта Δv_n :

$$\omega_0 = \frac{\Delta v_c}{\Delta v_n}.$$

частицы сопротивляются относительно сдвигу. Это сопротивление характеризуется сцеплением. Сопротивление сдвигу по плоскости скольжения увеличивается в результате внутреннего трения частиц, возникающего под действием нормальных напряжений.

Объемная масса, т. е. отношение массы грунта к его объему при естественной влажности. Для грунтов она составляет 1,5—2 т/м³.

Пористость — объем пор, заполненных водой и воздухом, в процентах от общего объема грунта. Она характеризуется коэффициентом пористости, представляющим собой отношение объема занятых водой и воздухом пор к объему твердых частиц грунта.

Отношение пород к воде — водопроницаемость, влагоемкость, консистенция глинистых пород, от степени увлажнения, растворимость

Угол естественного откоса ϕ — угол конуса, который образуется при осыпании разрыхленного грунта с некоторой высоты. Величина этого угла зависит от коэффициента внутреннего трения и от связности. Для несвязных грунтов угол естественного откоса равен углу внутреннего трения.

Сопротивление грунта вдавлению. При вдавлении ходовой части или рабочего органа заряжающей машины под опорной поверхностью происходят деформации в условиях, близких к всестороннему сжатию, т. е. когда на элемент грунта действует одновременно окружающий массив и опорная поверхность так, что элемент оказывается сжатым со всех сторон. Чем ближе к поверхности расположен элемент, тем меньше влияние всестороннего сжатия. Вдавливание на небольшую глубину (до 1 см) называется смятием, которое характеризуется коэффициентом сопротивления смятию.

При этом усилие, необходимое для вдавливания опорной поверхности, во много раз меньше, чем при вдавливании ее на значительную глубину. В частности, допускаемые нагрузки для ходовых частей заряжающих машин предусматривают погружение до 12 см. Величина усилия, необходимого для вдавливания опорной поверхности, зависит от ее размеров.

Величины удельных сопротивлений различных грунтов смятию p_0 в зависимости от группы грунта колеблются от 5 до 130 кг/м² (от 0,05 до 1,3 кг/см²). Величины допускаемых давлений p_k на ходовую часть заряжающей машины составляют 40—1500 кг/м² (0,4—15 кг/см²).

Коэффициент трения грунта о сталь и грунта о грунт. Значительные потери мощности при зарядных работах происходят из-за трения грунта о рабочий орган заряжающей машины и грунта о грунт. Величина коэффициента трения грунта о грунт зависит от того, разрыхлен грунт или нет. На коэффициент трения существенно влияет удельное давление. С повышением удельного давления от 200 до 600 кг/м² коэффициент трения снижается в среднем на глинах до 17, на суглинках до 6,5%. В зависимости от группы грунта величина коэффициента трения грунта о грунт колеблется от 0,5 до 0,9, коэффициента трения грунта о сталь — от 0,73 до 1.

Разрыхляемость — определяется отношением объема разрыхленного грунта V_r к первоначальному объему V (в плотном теле).

Коэффициент разрыхления всегда больше единицы и для одного и того же грунта может быть различным (табл. 1).

Динамические свойства породного массива. В деформируемых средах очаг возмущения окружающей среды, т. е. взрыв приводит к изменению плотности среды в окружающей очаг взрыва зоне.

В скальных и полускальных породах, а также в водонасы-

Значения коэффициента разрыхления некоторых грунтов

Грунт	Коэффициент рыхления
Речной песок и гравий	1,1—1,2
Суглинок	1,2—1,25
Глина	1,3—1,4
Щебень	1,4—1,45
Глинистый сланец	1,4—1,6
Скала	1,8—2,5

щенных нескальных породах эти деформации в основном обратимы, а необратимая составляющая объемной деформации незначительна, часто неощутима.

Объединяемые под общим названием сжимаемых сред нескальные горные породы в неводонасыщенном состоянии (глины, суглинки, пески и лессы), а также различные искусственно изготовленные сыпучие, пористые и волокнистые материалы способны необратимо изменять плотность при динамических нагружениях. Отметим, что статическое нагружение нескальных пород в массиве лишь незначительно изменяет плотность, при более значительных нагрузках происходит пластическое деформирование с образованием призм выпирания. Ударное механическое нагружение уплотняет поверхностный слой, и лишь взрывной импульс приводит к уплотнению на значительную глубину. Способность образовывать различной устойчивости камуфлетные полости с различными уплотненными слоями и углами внутреннего трения зависит от динамических свойств породного массива. Эти факторы положены в основу классификации нескальных пород, которая приведена в таблице 2. При ее составлении использована общая геотехническая классификация П. Н. Паниюкова [46], переработанная и дополненная с учетом принятых критериев.

Характер действия взрыва в грунтах

Взрыв заряда ВВ вызывает изменение состояния окружающей среды, которое обусловлено резким повышением давления в зарядной камере. Первоначально стенки зарядной камеры испытывают динамическую нагрузку — удар, определяющий напряжения на фронте волны возмущения в среде. Более продолжительным является квазистатическое давление продуктов детонации, обуславливающее квазистатические напряжения в среде и перемещение разрушенного материала. Волна возмущения, возникающая при взрыве в среде, окружающей заряд, является волной напряжений.

Если поместить сферический заряд взрывчатого вещества в

Таблица 1

Таблица 2
Геологическая классификация нескальных пород с учетом их физико-механических и динамических свойств

Подкласс	Физико-механические свойства и показатели по П. Н. Паниюкову			Динамические свойства			Динамические свойства и показатели			Характерные представители
	Строение и свойства пород в массиве	Сжатие, дн/см	Угол внутр. трения, град.	Коэффициент фрикционн.	Коэффициент крепости по Протодьяконову	Динамические свойства породного показателя	Показатель прочности, дн/кв	Расход BB на 1 м³ взрывч.	са, кг	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Связные (глинистые) породы с преобладанием эластичных связей										
Малоуплотненные связанные породы	Рыхлое сложение, высокие влажность и сжимаемость, тексотропность, при водонасыщении текучее состояние	Менее 0,5	Менее 10	До 0,05	0,4	Способны образовывать камуфлетные полости, иногда недостаточно устойчивые, окруженные сильно уплотненными (до 15%) слоями породы с повышенным сцеплением. При водонасыщении сильно подвержены тексотропному разжижению.	250—1400	0,6—2,0	Илы различного происхождения, илисто-глинистые осадки, четвертичные неуплотненные суглинки и супеси, почвы глинистого состава	
Среднеуплотненные связанные породы	Средняя сжимаемость, в зависимости от влажности находятся в твердом или пластичном (текучем) состоянии, слабо водоустойчивы	0,2—0,05	14—23	До 0,001 в глинах, 0,01 в суглинках	0,3—0,8	Образуют устойчивые камуфлетные полости, окруженные мощным слоем уплотненных (до 10%) пород. Углы внутреннего трения при взрывном уплотнении снижаются, сцепление повышается. Возможно тексотропное разжижение	180—600	1,0—2,5	Глины, суглинки и супеси различного происхождения, некоторые лессовидные суглинки	
Плотные и осевые, плотные связанные породы	Содержат в основном связанную воду, при водонасыщении переходят в пластичное состояние, при	0,4—1,5	16—36	Менее 0,001	1,5	Образуют очень устойчивые полости, окруженные слоем уплотненных пород большой мощности (с уп-	70—250	1,5—3,0	Плотные глины и мергели	

Продолжение табл. 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	статических нагрузках заметны деформации сжатия, при нагружении более 5 дин/см ² практически водонепроницаемы. При слонгом строении увлажненные контакты резко ослаблены					лотением до 4—6%), со сниженным углом внутреннего трения и повышенным сцеплением			

Связные породы с преобладанием жестких связей

Малоуплотненные породы с жесткими связями	Слабая водоустойчивость, просадочность, при водонасыщении переходят в текучее состояние	0,2—0,5	14—23	—	0,9	Устойчивых камуфлетных полостей не образуют. При динамическом уплотнении в сухом состоянии превращаются в несвязную массу	40—200	3,0—6,0	Лессы
Плотные связные породы с жесткими связями	—	—	—	—	1,4—2,0	Образуют небольшие камуфлетные полости, частично заполненные рыхлым материалом, могут уплотняться без полного разрушения, но со снижением прочностных показателей.	30—250	13—5	Известняки-ракушечники

Несвязные породы

Песчаные породы	Хорошая водопроницаемость, свободные откосы устойчивы под углами 25—30°, сжимаемы за счет рыхлого сложения	25—30 (в крупнозернистых) 20 (в мелкозернистых)	5—50 1	—	0,5—0,8	Камуфлетных полостей не образуют. Уплотняются в зависимости от степени разрыхленности при сотрясении. При плотном сложении значительно уплотняются вокруг очага взрыва.	—	2—4	Пески разной зернистости
Крупнообломочные несцементированные породы	Высокая водопроницаемость и жесткость. Откосы устойчивы под углами 30—45°. Практически несжимаемы без сотрясения.	—	30—45	50—100	1—1,5	То же.	—	3—6	Гравий и галька горных обвалов и россыпей, отложения аллювиального, делювиального и другого происхождения.

пластичный грунт на глубину, значительно большую радиуса разрушения, а затем взорвать его, то на различных расстояниях от центра заряда, учитывая, что грунт обладает изотропными свойствами, образуются concentрические зоны деформации. Физическая сущность процесса развития взрыва следующая: ударная волна сжатия, возникающая в результате взрыва заряда любого типа на границе раздела взрывчатого вещества и грунта, распространяется с определенной скоростью, зависящей от плотности взрывающей среды и внутреннего давления газов, в глубь массива. В примыкающем к заряду слое напряжение сжатия становится намного выше прочности грунта, вследствие чего грунт сжимается, образуя сферическую камуфлетную полость, радиус которой намного превышает радиус заряда. Возникающее при детонации ВВ огромное давление в зоне сжатия, достигающее 10^5 кг/см², способствует сильному сжатию скелета грунта, а следовательно, увеличению его объемного веса. Вследствие высокой температуры взрыва (до 4500°С) на внутренней поверхности полости образуются своеобразные наросты спекшегося грунта.

Взрыв заряда ВВ вблизи свободной поверхности сопровождается деформацией грунта, его выбросом и образованием выемки. Процесс образования воронки очень сложный и во многом зависит от свойств взрывающих пород. Однако для всех категорий грунтов можно установить ряд общих закономерностей.

А. Н. Ханукаев [52] на основании изучения килограмм процесса образования взрывной воронки в песке установил следующее:

продолжительность процесса формирования взрывной воронки во много раз превышает продолжительность воздействия газов;

образование воронки обусловлено запасом кинетической энергии, приобретаемой средой в момент воздействия газов на грунт.

Процесс разрушения грунтового массива протекает следующим образом: при взрыве сосредоточенного заряда вокруг него образуется полость в форме шара. В последующий момент, когда начинает сказываться влияние обнаженной поверхности, полость вытягивается в сторону линии наименьшего сопротивления (ЛНС), принимая форму эллипса. При этом скорость перемещения грунта в сторону ЛНС больше, чем в противоположную. Это обусловлено тем, что под полостью в результате вовлечения в движение дополнительных объемов грунта увеличивается сопротивление его перемещению и сжатию (ввиду постепенного увеличения плотности), а над полостью в основном уменьшается сопротивление грунта перемещению (в связи с ростом обнаженной поверхности). Таким образом, верхняя часть полости по сравнению с нижней быстрее увеличивается в объеме. В момент, когда толщина верхней части оболочки

уменьшается настолько, что происходит разрыв ее, породы в виде отдельных кусков и частиц выбрасываются на некоторое расстояние.

В Институте химической физики АН СССР были проведены опыты с целью выяснения механизма накопления кинетической энергии выбрасываемым грунтом. Взрывы сосредоточенных зарядов массой 24 г проводились в песке [24]. Опытами установлено, что при отражении волны сжатия от свободной поверхности не наблюдается скачкообразного возрастания скорости, что свидетельствует о неупругом характере объемных деформаций в песке. После выхода фронта волны сжатия на свободную поверхность происходит выравнивание скоростей по радиусу, скорость на поверхности плавно возрастает до максимального значения, а вместе с тем увеличивается и кинетическая энергия слоя грунта между свободной поверхностью и плоскостью.

Степень возрастания кинетической энергии выбрасываемого грунта зависит от глубины заложения заряда. Так, при взрыве заряда массой 24 г на глубине 10 см скорость V_{max} примерно в 5 раз больше начальной скорости, а при заглублении заряда на 30 см — примерно в 2 раза.

Возрастание скорости подъема свободной поверхности объясняется только действием давления в продуктах взрыва. При этом условно выделяются две стороны процесса, ведущего к возрастанию кинетической энергии выбрасываемого грунта.

Первая — свободная поверхность ограничивает прирост массы грунта, вовлекаемого волной в движение, и приводит к уменьшению напряжений в грунте. В результате этого потери энергии на нагрев грунта за фронтом волны, которые при взрыве заряда камуфлета достигают 60—70% всей энергии взрыва, уменьшаются. Приток же энергии к движущейся массе грунта со стороны продуктов взрыва не изменяется и начинает превышать затраты на пластическое деформирование грунта.

Вторая сторона — ускоренное движение грунта в направлении свободной поверхности приводит к нарушению симметрии. Это, в свою очередь, ведет к тому, что в единицу телесного угла в направлении выброса будет передана большая энергия, чем в противоположном направлении. Нарушение центральной симметрии полости происходит все быстрее с уменьшением глубины заложения заряда.

Таким образом, механизм выброса при взрыве в песчаном грунте можно представить как процесс выталкивания грунта продуктами взрыва.

Механизм передачи энергии при взрывании сосредоточенных зарядов массой 1, 10 и 1000 г в связных грунтах авторы схематически расчленили на три стадии.

Первая стадия охватывает период от момента детонации ВВ до момента выхода волны сжатия на свободную поверхность.

В течение этого периода движение грунта подобно движению при взрыве в безграничной среде.

На второй стадии энергия продуктов взрыва расходуется преимущественно на ускорение движения грунта в направлении к свободной поверхности. Первоначально центрально-симметричное поле скоростей поверхности достигает значений, которые заметно превышают скорости на фронте волны сжатия. При этом образуется характерный купол поднимающегося грунта. Толщина купола незначительна и уменьшается по мере его подъема. При дальнейшем движении купол разрушается, образуя массив летящих кусков. К концу второй стадии, когда происходит полное разрушение купола, энергия продуктов взрыва практически полностью исчерпана.

Третья стадия — это инерционный разлет грунта в поле силы тяжести. Дальность разлета грунта определяется запасенной в кусках кинетической энергией, углом вылета и силой сопротивления воздуха.

Такова в общих чертах картина взрыва на выброс.

К изложенному необходимо добавить, что при взрывах массой до 10 т объем выброшенной породы практически пропорционален массе заряда. Это свидетельствует о геометрическом подобии воронок, образуемых взрывами разного масштаба. Исследование кинематики движения среды также показало, что начальные стадии выброса развиваются в соответствии с принципом геометрического подобия. Таким образом, пространственно-временные характеристики процесса выброса на начальных стадиях его развития и размеры воронок, отнесенные к линейному размеру заряда или к пропорциональной ему величине $\sqrt[3]{C}$, оказываются одинаковыми при взрывах разного масштаба.

Например, для взрыва 1 т ВВ в глине $R/\sqrt[3]{C} = (0,87-0,05)$, для взрыва 10 т ВВ — $R/\sqrt[3]{C} = (0,84-0,04)$.

Следовательно, путем модельных опытов с малыми зарядами выброса можно рассчитать действие значительных по массе зарядов.

Существующие представления о затратах энергии при взрыве весьма разнообразны и противоречивы. Одни исследователи считают, что при расчете заряда выброса необходимо учитывать затраты энергии на преодоление силы тяжести пород, другие — затраты энергии на преодоление сил сцепления, третьи — на преодоление силы тяжести и сил сцепления по боковой поверхности взрывной воронки.

Как показали исследования по кинематике движения среды, расчет зарядов выброса нельзя вести, исходя только из затрат энергии на преодоление силы тяжести и сил сцепления. Зависимости для расчета величины заряда должны учитывать затраты энергии на упругие деформации. В производственных условиях основные параметры рассчитывают по эмпирическим формулам.

Проверка этих формул специальными экспериментами, а главное, данными широких производственных опытов позволяет считать их достаточно надежными для тех условий взрывных работ, применительно к которым они составлены.

Систематизированные сведения о получении профильных выемок в грунтах с помощью взрыва и методики их расчета содержатся в работах Г. П. Демидюка, М. М. Докучаева, Г. И. Покровского. Как правило, методики основываются на использовании взрыва сосредоточенных и скважинных зарядов, расположенных вдоль оси будущей выемки в один, два и более ряда. При взрывном методе создания выемок применяют только усиленные заряды выброса. Это обусловлено тем, что при взрывах с усиленным показателем выброса достигается наибольший объем выброшенной породы из выемки и соответственно увеличивается видимая глубина выемки.

Видимая глубина в глинистых и суглинистых грунтах

$$P = 0,5 \cdot W \cdot n,$$

где W — линия наименьшего сопротивления,

n — показатель выброса.

От глубины выемки зависит угол откоса, однако при взрывании на выброс можно лишь в ограниченных пределах изменять угол. В этом случае не всегда сечение выемки строго соответствует требованиям, предъявляемым при машинном способе проходки. Поэтому иногда при взрывании на выброс, чтобы получить сечение, близкое к заданному, приходится выбрасывать лишний объем грунта и превышать размеры выемки поверху или уменьшать глубину выемки.

Взрывные параметры устанавливают графически с таким расчетом, чтобы воронки взрыва по возможности точнее соответствовали требуемому профилю выемки.

Важным фактором при взрывной проходке выемок является правильное установление расстояния между зарядами. Выемка практически постоянного сечения при взрыве одинаковых сосредоточенных зарядов с равным заглублением, расположенных в один ряд, образуется при условии, что расстояние между зарядами

$$a = \frac{n+1}{2} W.$$

Если заряды расположены несколькими параллельными рядами, то расстояние между рядами равно расстоянию между зарядами, то есть

$$b = a = \frac{n+1}{2} W.$$

Сосредоточенные заряды выброса рассчитываются по формуле М. М. Борескова:

$$C = qW^3(0,4 + 0,6n^3),$$

где q — удельный расход ВВ.

Как установлено практикой взрывных работ, эта формула справедлива только при глубине заложения заряда до 25 м. При большей глубине заложения в формулу вводят поправку:

$$C = qW^2 (0,4 + 0,6n^3) \sqrt{\frac{W}{25}}$$

Метод взрывания на выброс включает следующие варианты:

двусторонний выброс грунта с однорядным и многорядным расположением зарядов;

односторонний направленный выброс с двухрядным или многорядным расположением зарядов, при котором основная часть выбрасываемого грунта перемещается в заданном направлении.

В практике взрывных работ большое применение получили взрывы с двусторонним выбросом. При этом самым простым и самым выгодным является однорядное размещение зарядов. В этом случае наименьший расход ВВ и наибольший объем выброшенного грунта. Однако при таком расположении зарядов создается выемка небольшой ширины по дну. Поэтому при необходимости образования более широких выемок применяют 2—3-рядное расположение зарядов, а иногда и взрывание с большим числом рядов.

Ширину выемки поверху определяют по формуле

$$L_B = 2nW + b(m - 1),$$

где m — число рядов зарядов.

Ширина выемки понизу $L_H = b(m - 1)$.

При двухрядном расположении зарядов показатель действия взрыва n принимают равным для обоих рядов, при трехрядном расположении для зарядов среднего ряда n берут на 0,5 больше, чем для крайних рядов.

При многорядном двустороннем выбросе для достижения максимального выброса вначале взрывают заряды крайних рядов, затем усиленные заряды среднего ряда. При этом время замедления взрыва усиленных зарядов должно быть таким, чтобы разрушенная и поднятая взрывом зарядов первой очереди масса грунта получала поступательное направленное движение под действием более мощных зарядов среднего ряда. Выброшенный за пределы выемки грунт образует по бортам ее гребни. Наибольшая высота гребня — вблизи выемки, с увеличением расстояния от оси выемки она уменьшается.

Иногда невыгодно расположение выброшенного грунта по обе стороны выемки. В этих случаях прибегают к взрыву с направленным выбросом, при котором основная масса грунта распределяется на одном из бортов выемки (до 80%).

Теоретические основы расчета зарядов рассмотренных систем направленного выброса грунта разработаны Г. И. Покровским [50] на основе закономерностей внешней баллистики.

Направленный односторонний выброс осуществляется взрывом не менее двух рядов зарядов. При этом показатель действия взрыва второго ряда (основного), направляющего большую часть взорванного грунта в одну сторону, принимается на 0,5 больше зарядов первого ряда (вспомогательного).

Направленный выброс достигается разновременным взрыванием рядов зарядов. Так, если необходимо произвести направленный выброс при двухрядном расположении зарядов, то сначала одновременно взрывают заряды вспомогательного ряда. В результате образуется выемка, параллельная оси основного ряда. Поэтому при взрыве зарядов этого ряда через определенное время после взрыва зарядов вспомогательного ряда основная масса взорванного грунта благодаря боковому направлению ЛНС выбрасывается в сторону обнаженной поверхности. При этом в том же направлении увлекается и взрывающаяся и поднятая вверх порода от взрыва зарядов вспомогательного ряда.

Время замедления зависит от величин W и n : в практике при замедленном взрывании его принимают равным 2—4, а при короткозамедленном взрывании определяют по формуле $t = K \cdot W$, где K — коэффициент, зависящий от крепости и свойств пород (для мягких пород $K=6$).

В последние годы теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в СССР, показали, что направленность и объем выброса породы можно увеличить методом плоских зарядов.

Предложенный М. А. Лаврентьевым [33] метод направленного выброса состоит в том, что метаемый объем грунта обкладывают со всех сторон слоем ВВ, который в результате взрыва и сообщения грунту импульса создает как бы «твердую стенку», препятствующую боковому разлету грунта. Толщина слоя ВВ увеличивается в направлении, обратном движению выброса, и определяется свойствами грунта и дальностью бросания. При таком способе размещения плоских зарядов можно достичь 100%-ной направленности выброса.

При одностороннем направленном выбросе возможны и другие способы применения плоских зарядов. В частности, предложенные А. А. Черниговским [53] методы плоских и клиновидных зарядов, заложенных непосредственно во взрываемом массиве, дают достаточно эффективный направленный выброс. Эти методы отличаются от изложенного выше тем, что отсутствуют прижимные заряды.

Для производства одностороннего направленного выброса в случае горизонтальной свободной поверхности под взрываеваемый объем породы закладывают клиновидный заряд. По своему действию он эквивалентен системе трех плоских зарядов.

Если свободная поверхность примыкает под некоторым уг-

лом к горизонту, то применяют заряд в виде тонкой пластины. Расчеты показывают, что при данном взрывном методе толщина плоских зарядов может колебаться в широких пределах (в зависимости от объема выбрасываемой породы, дальности бросания и пр.). Очевидно, плоский заряд небольшой толщины практически невозможно заложить под взрываеваемый массив. Поэтому плоский заряд можно заменить эквивалентной по действию системой камерных и скважинных зарядов, располагаемых в одной плоскости.

В отечественной практике метод плоских зарядов, несмотря на ряд преимуществ, не получил распространения из-за сложности ведения работ, отсутствия четких практических рекомендаций для определенных горно-геологических условий, малой экономической эффективности.

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА, СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ВЗРЫВАНИЯ

В 1962 г. в г. Будапеште была принята Международная Единая классификация промышленных взрывчатых веществ и средств электрического взрывания.

В СССР, в соответствии с этой классификацией, принята классификация промышленных взрывчатых веществ, обязательная для всеобщего пользования. По указанной классификации промышленные ВВ разделены на неперехохранительные и переходохранительные.

Неперехохранительные ВВ делятся на два класса: применяемые на открытых работах;

для открытых и подземных работ, не опасных по скоплению газа и пыли.

Перехохранительные ВВ делятся на четыре класса: ограниченного применения и специального назначения (для работ в условиях, опасных наличием водорода и тяжелых углеводородов);

для взрывных работ по углю; повышенной переходохранительности (взрыв открытого заряда 200—1000 г не вызывает воспламенения метана и угольной пыли);

высокоперехохранительные ВВ (взрыв открытого заряда до 2000 г не вызывает воспламенения метана и угольной пыли).

По степени опасности при хранении и перевозке взрывчатые материалы подразделяются на пять групп:

I — ВВ с содержанием более 15% жидких нитроэфиров, нефлегматизированный гексоген, тетрил;

II — аммиачноселитренные ВВ, тротил и сплавы его с другими нитросоединениями, ВВ с содержанием жидких нитроэфиров не свыше 15%, флегматизированный гексоген, детонирующий шнур;

III — порох дымный и бездымный;

IV — детонаторы и КЗДШ;

V — перфораторные заряды и снаряды с установленными в них взрывателями.

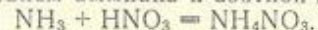
Кроме этого, взрывчатые вещества подразделяются по характеру действия взрыва — на бризантные, фугасные и др.; по составу — на аммиачно-селитренные; нитроглицериновые, нитропроизводные ароматического ряда, оксидквиты, азиды, соли гремучей кислоты; по структурному состоянию — на порошкообразные, крупнодисперсные, прессованные, литые, пластические, водонаполненные; по свойствам — на водостойкие, стойкие, гигроскопичные.

Взрывчатые вещества для строительства каналов и коллекторов

Для строительства каналов и коллекторов взрывами на выброс применяются взрывчатые вещества, обладающие преимущественно метательными свойствами, а также удовлетворяющие требованиям безопасности при хранении, транспортировании и обращении. Эта группа промышленных ВВ допущена Едиными правилами безопасности при взрывных работах только для открытых работ.

В состав этой группы входят аммиачно-селитренные взрывчатые вещества и нитросоединения.

Аммиачно-селитренные взрывчатые вещества представляют собой механические смеси аммиачной селитры с другими взрывчатыми и невзрывчатыми веществами, не содержащими нитроэфиров. Аммиачная селитра впервые была изготовлена Глаубером в 1658 г. и описана под наименованием «пламенный нитрат». По внешнему виду селитра представляет собой белое или слабо-желтое кристаллическое вещество, полученное взаимодействием аммиака и азотной кислоты



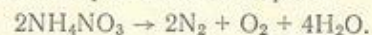
Аммиачная селитра может существовать в нескольких кристаллических модификациях, каждая из которых устойчива в определенном интервале температур. При нагревании или охлаждении она может переходить из одной модификации в другую. Полиморфные превращения селитры влекут за собой изменение плотности кристаллов и выделение или поглощение тепла.

Насыпная плотность селитры в зависимости от способа и условий кристаллизации находится в пределах 0,86—0,97 г/см³. Безводная селитра плавится при температуре 169,1°. При наличии влаги температура плавления селитры значительно снижается.

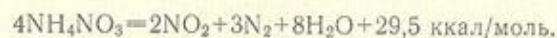
Аммиачная селитра хорошо растворяется в воде. Ее растворение происходит со значительным поглощением тепла. При растворении 6 частей селитры в 10 частях воды температура понижается приблизительно на 27°. Аммиачная селитра не взаи-

модействует с Al и Fe, и эти металлы могут служить материалом для изготовления различных заряжающих устройств. Гигроскопичность аммиачной селитры высокая. Гигроскопическая точка, выражаемая в процентах относительной влажности, составляет при 10° — 15,3%, при 25° — 62,7%, а при 50° — 48,1%. Наличие в аммиачной селитре примесей других растворимых в воде веществ обычно ведет к снижению гигроскопической точки. Исключение составляют лишь такие примеси, которые образуют двойные соли.

При рассмотрении химических реакций разложения аммиачной селитры в качестве реакции взрывчатого разложения чаще всего приводят одно из разложений Берто.



Считают, что эта реакция должна идти при возбуждении взрыва аммиачной селитры взрывом ВВ или даже под действием нагревания, при $t=400^\circ\text{C}$ и выше, при этом распад аммиачной селитры протекает со взрывами по уравнению:



Следовательно, аммиачная селитра имеет положительный кислородный баланс и относится к слабым взрывчатым веществам. Одно время аммиачную селитру нерационально использовали в качестве самостоятельного ВВ. Для возбуждения взрыва аммиачной селитры требуется мощный промежуточный детонатор. В настоящее время аммиачную селитру в чистом виде для взрывных целей не применяют из-за ее низких взрывных свойств.

Однако, учитывая, что один грамм аммиачной селитры при разложении выделяет 0,2 г кислорода, обычно связанного с азотом в виде окислов, но способного окислить органические добавки, если они примешаны к селитре, ее используют в качестве компонента взрывчатых смесей. От многих других окислителей аммиачная селитра отличается тем, что в продуктах ее разложения не содержится твердых веществ. Поэтому ВВ на ее основе являются более работоспособными, чем ВВ на основе других окислителей, дающих при разложении твердый остаток. Самым распространенным взрывчатым веществом, в состав которого входит более 70% аммиачной селитры, считаются аммониты.

К аммиачно-селитренным взрывчатым веществам, применяемым при строительстве каналов и коллекторов, относятся также гранулиты, зерногранулиты и другие простейшие взрывчатые вещества.

Нитросоединения. Некоторые взрывчатые вещества этой группы входят в качестве составных частей аммиачно-селитренных ВВ, а также для снаряжения капсулей-детонаторов

Таблица 3
Характеристика взрывчатых веществ, предназначенных для взрывной проходки открытых выемок в сухих грунтах

Взрывчатое вещество	Состав взрывчатого вещества	Плотность заряжания, г/см ³	Теплота взрыва, ккал/кг	Работоспособность, км/сек.	Скорость детонации, км/сек.	Критический диаметр открытого заряда, мм	Отпускаемая цена, руб./т
Грануло-тол*	Гранулированный тротил	1	825	285—295	5—10	5—10	300
Аммонит № 6 ЖВ*	Смесь водоустойчивой аммиачной селитры с тротилом	1,0—1,2	1030	360	4,0	12	180
Аммонит № 7 ЖВ*	То же	1,0—1,2	995	350—370	3,5—4,0	11—13	167
Зерногранулит 79/21	Гранулированная селитра с цементированным тротилом	0,9—1,0	1030	360—370	3,0—3,6	50—60	167
Игданит	Омасленная гранулированная селитра	0,8—0,9	900—920	320—330	2,2—2,7	120—160	62
Гранулит	То же	0,9	920	320—330	2,6—3,6	70—100	112
Гранулит АС-8	Омасленная гранулированная селитра с алюминиевой пудрой	0,87—0,92	1212	410—430	3,0—3,6	80—100	185
Гранулит АС-4	То же	0,8—0,85	1080	390—410	4,6—3,2	100—120	152
Гранулит С-2	Омасленная гранулированная селитра с древесной мукой	0,8—0,85	917	320—330	2,4—3,2	120—150	115
ГЛВВ 80/20	Раствор аммиачной селитры, гранулированный тротил	1,5—1,6	1010	—	6,4—6,7	100	150—160
ГЛВВ 65/35	То же	1,5—1,6	1010	—	6,4—6,7	100	150—160

* Рекомендуется к применению в качестве промежуточного детонатора.

и детонирующего шнура. Основным представителем нитросоединений является тротил (тринитротолуол — $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$). В порошкообразном виде он светло-желтого цвета с плотностью $0,85-1 \text{ г/см}^3$. Тротил детонирует от капсюля-детонатора и имеет отрицательный кислородный баланс. При взрывании в воде он не теряет своих взрывчатых свойств, малочувствителен к удару и трению. Тротил не гигроскопичен, нерастворим в воде и относится к сильнообризантным ВВ. Благодаря указанным свойствам тротил входит в состав аммиачно-селитренных и простейших водонасыщенных ВВ. В чистом виде тротил для массовых взрывов в грунтах не применяется в связи со сравнительно высокой стоимостью. Ассортимент основных промышленных ВВ, допущенных к применению Едиными правилами безопасности на открытых работах, приведен в таблице 3.

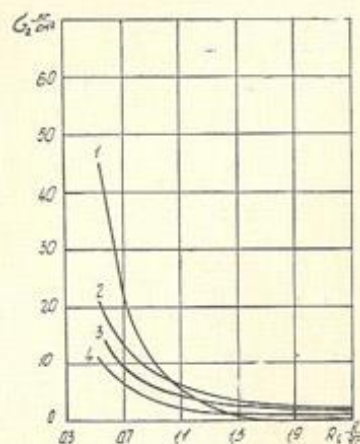


Рис. 2. Изменение радиальных напряжений от относительного расстояния при взрывании концентрированных камуфлетных зарядов гексогена (1), аммонита (2), тротила (3) и алюмотола (4).

рядов превышает уровень напряжений при взрыве гексогена. Характерно, что на всем протяжении измерений (до $R_0=30R$) уровень напряжения при взрыве зарядов аммонита был выше, чем при взрыве зарядов тротила.

Соответствующие зависимости аппроксимируются следующими формулами при $5 < R_0 < 30$:

$$\text{для гексогена } \sigma_r = 4645, R_0 = 3,11;$$

$$\text{для тротила } \sigma_r = 145, R_0 = 1,63;$$

$$\text{для аммонита } \sigma_r = 292, R_0 = 1,21.$$

На рисунке 2 приведены полученные экспериментальные кривые, характеризующие затухание в супеси весовой влажности 13—14,5% максимальных напряжений на фронте взрывной волны при взрывах камуфлетных зарядов гексогена, аммонита и тротила. Как видно из этих данных, наиболее высокообризантное взрывчатое вещество гексоген дает взрывной импульс с высоким первоначальным уровнем напряжений, быстро падающих на сравнительно коротком расстоянии.

Более низкий первоначальный уровень напряжений — при взрыве тротила и аммонита, однако более медленное затухание приводит к тому, что на расстоянии, равном 10—12 радиусам заряда, уровень напряжений при взрыве этих за-

На основании экспериментов можно сделать вывод, что при глубинном уплотнении породного массива взрывами камуфлетных зарядов более целесообразно применение аммонита, а также более низкообризантных взрывчатых веществ — зерногранули, игданита и т. д.

При проведении авторами опытных работ по взрывам на выброс при выполнении опытно-промышленных работ по проходке взрывным способом выемок Каракумского канала имени В. И. Ленина и Главного Мургабского коллектора (Туркменская ССР) расход тротила (чешуированного) на 1 м^3 выемки превышал расход аммонита, зерногранули и игданита на 15—25%. Во всех случаях влажность пород была не выше 10—12%. Более или менее существенной разницы в расходе трех последних взрывчатых веществ на 1 м^3 выемки отмечено не было.

Из практики следует, что 60—80% прямых затрат на взрывную проходку открытых выемок составляют затраты на взрывоматериалы. Очевидно, чем меньше стоимость используемого типа ВВ, тем меньше стоимость взрывной проходки.

Для выбора наиболее экономичного типа ВВ необходимо пользоваться показателем отношения стоимости 1 кг ВВ к теплоте взрыва. Величина этого показателя имеет следующие значения (коп./ккал):

Аммонит № 6 ЖВ	— 0,0169
Зерногранулит	— 0,0165
Гранулит С-2	— 0,0132
Гранулит АС-4	0,0135
Игданит	0,0069.

Наиболее низкий показатель имеет игданит, изготавливаемый на месте работ из гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива; из взрывчатых веществ заводского изготовления — гранулит С-2 и АС-4.

С учетом изложенных в таблице 3 данных приведены рекомендуемые для взрывной проходки выемок каналов и коллекторов в сухих связных грунтах взрывчатые вещества и их основные свойства.

При взрывании в обводненных зарядных траншеях наряду с водоустойчивыми взрывчатыми веществами заводского изготовления можно применять экономичные растворонаполненные изготовленные на месте игданиты. Их основной составной частью, как и игданитов, является аммиачная селитра.

Хорошие результаты показывают также залитые водой некондиционные (вследствие превышения срока хранения) пироксилиновые пороха.

Простейшим взрывчатым веществом при строительстве каналов и коллекторов является игданит. Низкая стоимость гранулированной аммиачной селитры и дизельного топлива, а также простота их изготовления обуславливают относительно низкую стоимость игданитов по сравнению со взрывчатыми веще-

ствами заводского изготовления. Так, стоимость 1 т селитры составляет около 70 руб.; зерногранулата — примерно 160, аммонита — 180, тротила — более 300 руб. при практически равной эффективности. Хранение селитры допустимо на обычных складах, перевозка без специальной охраны. Это также повышает экономичность взрывных работ и позволяет наиболее просто организовать производство в полевых условиях. В большинстве случаев нет необходимости строить расходные склады ВВ, можно ограничиться передвижными взрывопунктами, выпускаемыми серийно на шасси автомашин ЗИЛ или МАЗ.

Гранулированная структура игданита значительно увеличивает ширину зоны химического превращения в детонационной волне и изменяет характер протекания взрыва. Вместо резкого повышения давления и быстрого спада его при взрыве тонкодисперсных ВВ игданит обеспечивает постепенное увеличение начального давления с последующим уменьшением. Это приводит к значительному увеличению времени воздействия продуктов детонации на окружающий заряд грунт. В результате снижается измельчающее действие взрыва в месте контакта грунта с зарядом. С увеличением времени воздействия продуктов взрыва общие формы работы взрыва проявляются на больших расстояниях от заряда, что обуславливает увеличение объема уплотняемого и выбрасываемого грунта.

Наиболее эффективно использование игданита при механизированной технологии изготовления ВВ. Безопасность компонентов игданита при смешении допускает изготовление ВВ непосредственно на месте взрывных работ. При зарядании игданитом скважин и камер на карьерах компоненты (аммиачная селитра и дизельное топливо) смешивают на месте работ или с помощью смесительной установки, которую устанавливают около склада ВВ. В последнем случае аммиачную селитру конвейером подают от склада к дробилке, где она подвергается интенсивному измельчению. Через бункер селитра поступает в смесительную камеру, здесь посредством насоса опрыскивается дизельным топливом и загружается в кузов автосамосвала или транспортно-зарядной машины. Такую технологию можно успешно применять при изготовлении в оболочках линейно-протяженных зарядов игданита небольшого удельного расхода.

Для изготовления мощных траншейных зарядов с удельным расходом, превышающим несколько сотен килограммов, требуется несколько стационарных смесительных установок и большое число транспортно-зарядных машин. Однако по мере продвижения фронта взрывных работ необходим частый демонтаж и монтаж смесительных установок, что отрицательно отражается на производственном ритме. Поэтому в этих условиях применение описанной технологии нецелесообразно, особенно если учесть нестандартность оборудования.

Зарядка большого числа скважин или камер игданитом за-

нимает довольно продолжительное время (иногда несколько суток). За этот период часть жидкого компонента теряется и происходит перераспределение дизельного топлива по высоте заряда. При нарушении оптимального состава снижаются взрывные свойства смеси. Так, исследованиями [29] установлено, что с изменением содержания дизельного топлива в игданите значительно изменяется теплота взрыва, определяющая общую энергию химического превращения ВВ. Наибольшей теплотой взрыва (904 ккал/кг) обладает игданит с нулевым кислородным балансом, содержащий около 5,5% дизельного топлива (рис. 3). При уменьшении количества дизельного топлива в игданите до 2% теплота взрыва снижается до 540 ккал/кг, то есть почти в 2 раза. Аналогичное явление наблюдается и при значительном увеличении жидкого компонента.

Таким образом, для предотвращения частичной потери взрывных свойств игданита, вызванной длительным заряданием, при использовании траншейных зарядов игданита необходимо довести до минимума цикл приготовления ВВ и его зарядки. В то же время известно, что потенциальная энергия заряда определяется за-

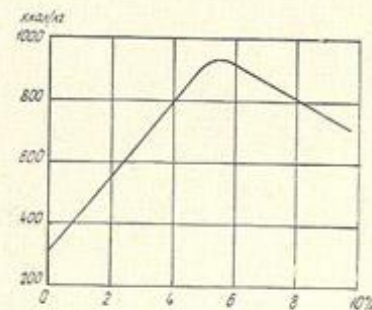


Рис. 3. Изменение теплоты взрыва (ккал/кг) игданита от содержания дизельного топлива (%).

$$A = q\rho V,$$

где q — удельная потенциальная энергия ВВ, ккал/кг;

ρ — плотность ВВ, г/см³;

V — объем ВВ, см³.

Произведение ρV выражает массу ВВ, а q — объемную концентрацию энергии взрыва. Следовательно, при постоянном объеме зарядной выработки энергия ВВ изменяется пропорционально объемной концентрации энергии $q_{об}$, зависящей как от удельной энергии взрывчатого вещества q , так и от плотности зарядания. Отсюда можно сделать вывод, что при использовании игданитов максимального значения q можно достичь за счет заливки оптимального количества дизельного топлива (5,5%), а оптимальной плотности $\rho_{сел}$ — более плотной упаковкой гранул. Поэтому наиболее целесообразно применение плотной слежавшейся аммиачной селитры в мешках.

Обычно использование селитры в мешках вызывает серьезные помехи при механизации процессов изготовления и зарядания игданита на карьерах. В связи с этим при строительстве Каракумского канала им. Ленина применено приготовление иг-

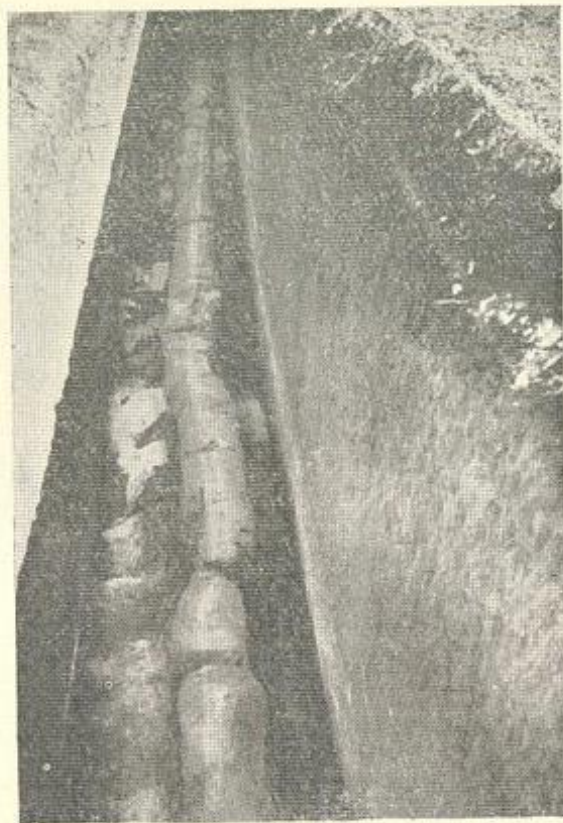


Рис. 4. Мешки аммиачной селитры в траншее.

даниа непосредственно в траншею. Аммиачную селитру в мешках укладывают на дно траншеи по всей длине в несколько рядов (рис. 4). Затем в крафт-бумажных мешках сверху делают надрезы и селитру из автоцистерны заливают дизельным топливом (5—6 л на 100 кг селитры) (рис. 5). Жидкий компонент наиболее удобно заливать с помощью механизированного заправочного агрегата модели 3607 на шасси ГАЗ-52-01, который представляет собой автоцистерну, оборудованную шлангами и счетчиком-метростром.

Время приготовления ВВ практически равно времени заливки жидкого компонента. Производительность приготовления ВВ составляет 50 т/час.

Проведенная выборочная проверка частей заряда показала хорошее смешивание компонентов и удовлетворительное (близкое к оптимальному) процентное содержание дизельного топ-



Рис. 5. Получение линейного заряда игданита путем заливки аммиачной селитры дизельным топливом.

лива в мешках селитры. При этом исключаются потери жидкого компонента и ВВ, которые происходили вследствие рассыпания его по дну траншеи и перемешивания с грунтом.

После изготовления траншейного заряда игданита ведут укладку боевиков и механизированную засыпку траншеи грунтом. Это позволяет свести к минимуму время нахождения изготовленного заряда в траншее и достичь оптимального режима взрывания.

Характеристика взрывчатого превращения

Взрывчатые вещества обладают способностью к быстрому химическому разложению, причем при разрушении межмолекулярных связей выделяется тепло. Взрывчатое разложение ВВ происходит в результате тепловых процессов и детонации. Взрывчатое разложение ВВ возможно, если диаметр заряда больше критического. Критическим диаметром детонации является диаметр заряда, при переходе через который детонация прекращается. Величина критического диаметра является мерой детонационной способности ВВ.

Критический диаметр определяется экспериментальным путем, и чем он меньше, тем выше детонационная способность. Процессы взрывчатого разложения в ВВ происходят в детонацион-

Характеристика инициирующих ВВ, используемых в средствах взрыва

Тип ВВ	Теплота взрыва, ккал/кг	Объем газов, л/кг	Температура взрыва, град. К	Давление при взрыве, кг/см ²	Работа, кг/м	Плотность, г/см ³	Кислородный баланс, %	Скорость детонации, м/сек.	Работоспособность, см	Температура воспламенения, °С	Чувствит. к удару (высота падения груза 2 кг/см)
Гремучая ртуть	405	316	4450	8800	176 600	3,5	-11,8	5400	110	165	2
Азид свинца	381	308	4300	7000	164 000	4,6	—	5300	115	327	4
Тенерес	418	448	3030	17 900	191 800	2,9	-56,0	5200	110	270	11
Тетрил	1078	412	3810	25 900	492 700	1,0	-47,4	7200	350	195	30
ТЭН	1410	780	4000	43 480	610 000	1,0	-10,1	3200	500	220	30
Гексоген	1310	890	3850	40 000	565 000	1,05	-20,1	8300	520	203,5	30

для возбуждения детонации взрывчатых веществ при огневом взрывании.

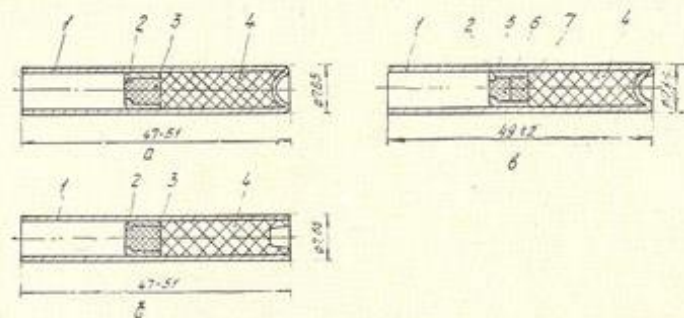


Рис. 6. Капсюли-детонаторы:

а) — № 8М; б) — № 8А; в) — № 8В;
1 — гильза, 2 — чашечка, 3 — гремучая ртуть; 4 — тетрил; 5 — шелковая сетка; 6 — тенерес; 7 — азид свинца

Капсюли-детонаторы требуют большой осторожности в обращении. От удара, трения, искры они взрываются, способны отсыревать. Ни в коем случае нельзя их ронять или ударять по ним каким-либо предметом. Попадая в дульце детонатора соринка удаляется легким постукиванием открытой частью гильзы о ноготь пальца. Отпускная цена 1000 штук капсюлей-детонаторов в бумажных гильзах составляет 21 руб., в металлических — 32 руб. Стандартный деревянный ящик вмещает 5000 капсюлей-детонаторов. Основные размеры, гарантийный срок хранения и характеристика капсюлей-детонаторов приведены в таблицах 5 и 6.

Огнепроводный шнур, соединенный с капсюлем-детонатором,

Основные размеры капсюлей-детонаторов и гарантийный срок хранения (по ГОСТ 6254—62)

Тип	Наружный диаметр, мм	Тип	Наружный диаметр, мм
№ 8-А	6,8 — 7,05	№ 8-С	7,00 — 7,20
№ 8-М	6,8 — 7,05	№ 8-УТМ	6,8 — 7,05
№ 8-В	7,35 — 7,65	№ 8-УТБ	7,35 — 7,65

Примечания. 1. Внутренний диаметр 6,3—6,5 мм. 2. Расстояние от края дульца до поверхности чашечки 17—23 мм. 3. Высота капсюля-детонатора № 8-А $47 \pm 1,5$ мм, остальных 49 ± 2 . 4. Гарантийный срок капсюля-детонатора № 8-А 10 лет, остальных 2 года.

образует зажигательную трубку (рис. 7). Зажигательную трубку изготавливают перед началом взрывных работ в специально отведенном помещении. Один конец огнепроводного шнура отрезают перпендикулярно оси для снаряжения капсюля-детонатора, а другой — под углом для увеличения площади воспламенения пороховой мякоти. Места соединения металлического капсюля-детонатора и огнепроводного шнура, обжимают специальным устройством, а при применении картонного капсюля-детонатора эти места обматывают изоляционной лентой. Согласно требованиям правил безопасности, длина огнепроводного шнура должна быть не менее 1 м. Поджигают огнепроводный шнур пеньковым фитилем (хлопчатобумажным или льняным), сердцевина которого пропитана калиевой селитрой. Подоженный фитиль тлеет с сильным накалом, достаточным для моментального поджога обнаженной сердцевины огнепроводного шнура. Время горения 1 см фитиля около 2 минут.

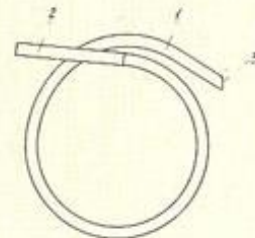


Рис. 7. Зажигательная трубка:

1 — отрезок огнепроводного шнура; 2 — капсюль-детонатор; 3 — место воспламенения огнепроводного шнура

Электродетонаторы. В зависимости от свойств электродетонаторы разделяют: по замедлению — на электродетонаторы мгновенного и коротко-замедленного действия; по мощности — на электродетонаторы нормальной и повышенной инициирующей способности; по антигризутности — на электродетонаторы предохранительные (для подземных разработок; опасных по газу и пыли) и не предохранительные.

Электровоспламенитель всех выпускаемых электродетонаторов унифицирован, что позволяет безотказно взрывать в одной цепи электродетонаторы различных типов.

Проводники электродетонаторов могут быть стальными или

1/4 2*

Таблица 6

Характеристика капсюлей-детонаторов, выпускаемых в СССР (по ГОСТу 6254—62)

Тип	Материал		Наименование и вес составных частей заряда, г						
			первичного			вторичного			
			теперес	азад свинца	тремучая руть	тетрил	ТЭН	фосфор	поделка (реверс)
№ 8-А	Алюминий А0, А1, А2	Алюминий, А0, А1, А2	0,1±0,02 0,1±0,02 0,1±0,02	0,2±0,02 0,2±0,02 0,2±0,02	— — —	1,0±0,07 — —	1±0,1 — —	— — 1±0,1	— — —
№ 8-М	Медь М1, М2	Латушь Л68 или медь М1 и М2	—	—	0,5±0,02 0,5±0,02 0,5±0,02	1,0±0,07 — —	1±0,1 — —	— 1±0,1 —	— — —
№ 8-Б	Бумага патронная	Лента стальная, латушь Л68 или медь М1 и М2	—	—	0,5±0,02 0,5±0,02 0,5±0,02	1,0±0,07 — —	1±0,1 — —	— 1±0,1 —	— — —
№ 8-С	Биметалл или сталь	То же	—	—	0,5±0,02 —	1,0±0,07 —	1±0,1 —	— 1±0,01	— —
№ 8-УТМ	Медь М1 и М2	Латушь Л68 или медь М1, М2	—	—	0,35±0,02 —	1,02±0,07 —	—	—	0,1—0,15
№ 8-УТБ	Бумага патронная	Лента стальная, латушь Л68 или медь М1 и М2	—	—	0,35±0,02 —	1,02±0,07 —	—	—	0,1—0,15
№ 8-УТС	Биметалл или сталь	То же	—	—	0,35±0,02 —	1,02±0,07 —	—	—	0,1—0,15

медными, по требованию заказчика. Длина проводников электродетонаторов: 2,0; 2,5; 3,5 и 4,0 м. По требованию заказчиков длина проводников может быть изменена. Электрическое сопротивление электродетонаторов с медным проводником — 1,6—4,2 ома; со стальным проводником зависит от его длины: при длине 2,0 м она составляет 2,9—5,6; 2,5 м — 3,3—6,5; 3,0 м — 3,7—7,5; 3,5 м — 4,2—8,5; 4,0 м — 4,5—9,5 ома.

Электродетонаторы не взрываются при протекании тока силой 0,18 а в течение 5 минут.

Электродетонатор мгновенного действия (рис. 8) представляет собой соединение капсуля - детонатора с электровоспламенителем и проводниками. Он состоит из металлической или картонной гильзы с торцевой кумулятивной выемкой, чашечки с отверстием,

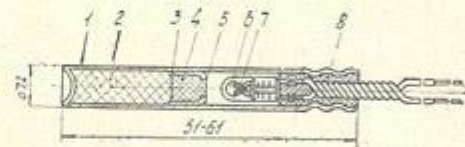


Рис. 8. Конструкция электродетонатора мгновенного действия:

1 — гильза; 2 — тетрил; 3 — колпачок; 4 — азид свинца; 5 — шелковая сетка; 6 — зажигательный состав; 7 — электровоспламенитель; 8 — пластиковая пробка

первично и вторично инициирующих составов, электровоспламенителя, проводника и пластиковой пробочки. Кумулятивное углубление в детонаторе служит для усиления инициирующего действия его при взрыве. Чашечка обеспечивает безопасную технологию во время снаряжения детонатора инициирующими составами, уменьшает опасность при перевозке и обращении с ними на местах.

Электровоспламенитель представляет собой два очищенных концевика, к которым припаян или приштампован мостик накаливания из тонкой нихромовой, платино-иридиевой или реже константановой проволоки длиной до 5 мм и диаметром около 0,025—0,03 мм. Сопротивление мостика накаливания колеблется от 0,7 до 2,0 ом в зависимости от длины и материала нити накаливания. На мостик наносят каплю воспламенительного состава из двух слоев. Первый слой приготовлен из смеси роданового свинца, бертолетовой соли (по 50 вес. ч.) и клея (4%-ный нитролак); второй слой — из 78 весовых частей бертолетовой соли и 22 весовых частей древесного угля. Склеивающим веществом служит 26-процентный водный раствор обычного столярного клея.

Назначение электровоспламенителя состоит в том, что при пропускании электрического тока по проводникам происходит накаливание мостика, вследствие чего воспламеняется состав капли, от которой взрываются первичный и вторичный составы детонатора. Характеристика электродетонаторов мгновенного действия приведена в таблице 7.

Характеристика электродетонаторов мгновенного действия

Марка электродетонатора	Сопротивление электродетонатора, ом	Время срабатывания, м/сек.	Максимальный импульс воспламенения, м·сек·а ²	Область применения	Оптовая цена 1 тыс. шт., руб.
ЭД-8-Э	1,6—4,2	2,0—6,0	2	Для взрывных работ в обводненных условиях	99—123
ЭД-8-Ж (ГОСТ 9089—63)	2,9—9,5	2,0—10,0	2,5	То же	—
ЭД-П (ГОСТ 9089—63)	0,9—1,5	—	4,0	Для взрывных работ в обводненных условиях	101—138
ЭД-8-ЭПС (ГОСТ 9089—63)	2,0—4,2 эк; 1,6—3,6 жк	2,0—10,0	2,5	Для взрывных работ, опасных по газу	93—129
ЭД-8П (ГОСТ 9089—63)	2,0—4,2 эк; 1,6—3,6 жк	2,0—10,0	2,5	Для сейсмических работ	78
ЭД-С (ГОСТ 9089—63)	2,9—9,5 жк	—	—	Для взрывных работ на открытых и подземных разрывах, кроме шахт, опасных по газу и пыли	—
ЭД-Б (ГОСТ 9089—63)	1,5—3,0	2,0—6,0	2,5	Для инициирования переломных зарядов ПЖВ-20 в шахтах, опасных по газу и пыли	89—131
ЭД-8-ПМ (МРТУ 3-192-64)	2,0—4,2 эк; 1,6—3,6 жк 2,9—9,5 жк	2,0—6,0	2,5	—	—

Примечания: 1. ЭД — предназначаются для применения в местах, опасных по газу и пыли; эк — эластичное крепление мостика; жк — жесткое крепление мостика. 2. Диаметр мостика 0,03 мм. 3. Диаметр жилы из меди 0,5, из стали луженой 0,6 мм. 4. Безопасный ток 0,18 а. 5. Минимальный импульс воспламенения для электродетонатора марки ЭД-П 0,7 м·сек·а², для остальных электродетонаторов (кроме ЭД-С) 0,6 м·сек·а². 6. Изоляция жилы электродетонатора марки ЭД-8-ЭПС хлопчатобумажная, остальных — полихлорвиниловая. 7. Мостик электродетонатора ЭД-П платино-иридиевый, остальных — никром.

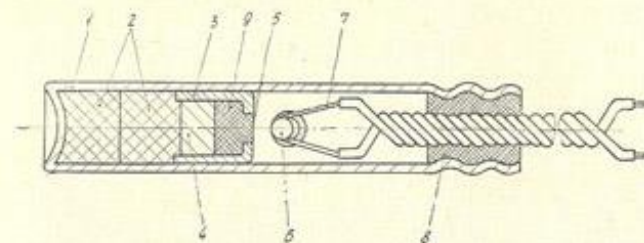


Рис. 9. Конструкция электродетонатора замедленного действия:
1 — гильза; 2 — тетрил; 3 — колпачок; 4 — азид свинца; 5 — шелковая сетка; 6 — зажигательный состав; 7 — электровоспламенитель; 8 — пластиковая пробка; 9 — замедляющий состав

Электродетонатор замедленного действия (рис. 9) отличается от электродетонатора мгновенного действия тем, что между электровоспламенителем и первичным инициирующим взрывчатым веществом впрессован столбик замедляющего вещества. Как только накалится мостик накалывания, капля воспламенительного состава воспламеняется, от ее вспышки загорается замедляющий состав, который воздействует на первичное и вторичное инициирующие взрывчатые вещества и вызывает взрыв детонатора. Время замедления определяется временем сгорания замедляющего состава и зависит от плотности и длины столбика замедляющего состава. Характеристика электродетонаторов замедленного действия приведена в таблице 8.

Электродетонаторы, независимо от свойств замедления, взрываются безотказно от постоянного тока силой 1 а при последовательном соединении и от переменного тока силой 1 а при параллельном соединении. При последовательном соединении сила переменного тока должна быть не менее 3а. Совместное применение электродетонаторов с медными и стальными проводами в одной цепи возможно только при последовательном соединении.

По требованию потребителей электродетонаторы могут поставляться со специальными контактными зажимами (МРТУ 3-41—63) для надежного соединения проводников при монтаже взрывной цепи, которые применяют следующим образом. Два зачищенных проводника от двух электродетонаторов (рис. 10, а) скручивают между собой двумя-тремя витками (рис. 10, б) и вставляют в отверстие зажима (рис. 10, в), который затем вручную перегибают на 180° (рис. 10, г). Электродетонаторы всех типов (кроме ЭД-8-ЭПС) водостойки, так как изготавливаются герметичными и предназначены для взрывных работ в сухих и обводненных местах. При правильном обращении электродетонаторы всех марок безопасны. Гарантийный срок хранения их 1,5 года. При хранении свыше 1,5 года электроде-

Таблица 8

Характеристика электродетонаторов замедленного действия

Марка электродетонатора	Номер замедления	Время замедления		Оптовая цена за тыс. шт., руб.
		м/сек.	сек.	
ЭД-КЗ (МРТУ 3-9-62)	1	25	—	89—131
	2	50	—	
	3	75	—	
	4	100	—	
	5	150	—	
	6	250	—	
ЭД-ЗД (МРТУ 3-9-62)	1а	35	—	138—162
	2а	70	—	
	3а	110	—	
	7	—	0,5	
	8	—	0,75	
	9	—	1,0	
ЭД-КЗ-15 (СТУ 79-1389-64)	10	—	1,5	133—139
	11	—	2,0	
	12	—	4,0	
	13	—	6,0	
	14	—	8,0	
	15	—	10,0	
ЭД-КЗ-ПМ-25 (МРТУ 3-192-64)	1Н	15	—	107—142
	2Н	30	—	
	3Н	45	—	
	4Н	60	—	
	5Н	75	—	
	6Н	90	—	
Д-КЗ-ПМ-15 (МРТУ 3-192-64)	7Н	105	—	107—142
	8Н	120	—	
	1П	25	—	
	2П	50	—	
	3П	75	—	
	4П	100	—	
	1ПМ	15	—	107—142
	2ПМ	30	—	
	3ПМ	45	—	
	4ПМ	60	—	
	5ПМ	75	—	
	6ПМ	90	—	
	7ПМ	105	—	
	8ПМ	120	—	

Примечания. 1. Материал мостика накалывания нихром, диаметр его 0,03 мм.

2. Жилы электродетонаторов ЭД-КЗ; ЭД-ЗД из меди с полихлорвиниловой изоляцией. Остальных электродетонаторов — из меди или стали с полихлорвиниловой изоляцией, диаметр жилы 0,5 мм.

3. Предельное сопротивление электродетонаторов ЭД-КЗ, ЭД-ЗД составляет 2,0—4,2 ома. Остальных электродетонаторов с медной жилой 1,6—3,8, жк, 2,0—4,2, эк, со стальной 2,9—9,5, жк, в зависимости от длины проводов (жк, эк — крепление жесткое и эластичное).

4. Время срабатывания электродетонатора ЭД-ВЗ до 12 м/сек, остальных 2,0—4,2.

5. Безопасный ток электродетонаторов 0,18 а.

6. Импульс воспламенения электродетонатора ЭД-ЗД составляет 0,6—3,0 м·сек·а², остальных — 0,6—2,5.

детонаторы должны быть повторно испытаны на соответствие требованиям ГОСТа 6454—62, ГОСТа 9089—63 или действующих технических условий.

Детонирующий шнур (рис. 11) применяется как самостоятельное средство взрывания и в качестве дублирующего элемента (при электрическом взрывании) при массовых взрывах на выброс и предназначен для передачи и возбуждения детонации ВВ.

Сердцевина детонирующего шнура состоит из высокобризантированных прессованных инициирующих ВВ (тетрила, гексогена или гремучей ртути), навеска которых составляет 12—13 г на 1 м шнура. Оплетка детонирующего шнура трехслойная хлопчатобумажная, средний и наружный слой покрывают влагоизолирующей

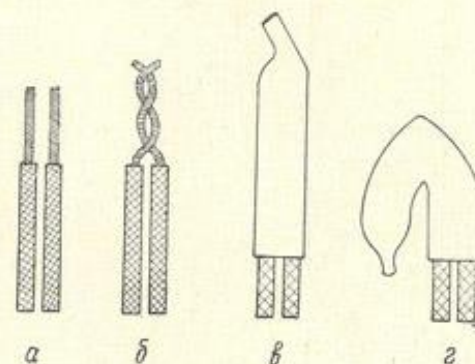


Рис. 10. Соединения проводов электродетонаторов с помощью зажима: а—г — последовательность операций

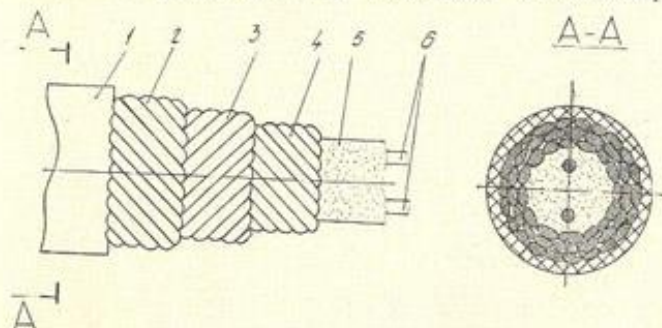


Рис. 11. Детонирующий шнур: 1 — изолирующая оболочка; 2—4 — спиральные оплетки; 5 — сердцевина шнура (ТВН); 6 — направляющие нити

массой, предохраняющей взрывчатую сердцевину от увлажнения и механических повреждений. При наружной температуре выше +30°C сети из детонирующих шнуров (ДША и ДШБ) должны прикрываться от действия солнечных лучей. Детонирующий шнур легко и безопасно резать острым ножом на деревянной доске.

Характеристики детонирующих шнуров приведены в таблице 9.

Характеристика детонирующих шнуров (по ГОСТу 6196—68)

Марка	Диаметр бухты, мм	Длина ДШ	Вес ВВ на 1 м	Скорость детонации, м/сек	Допускаемая температура, град. С	Показатели наружной упаковки	Допускаемое время хранения в воде, суток	Гарантийный срок хранения, годы
ДШ-А	4,8—5,8	50 или 100	12,0	6500	от —28 до +50	Водонепроницаемая мастика	12	2
ДШ-Б	4,8—5,8	50 или 100	12,5	6500	до +50	То же	24	5 в герметичной упаковке
ДШ-В	5,5—6,1	50 или 100	13,0	6500	до +50	Полихлорвиниловый пластикат	24	3. То же 10
ДШТ-165	6	—	14—16	7000	до +165	Полнетиленовая оболочка	—	5
ДШТТ-180	7,2—9,2	—	45—50 74—80	7500	до +180	Таблетки гексогена в обертке из фольгистовой ленты и в полиэтиленовой оболочке	—	5
ДШТТ-220	9,2	—	74—80	7000	до +220	То же	—	5
ДШУ-33	10,5	—	84—90	7000	до +100	В полихлорвиниловой оболочке	Более 24	5
ВДШМ-3	3,2	—	33	6000	от —50 до +50	То же	15	5

Примечание. ДШ-А имеет белый цвет с одной или двумя красными нитями, остальные марки ДШ имеют красный цвет.

Хранить детонирующий шнур рекомендуется в сухом месте, защищая от действия прямых солнечных лучей и высокой температуры, оберегая от резких ударов. Детонирующий шнур поставляется в бухтах по 50 м. В одном стандартном ящике помещается 12 бухт.

Для инициирования аммиачно-селитренных, нитроглицериновых ВВ детонирующий шнур применяется без капсюля-детонатора. С целью устойчивой детонации зарядов ВВ в боевик вводят детонаторы и детонирующий шнур, конец которого завязывают в компактный узел.

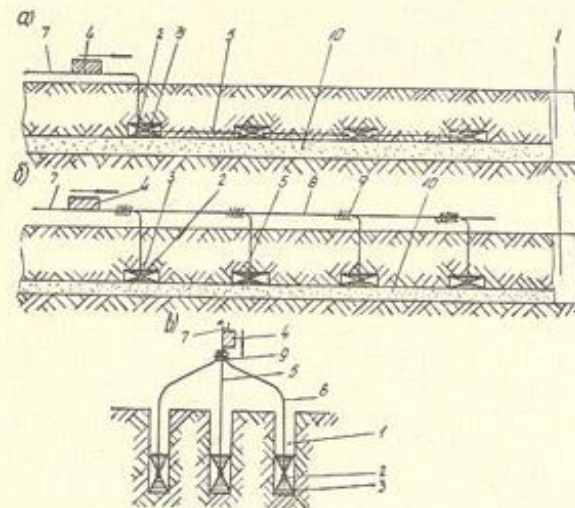


Рис. 12. Схемы соединения отрезков детонирующих шнуров:

а — последовательное; б — параллельное; в — пучковое; 1 — траншея или скважина; 2 — узел из детонирующего шнура; 3 — заряд ВВ; 4 — капсюль-детонатор; 5 — соединитель из детонирующего шнура; 6 — соединитель из детонирующего шнура; 7 — огнепроводный шнур; 8 — магистральная линия из детонирующего шнура; 9 — места соединения концов детонирующего шнура с магистральной линией (стрелками показано направление детонационной волны); 10 — заряд простейших ВВ типа пгданита.

Существуют три типа соединения детонирующих шнуров (рис. 12): последовательное, параллельное и пучковое. При параллельном и пучковом соединении концевики детонирующего шнура присоединяют к магистрали или отрезки шнура соединяют между собой внакладку или внакрутку под острым (рис. 13, а, б) или прямым углом (рис. 13, в, г). Места соприкосновения шнуров обвязывают изолирующей лентой. На рисунке 14 показано часто применяемое соединение детонирующего шнура внакрутку. Концевики и отрезки детонирующего

шнура должны быть соединены таким образом, чтобы их торцы были направлены в сторону действия детонационной волны. Отрезки детонирующего шнура должны довольно плотно прилегать друг к другу и к магистральному шнуру, что обеспечивает безотказность взрывания. Во время монтажа сети после введения шнура в заряд ВВ не рекомендуется шнур резать ножом.

Пиротехнические замедлители (рис. 15) применяются для создания миллисекундных замедлений при взрывании детонирующим шнуром. Пиротехнические замедлители (детонационные реле) позволяют создавать замедления на магистральных линиях детонирующего шнура как для группы зарядов, так и для отдельного заряда. Благодаря КЗДШ заряды ВВ взрываются в определенной последовательности и через определенные интервалы времени. Пиротехниче-

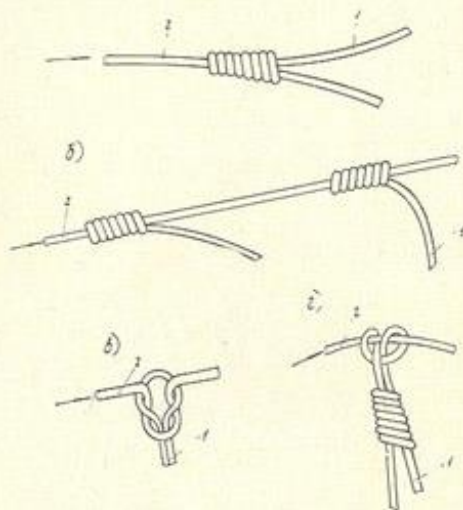


Рис. 13. Схемы соединения детонирующего шнура с магистральной линией:
а, б — под острым углом; в, г — под прямым углом (морским узлом);
1 — отрезок детонирующего шнура; 2 — магистральная ветвь детонирующего шнура (стрелками показано направление детонационной волны от инициатора)

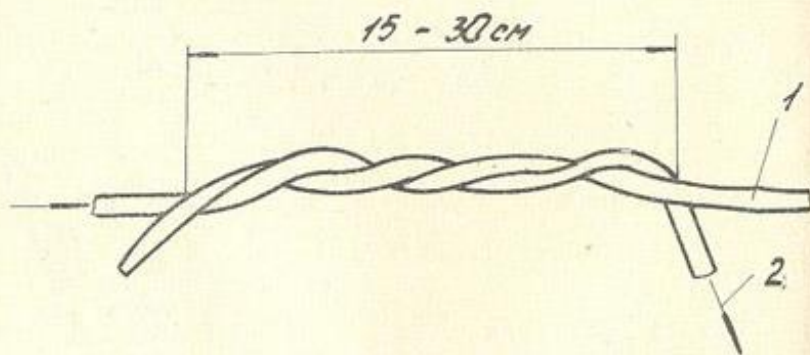


Рис. 14. Схема соединения детонирующего шнура анакротку:
1 — магистральная ветвь из детонирующего шнура; 2 — отрезок детонирующего шнура (стрелкой показано направление детонационной волны)

кое детонационное реле КЗДШ-58 (рис. 15, а) состоит из бумажной трубки, содержащей в себе замедляющий элемент (капсюль-детонатор и пиротехнический замедлитель). Пиротехнический замедлитель представляет собой металлическую гильзу со специальным составом из окиси меди и алюминиевой пудры. При помощи алюминиевых колпачков (4) по обеим сторонам трубки закрепляются два отрезка детонирующего шнура (5): один длиной 350, а другой — 150 мм.

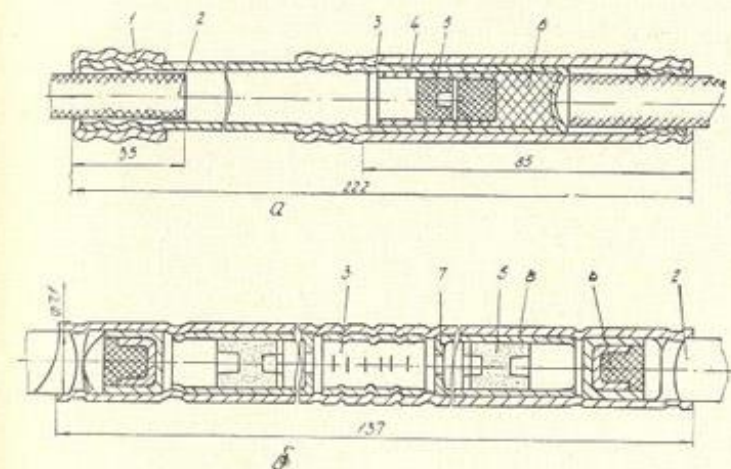


Рис. 15. Схема пиротехнических замедлителей:

а) КЗДШ-58; б) КЗДШ-62-2;
1 — наконечник; 2 — шнур детонирующий; 3 — гильза; 4 — трубка бумажная;
5 — замедлитель; 6 — капсюль-детонатор; 7 — промежуточный колпачок; 8 — трубка металлическая

Срез короткого отрезка детонирующего шнура вставлен в капсюль-детонатор. Замедляющий элемент закреплен в трубке фиксатором. Между длинным отрезком шнура и капсюлем-детонатором с замедлителем остается пустое пространство длиной 100 мм. На поверхности бумажной гильзы черной краской нанесены стрелка и цифры, указывающие направление детонации реле и время замедления в миллисекундах. Реле включают в разрыв сети детонирующего шнура в соответствии со стрелкой, указывающей направление детонации.

Пиротехнический замедлитель КЗДШ-58 (ВТУ № 916—60) выпускается с четырьмя ступенями замедления:

Замедление, м.сек. 10 20 25 50

Разброс времени срабатывания, м.сек. ± 4 ± 5 ± 7 ± 7

Пиротехнические реле двустороннего действия КЗДШ-62-2 (рис. 15, б) представляют собой металлическую трубку длиной 138 и диаметром 7,1 мм, в которую помещены два промежуточ-

ных колпачка, два пиротехнических замедлителя и два капсюля-детонатора. В обоих концах трубки закреплены отрезки детонирующего шнура длиной до 250 мм. Реле выпускается трех ступеней замедления, отличающихся цветом средней части трубки:

Замедление, м сек.	10	20	35
Разброс времени срабатывания, м-сек.	± 4	$\pm 5-6$	± 7
Цвет средней части трубки	Красный	Черный	Зеленый

Наличие двух капсюлей-детонаторов в реле обеспечивает безотказную передачу детонации в любом направлении. КЗДШ-62-2 рассчитаны для работы при температуре $+50$, -30°C . Они нормально срабатывают после двухчасовой выдержки в воде на глубине 1 м. Путем последовательного включения реле могут быть получены любые интервалы замедлений.

На рисунке 16 показана схема короткозамедленного взрыва зарядов детонационным реле.

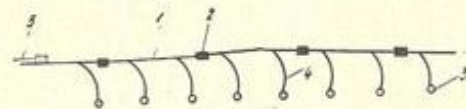


Рис. 16. Схема расположения детонационных реле при массовых взрывах скважинных зарядов:

1 — магистральный детонирующий шнур; 2 — детонационное реле; 3 — скважина; 4 — отрезок детонирующего шнура; 5 — зажигательная трубка

рантия взрыва зарядов в заданной очередности, тогда как при применении электродетонаторов короткозамедленного действия включение в магистральную линию неисправного детонатора или детонатора с другим интервалом замедления приводит к нарушению очередности взрыва или к отказам вследствие утечки тока.

Основной недостаток детонационных реле — высокая стоимость по сравнению с другими средствами короткозамедленного взрывания. Отпускная цена 1000 шт. КЗДШ-58 — 245 руб., КЗДШ-62 — 2—120 руб.

Огнепроводный шнур (рис. 17) служит для передачи за определенный промежуток времени искрового луча капсюлю-детонатору или пороховому заряду. Огнепроводный шнур состоит из хлопчатобумажной оплетки с гидроизоляционной прослойкой и слабо спрессованной сердцевины из зерен дымного (шнурового) пороха (78% селитры калиевой, 12% серы и 10% древесного угля), сквозь который проходит направляющая нить. Влажность пороха не должна превышать 1%. В зависимости от гидроизоляции шнуры различают: огнепроводный асфальтированный — ОША, огнепроводный двойной асфальти-

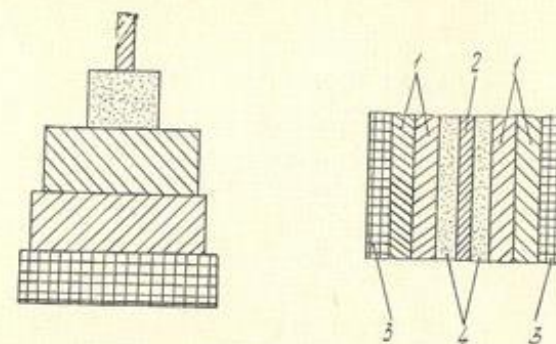


Рис. 17. Разрез огнепроводного шнура:

1 — льняные оплетки; 2 — направляющая нить; 3 — пластиковая оболочка; 4 — шнуровой порох

рованный — ОШДА, огнепроводный с пластиковым покрытием — ОШП.

Пластиковый огнепроводный шнур применяется на взрывных работах в обводненных условиях, асфальтированный огнепроводный шнур — во влажных и сухих условиях, двойной асфальтированный — в мокрых местах. Средняя скорость горения нормально горящих огнепроводных шнуров составляет 1 см/сек. В таблице 10 приведена характеристика огнепроводных шнуров.

Таблица 10

Характеристика огнепроводных шнуров (по ГОСТ 3470—70)

Марка	Гидроизолирующее покрытие	Диаметр, мм	Число оплеток	Материал наружного покрытия	Применение в среде	Гарантийный срок годности, годы
ОША	Асфальтированное	4,8—5,8	3	Водонепроницаемая мастика, опудренная	Влажной и сухой	1
ОШДА	Двойное асфальтированное	5—6	4	То же	Обводненной, влажной и сухой	5
ОШП	Пластиковое	5—6	3	Пластиковая масса	То же	5

Огнепроводный шнур используется при температурах $+45$ до -25°C . Во избежание слипания наружных оболочек в бухтах разрешается хранение огнепроводного шнура при температуре до $+30^\circ \text{C}$. Единными правилами безопасности при взрывных работах и ГОСТом 3470—55 предусмотрено, что время горения отрезка огнепроводного шнура длиной 60 см должно быть не менее 60 и не более 70 сек.

Для зажигания огнепроводного шнура используются тлеющие фитили и зажигательные патроны.

Тлеющий фитиль представляет собой пучок льняных или хлопчатобумажных пропитанных селитрой нитей, заключенных в плотную хлопчатобумажную оплетку. Фитиль зажигают спичкой, после чего он тлеет с определенной скоростью. В таблице 11 приведена характеристика тлеющих фитилей.

Таблица 11

Характеристика тлеющих фитилей		
Вид фитиля	Диаметр, мм	Время тления отрезка длиной 25 см, мин.
№ 1а льняной, № 1б хлопчатобумажный	Не менее 6	25—30
№ 2 хлопчатобумажный	8—9	37—62

Зажигатели огнепроводного шнура делятся на три группы: электрозажигатели огнепроводного шнура, электрозажигательные патроны и зажигательные патроны (таблица 12).

Таблица 12

Характеристика электрозажигательных и зажигательных патронов				
Число вмещающихся отрезков огнепроводного шнура	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	Цена за 1000 шт. патронов и таре, руб.	
			электрозажигательных	зажигательных
1—7	16	50—60	136	42
8—12	24	—	141	43
13—19	30	70—80	150	48
20—27	35	80—90	154	51
28—38	43	90—100	160	55

Примечание. Состав пороховой лепешки следующий, проц: канн-фоль — 9—9,5, парафин — 4,5—5,0, дымный порох — 85—86.

Электрозажигатели огнепроводного шнура ЭЗ-ОШ-Б (ОПТУ 76—61) (рис. 18) применяются для поджигания каждого в отдельности отрезка огнепроводного шнура в сухих и влажных местах. Применяются при большом числе последовательно взрывааемых зарядов, когда с помощью электрозажигателей зажигаются различной длины отрезки огнепроводного шнура, регулирующие последовательность срабатывания зажигательных патронов.

Электрозажигатель состоит из зажигательного узла, медной гильзы и электровоспламенителя. Зажигательный узел состоит из огнепроводного шнура и промежуточного воспламенителя (15 вес. ч. силикокальция и 85 вес. ч. свинцового сурика). В гильзу с чашечкой со стороны запального отверстия встав-

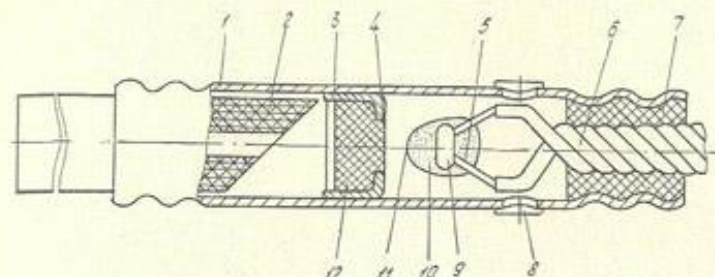


Рис. 18 Электрозажигательная трубка ЭЗТ-2:

1 — гильза; 2 — огнепроводный шнур; 3 — чашечка; 4 — кружок; 5 — мостик накаливания; 6 — провод; 7 — пробка; 8 — калка; 9 — воспламенительный состав; 10 — зажигательный состав; 11 — нитролак; 12 — передаточный состав.

ляют электровоспламенитель ЭД-КЗ; с другой стороны гильзы вставляют до упора с чашечкой огнепроводный шнур, срезанный под углом к оси. Срабатывает электрозажигатель от постоянного тока 1 а и переменного 2,5 а.

Упаковываются электрозажигатели по 20—40 шт. в картонные коробки, укладываемые в деревянные ящики.

Электрозажигательные патроны ЭЗП-Б (ОПТУ 74—61) (рис. 19) предназначены для поджигания пучка огнепроводных шнуров в сухих и влажных местах при группо-

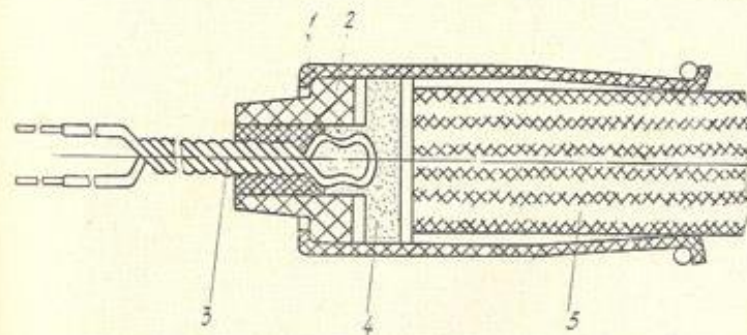


Рис. 19. Разрез патрона электрозажигателя ЭЗП-Б:

1 — гильза; 2 — втулка; 3 — электровоспламенитель; 4 — состав зажигательный; 5 — шнуры огнепроводные.

вом зажигании. Это бумажные гильзы, с одной стороны которых находятся электровоспламенитель и лепешка зажигательного состава, к которой примыкают отрезки огнепроводного шнура. Лепешка воспламеняется от накаливания проводочки электрическим током.

Зажигательный состав патрона изготовляют из сплава: 5% канифоли, 10% парафина и 85% дымного пороха. Пучок огнепроводных шнуров, введенных в гильзу патрона, крепится специальным зажимом, или гильзу перевязывают шпагатом. При воспламенении состава от первоисточника одновременно воспламеняются концы всех огнепроводных шнуров, которые передают огонь по каналу пороховой сердцевинки капсюлем-детонатором, инициирующим каждый заряд ВВ в отдельности.

Зажигательные патроны ЗП-Б (ОПТУ-75—61) предназначены для поджигания с помощью огнепроводного шнура пучка концов огнепроводного шнура в сухих и влажных местах при огневом взрывании. Отличается от электрозажигательных патронов тем, что для воспламенения зажигательного состава вместо электровоспламенителя в нем используют отрезок огнепроводного шнура, который зажигается тлеющим фитилем или электроогневым способом (электрозажигательной трубкой).

Источники тока для электровзрывания. В качестве источников тока используются взрывные машины, батареи из аккумуляторов или элементов, электроосветительные или электросиловые линии.

Существует четыре типа взрывных машинок: динамоэлектрические, магнитоэлектрические, высокочастотные и конденсаторные. В настоящее время наибольшее распространение получили конденсаторные и динамоэлектрические взрывные машинки. В конденсаторных взрывных машинках источником электрической энергии служит заряженный конденсатор, который заряжается непосредственно от индуктора. Действие конденсатора взрывных машинок основано на чрезвычайно быстрой (в несколько миллисекунд) отдаче в сеть накопленной в конденсаторе электрической энергии большой мощности. В таблице 13 приведены характеристики конденсаторных взрывных машинок. В динамоэлектрических взрывных машинках источником тока служит генератор, который приводится во вращение пружиной или рукой. Эти машинки применяются в основном для взрывания сети с последовательно соединенными электродетонаторами. Импульс тока, посылаемый динамоэлектрической машинкой во внешнюю взрывную сеть, определяется сопротивлением электродетонаторов, магистральных и распределительных проводов. Наиболее распространенными считаются динамоэлектрические машинки марок ПМ-1 и ПМ-3, ГОСТ 5462—50.

Измерительные приборы. Для подбора электродетонаторов по сопротивлению, проверки его и электровзрывной сети существуют различные приборы, характеристики которых приведены в таблице 14.

Таблица 13

Характеристики конденсаторных взрывных машинок

Наименование показателей	Единица измерения	Конденсаторные индуктивные						ВВ, кг	Конденсаторные (батареи и аккумуляторы)			
		ВМК-1, 45	ВМК-1, 100	КПМ-1	КПМ-2	ВМК-500			ВМК-1, 30	КПМ-1, 100	СВМ-1	ВМК-60/100, ВМК-100/200
Напряжение на конденсаторе	В	40	600	1500	1500	3000	—	—	120	600	230	500/120
Номинальная емкость конденсатора накопителя	мкФ	10	8	2	6	20	—	—	120	10	—	20/5
Допустимое сопротивление последовательной взрывной сети	Ом	160	300	400	900	2050	700	700	90	380	150	300/600
Количество детонаторов марки ЭДКЗ и других аналогичных детонаторов, взрывающих в последовательной взрывной сети	шт.	50	100	130	300	800	20	20	30	100	30	130/100
Время подачи воспламенительного импульса	м.сек.	2—4	2—4	Не ограничивается	3	3	2—4	2—4	2—4	2—4	Не ограничивается	2—4
Источник тока		Индуктор	—	—	—	Индуктор	Сухая батарея 120 В	Сухая батарея 120 В	Три сухих элемента "Сатурн"	Сухая батарея на 230 В	Сухая батарея на 230 В	Три сухих элементов "Сатурн"
Вес машинки	кг	2,2	2,4	1,6	6,0	6,5	2,7	2,7	1,9	1,9	5,5	2,3/4,1
Температура воздуха	град.	—10 до +30	—10 до +30	—40 до +45	—40 до +45	—40 до +50	—15 до +40	—15 до +40	—10 до +30	—15 до +35	—10 до +40	—10 до +30

Техническая характеристика контрольно-измерительных приборов

Прибор	Назначение	Пределы измерения, см	Величина погрешности, проц.	Условия применения, град.	Вес, кг	Источник тока
Линейный взрывной мостик ПМ-48	Измерение сопротивления электродетонаторов и электровзрывных сетей	0,2—50 20—5000	± 5	-40— +50	1,5	Гальванический элемент 1-КСХ-3 или 1-КСУ-3
Испытатель взрывной цепи ИВЦ-1	Проверка проводимости и сопротивления электродетонаторов и электровзрывных сетей	до 200	± 10	-10— +30	1,6	Гальваническая батарея 6,5 МНЦГ 0,015 а.час.
Пьезоэлектрический взрывной испытатель ВНО-3	Проверка проводимости электродетонаторов и электровзрывных сетей	до 100	—	-10— +30	до 0,55	Пьезоэлемент керамический ПК-1
ИВЦ-2	Измерение проводимости электровзрывных сетей	0—500	± 10	-10— +30	0,4	Малогабаритная батарея 7МНЦГ 0,06 а.час.
Малый омметр М-57	Измерение проводимости и определение сопротивления электродетонаторов и взрывных сетей	0—500	± 5	-40— +50	0,3	КБС-15
	Измерение проводимости взрывных сетей, проверка целостности изоляции проводов	0— ∞	—	-40— +50	0,15	Фотоэлемент

Способы взрывания

При строительстве каналов и коллекторов энергией взрыва применяются в зависимости от времени взрывания следующие способы: замедленный, мгновенный и короткозамедленный.

Способы взрывания зарядов взрывчатого вещества характеризуются средствами взрывания и последовательностью взрывания отдельных зарядов. Различают в основном три способа взрывания в зависимости от средств: электрический, огневой и детонирующим шнуром. Взрывание зарядов при помощи детонирующего шнура производится совместно с электрическим или огневым способом.

При применении указанных способов используются следующие средства и принадлежности взрывания:

электрический — электродетонаторы, проводники, источники электрического тока и контрольно-измерительная аппаратура;

огневой — капсюль-детонатор, огнепроводный шнур и средства зажигания огнепроводного шнура;

взрывание детонирующим шнуром — детонирующий шнур, электродетонаторы (или детонаторы и огнепроводный шнур).

Замедленное взрывание. Под замедленным взрыванием понимают взрывание зарядов с таким интервалом замедления, когда действие последующего заряда начинается по окончании действия предыдущего. В этом случае никакого взаимодействия ударных волн не происходит, и каждый взрыв можно рассматривать как одиночный. Преимуществом замедленного взрывания является создание дополнительных свободных поверхностей и обеспечение работы последующих зарядов, большой отрыв грунта от массива, обеспечение возможности управления направлением перемещения грунта. Нижний предел замедленного взрывания 150—200 м·сек., верхний 2 сек. и более. Замедление происходит с помощью электродетонаторов замедленного действия при электрическом способе взрывания и от применения отрезков огнепроводного шнура различных длин при огневом способе. При замедленном взрывании применяют также электрозажигательные трубки ЭЗТ-1 и ЭЗТ-2 и зажигательные патроны ЭЗП, создающие большое количество интервалов замедления.

Мгновенное взрывание. Под мгновенным взрыванием понимают такое взрывание, когда все заряды или группа зарядов взрываются одновременно. При строительстве каналов этот способ применяется в случаях направленных массовых взрывов на выброс. Мгновенное взрывание осуществляется при помощи электродетонаторов мгновенного действия или детонирующего шнура. При мгновенном взрывании основное действие взрыва проявляется по линии наименьшего сопротивления. Все заряды взрываются в одинаковых первоначальных условиях.

действие взрыва заряда в сторону соседнего заряда равносильно одиночному взрыванию, так как в процессе развития взрыва не образуется новая дополнительная свободная поверхность.

Короткозамедленное взрывание. Под короткозамедленным взрыванием понимают взрывание зарядов с таким интервалом замедления, когда действие последующего заряда начинается раньше, чем прекратилось действие предыдущего. При короткозамедленном взрывании реализуются преимущества замедленного и мгновенного взрывания. Нижний предел короткозамедленного взрывания 10—25 м·сек., верхний 150—200 м·сек.

Короткозамедленное взрывание осуществляется электродетонаторами короткозамедленного действия и пиротехническими замедлителями КЗДШ. Электродетонаторы короткозамедленного действия можно помещать непосредственно в заряды или прикреплять к отрезкам детонирующего шнура, соединяющего группу зарядов. Пиротехнические реле КЗДШ включают в разрыв сети детонирующего шнура путем присоединения внакладку концов ДШ реле к сети ДШ.

При короткозамедленном взрывании большая часть энергии взрыва расходуется на дробление и отрыв грунта, так как работа каждого последующего заряда происходит в массиве, находящемся в напряженном состоянии от предыдущего взрыва. При этом способе создаются условия эффективного разрушения среды не при помощи открытого вруба, а в результате взаимодействия зарядов внутри массива.

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРАКУМСКОГО КАНАЛА ИМ. В. И. ЛЕНИНА В ТУРКМЕНСКОЙ ССР, А ТАКЖЕ КАНАЛОВ И КОЛЛЕКТОРОВ В БРАТСКИХ РЕСПУБЛИКАХ

Методы ведения взрывных работ

При строительстве каналов и коллекторов в зависимости от формы, величины и способа размещения заряда применяют метод камерных, котловых, шпуровых, скважинных и горизонтальных удлиненных зарядов выброса.

При методе камерных зарядов выброс грунта производится взрывом сосредоточенных зарядов большого веса, достигающих десятков и даже сотен тонн, помещаемых в специальные выработки-камеры. Этот метод применяют при взрывах на выброс крупного масштаба. Низкая степень механизации работ по проходке камер и в связи с этим большие затраты труда на подготовительные работы ограничивают применение этого метода.

При камерном размещении зарядов вдоль предлагаемой вы-

емки на определенном расстоянии друг от друга устраивают вертикальные выработки — шурфы, в основном прямоугольного сечения $0,8 \times 1,2$, $1,0 \times 1,2$, $1,2 \times 1,2$ м и круглого сечения диаметром 0,8 и более. Из шурфа через ходки или в нижней части его проходят камеры кубической или параллелепипедной формы. В большинстве случаев число шурфов равно числу зарядов, так как расстояние между шурфами (камерами) намного больше глубины заложения камер и, следовательно, проходка из одного шурфа двух камер нецелесообразна. Однако при необходимости создания выемок значительной ширины понизу, а также при работе в водонасыщенных грунтах проходка двух или нескольких камер из одного шурфа технически и экономически оправдывается. В таких случаях сокращается проходка вертикальных шурфов, являющихся более трудоемкой и длительной операцией, чем проведение горных ходков к камерам. Как показывает практика, значительную ширину выемки понизу можно получить при однорядном расположении шурфов. В этом случае для обеспечения заданной ширины понизу заряды размещают в так называемых развернутых камерах.

При массовых взрывах с небольшими зарядами выброса распространено центральное расположение камер относительно шурфа. Для этого нижнюю часть шурфа расширяют и придают ей грушевидную форму или в виде усеченного конуса. Часто заряд выброса располагают непосредственно в нижней части шурфа.

Объем зарядной камеры подсчитывают по формуле:

$$V = \frac{C}{\Delta} K,$$

где C — масса заряда выброса (определяется по формуле Борескова);

Δ — плотность ВВ в заряде, т/м³;

K — коэффициент, учитывающий объем крепления камеры, тары, изоляции, пустот из-за невозможности заполнения всего объема камеры.

Работами Н. В. Мельникова и Л. Н. Марченко [36—39] установлено, что целесообразно применять заряды с большими воздушными промежутками между зарядом, стенками и потолком зарядной камеры с тем, чтобы размеры камеры в несколько раз превышали размеры заряда. В этом случае резко увеличивается объем выброшенной породы. Например, при взрывах в суглинке зарядов массой 20—200 кг объем видимой воронки взрывов в зависимости от конструкции заряда увеличивается на 23—46%. Удельный расход ВВ на 1 м³ выброшенного грунта при этом уменьшается на 23—35%.

В качестве примера можно привести организацию взрывных работ с однорядным расположением зарядов при строительстве подводящего канала в Каракалпакской АССР. Строитель-

ство подводящего канала являлось одним из звеньев строительства коллекторно-дренажной сети в объеме 100 млн. м³. Грунты по трассе канала представлены с поверхности в основном плотными суглинками мощностью 0,5—2,0 м с последующим залеганием тонкозернистых песков с прослойками суглинков. На некоторых участках канала пески выходят на поверхность. Общий уклон территории ~ 0,001. Уровень грунтовых вод находится ниже проектного дна канала.

По геологическому строению и влажности пород трассу канала можно разделить на участки с обводненными грунтами и с сухими грунтами.

Техническим заданием обуславливается выброс не менее 80% грунта при прокладке канала шириной по дну 5 м, заложении откосов 1 : 2, глубиной 2,0—4,5 м.

При строительстве канала был применен метод взрыва на выброс сосредоточенными зарядами, расположенными в один ряд по оси канала как наиболее рациональный при заданных параметрах канала.

Заглубление центра заряда было принято из условия, что при показателе выброса $n=2$ ширина дна канала $B=5$, то есть

$$\frac{B}{2n} = \frac{5}{4} = 1,25.$$

Таким образом, ЛНС каждого заряда определяется путем прибавления к глубине канала H величины заглубления центра заряда ($W=H+1,25$).

Заряды размещали в шурфах диаметром 0,85 м, для проходки которых использовали станки КШК-30А. В неустойчивых грунтах шурф проходили вручную. Стенки шурфа не крепили. При проходке в водонасыщенных грунтах до проектной отметки часть шурфа, расположенная на уровне грунтовых вод, заплывала. Поэтому пришлось приподнять центр заложения заряда выше уровня грунтовых вод, учитывая хорошую простреливаемость суглинистых грунтов. В результате видимая глубина воронки была больше глубины заложения заряда.

В качестве ВВ применяли селитру и тротил с различным соотношением в зависимости от влажности грунтов, а также шнекованный аммонит В-3.

Длину одновременно взрывааемых серий зарядов для сухих грунтов определяли, исходя из условий местности: одну серию в 500 м и две по 1500 м; для влажных грунтов устанавливали из условия нахождения детонирующего шнура ДШ-А в воде не более 12 час.

Магистральная сеть ДШ была разделена на секции длиной 500—700 м и инициировалась двумя последовательно соединенными электродетонаторами. Электродетонаторы каждой секции соединяли между собой в последовательную сеть.

Применение взрывного метода при строительстве подводя-

щего канала позволило в сравнительно короткий срок (15 марта — 23 апреля 1965 г.) осуществить проходку канала. При этом объем выброса грунта составил 190 тыс. м³, или 95% выброса из профильного сечения канала.

Метод котловых зарядов заключается в том, что взрывчатое вещество заряда выброса помещают в котел, образованный путем простреливания шпура или скважины небольшими зарядами взрывчатого вещества. Этот метод нашел применение в хорошо простреливаемых необводненных породах.

Применение метода котлованных зарядов исключает трудоемкий процесс по проходке шурфов и камер. Основное препятствие на пути широкого внедрения способа при больших параметрах взрывных работ — невозможность создания очень емких котлов, поскольку они оказываются неустойчивыми. В ряде случаев приходится отказываться от этого способа из-за высокой трудоемкости работ по прострелке и неустойчивости котлов.

Величина заряда для простреливания шпура или скважины зависит от крепости породы, требуемого объема котла и в каждом отдельном случае определяется опытным путем. Число прострелок зависит также от диаметра шпура или скважины. Если позволяет устойчивость скважины, число прострелок сводится до минимума. Расчет прострелочного заряда для образования котла ведут по формуле

$$C_{пр.} = \frac{C}{P_{пр.} \cdot \Delta},$$

где $C_{пр.}$ — масса заряда простреливания, кг;

C — масса основного заряда (по формуле Борескова);

$P_{пр.}$ — показатель простреливаемости породы, дм³/кг;

Δ — плотность заряжания.

Метод котловых зарядов нашел широкое применение при взрывном способе строительства водоемов. Водоемы взрывным способом можно создавать в любых районах в любое время года. При этом не требуется длительной подготовки, капитальных затрат, квалифицированной рабочей силы, сложных механизмов с обслуживающими цехами. При взрывном способе сроки строительства сокращаются по сравнению с машинным в 3—10 раз.

По техническим условиям строительства взрывным способом необходимо, чтобы объем водоема составлял 10—15 тыс. м³, ширина котлована поверху была не менее 20 м, по дну — 6—20, длина — 100—150, глубина — 10—12 м, откосы крутизной 1 : 1,5.

Наиболее простым и экономичным является однорядное расположение зарядов с показателем действия взрыва 3. Так, по сравнению с многорядным взрыванием (показатель действия взрыва 2,5) удельный расход ВВ меньше на 20—30%, причем объем проходки подготовительных выработок снижается в 3 раза.

Несмотря на значительные достоинства, однорядное расположение зарядов имеет и ряд недостатков: незначительная ширина котлована по дну и недостаточная чистота выброса, большая высота навала грунта над котлованом (достигает 3—4 м).

Для увеличения объема выброса и уменьшения высоты навала на бортах котлована применяют замедленное взрывание трех рядов зарядов, средний из которых является основным, а крайние — вспомогательными. Показатель действия взрыва для основных зарядов равен 2,5, для вспомогательных — 3. Вспомогательные заряды располагают в пределах воронки взрыва основного заряда в ЛНС; количество их в 2 раза меньше, чем основных зарядов.

При трехрядном взрывании с двумя вспомогательными зарядами объем бурения возрастает в 3 раза. Но так как взрывы по этой схеме увеличивают на 8—12% полезный объем водоема, а удельный расход ВВ не изменяется, то увеличение объема бурения не вызывает значительного удорожания работ.

Метод шпуровых и скважинных зарядов применяют для создания выемок незначительной глубины (до 3 м), заряды выброса размещают в вертикальных и наклонных шпурах и скважинах. При этих способах исключается трудоемкий процесс проходки шурфов и камер.

Устанавливая удлиненные заряды выброса, можно получить выемки с более крутыми откосами, чем при камерных зарядах. Однако они не приемлемы для получения выемок большой глубины, так как бурение скважин значительного диаметра (более 900 мм) связано с большими трудностями.

Расстояние между зарядами в ряду и рядами зарядов

$$a = b = 0,8l \sqrt{f(n)},$$

где l — глубина скважины (шпура), равная 1,1 проектной глубины выемки;

$$f(n) = 0,12 - 0,6n^3.$$

Массу заряда определяют по формуле

$$C = q l^3 (0,12 - 0,6n^3).$$

Поскольку при зарядании скважины верхняя треть длины ее используется под забойку, то необходимый диаметр

$$d = 1,38 \frac{\sqrt{C}}{\Delta \text{ изр.}} + \Delta \text{м},$$

где Δ — плотность зарядания ВВ;

$l_{\text{изр.}}$ — длина заряда (равна 0,67 длины скважины, мм).

При практическом применении метода горизонтальных удлиненных зарядов выброса важное значение имеет вопрос определения расчетных параметров взрывания. С этой целью отделом гидродинамики взрывных процессов и СКТБ Института гидромеханики были выполнены маломасштабные экспериментальные взрывы линейно-протяженных зарядов выброса [2].

Работа заключалась в следующем: по оси намечаемой выемки отрывали узкую траншею заданной глубины и на дно ее укладывали удлиненный горизонтальный заряд, затем траншею засыпали и осуществляли взрыв. При взрывании применяли капсульное инициирование зарядов.

Проведенные эксперименты показали, что взрывание горизонтальных удлиненных зарядов в узкой траншее достаточно простой, надежный и эффективный способ производства взрывных работ для получения открытых выемок. Экспериментальные работы проводили в суглинках, в тяжелых суглинках объемным весом 1,73—1,86 г/см³ и весовой влажностью 11,6—16,7% с известковым и гипсовыми включениями, в лессовидных суглинках и пластичных глинах.

Таким образом, участки экспериментальных исследований охватывали широкий диапазон грунтовых условий, почти все виды связных грунтов. Результаты некоторых взрывов приведены в таблице 15.

В качестве ВВ в опытах использовали прессованный тротил, аммонит № 6 ЖВ, зерногранулит и игданиты. Расход ВВ колебался от 1 до 32 кг/м при длине зарядов от 4 до 40 м, глубина заложения зарядов — от 0,25 до 1,8 м с различным показателем выброса.

Для сопоставимости результатов действия взрыва разных по массе зарядов был применен метод подобия, основанный на положении, что уравнения сплошной среды не изменяются при равномерном изменении масштаба длины и времени. При этом необходимыми условиями являются: постоянство свойств продуктов взрыва и неизменность характеристик среды при различных масштабах взрывов. При сопоставлении результатов взрывов параметры расположения зарядов и размеры получаемых выемок относили к единице массы (расход ВВ на 1 м) в степени $1/2$. В экспериментальных взрывах с небольшой глубиной заложения зарядов (до 10 м) принятая степень приведения достаточна. При значительном увеличении масштабов взрыва, согласно М. Д. Нордаину [45] и Г. И. Покровскому [48], эта степень уменьшается.

При экспериментальных взрывах фиксировали основные размеры образуемых взрывом выемок, а также фактические линии наименьшего сопротивления и массы зарядов. На основе этих данных вычисляли показатели действия взрыва, относительные глубины выемок, удельные расходы ВВ и другие вспомогательные характеристики. По данным вычислений строились зависимости между основными характеристиками взрывов. Преимущество рассмотренной методики обработки заключается в том, что на основе любого взрыва можно получить для анализа значительное число исходных данных.

При обработке результатов экспериментов учитывали грунтовые условия и результаты обработки относили к определен-

Результаты опытных взрывов горизонтальных зарядов выброса

Примесное ВВ	Диаметр заряда, м	Расход ВВ на 1 м длины, кг	Параметры взрыва					Площадь поперечного сечения, м²	Показатель действия взрыва	Расход ВВ на 1 м³ вывального грунта, кг/м³
			Глубина закладки заряда, м	высота, м	ширина поперечного сечения, м	ширина поперечного сечения, м	длина поперечного сечения, м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Взрывной полигон АН УССР. Суглинок, влажность 8,2—16,5%										
Тротил	0,040	2,0	0,30	0,50	2,50	—	3,80	0,62	4,16	3,22
	0,040	2,0	0,50	0,73	3,10	—	3,60	1,14	3,10	1,75
	0,040	2,0	0,70	0,8	2,6	—	3,40	1,05	1,86	1,90
	0,039	1,97	0,84	0,84	2,60	0,30	4,40	1,22	1,73	1,61
	0,080	7,86	1,35	1,75	6,50	0,30	—	5,95	2,41	1,32
	0,058	4,0	1,0	1,12	3,70	0,10	—	2,13	1,85	1,87
	0,058	4,0	1,0	1,22	4,00	0,10	—	2,54	2,0	1,57
	0,058	4,0	1,0	1,23	3,84	0,10	—	2,42	1,92	1,65
	0,058	4,0	1,0	1,13	3,60	0,10	—	3,17	1,80	1,87
	0,058	4,0	1,0	1,17	4,10	—	—	2,40	2,05	1,67
ТЭН Аммонит № 6 ЖВ Тротил	0,058	4,0	0,60	0,98	4,10	—	5,75	2,01	3,42	1,99
	0,058	4,0	0,30	1,23	4,10	—	6,15	2,52	2,28	1,59
	0,071	6,0	0,65	1,20	5,25	1,0	9,50	3,74	4,03	1,60
	0,071	6,0	1,0	1,50	5,74	0,80	8,50	4,92	2,87	1,22
	0,082	8,0	0,85	1,50	5,90	0,65	9,10	4,92	3,47	1,62
	0,082	8,0	1,35	1,75	6,48	—	10,00	5,67	2,40	1,41
Крымская область. Глина пластичная, влажность 26,0—26,5%										
Тротил	0,028	1,0	0,45	0,79	2,40	—	7,00	0,95	2,67	1,55
	0,053	4,0	0,35	0,93	4,0	—	5,40	1,86	5,71	2,15
	0,066	5,7	0,76	1,50	4,86	—	6,30	3,86	3,20	1,42
	0,066	5,7	1,15	1,80	5,40	—	7,20	4,86	3,32	1,17
	0,058	4,0	0,5	1,17	3,80	—	5,40	2,22	3,80	1,80
	0,058	4,0	1,35	1,75	6,48	—	10,00	5,67	2,40	1,41

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Каховская оросительная система. Лессовидные суглинки, влажность 7,5—8,0%										
Тротил	0,58	4,0	0,80	0,80	3,0	—	7,90	1,25	1,88	3,20
	0,058	4,9	0,80	0,70	2,85	—	7,90	1,03	1,78	3,71
	0,058	4,0	0,80	0,80	3,20	—	7,90	1,93	2,00	2,08
	0,128	20,0	1,60	1,50	6,70	—	24,40	6,10	2,09	3,28
	0,153	20,0	1,60	1,60	6,60	—	50,0	5,50	2,06	3,64
	0,153	20,0	0,7	1,80	5,70	—	—	5,40	4,00	3,71
Игланиг	0,142	16,0	0,8	0,8	3,0	—	14,20	1,30	2,50	3,08
	0,142	16,0	1,60	1,30	5,68	—	—	4,80	3,52	3,34
	0,110	8,0	0,52	0,85	3,30	—	—	3,40	1,56	4,71
	0,071	4,0	0,40	0,61	2,70	—	6,35	1,49	3,37	5,37
	0,167	20,0	1,60	1,80	6,30	—	6,10	0,81	3,37	4,95
	0,167	20,0	1,60	1,80	6,30	—	—	5,80	1,97	3,44
Крымская область. Тяжелый суглинок, влажность 11—14%										
Аммонит	0,068	4,0	0,6	0,75	3,0	—	11,0	1,18	2,5	3,39
	0,068	4,0	0,3	0,55	2,15	—	5,0	0,63	3,56	6,31
	0,068	4,0	0,25	0,60	1,80	—	11,2	0,58	3,60	6,84
	0,108	10,0	1,0	1,25	4,1	—	8,7	2,77	2,05	3,61
	0,153	20,0	0,35	1,10	4,70	—	12,5	2,70	4,30	7,40
	0,109	10,1	0,60	0,90	5,70	—	13,1	5,35	4,07	3,74
Игланиг	0,167	20,0	0,75	1,60	3,20	—	12,5	1,57	2,26	6,44
	0,20	32,0	1,85	3,13	10,00	—	—	4,90	4,05	4,08
	0,058	4,0	0,9	1,64	4,94	—	—	20,40	2,78	1,57
	0,053	4,0	0,7	1,40	4,90	—	7,00	4,06	2,74	0,99
	0,066	5,7	0,75	1,55	4,90	—	6,30	3,43	3,50	1,17
	0,082	8,0	0,85	1,50	6,60	—	6,70	3,80	3,27	1,50
Аммонит № 6 ЖВ	0,082	8,0	1,10	1,65	7,00	1,40	9,70	6,0	3,83	1,33
	0,58	4,0	0,9	1,20	4,64	—	10,50	5,80	3,18	1,38
	0,58	4,0	0,6	1,00	4,70	—	5,35	2,78	2,58	1,44
	0,58	4,0	0,6	1,00	4,70	—	7,00	2,54	3,92	1,57

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Глина	0,035	1,5	0,25	0,44	1,48	—	—	5,20	0,33	2,96	4,60
	0,049	2,0	0,30	0,51	2,40	—	—	5,80	0,60	4,00	3,33
	0,058	4,0	0,35	0,68	2,10	—	—	11,40	0,71	3,0	5,63
	0,058	4,0	0,25	0,62	1,94	—	—	10,40	0,60	3,83	6,63
	0,058	4,0	0,25	0,65	1,88	—	—	10,70	0,61	3,76	6,56
Исданит	0,12	11,5	1,00	1,70	7,50	—	—	14,10	6,40	3,75	1,79
	0,15	18,0	1,50	2,20	8,40	—	—	—	9,25	2,80	1,94
	0,15	18,0	1,35	2,15	8,20	—	—	13,60	8,82	8,04	2,04
	0,20	32,0	1,60	2,80	10,0	—	—	—	14,0	3,13	2,28
	0,10	8,0	0,70	1,20	4,34	—	—	3,30	2,61	3,10	3,06
	0,10	8,0	0,70	1,30	4,40	—	—	5,30	2,86	3,14	2,76
	0,10	8,0	0,70	1,30	4,40	—	—	5,30	2,86	3,14	2,76
Трогил	0,065	5,7	0,96	1,85	5,60	—	—	7,20	5,17	2,92	1,10
	0,065	5,7	1,15	1,75	5,30	—	—	7,55	4,64	2,30	1,23
	0,065	5,7	0,5	1,23	4,40	—	—	6,26	2,70	4,40	2,18
	0,058	4,0	0,5	1,15	4,00	—	—	5,30	2,30	4,0	1,74
	0,058	4,0	0,35	0,95	3,30	—	—	5,80	1,57	4,70	2,55

ному типу грунта. В основу расчетных зависимостей для удлиненных горизонтальных зарядов выброса положен принцип пропорциональности разрушенного (выброшенного) объема массе взорванного заряда. На этом положении, являющемся одной из формулировок закона подобия, основывается большинство применяемых формул.

Из геометрических форм воронок (выемок) видно, что для сосредоточенных зарядов взорванный объем пропорционален величине W^3 , для удлиненных — W^2l , для плоских — WS . Отсюда зависимость для расчета удлиненных зарядов имеет вид:

$$C = q_n W^2 l,$$

где q_n — коэффициент пропорциональности между величиной заряда и произведением им объемом выброса в форме выемки нормального выброса, учитывает взрываемость грунта и свойства ВВ, кг/м³;

l — длина заряда.

Удельный расход взрывчатых веществ q зависит от показателя действия взрыва n . С увеличением n растет величина q по сравнению с q_n . Эти изменения корректируются введением в расчетную формулу функции показателя действия взрыва $f(n)$. Окончательно расчетная формула имеет вид:

$$C = q_n W^2 l f(n).$$

Масса заряда на 1 м длины

$$C_{ex} = q_n W^2 f(n).$$

Для определения вида функции показателя действия взрыва были построены графики (рис. 20 и 21). Характеристика $\frac{C_{ex}}{W^2}$,

согласно расчетной формуле массы на 1 м зарядов, равна произведению расчетного удельного расхода ВВ на функцию показателя действия взрыва. Так как расчетный удельный расход ВВ постоянная величина для определенного типа грунта, то эти графики позволяют непосредственно установить вид функции показателя действия взрыва.

В результате обработки исходных данных методом наименьших квадратов получаем следующие аналитические уравнения: для суглинков

$$\frac{C_{ex}}{W^2} = q_n f(n) = 1,24 n^{1,7},$$

для лессовидных суглинков

$$\frac{C_{ex}}{W^2} = q_n f(n) = 2,4 n^{1,7},$$

для глин

$$\frac{C_{ex}}{W^2} = q_n f(n) = 0,89 n^2.$$

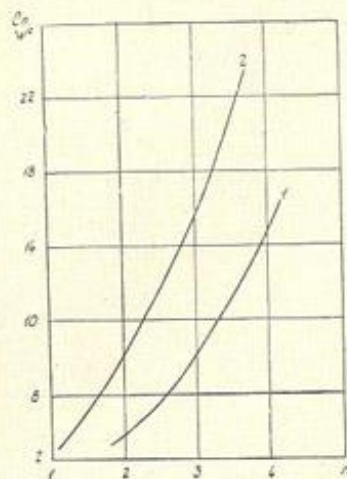


Рис. 20. Графики функции показателя действия взрыва при взрывании в легких, тяжелых (1) и лессовидных (2) суглинках

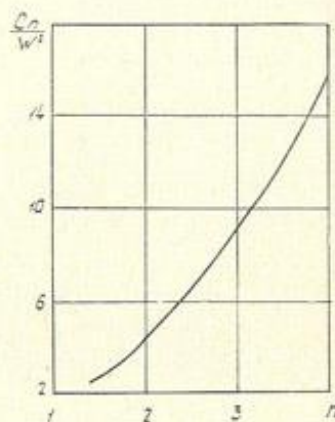


Рис. 21. График функции показателя действия взрыва при взрывании в глинах

Из всех имеющихся формул полученные зависимости в диапазоне $n = 1,5-5,0$ наиболее точно отражают функциональную связь рассматриваемых величин.

Для установления функции показателя действия взрыва полученные выражения необходимо разделить на величину произведения удельного расхода ВВ и коэффициента взрывной эффективности ВВ относительно аммонита № 6 ЖВ. Произведя округления, получаем следующие выражения функции показателя действия взрыва:

для суглинков

$$f(n) = 1 - 1,5 n^{1,7},$$

для глин

$$f(n) = n^2.$$

Значения этих функций показателя действия взрыва довольно близки по абсолютной величине в диапазоне $n = 1-5$. Сравнение полученных функций показателя действия взрыва по формулам Г. И. Покровского и М. М. Борескова (рис. 22) показывает не только хорошую сопоставляемость величин в исследуемом диапазоне n , но и влияние грунтовых условий на величину заряда. Работа взрыва, как известно, совершается за счет энергии (теплоты), выделяющейся при взрыве; именно поэтому общая энергия взрыва

$$Q = Q_0 C,$$

где Q_0 — удельная теплота взрыва, ккал/кг (является важнейшим параметром при сопоставлении эффективности используемого ВВ).

Расчет горизонтальных удлиненных зарядов в зависимости от взрывания в конкретных грунтовых условиях может быть выполнен по следующим зависимостям:

для суглинков, лессов, супесей

$$C_{сж.} = (1-5) q W^2 n^{1,7} l, \text{ кг/м};$$

для глин

$$C_{сж.} = q W^2 n^2 l, \text{ кг/м},$$

где l — пересчетный коэффициент взрывной эффективности ВВ (относительно аммонита № 6 ЖВ):

$$l = \frac{1030}{Q},$$

где Q — теплота взрыва применяемого ВВ, ккал/кг.

Важной задачей взрывной технологии строительства является получение видимой глубины выемки, равной проектной глубине. В ряде работ [5, 49] для определения глубины выемки в грунтах предложены формулы, основанные на допущении, что видимая глубина выемки зависит в основном от двух факторов: линии наименьшего сопротивления W и показателя действия взрыва n .

Наибольшее применение нашли формулы:

$$P = 0,5 W n, \quad P = 0,33 W (2n - 1).$$

Приведенные зависимости не всегда дают близкие к действительности результаты, что указывает на важность неучтенных прочностных характеристик грунтов и их геологического строения. Видимая глубина выемки при одинаковой массе и равной глубине заложения заряда будет тем больше, чем лучше грунт поддается уплотнению (прострелке). Кроме показателя прострелки, на видимую глубину влияет угол естественного откоса грунта, разрушенного взрывом. Если угол естественного откоса грунта мал, грунт на откосах, распределяемый под этим углом, заполнит нижнюю часть воронки, в результате чего уменьшится ее видимая глубина.

На основании результатов взрывов с различным показателем действия взрыва было установлено (рис. 23), что в зависимо-

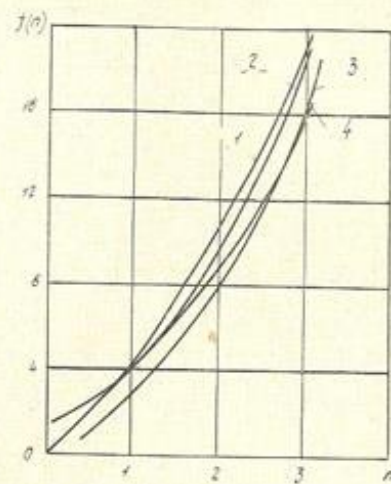


Рис. 22. График функции $f(n)$ по М. М. Борескову (1), Г. И. Покровскому (2) и по данным исследований (3 и 4).

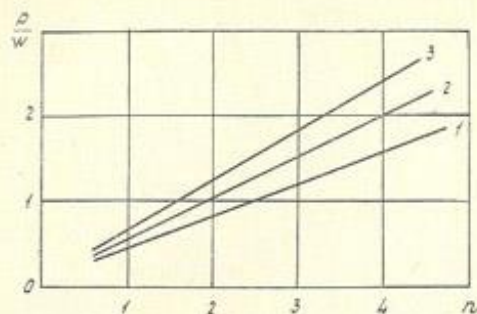


Рис. 23. Зависимость относительной глубины выемки от показателя действия взрыва при взрывании в лессовидных (1), легких и тяжелых суглинках (2), глинах (3).

При больших величинах показателя действия взрыва ($n > 2,5$) глубина выемки зависит от линии наименьшего сопротивления и радиуса открытой полости, образованной в грунте при расширении продуктов взрывчатого разложения, то есть

$$P = W + r_n.$$

Радиус камуфлетной цилиндрической полости с достаточной для практики точностью выражается соотношением

$$r_{к. п.} = 0,056 \sqrt{C_{ед.} P_{пр.} m},$$

где $P_{пр.}$ — показатель простреливаемости, $дм^3/кг$.

Отсюда

$$P = W + 0,056 \sqrt{C_{ед.} P_{пр.} K g},$$

где K — коэффициент, учитывающий глубину заложения заряда (0,8—1).

Видимая глубина выемки тесно связана с крутизной откосов, характеризующей устойчивость бортов. Вследствие параболической формы сечения выемок, полученных в связных грунтах, крутизна откосов является величиной переменной. Наименьшая крутизна отмечается у основания выемки, наибольшая — у дневной поверхности. Среднюю крутизну откосов можно характеризовать отношением полураствора выемки r к ее видимой глубине:

$$\frac{r}{P} = \frac{Wn}{KWn}.$$

Следовательно, откосы выемок в зависимости от грунтовых условий взрывания в среднем получаются в пределах 1 : 1,5—1 : 2,5. Изменение соотношения между глубиной выемки и углом откоса ее бортов возможно лишь в небольших пределах.

При устройстве выемок под профильные сооружения перво-степенное значение имеют вопросы, связанные с определением

сти от грунтовых условий искомая величина может быть выражена зависимостью общего вида:

$$P = KWn,$$

где K — коэффициент пропорциональности, зависящий от грунта (для лессовидных суглинков $K = 0,4—0,5$, для легких и тяжелых суглинков $K = 0,5—0,55$, для глин $K = 0,6—0,65$).

оптимальных условий взрывания, при которых расход ВВ на $1 м^3$ выброшенного грунта минимальный. При установлении оптимальных параметров взрывания использовали принцип подобия, то есть рассматривали не абсолютные, а приведенные значения параметров взрыва и выемок. В качестве масштаба приведения принимали удельный расход горизонтального заряда в степени $1/2$, или $\sqrt{C_{ед.}}$.

Оптимальное соотношение между параметрами $C_{ед.}$ и W (рис. 24), исходя из требования получения максимальных параметров выемки — полураствора, видимой глубины, площади поперечного сечения и минимального расхода ВВ при взрывании в связных грунтах, можно выразить уравнением:

$$W = (0,45—0,55) \sqrt{C_{ед.}}, \text{ м.}$$

В этом случае оптимальный интервал значений показателя действия взрыва $n = 3,3—2,6$. Верхние пределы значений соответствуют пластичным, хорошо уплотняемым глинам, нижний — лессовидным грунтам и супесям с преобладанием жестких минеральных скелетных связей. Исследования показали, что наилучшие результаты взрывов при минимальном расходе ВВ достигаются в пластичных глинах и суглинках влажностью 18—24%. С уменьшением влажности снижается пластичность грунта и увеличивается расход ВВ.

В практике гидромелиоративного строительства возникает необходимость создания открытых выемок при соотношении ее ширины поверху к глубине в пределах 1,5—1,8 и более. Устройство таких выемок взрыванием одного траншейного заряда практически невозможно (при соотношении 1 : 6 и более) или экономически нецелесообразно из-за больших расходов ВВ. Поэтому обычно применяют много-

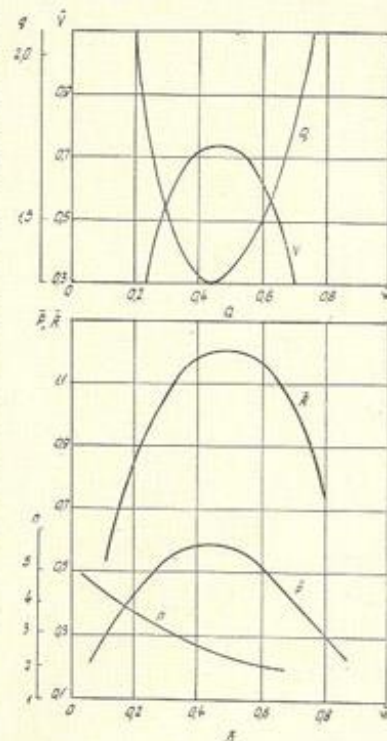


Рис. 24. Зависимость приведенных параметров выемки R и P , показателя действия взрыва n (б), объема выброса V и расхода взрывчатого вещества q (а) от приведенной глубины заложения заряда W при взрывании в суглинках.

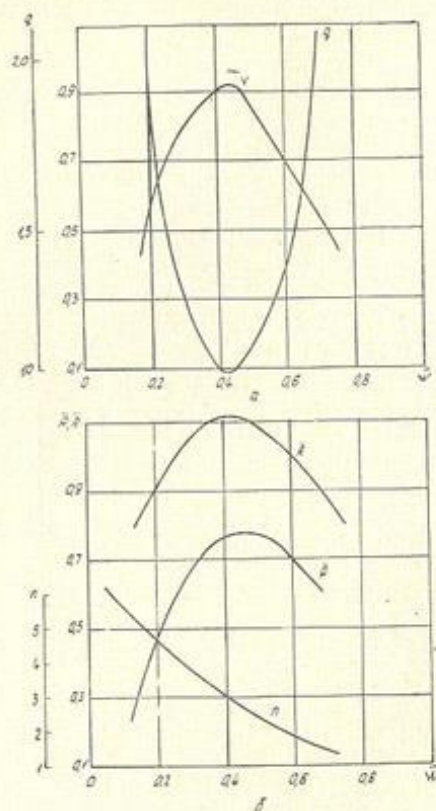


Рис. 25. Зависимости приведенных параметров выемки R и P , показателя действия взрыва n (б), объема выброса V и расхода взрывчатого вещества q (а) от приведенной глубины заложения заряда W при взрывании в глинах.

ки (рис. 25). Расчет расстояний между зарядами производят, исходя из величины линии наименьшего сопротивления W и показателя выброса n по зависимостям:

$$a = 0,5W(n + 1), \quad a = W \sqrt[3]{f(n)} = W \sqrt[3]{0,4 + 0,6n^2}.$$

Что же касается параметров взрывания сближенных траншейных зарядов выброса, то расчетные зависимости для их определения можно вывести по аналогии с сосредоточенными зарядами. Так как необходимым условием при образовании сплошной выемки без перемычек является перекрывание вые-

рядное взрывание сближенных зарядов выброса. Главное требование, предъявляемое в этом случае к взрывному способу проходки, — получение ровной выемки при минимальных затратах ВВ и объемах проходческих работ. Это может быть достигнуто только при оптимальной схеме размещения зарядов. Так, если два ряда зарядов расположены на значительном расстоянии друг от друга, то в результате взрыва образуются две выемки. При сближении зарядов перемычка между выемками будет уменьшаться, и при определенном (оптимальном) расстоянии между зарядами выемки сомкнутся. Дальнейшее сближение зарядов приводит к незначительному увеличению расстояния и глубины выемки, в то же время значительно повышается расход ВВ на единицу объема выброса.

Каждому значению показателя действия взрыва n соответствует определенное значение расстояния между зарядами, при котором их одновременное взрывание обеспечивает образование ровной без перемычек выем-

мок смежных горизонтальных зарядов, то расстояние между зарядами можно подсчитать по выражению:

$$a = W \sqrt{f(n)}.$$

Для суглинков

$$a = W \sqrt{1 - 1,5n^{1,2}},$$

для пластических глин

$$a = W \sqrt{n^2}.$$

Решая общее выражение расстояния относительно показателя сближения m , получим:

$$m = \frac{a}{W} = \sqrt{f(n)}.$$

Г. И. Покровский [50], рассматривая совместное действие системы удлиненных зарядов, расположенных параллельно в одной плоскости, установил: если расстояние не более 1,57 радиуса действия заряда, то их можно рассматривать как сплошной плоский заряд.

Подставив значение радиуса полости, получим:

$$a \leq 1,57r_n \leq 0,88 \sqrt{C_{ex} \Pi_{пр} K_r}, \text{ м.}$$

Эта зависимость справедлива для условий взрывания в грунтах высокой пластичности — глинах и тяжелых суглинках значительной влажности, когда в нижней части выемки образуются устойчивые раскрытые полости.

Экспериментальные взрывы, выполненные в грунтах пониженной пластичности (легких суглинках), производили с целью определения оптимальных величин расстояния между одновременно взрывающимися удлиненными зарядами выброса, расположенными параллельно друг другу в одной плоскости. При взрывании зарядов с показателями выброса $n = 1,8$ и $2,1$ расстояние между горизонтальными зарядами должно быть равно $a = 1,25W, 1,5W, 1,75W, 2W$. Эксперименты проводили на полигоне. Применяли один тип ВВ — прессованный тротил плотностью $1,55 \text{ г/см}^3$. Глубина заложения заряда равнялась $0,9$ и $1,1$ м. Удельный расход заряда составлял 4 кг/м .

Результаты взрывов отражены в таблице 16.

Анализ полученных данных показал, что с увеличением расстояния между зарядами не наблюдается пропорционального роста перемычек. Представление о зависимости высоты перемычек грунта $h_{пер}$ в зависимости от относительного расстояния между зарядами и показателя действия взрыва m/n для взрывов с показателем выброса $n = 1,8$ и $2,1$ дает график, приведенный на рис. 26. Из рисунка видно, что с увеличением относительного расстояния между зарядами m при одних и тех же значениях n не происходит пропорционального роста высоты перемычки. Более того, до определенного значения m наблю-

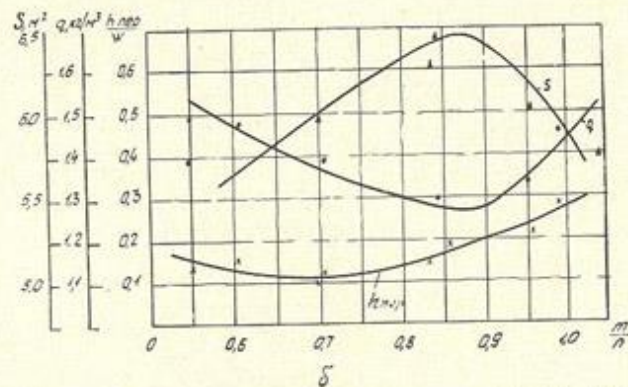


Рис. 26. Зависимость площади поперечного сечения, удельного расхода взрывчатого вещества, относительной высоты перемычки (б) от соотношения относительного расстояния между зарядами и показателем действия взрыва $\frac{m}{n}$ (а).

дается даже некоторое ее уменьшение. Величина перемычек незначительна и только при $m:n = 0,9$ превышает $0,2W$.

Поскольку основным фактором, определяющим расстояние при смежном взрывании зарядов выброса, является получение выемки максимальной площади сечения при минимальном расходе ВВ на единицу ее объема, то оптимальное расстояние, удовлетворяющее этому требованию, равно $\frac{(0,87 - 0,9)m}{n}$. Вы-

сота перемычки не превышает величины $0,2W$.

Характерно, что с уменьшением расстояния между зарядами пропорционально увеличивается видимая глубина над перемычкой по оси заложения заряда P и превышает при этом глубину выемки от взрыва одиночного заряда выброса. Видимые глубины аппроксимируются зависимостью

$$P = KWn,$$

Таблица 16

Результаты взрывов параллельных горизонтальных зарядов выброса в суглинках

Применяемое ВВ	Характеристика заряда				Параметры пылевыброса				расход ВВ на 1 м³ выемки, кг/м³	показатель действия взрыва
	удельный расход ВВ, кг/м³	длина, м	глубина заложения, м	расстояние между зарядами, м	ширина, м	по оси заряда	над порогами	площадь поперечного сечения, м²		
Тротил прессованный	4	4	0,9	—	3,70	0,15	1,02	2,34	1,7	2,1
	8	6	0,9	1,15	5,80	9,40	1,55	5,50	1,46	—
	8	5,9	0,9	1,35	6,30	9,70	1,45	5,85	1,37	—
	8	5,8	0,9	1,60	6,90	8,75	1,58	6,40	1,25	—
	8	6,1	0,9	1,8	6,65	9,20	1,40	6,10	1,32	—
	4	4,0	1,2	—	4,38	6,60	1,20	—	1,20	1,8
	8	6,0	1,2	1,2	6,60	9,0	1,63	5,40	1,48	—
	8	6,0	1,2	1,5	6,50	9,0	1,50	5,80	1,38	—
	8	6,0	1,2	1,8	6,95	9,1	1,55	6,20	1,30	—
	8	6,0	1,2	2,10	6,85	8,9	1,42	5,5	1,45	—

где $K = 0,55$ при одиночном взрывании, $K = 0,65—0,70$ при смежном взрывании зарядов для глубины выемки над перемычкой и по оси заложения заряда.

Сопоставление экспериментальных данных и расчетных величин относительного расстояния между зарядами по приведенным выше зависимостям отражено в таблице 17. Наиболее близкое совпадение экспериментальных и расчетных значений дают зависимости

$$m = \sqrt[3]{f(n^{1,7})} \text{ и } m = \sqrt[3]{f(n)}$$

Таблица 17

Сопоставление экспериментальных и расчетных величин расстояния между зарядами

Показатель действия заряда n	Фактические значения		Расчетные формулы					
	m	m/n	$a = 0,5 W (n+1)$		$a = \sqrt[3]{0,4 + 0,6n^2}$		$a = W \sqrt[3]{n^{1,7}}$	
			m	m/n	m	m/n	m	m/n
1,8	1,6	0,87—0,9	1,4	0,78	1,57	0,875	1,65	0,91
2,1	1,8—1,9	0,87—0,9	1,55	0,74	1,82	0,87	1,9	0,9

Расстояние между горизонтальными зарядами выброса можно определять также по выражению $m = \frac{3n+1}{4}$, как это предлагается в работе Е. И. Шифрина [55].

С учетом разработанных положений однопорядного и многопорядного методов горизонтальных удлиненных зарядов выброса были произведены промышленные взрывы на участках трассы Каракумского канала им. В. И. Ленина.

Технология и опыт строительства каналов линейными зарядами взрывчатого вещества

Взрывной способ строительства каналов и коллекторов получает все более широкое распространение. Этому способствует разработанная технология, основанная на применении удлиненных горизонтальных траншейных зарядов, уложенных параллельно проектному дну выемки.

По оси трассы будущего канала отрывают зарядную траншею на глубину 0,45—0,8 глубины выемки. В траншею укладывают заряд ВВ, засыпают и производят взрыв. В результате выброса части грунта (до 45—50% из разрабатываемого сечения) и уплотнения образуется выемка канала.

Такой способ проходки наиболее эффективен в псевдонасыщенных связных грунтах, в которых при взрывах заглубленных зарядов образуются камуфлетные полости значительных раз-

меров. Его следует применять прежде всего в супесях, легких и тяжелых суглинках и глинах оптимальной влажности (8—25%). Он может быть применен также в сухих суглинках и супесях, в песках с достаточным содержанием пылевых и глинистых частиц (не менее 35—40%), в лессовидных суглинках и гравелистых породах, содержащих не менее 40—45% мелкозем (глинистых и пылеватых частиц). В этих грунтовых условиях эффект несколько снижается.

По сравнению с оптимальными горно-геологическими условиями в сухих (менее 6% весовой влажности), а также в гравелистых связных породах качество уплотнения при взрывном способе проходки выемок снижается, противофильтрационные свойства уплотненной зоны резко ухудшаются, а расход ВВ повышается.

Проходка зарядной траншеи является очень трудоемкой операцией, она в значительной степени влияет на темпы строительства. Учитывая линейный характер работ, следует применять для нарезки траншей глубиной до 3,5 м высокопроизводительные многоковшовые и цепные экскаваторы. Характерно, что эти экскаваторы позволяют получать траншеи необходимой ширины. Ширина зарядной траншеи зависит от ее глубины. Траншея глубиной 2,0—2,5 м предназначена для получения выемки сечением 30—45 м², а траншея глубиной 3,0—3,5 м — выемки сечением до 80 м². Масса укладываемых в них зарядов на 1 м длины составляет в первом случае 100—200 кг, во втором достигает 290 кг. Поэтому для траншей глубиной до 2,5 м приемлема ширина 0,6—0,9, а для траншей глубиной до 3,5 м — 0,9—1,2 м.

Траншеи глубиной 5—8 м обеспечивают получение выемок большого сечения (до 500 м²). Ширина такой траншеи понизу равна 0,8—1,2 м, удельный расход составляет 1200—1500 кг/м. Как показал опыт промышленных взрывов на четвертой очереди Каракумского канала, для проходки зарядных траншей глубиной до 7 м наиболее рационально применение экскаваторов-драглайнов с ковшом емкостью 1,0—1,5 м³.

Устойчивость грунтов должна допускать сохранение вертикальных или крутых (под углом 75—85°) наклонных стенок траншей. При глубине траншей более 2—3 м на участках, на которых находятся люди (во время коммутации взрывной сети и размещения зарядов-боевиков), применяют передвижные металлические либо другие временные крепи.

Важное место в общем технологическом процессе занимает механизация укладки взрывчатого вещества. Она не только сокращает трудоемкость и стоимость зарядных работ, но и обеспечивает непрерывность всего процесса работ. Наиболее простым является способ зарядания насыпью. В этом случае используются транспортно-зарядные машины, получившие применение на открытых горных работах.

При поточной технологии устройства профильных выемок сечением до 25—30 м² целесообразно применение спецоборудованных дреноукладочных машин. В этом случае технологические операции: устройство зарядной траншеи, засыпка в нее взрывчатого вещества и забойка траншеи грунтом — выполняют последовательно. По мере движения дреноукладчика цепным баром прорезается узкая траншея, куда из зарядного бункера поступает дозированное количество взрывчатого вещества. Под прикрытием стенок бункера одновременно укладывают заряды и ДШ. Забойка заряженной части траншеи осуществляется бульдозерной подвеской, смонтированной на дреноукладчике.

При закладке зарядов небольшого удельного расхода, чтобы избежать перемешивания ВВ с грунтом, следует применять полиэтиленовые оболочки. Запрессовка ВВ в оболочку возможна как вручную, так и с помощью пневматической зарядной машины ПЗК. Технология с использованием горизонтальных зарядов игданита в полиэтиленовой оболочке была проверена при устройстве котлованов прудов. Изготовленным на месте работ игданитом заполняли полиэтиленовые рукава диаметром около 20 см, длиной 20 м. Рукава с зарядом укладывали в траншею и на их стыке устанавливали боевики иницирующего ВВ.

При подготовке крупных взрывов, по нашему мнению, зарядку траншей целесообразно проводить следующим образом. Укладку мешков с ВВ вести с помощью наклонных лотков из автомашин (автотягача), движущейся вдоль траншей. Затем в траншейный заряд опустить боевики и механизмами засыпать траншею. Как показал опыт применения линейно-протяженных траншейных зарядов при проходе участка Каракумского канала им. В. И. Ленина (сечение канала до 200 м²), укладка основного заряда и боевиков осуществима и без спуска людей в зарядную траншею.

При использовании в качестве ВВ боеприпасов, снятых с вооружения, зарядку необходимо вести с помощью автокранов. Для повышения безопасности работ можно применять контейнеры с донной разгрузкой [22].

Наиболее приемлемой формой организации работ при подготовке крупных взрывов на выброс является совмещенный график, предполагающий параллельное выполнение основных технологических процессов: проходку зарядной траншеи, укладку ВВ и засыпку грунтом. В слабых, неустойчивых грунтах зарядку траншей следует производить вслед за проходом экскаватором. Для предотвращения обрушения стенок траншей и обеспечения безопасности зарядки необходимо применять металлическую крепь, передвигаемую экскаватором.

Последовательный график работ, при котором технологические процессы выполняют поочередно и рассредоточенно во времени, возможен лишь в случае грунтов с устойчивыми бортами зарядной траншеи.

Предельные глубины выемок, которые можно получить взрывами траншейных зарядов выброса, определяются в основном устойчивостью стенок глубоких зарядных траншей. Согласно исследованиям [51], максимальная глубина (в метрах) зарядной траншеи по геологическим условиям:

$$H_r = \frac{2K}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

где K — сцепление грунта в массиве;

γ — объемный вес грунта;

φ — угол внутреннего трения.

Данные о предельных глубинах траншей, которые сохраняют устойчивость на время, необходимое для укладки заряда, и о глубинах выемок, получаемых при взрывах этих зарядов, приведены в таблицах 18 и 19.

Строительство участков Каракумского канала. Взрывные работы производили на трассе пионерного канала (пикеты 8530—8613). Литология грунтов на этом участке представлена в верхней части тяжелыми пересушенными глинами, в нижней части тяжелыми суглинками с прослойками и линзами супесей.

По трудности разработки механизмами эти грунты относятся к IV, III и частично ко II категории. На участке между пикетами 8531—8572 в пределах сечения канала на глубине 4,5 м выклиниваются грунтовые воды, что создает затруднения при разработке глубокой выемки канала механизмами. В связи с этим проходка канала на участке была выполнена взрывным способом.

Для устройства выемки пионерного канала применяли наиболее экономичное однорядное расположение траншейных зарядов выброса, закладываемых по оси канала на расчетной глубине. Так как техническими условиями предусматривалась механическая зачистка разрыхленной зоны грунта, то взрывная выемка имела меньшее поперечное сечение по сравнению с проектным.

Проходка траншей по оси канала велась драглайном с емкостью ковша 1 м³. Глубина траншей на разных участках составляла 5,5—7,0 м.

В качестве основного взрывчатого вещества использовали игданит. Траншейные заряды взрывали с помощью детонирующего шнура. Для этого по длине каждого заряда укладывали две нити шнура и через каждые 20—25 м узел заводили в мешок иницирующего ВВ (аммонита № 6 ЖВ). Свободные концы шнура выводили из траншей на поверхность. Затем траншею засыпали бульдозером.

В результате взрыва траншейного заряда игданита длиной 450 м удельным расходом 300—340 кг/м на глубине 5,1—6,0 м образовалась выемка параболического сечения шириной по

Основные показатели промышленных взрывов при строительстве участков четвертой очереди Каракумского канала

Характеристика заряда	Параметры выемки			Расход ВВ на 1 м³ грунта, кг	Показатели действия взрыва
взрывчатое вещество	длина, м	расход на 1 м, кг	глубина заложения центра, м	ширина поперечника, м	площадь поперечного сечения, м²
Игланит	450	300—340	5,1—6,0	27—33	125—140
Аммонит № 6 ЖВ	950	280	5,5—6,0	28—30	110—116
Прессованный тротил	300	320	5,7—6,0	25—29	90—110
Тротил, зерногранулит	300	460	6,0—6,2	29—36	125—160
Тротил	250	520	6,0—6,5	33—40	160—185
				2,4—2,6	2,4—2,7
				2,4—2,6	2,5—2,7
				2,9—3,5	2,1—2,4
				2,9—3,5	2,4—2,9
				2,9—3,5	2,7—3,1

Таблица 19

Предельные глубины каналов, создаваемые взрывами траншейных зарядов

Порода	Весовая влажность, %	Предельные глубины, м	
		зарядной траншеи	взрывной выемки
Глины и тяжелые суглинки	14—15 до 14	7—9 8—10	15—18 14—15
Легкие и лессовидные суглинки	13—24 до 13	7—8 6—7	12—13 9—10
Супеси, гравелистые породы, содержащие глинистые частицы	13—24 до 13	5—6,5 5—6,5	7—9 6—8
Глинистые пески	10—22 до 10	5—6 3—3,5	6—8 1—5
Лессы	—	7—8	7—8
Пылеватые пески	—	3—3,5	3,5—4

верху 27—33 м, глубиной 7,0—8,6 м, площадью поперечного сечения 125—140 м² (рис. 27). Расход ВВ в среднем составил 2,4—2,6 кг/м³. Видимая глубина выемки превысила глубину



Рис. 27 Участок Каракумского канала, полученный взрывным способом.

заложения центра заряда в 1,45—1,5 раза, что свидетельствует о создании сильно уплотненной зоны в бортах и на дне канала. В процессе опытно-промышленных работ использовали также аммонит № 6 ЖВ, прессованный и чешуированный тротил, зерногранулит. Расход аммонита № 6 ЖВ на 1 м³ выброшенного грунта составил 2,4—2,6 кг, тротила — 2,9—3,5 кг. Повышенный расход тротила обусловлен не только его взрывными

3+1/4*

свойствами, но и влажностью грунта. Так, взрывы с применением игданита и аммонита производили ранней весной, когда весовая влажность равнялась 18%. Взрывы тротильных зарядов производили на 1½—2½ месяца позже, зарядные же траншеи были пройдены до начала опытно-промышленных взрывов. Это в условиях сухого климата привело к пересушиванию грунтового массива, и, как следствие, к ухудшению технико-экономических показателей. Если в грунтах с весовой влажностью 18% глубина выемки, как правило, на 40—60%, а в отдельных случаях даже на 80—90% превышала глубину зарядной траншеи, то в грунтах с весовой влажностью до 8% — всего лишь на 30—40%.

Взрывами, проведенными на Каракумском канале, была доказана возможность устройства глубоких выемок, разработка которых землеройными механизмами сопряжена с большими трудностями. Сечения взрывных выемок согласно техническим требованиям вписались в проектный профиль канала (рис. 28).

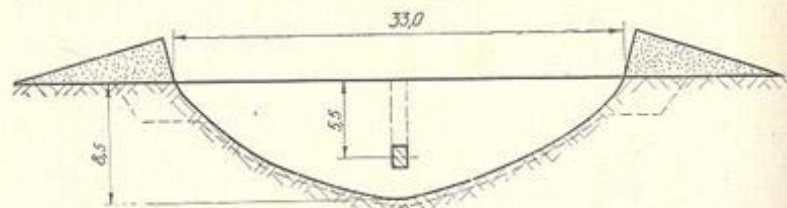


Рис. 28. Поперечный профиль выемки, образованной взрывом (пунктир — проектный профиль, сплошная линия — фактический профиль).

Технико-экономические расчеты показали, что в результате проведенных работ экономия составила около 100 тыс. рублей.

Строительство участков Главного Мургабского коллектора. Коллектор проходил в глинах, суглинках, супесях и песках с удельным весом грунта 2,67—2,75 г/см³, влажностью 8—16%. Разведкой на глубину до 10 м грунтовые воды не были обнаружены.

По проекту, разработанному институтом «Туркменгипроводхоз», строительство коллектора шириной по дну 5 м, с заложением откосов 1:2,5 и глубиной 3—4 м намечалось выполнить с помощью землеройных машин.

Связные грунты на такырах пересушенные и высокоминерализованные; отличаются значительной механической прочностью. Поэтому получить в них выемку коллектора проектного сечения с помощью скреперов невозможно. Построенный канал имеет заложение откосов 1:3 и ширину выемки понизу 4 м вместо 1:2,5 и 5 м по проекту. Увеличение рабочего сечения по сравнению с проектным повышает общую стоимость и удли-

няет сроки строительства коллектора. К тому же необходимость эксплуатации землеройных машин и содержания коллектива строителей вдали от населенных пунктов и источников водоснабжения в 3—4 раза (по сравнению с нормативами) повышает накладные расходы. Все это и послужило основанием для строительства коллектора взрывным способом.

Необходимые размеры поперечного сечения коллектора обеспечивались путем расположения основного заряда выброса в один ряд. С целью же получения направленного выброса и выполнения одного из бортов применяли двухрядное расположение зарядов — основного и вспомогательного — с замедлением в 200 м/сек.

По схемам I, II, III (рис. 29) предусматривали устройство выемки коллектора сечением 30—60 м², глубиной до 4,5 м, шириной понизу до 6 м; по схеме IV — выполнение одного из бортов. При этих взрывах намечено было использовать преобладающий сильный северо-восточный ветер для смещения поднятого взрывом грунта на один из бортов. Расчеты показывают, что времени, в течение которого поднятым взрывом грунт движется в воздухе, достаточно, чтобы сместить его на нужное расстояние.

Время, необходимое для вовлечения частиц грунта в движение ветром,

$$t_b = 3000 \frac{D}{V_b}$$

При диаметре частиц менее 0,01 м и постоянной скорости ветра $V_b = 10$ м/сек., $t_b = 3$ сек.

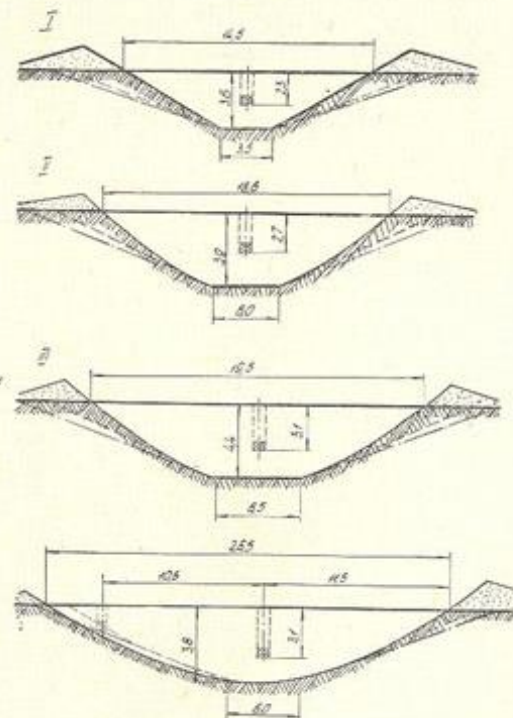


Рис. 29. Схемы расположения зарядов и поперечные профили выемок, полученных в результате взрыва (пунктир — проектный профиль, сплошная линия — фактический профиль): I, II, III — траншейного заряда игданита массой соответственно 70, 100, 140 кг/м; IV — двух параллельных асимметричных зарядов игданита

Время нахождения поднятого грунта в воздухе $t=0,9\sqrt{H}$, где H — высота подъема грунта, превышающего для данных взрывов 80 м. Отсюда $t \geq 8$ с. В этом случае частицы грунта будут перенесены на расстояние $l=(t-t_0)V_{в}=(8-3)10=50$ м, то есть за пределы борта выемки.

Траншеи по оси коллектора разрабатывала экскаватором Э-308. Глубина траншеи 2—3 м, что составляет 0,5—0,6 требуемой глубины выемки. Для взрыва использовали в основном игданит.

Примененные схемы взрывания позволили получить участок коллектора, пригодный к эксплуатации без доработки его с помощью землеройных машин.

Технико-экспериментальные показатели параметров заряда и выемки приведены в таблицах 19 и 20.

Таблица 20

Затраты на 1 м³ выемки, образованной взрывным способом

Показатели	Поперечное сечение выемки			
	схема I, 32 м ²	схема II, 48 м ²	схема III, 60 м ²	схема IV, 66 м ²
Доставка ВВ, стоимость ВВ (игданита)	6,5	12	14,0	18,0
Средства взрывания и инициирующее ВВ	1,50	1,95	1,95	2,4
Зарплата взрывника и руководителя взрывных работ	0,2	0,20	0,20	0,3
Зарплата вспомогательных рабочих	0,8	0,84	0,5	0,92
Устройство и засыпка траншей	0,82	0,86	0,95	1,42
Итого:	9,82	13,85	18,0	23,54
Расход на 1 м ³ готовой выемки, руб.	0,3	0,29	0,30	0,35

Данные по использованию энергии ветра для смещения грунта следующие. При взрывах с двусторонним выбросом даже при незначительной скорости ветра — примерно 4 м/сек. около 6% объема поднятого взрывом грунта было уложено на нужную юго-западную сторону выемки. При более благоприятной взрывной схеме, когда вспомогательный заряд (масса 45 кг/м, глубина заложения 1,8—2,0 м) взрывался с замедлением в 200 м/сек. после основного (удельный расход 140 кг/м, глубина заложения 2,8—2,9 м), 80% взрывающегося грунта под действием энергии взрыва и ветра было уложено на противоположном от вспомогательного заряда борту выемки (рис. 29). Характерно, что при этом достигнуто выполаживание откоса выемки под заданным углом.

Опытно-промышленные работы показали высокую эффективность и экономичность взрывной технологии строительства коллектора с использованием игданитов. Расход игданита не

превышал 2,8 кг на 1 м³ выемки. Стоимость 1 м³ выемки коллектора составила не более 35 коп. (табл. 20), что намного меньше стоимости разработки 1 м³ выемки землеройными механизмами.

Для взрыва грунта использовали также чешуированный тротил и аммонит № 6 ЖВ. Применение этих взрывчатых веществ нецелесообразно для разработки сухих грунтов: расход их значительно больше, чем игданита.

Опытно-промышленные работы на Главном Мургабском коллекторе подтвердили высокую эффективность взрывного способа строительства. Как показывают расчеты, комплексная бригада, состоящая из 1—2 взрывников и нескольких вспомогательных рабочих, при работе одного многоковшового экскаватора (для разработки зарядной траншеи) и одного бульдозера (для засыпки траншеи) может построить в месяц до 30 км канала. Таким образом, применение взрывного способа разработки грунта позволит повысить производительность труда в несколько раз.

Данные о расходе ВВ при взрывном способе приведены в таблице 21.

Строительство каналов в песках и лессах. Наибольшие трудности при взрывных работах на выброс в несвязных породах возникают из-за неустойчивости стенок зарядной траншеи. В пылеватых и глинистых песках зарядные траншеи глубиной до 3—3,5 м сохраняют устойчивость в течение 1,5—20 час. Поэтому укладку заряда и коммутацию взрывной сети в этих породах необходимо вести сразу же после прокладки взрывной траншеи, без спуска людей. Для проходки зарядных траншей целесообразно применение серийно выпускаемых дреноукладчиков.

Дреноукладчик представляет собой смонтированный на шасси гусеничного трактора многоковшовый канавокопатель (глубина черпания 4,0 м), к которому прикреплен металлический бездонный короб, передвигающийся в траншее. При оборудовании короба лестницей он может служить временной крепью.

В несвязных грунтах взрывы на выброс малоэффективны из-за их малой сжимаемости и незначительного угла естественного откоса. При взрыве вокруг траншейного заряда образуется неустойчивая цилиндрическая полость, которая после взрыва разрушается и засыпается оползающим с откосов грунтом. В результате глубина выемки канала значительно уменьшается. Поэтому для получения нужной глубины канала заряды размещают на проектной отметке дна канала и даже ниже и увеличивают их массу.

Более устойчивы траншеи в лессах и супесях. В этих грунтах в процессе образования выемки формируется полость больших размеров, которая в грунтах оптимальной влажности

Параметры зарядов и взрывных выемок при строительстве Главного Мургабского коллектора

Виды взрывов	Площадь сечения	Характеристика зарядов				Параметры выемки				Фактический расход ВВ, кг/м³			
		Расположение зарядов	Тип ВВ	расход ВВ, кг/м	глубина закладываемых зарядов, м		расстояние между зарядами, м	ширина, м			направление поперечного сечения, м	заложенные откосов	
					основного	вспомогательного		по выемке	по откосу				
Опытные взрывы	а	Однорядное	Игданит	70	2,3	—	—	3,6	3,5	14,5	32	1:1,6	2,2
	б	•	•	100	2,7	—	—	3,5—3,9	6	19,6	43—48	1:2	2,1
	в	•	•	140	3,1	—	—	4—4,4	6,5	19,5	60	1:1,8	2,3
Промышленные взрывы	г	Двойное асимметричное	•	195	3,1	1,9	10,5	2,1—3,8	4—6	26,3	58	1:1,5—1:2	2,8
		Однорядное	Тротил	85	2,7—3,5	—	—	3,0—3,4	3,5	12—14	28—25	1:1,6	3,5—3,2
	•	•	100	2,7—3,5	—	—	—	3,2—3,5	4,5	14—16	27—29	1:1,6	3,5—3,2
	•	•	155	3,0	—	—	—	4,2—4,4	6	20	44—46	1:1,6	3,3—3,5
	•	Аммонит № 6 ЖВ	135	3,0	—	—	—	4,2—4,4	6,5	20	46	1:1,6	2,9—3,3

(14—18%) не разрушается и при высоких показателях действия взрыва не заполняется грунтом.

С уменьшением влажности грунта взрываемость его резко ухудшается. Так, при взрывах на выброс в лессовидных грунтах Средней Азии были получены следующие данные:

влажность, %	18	10	5	3
расход ВВ, кг/м ³	1,05	1,75	2,5	3,17

Примерно такую же величину составил расход ВВ при взрывании в сухих лессах на трассе Куля-Ургенчского коллектора. Для взрыва использовали траншейные заряды игданита. Необходимое поперечное сечение коллектора достигалось путем однорядного расположения зарядов выброса с соответствующим показателем действия взрыва.

В результате взрыва траншейного заряда игданита удельным расходом 150 кг/м на глубине 2,6—2,8 м образовалась выемка параболического сечения шириной поверху 16—18 м, глубиной 3,2—3,4 м, сечением 40—42 м².

При взрывании заряда массой 110 кг/м на глубине заложения 2,6—2,4 м выемка имела следующие параметры: ширина поверху 13,5—14 м, глубина 3,0—3,1 м, площадь сечения 29—31 м².

Расход игданита составил 3,5—3,7 кг/м³.

В лессовидных грунтах и супесях с преобладанием жестких минеральных скелетных связей на Каховской оросительной системе расход ВВ колебался в пределах 2,14—5,07 кг/м³ сечения выемки канала.

Таким образом, вопрос о целесообразности применения взрывного способа для устройства выемок каналов в сухих песках и лессах следует решать в каждом конкретном случае на основании геологических данных.

Изменение плотности и прочности грунтового массива в зоне действия взрыва

Уплотнение связных грунтов при динамических нагружениях отличается и по величине, и по физической сущности от уплотнения при статическом нагружении. Уплотнение глинистых пород при постоянной, длительно действующей нагрузке (консолидация) протекает в течение продолжительного времени. При этом происходит отжатие свободной и слабо связанной воды, уплотнение оболочек и сжатие скелета с передвижкой частиц. Скорость консолидации зависит от коэффициента фильтрации пород [25].

Необратимое сжатие глинистых пород при динамических нагружениях имеет иную природу. Оно происходит преимущественно за счет закрытия свободных пор со сжатием и растворением газов под давлением в воде. Поскольку объемная деформация обводненных глинистых пород с небольшой свободной по-

ристостью, по экспериментальным данным, может существенно превысить объем свободных пор, следует также считать, что одновременно происходит и переупаковка частиц скелета, уплотнение гелеобразных пленок и превращение части рыхло связанной воды в прочно-связанную [11].

Уплотнение без изменения весовой влажности при динамическом приложении нагрузки может быть достигнуто, если невозможно боковое расширение. В массиве ударное нагружение (падающий груз) позволяет уплотнить грунт на небольшую глубину, а взрывное нагружение обеспечивает глубинное уплотнение.

Изучение характера уплотнения связных грунтов наиболее удобно вести на образцах. На рис. 30 приведена принципиальная схема установки одноосного динамического сжатия нескольких пород, использованной для экспериментального исследования динамических свойств связных грунтов.

Исследуемый образец породы 6 заключали в рабочую обжимную камеру 3. Нагружение образца осуществляли с помощью свободно падающего груза 2 массой до 100 кг, наносящего удар по поршню 4, передающему давление на образец. Для регистрации напряжений и уплотне-

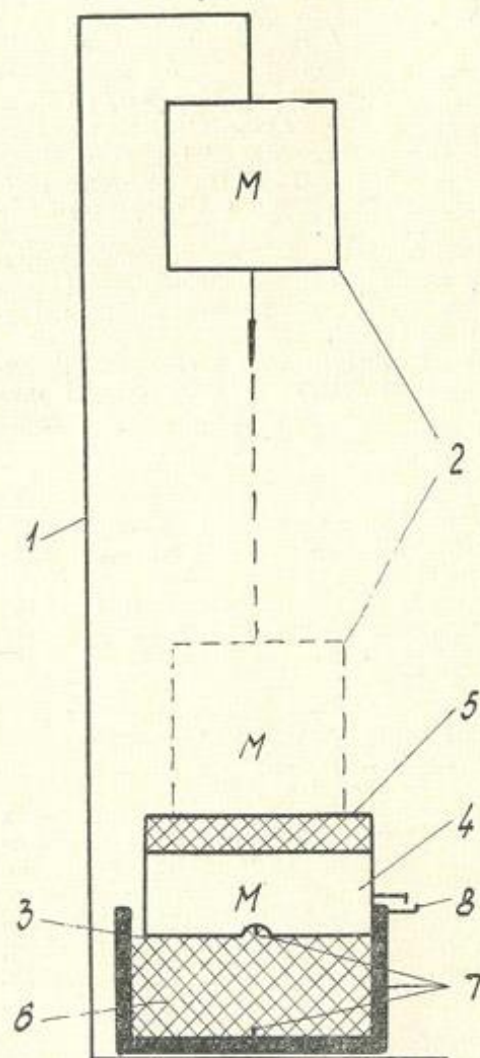


Рис. 30. Схема установки одноосного динамического сжатия:
1 — копер; 2 — груз (М); 3 — обжимная камера; 4 — поршень (М); 5 — прокладка; 6 — образец; 7 — датчик напряжений; 8 — датчик деформаций

ния образца были установлены датчики 7 и 8.

Методика испытаний позволяла изучать деформирование грунта под действием импульсов различных параметров, отвечающих различным взрывным импульсам. Параметры импульсного нагружения изменяли с помощью резиновых прокладок 5 между падающим грузом и поршнем испытательной камеры. Сигналы датчиков после усиления с помощью тензостанции УТС-1ВС-12 или усилителя 8АНЧ-7м регистрировали на шлейфовых осциллографах типа Н-700 или Н-105.

В процессе исследований были испытаны образцы киевских, херсонских и крымских суглинков, лессов, песчаных глин, плотных пластичных глин различной водонасыщенности.

В результате испытаний большого количества образцов установлены закономерности происходящей при динамическом нагружении необратимой объемной деформации грунтов (рис. 31). Величина деформации связана нелинейной функциональной зависимостью с напряжениями. На нагрузочной ветви кривой она зависит также от скорости нагружения (времени действия нагрузки). Каждой скорости нагружения соответствует своя кривая напряжение — деформация ($\sigma - \theta$). В области значительных нагружений эти кривые сходятся в одной точке, соответствующей полному закрытию пор, при напряжении $\sigma_1 = \sigma_1^*$. Дальнейшее нагружение приводит к росту лишь обратимой (упругой) составляющей объемной деформации. Величина необратимой составляющей объемной де-

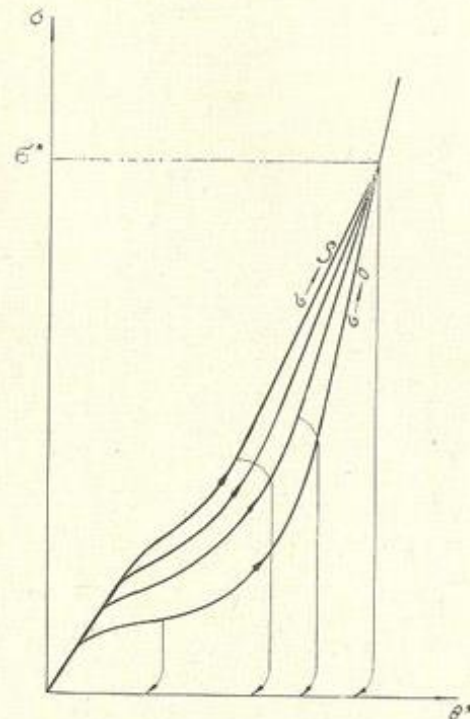


Рис. 31. Динамические кривые деформации связных пород при различной скорости возрастания нагрузки от квазистатической ($\sigma \rightarrow 0$) до взрывного нагружения ($\sigma \rightarrow \infty$); σ^* и θ^* — напряжения и деформации при закрытии свободных пор.

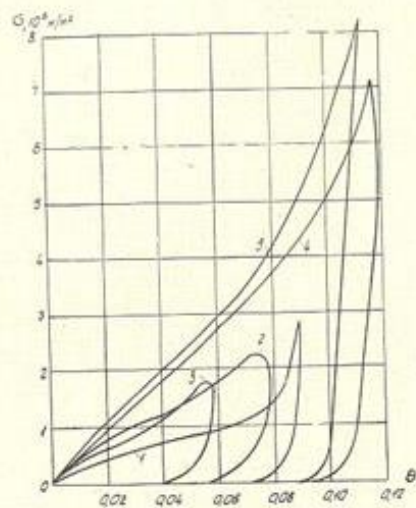


Рис. 32. Кривые напряжения — деформации, полученные путем испытания образцов суглинков на установке одноосного динамического сжатия при нагружении с различными скоростями:

1 — квазистатическое нагружение ($\sigma \rightarrow 0$); 2 — нагружение со скоростью 200 да/см² · с; 3 — то же, 286 да/см² · с; 4 — 3090 да/см² · с.

На рис. 32 приведены диаграммы $\sigma-\theta$, полученные при испытании образцов киевских суглинков.

В общем виде зависимость $\sigma-\theta$, соответствующая нагрузочной ветви кривой, описывается уравнением

$$\theta = \theta_s + \frac{\sigma - \sigma_s}{f(\sigma) + (\sigma - \sigma_s) f_2(\sigma)},$$

где θ , θ_s — деформации и напряжения, соответствующие переходу пород из упругого в пластическое состояние;

$f(\sigma)$, $f_2(\sigma)$ — некоторые функции, определяющие зависимость диаграммы сжатия от скорости нагружения (при $\sigma = \sigma_{кр}$; $f(\sigma) = \text{const}$, $f_2(\sigma) = \text{const}$).

Описание вида этих функций и определяющих их коэффициентов для некоторых грунтов приведены в работе А. А. Вовка и др. [11].

Отметим, что в приведенной формуле линейная деформация при одноосном сжатии заменена равной ей объемной деформацией Θ_v , выражаемой формулой:

формации зависит главным образом от объема свободной пористости, то есть от объема газов в порах данной породы.

Вместе с тем кривые $\sigma-\theta$ изменяются лишь в определенном диапазоне скоростей нагружения. После некоторого критического значения скорости $\sigma_{кр}$, имеющей значение для различных связанных пород от 10^4 до $2,5 \cdot 10^4$ да/см² · с, возрастание скорости нагружения не приводит к изменению зависимости $\sigma-\theta$, то есть вязкие свойства связанных пород не проявляются. Это дает основание моделировать породы при изучении действия взрыва упруго-пластическим телом и применять при изучении действия различных по массам, но одинаковых по форме зарядов закона подобия.

На рис. 32 приведены диаграммы $\sigma-\theta$, получен-

$$\Theta_v = \frac{V - V_0}{V} = 1 - \frac{\rho}{\rho_0},$$

где V_0 , V — первоначальный и конечный объем образца; ρ_0 , ρ — начальная и конечная плотность.

Изменение прочностных показателей при динамическом нагружении. Прочностные свойства грунтов характеризуются коэффициентом сцепления τ и коэффициентом внутреннего трения φ . При испытаниях связанных грунтов на одноосное сжатие с динамическим нагружением измеряли главные напряжения σ_1 и σ_2 , по которым определяли динамический коэффициент бокового давления μ ($\mu = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$). Этот

коэффициент из условия пластичности Прандтля—Кулона связан со сцеплением τ_0 и углом внутреннего трения φ соотношением

$$\mu = \frac{1}{1 + \sin \varphi} \left(1 - \sin \varphi - 2 \frac{\tau_0}{\sigma_1} \cos \varphi \right),$$

где σ_1 — компонента напряжений в момент измерения коэффициента (продолжительными считаем сжимающие напряжения).

Из приведенного соотношения могут быть получены формулы для расчета сцепления и угла внутреннего трения на участке между двумя какими-либо значениями σ_1' , σ_2' , σ_1'' , σ_2'' нагрузочной кривой диаграммы объемного сжатия:

$$\tau_0 = \frac{\sigma_1' \sigma_2'' - \sigma_1'' \sigma_2'}{V(\sigma_1'' - \sigma_1')(\sigma_2'' - \sigma_2')};$$

$$\varphi = \arcsin \frac{\sigma_1'' - \sigma_2'' - \sigma_1' + \sigma_2'}{\sigma_1'' + \sigma_2'' - \sigma_1' - \sigma_2'}.$$

Значения сцепления и угла внутреннего трения, определенные на каком-либо участке нагрузочной ветви диаграммы, характеризуют прочностные показатели в момент действия динамической нагрузки, а на разгрузочной ветви диаграммы — прочностные показатели грунтов, измененные в результате динамического нагружения.

В таблице 22 приведены прочностные показатели двух образцов керченских пластичных глин. Первый из них — весовой влажностью 14% — нагружался до $\sigma_1 = 52,3$ кгс/м², второй — весовой влажностью 22% до $\sigma_1 = 72,5$ кгс/см².

Испытания показали, что кривизна огибающих кругов Мора, характеризующая прочность грунтов, сохраняет кривизну и после уплотнения, то есть прочностные показатели уплотненных, так же как и не уплотненных, грунтов несколько изменяются с изменением напряжений после динамического нагружения (при разгрузке и повторном нагружении) — отмечается тенденция к увеличению сцепления и уменьшению угла внутреннего трения.

Таблица 22

Прочностные показатели образцов керченских глин при динамическом нагружении и разгрузке

Показатели	Сцепление в диапазоне нормальных напряжений (даж/см ²)					Угол внутреннего трения (град.) в диапазоне нормальных напряжений (даж/см ²)				
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—45	0—10	10—20	20—30	30—40	40—45
При нагружении образцов естественной структуры:										
образец 1	0,6	1,0	4,3	7,8	10,2	44,0	40,0	22,2	12,3	6,4
образец 2	0,2	1,6	6,6	9,9	—	35,0	5,0	1,5	0	—
При повторном нагружении:										
образец 1	0,12	1,1	4,4	8,3	—	37,0	31,0	7,0	1,0	—
образец 2	0,2	1,7	7,8	—	—	29,0	1,0	—	—	—
При разгрузке:										
после первого нагружения (образец 1)	0,1	1,2	3,0	4,8	—	25,0	5,0	2,0	1,0	—
после второго нагружения (образец 1)	0,2	1,2	2,8	4,2	—	25,0	5,0	1,6	1,0	—
после второго нагружения (образец 1)	0,2	2,0	—	—	—	15,0	0,4	—	—	—

После уплотнения образцы испытывали на срезном приборе Маслова—Лурье для определения сцепления и угла внутреннего трения по стандартной методике. Как показали эти испытания, сцепление, определенное по стандартной методике, примерно в 1,5 раза превышает сцепление, установленное по замеру компонентов напряжения по разгрузочной ветви. Это характеризует запас прочности при расчетах по замеру компонентов напряжения.

Влияние влажности на деформативные и прочностные свойства грунтов при динамических нагрузках. Механические свойства нескольких пород зависят от влажности. Определению изменений деформативных свойств при динамических нагрузках посвящена работа А. Ф. Лебедева [34], не потерявшая своего значения до настоящего времени. В результате его исследований было установлено, что при повторяющихся ударных нагрузках малой интенсивности (от падения груза на образец с высоты 1 м) на предельное уплотнение глинистых грунтов низкой влажности требуется большая затрата работы. С увеличением влажности необходимая для предельного уплотнения работа резко падает. При этом уменьшается, но менее значительно, величина предельного уплотнения.

Так, для достижения предельного уплотнения легких, средних и тяжелых суглинков весовой влажностью 12—16%, а глин влажностью 32—34% затрачивалась работа 110—130 кгс·м, а при весовой влажности соответственно 28—29 и 52% лишь

2 кгс·м. Предельное уплотнение почти пропорционально снижалось с возрастанием влажности (в данном случае в 2,5—3 раза). Абсолютные значения деформации в этих опытах превышали предельную деформацию при однократном взрывном нагружении, рассчитанную по объему свободных пор. Это объясняется вытеканием воды из образца в промежутках между ударами. Однако общие закономерности деформирования не противоречат более поздним экспериментальным данным по однократному динамическому нагружению образцов, полученным А. А. Вовком и др. [12].

На рис. 33 приведены графики функциональных зависимостей, связывающих предельную расчетную деформацию Θ^{**} , соответствующую полному закрытию свободных пор; фактическую предельную деформацию, достигаемую при однократном динамическом нагружении Θ^* ; работу уплотнения A ; весовую влажность W в проц., т. е.

$$\Theta^{**}(W) = 1 - \gamma_{ск} \left(\frac{1}{\rho_m} + \frac{W}{100} \right);$$

$$\Theta^{**}(0) = \Theta_v^* = 1 - \frac{\gamma_{ск}}{\rho_0},$$

где $\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета;

ρ_m — плотность (удельный вес) минералов скелета;

$$\Theta_v^* = k\Theta^{**},$$

где $k = 0,85—0,95$.

Деформация, достигаемая при затрате работы уплотнения, составляет:

$$\Theta = a \frac{\Delta W}{100} e^{-\frac{b \Delta W}{W A^{1/2}}},$$

где W — весовая влажность грунта;

ΔW — разность весовой влажности при полном водонасыщении $W_{пр}$ и данной весовой влажности ($\Delta W = W_{пр} - W$);

A — работа, затрачиваемая на деформирование 1 см³ грунта;

a, b — коэффициенты, зависящие от свойств пород.

Согласно исследованиям А. Ф. Лебедева [34], эти коэффициенты имеют следующие значения:

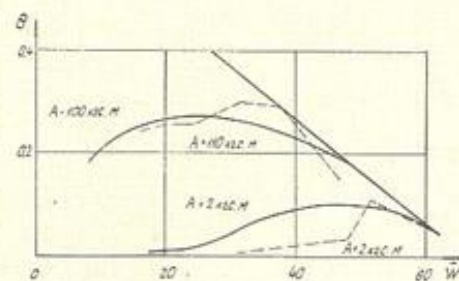


Рис. 33. График зависимости объемной деформации от влажности грунтов:

1 — предельная расчетная деформация; 2 — фактическая предельная деформация (сплошные линии — расчетные кривые, пунктир — фактические изменения деформации от влажности при затрате 100 и 2 кгс·м работы уплотнения)

	W, %	a ²	b, кгс·м ^{1/2} /см ^{3/2}
глины	62	1,98	3
суглинки тяжелые	42	2,64	3
суглинки средние и легкие	35	3	3

При однократном интенсивном динамическом нагружении:

	W, %	a	b, кгс·м ^{1/2} /см ^{3/2}
глины	64	1,1	3
суглинки тяжелые	44	1,2	3
суглинки средние и легкие	37	1,3	3

При исследованиях была установлена оптимальная влажность, при которой достигается наибольшая относительная объемная деформация при однократном ударном нагружении заданной интенсивности. Определены также закономерности изменения условий пластичности при динамических нагружениях различной интенсивности грунтов разной влажности. Установлено, в частности, что при весовой влажности 20% и нормальных напряжениях 10 кгс/см² угол внутреннего трения глинистых грунтов падает до нуля, при более высоких нормальных напряжениях приобретает отрицательные значения с одновременным снижением сцепления, а при давлениях 40—50 кгс/см² касательные напряжения в грунтах исчезают и последние приобретают свойства жидкости. В менее выраженной форме (и при более значительных нормальных напряжениях) это отмечается при влажности грунтов 17%. Наконец, при влажности пород 14 и 19% снижения касательных напряжений не отмечалось (рис. 34). Для грунтов влажностью более 20% характерно более значительное снижение угла внутреннего трения с возрастанием нагрузки и менее интенсивное изменение сцепления.

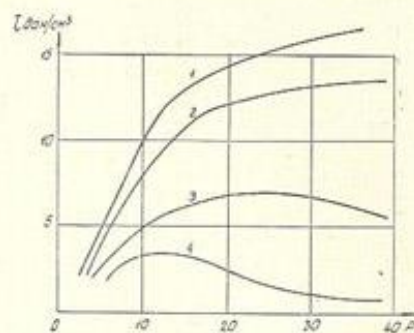


Рис. 34. Изменение интенсивности касательных напряжений грунтов различной весовой влажности: 1 — влажность 9%; 2 — 17%; 3 — 14%; 4 — 9%.

Уплотнение грунтового массива при взрывах. При прохождении в массиве связанных (глинистых) грунтов пластической взрывной волны сжатия частицы грунта приобретают скорость и след за распространением волны происходит движение среды. На месте очага взрыва возникает полость, окруженная уплотненными грунтами, частично разбитыми трещинами.

Размеры зоны остаточных деформаций зависят от интенсивности затухания, т. е. от симметрии заряда

и физических свойств грунтов. Симметрия фронта взрывных волн в однородных грунтах существенно влияет как на размеры зоны остаточных деформаций и зоны кольматации, так и на распределение деформаций с удалением от заряда. Сравнение данных о характере уплотнения грунта взрывом сосредоточенного и удлиненного зарядов показывает, что последний деформирует грунтовой массив на большие расстояния. При осевой симметрии размеры зоны остаточных деформаций достигают 200 гз, в то время как при взрыве заряда с центральной симметрией они составляют (40—50) гз. Абсолютные размеры уплотненной зоны грунта при действии цилиндрического заряда в 1,5—2 раза больше, чем при взрыве равновеликого сосредоточенного заряда.

Исследования и визуальные наблюдения позволили установить, что в случае сосредоточенных взрывов начальная плотность грунта на границе с полостью выше, чем при взрыве цилиндрического заряда, однако в последнем случае размеры зоны остаточных деформаций больше и пористость распространяется равномернее.

На рис. 35 приведены изолинии остаточных деформаций суглинка с объемным весом скелета $\gamma = 1,6$ г/см³ после взрыва сосредоточенного сферического и горизонтального цилиндрического зарядов, нанесенные на вертикальную плоскость, проходящую через центр сосредоточенного заряда и перпендикулярно оси цилиндрического. И в первом, и во втором случае масса заряда составила 2 кг на 1 м.

Специфика условий распределения взрывной волны в неоднородном по глубине грунте сказалась на характере распределения деформаций. Размеры зоны остаточных деформаций по вертикали больше, чем по горизонтали, так как с глубиной пористость грунта несколько снижается по сравнению с верхним слоем грунта, вол-

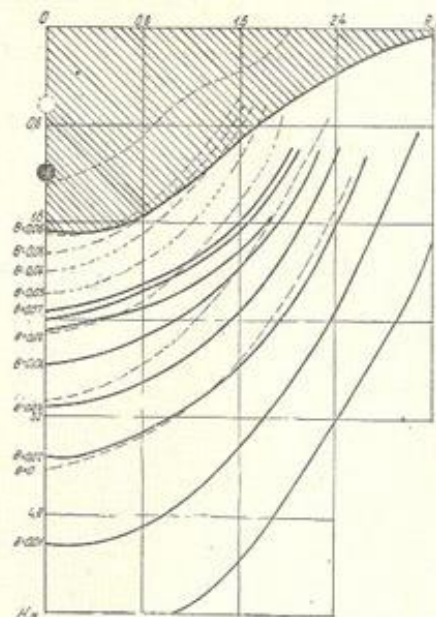


Рис. 35. Поля деформаций вокруг зарядов выброса (сосредоточенного — пунктир, горизонтального цилиндрического — сплошные линии)

на деформации распространяется на большую глубину, хотя абсолютные величины на равных расстояниях по горизонтали находятся в прямой зависимости от значений Θ . Более высокие значения — $\Theta=0,06-0,1$ — соответствуют зоне под выемкой ближе к заряду, то есть зона максимального закрытия пор в первом случае уже, что должно сказаться на характере перемещения влаги в уплотненной зоне при последующей эксплуатации выемки.

Общее поле деформаций вокруг сосредоточенного заряда имеет вид тела вращения, а равные деформации вызываются на поверхностях вращения с вертикальной осью симметрии, проходящей через центр заряда.

Часто выделяются две или три зоны влияния взрыва в грунтах в зависимости от изменения плотности этих пород — ближнюю, среднюю и дальнюю, или зону уплотнения и зону сейсмического влияния. По нашему мнению, целесообразно рассматривать в зависимости от характера и степени уплотнения пород четыре зоны (рис. 36):

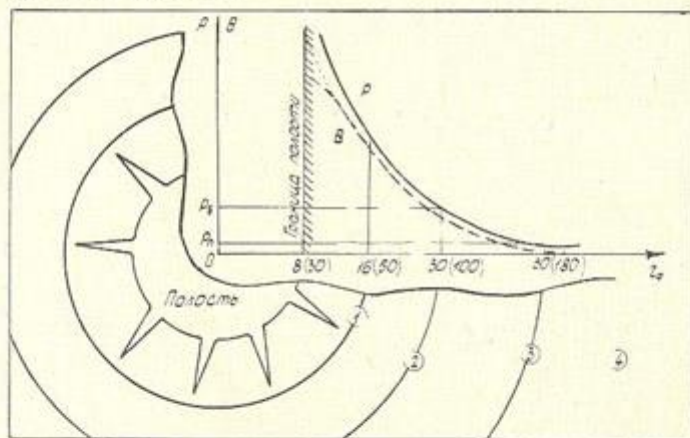


Рис. 36. Распределение зон влияния взрыва в грунтах

зону, примыкающую к камуфлетной полости, — зону предельного уплотнения, где грунты имеют почти постоянную, максимально возможную при данной влажности плотность;

зону значительного уплотнения — уплотненную (ближнюю) зону, где объемная деформация уменьшается по мере удаления от очага взрыва от максимальной величины до величины, равной точности измерений (примерно до 0,02);

зону небольшого уплотнения, или кольматации (среднюю зону), где объемная деформация может быть выявлена косвенными способами, в частности, путем определения изменений фильтрационных свойств пород;

зону сейсмических колебаний пород (дальнюю зону).

Относительный радиус полости $r_{\text{пол.}}$ (в радиусах заряда) при взрыве камуфлетного заряда изменяется от 4—5 в известняках-ракушечниках и плотных сухих загипсованных или заизвесткованных глинистых породах весовой влажностью 8—14% до 10—12 в высокопластичных малоуплотненных глинах (7,0—8,5 — для большинства суглинков, 8,0—9,5 — для глин). С величиной радиуса полости тесно связан показатель простреливаемости $k_{\text{пр.}}$, равный отношению объема полости $V_{\text{пол.}}$ (дм³) к массе заряда C (кг):

$$k_{\text{пр.}} = \frac{V_{\text{пол.}}}{C} = \frac{r_{\text{пол.}}^3}{\gamma_{\text{вв}}},$$

где $\gamma_{\text{вв}}$ — объемный вес взрывчатого вещества.

В таблице 23 приведены значения $\gamma_{\text{вв}}$ и $r_{\text{пол.}}$ по данным экспериментов и литературных источников.

Таблица 23

Значения коэффициента простреливаемости и относительных радиусов полости в некоторых нескальных породах

Группы	Оптимальная влажность (0,5—0,9 полного водонасыщения)		Влажность менее 0,4—0,45 полного водонасыщения	
	$\gamma_{\text{вв}}$, дм ³ /кг	$r_{\text{пол.}}$	$\gamma_{\text{вв}}$, дм ³ /кг	$r_{\text{пол.}}$
Глина моренная пластичная	1200—1300	10,5—11,5	800—1000	3,0—10,0
Глина сарматская пластичная	1000—1300	9,5—10,5	600—800	8,5—9,0
Глина юрская черная	600—800	8,5—9,5	400—500	7,5—8,0
Суглинок жирный	400—550	7,3—8,1	200—300	5,8—6,6
Супесь	360—450	7,0—7,6	220—300	6,0—6,5
Глина пылеватая	300—400	7,0—7,3	180—250	5,5—6,3
Глина песчаная	280—400	6,5—7,3	200—250	5,7—6,3
Суглинок плотный	320—450	6,8—7,3	240—300	6,1—6,6
Супесь плотная	300—400	7,0—7,5	220—270	6,0—6,4
Глина синяя ломовая	130—160	5,0—5,4	100—125	4,6—5,0
Глина песчаная плотная	80—100	4,3—4,5	70—80	4,2—4,4
Мергель мягкий трещиноватый	200—300	5,7—6,5	150—200	5,3—5,7
Мергель средней крепости, трещиноватый	100—150	4,6—5,3	70—90	4,2—4,6
Известняк-ракушечник	50—100	3,7—4,6	40—60	3,4—4,0

Зона максимального уплотнения образуется лишь при взрывании в пластичных глинистых грунтах и имеет небольшие размеры. В пластичных глинах весовой влажностью 40—45%, со свободной пористостью 3—5% мощность не превышает 4—6 радиусов заряда. В четвертичных суглинках весовой влажностью 12—17% при взрывах создается «корка» уплотненных пород толщиной до 15—20 см. Грунты в пределах этого слоя разбиты

трещинами, поэтому при определении устойчивости и противофильтрационного уплотнения они не играют существенной роли.

Зона значительного уплотнения (уплотненная зона) распространяется на расстояние, равное 35—36 радиусам заряда при взрыве сосредоточенных зарядов и 120—130 радиусам при взрыве цилиндрических зарядов в сухих связных грунтах высокой начальной плотности и соответственно 40—45 и 140—150 — в четвертичных суглинках и супесях весовой влажностью 14—18%.

Определение границы средней зоны (зоны небольшого уплотнения) вызывает некоторые затруднения, так как изменение плотности грунтов в этой зоне выходит за пределы точности измерений.

Значительное уменьшение коэффициента фильтрации грунтов в рассматриваемой зоне Г. И. Покровский [47] объяснял изменением взаимного расположения частиц при прохождении взрывной волны. Эту зону принято называть зоной кольматации.

Изменение влажности связных грунтов в уплотненной зоне. Уплотнение при распространении взрывных волн, протекающее с большой скоростью, не может вызвать изменения весовой влажности грунтов, имеющих низкую фильтрационную способность. По расчетным данным, уплотнение приводит лишь к некоторому повышению объемной влажности (без изменения весовой). Вместе с тем исследования методом радиоактивного каротажа показывают возникновение вокруг очага взрыва цилиндрического заряда двух зон:

зоны пониженной влажности, непосредственно примыкающей к стенке полости и распространяющейся при взрыве в четвертичных суглинках и супесях влажностью 12—17% на расстояние, равное 80—90 радиусам заряда;

зоны повышенной влажности, внешняя граница которой совпадает с внешней границей уплотненной (ближней) зоны.

Граница между первой и второй зонами выражена резко, внешняя граница второй зоны устанавливается условно, т. к. кривая изменения влажности асимптотически приближается к оси абсцисс. Понижение влажности достигает 1,5—2,0%, возрастание — 1,2—1,5%.

Следует отметить, что измерения проводили, как правило, через 30—40 мин., а иногда и через несколько часов после взрыва. Результаты этих измерений не совпадали с обоснованным теоретически и принятым в практике утверждением о неизменности весовой влажности. На основе анализа данных была выдвинута гипотеза о возникновении медленного перемещения воды после прохождения взрывной волны и уплотнения пород. Это перемещение вызывает повышение напряжения, обусловленное сжатием в порах пород заземленных газов. Движение воды в сторону камуфлетной полости происходит в меньшей степени, поскольку коэффициент фильтрации здесь значительно снижен. Фильтрация воды в полость отмечается визу-

альными наблюдениями (радиоизотопный каротаж в разбитой трещинами зоне не дает результатов). Основная часть воды, по мнению авторов, перемещается под давлением газов в глубь массива, где создается зона повышенной влажности.

Для проверки выдвинутой гипотезы неоднократно измеряли влажность вокруг очага взрыва. Измерения проводили через 10—12 мин. после взрыва с интервалом 15—45 мин. Полученные данные подтверждают правильность гипотезы и хорошо согласуются с теоретическим расчетом.

Прочностные показатели связных грунтов уплотненной зоны. Как отмечалось выше, при динамическом уплотнении образцов связных (глинистых) грунтов повышается сцепление и в большей степени изменяется угол внутреннего трения. В массиве изменения прочностных показателей носят более сложный характер в связи с изменением влажности. В связных грунтах с первоначальной влажностью не ниже 10—11% вокруг очага взрыва по прочностным показателям, так же как и по влажности, выделяются две зоны:

зона повышенных (по сравнению с первоначальными) значений сцепления, угла внутреннего трения; примыкает к границе полости, внешние ее границы проходят на расстоянии, равном 15—30 радиусам заряда;

зона пониженных значений сцепления и угла внутреннего трения, внешние границы ее примерно совпадают с внешней границей уплотненной зоны.

В четвертичных суглинках, как показывают экспериментальные данные, сцепление в наибольшей степени повышается (в 1,2 раза) и снижается (на 26%) при первоначальной весовой влажности около 12%; в наименьшей степени (соответственно на 70 и 18%) при влажности 18—19%.

Изменение угла внутреннего трения менее значительно: в суглинках он увеличивается в среднем на 50—60%, уменьшается — на 15—20%.

На рис. 37 показано изменение прочностных показателей грунтового массива вблизи взрывной выемки. Непосредственно к нижней части выемки примыкает зона, где уплотнение грунтов сопровождается повышением сцепления. Максимум роста величины сцепления — в 2—2,5 раза — достигается непосредственно у откоса выемки. У внешней границы зоны сцепление равно первоначальному. Почти аналогично, но менее значительно по величине, изменяется в этой зоне угол внутреннего трения (рис. 38).

Рассматриваемая зона распространяется по горизонтали на расстояние, составляющее 35—40 радиусов горизонтального цилиндрического заряда в породах весовой влажностью до 12—14% и 40—45 радиусов в более влажных породах. Далее следует зона, где, несмотря на уплотнение пород, сцепление и угол внутреннего трения несколько снижены. Минимальные зна-

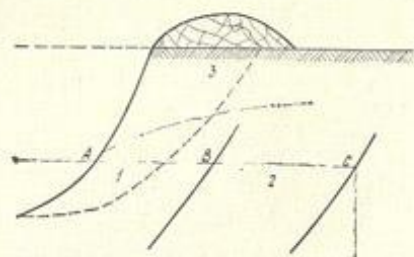


Рис. 37. Изменение прочностных показателей грунтового массива вблизи взрывной выемки:

1 — зона, где происходит упрочнение одновременно со значительным уплотнением грунтов; 2 — зона разуплотнения при незначительном уплотнении; 3 — зона разуплотнения и разуплотнения грунтов

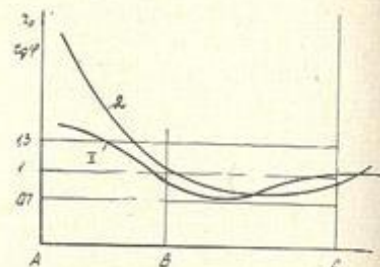


Рис. 38. График относительных изменений сцепления (кривая 1) и угла внутреннего трения (кривая 2) с увеличением расстояния от границы взрывной выемки

чения сцепления составляют от 0,6—0,7, а угол внутреннего трения — до 0,7—0,8 первоначальных величин (в центре зоны). Внешняя граница этой зоны проходит от оси заряда на расстоянии 120—130 радиусов заряда в сухих породах и 150—160 радиусов во влажных породах. На больших расстояниях от выемки заметных изменений прочностных показателей не отмечалось (зона 3).

К верхней части выемки примыкает зона, где происходит разуплотнение пород и прочностные показатели снижены.

На рис. 37 показана вероятная поверхность скольжения при развитии оползней в бортах выемки. Основная часть этой поверхности проходит в зоне, где сцепление повышено, а угол внутреннего трения либо повышен, либо незначительно снижен. Это доказывает, что откосы взрывных выемок более устойчивы, чем откосы выемок, вырытых механическими способами.

Как показывают наблюдения за состоянием взрывных выемок, в связных породах весовой влажностью до 25—26% отмечаются иногда лишь незначительные осыпания верхней части откоса, т. е. нарушения условий устойчивости возникают лишь в пределах зоны разуплотнения и разрушения пород.

Деформирование и уплотнение лессов и несвязных грунтов. Закономерности распространения и затухания взрывных волн в сухих лессах и песках качественно не отличаются от закономерностей распространения и затухания их в связных (глинистых) породах. Но вследствие более интенсивной диссипации скорость распространения волны меньше, импульсы более интенсивно «размазываются» и волны на меньшем расстоянии от очага заряда переходят в упругие.

Более существенно отличаются результаты действия пластической взрывной волны сжатия. В сухих (весовой влажностью 6—7%) лессах с пористостью 0,53 наблюдалось полное раз-

рушение структурных связей с превращением лесса в несвязную массу — плотностью на 12—15% выше, чем первоначальная. Внешняя граница зоны полного разрушения проходила на расстоянии 8—9 радиусов от заряда. Далее, на расстоянии, равном 12—14 радиусам заряда, отмечалось частичное разрушение связей и уплотнение массива на 5—10% (следует отметить, что данные получены по небольшому числу замеров). Отмечается также уплотнение песка вокруг очага взрыва. Величина уплотнения и границы ее распространения существенно зависят от первоначальной плотности и коэффициента уплотнения песка.

По данным Г. В. Рыкова [40], предельная объемная деформация песков с объемным весом скелета $V = 1,50—1,52$ г/см³ и весовой влажностью 15—17% составила около 0,012, при влажности 10—12% — 0,018. При объемном весе 1,35—1,40 и влажности 15—17% объемная деформация достигала 0,06. При взрыве в водонасыщенных песках, а также при других динамических нагружениях этих песков (вибрация, удары, возможно, тиксотропное разжижение), она проявляется в виде внезапной потери прочности и устойчивости и приобретения свойств жидкости; возникает разжижение в неуплотненных грунтах [12].

Тиксотропное разжижение намытых подводным способом песков под действием взрыва изучалось Г. М. Ляховым [35]. Пески с объемным весом скелета $V_{ск.} = 1,52—1,53$ г/см³ разжижались лишь при малом содержании заземленного воздуха. При объемном весе скелета $V_{ск.} = 1,50$ г/см³ разжижение наблюдалось как при малом, так и при большом содержании воздуха, а при $V_{ск.} = 1,60$ г/см³ не зафиксировано. Разжижение возникает при действии как сильных, так и сравнительно слабых взрывных импульсов.

Радиус зоны разжижения и время нахождения в разжиженном состоянии по Г. М. Ляхову определяется формулами:

$$r = a\sqrt[3]{c}; t = b\sqrt[3]{c},$$

где: c — масса сосредоточения заряда;

a — коэффициент с размерностью м/кг^{1/3}, изменяющийся от 2 до 8 при возрастании относительной глубины заложения заряда от 0 до 3;

b — коэффициент с размерностью с/кг^{1/3}, изменяющийся от 0 до 3.

Тонкозернистые плавунные пески, по данным экспериментов Киевского отделения ИГТМ АН УССР, во вскрышных породах Попельнянского и Ольшаницкого карьеров Житомирской области после тиксотропного разжижения дренируются. Повторное взрывание в песках, подвергшихся тиксотропному разжижению, приводит к повышению прочности и устойчивости массива в откосах взрывных воронок.

Изменение фильтрационных свойств грунтового массива вокруг очага взрыва

Как указывалось выше, грунт при динамическом нагружении уплотняется в основном за счет сжатия воздуха, то есть уменьшения свободной пористости (в результате переупаковки частиц скелета с взаимным их смещением). При этом уменьшаются размеры пор и их количество вследствие объединения адсорбционных пленок, окружающих минеральные частицы. Это приводит к увеличению вязкого сопротивления и уменьшению площади фильтрации, а значит, и к снижению скорости движения воды через уплотненный грунт.

Строгое решение задачи о движении жидких и газообразных сред через поровое пространство переменной плотности практически невозможно. В то же время инженерную практику интересуют вопросы, связанные с возможностью предварительного расчета фильтрационных потерь полезного продукта из сооружения, полученного взрывным способом. С этой целью приближенно определены изменения проницаемости грунтового массива, уплотненного при динамическом нагружении.

Грунт представляет собой сложную гетерогенную полидисперсную систему, состоящую из зерен минерального скелета, воды и воздуха. Формы минеральных частиц грунтового скелета весьма разнообразны. В песчаных и супесчаных грунтах преобладают окатанные частицы шаровидной или близкой к ней формы. В глинистых грунтах преобладающая форма минеральных частиц определяется основным породообразующим минералом. Учесть многообразие форм практически невозможно, поэтому в наших расчетах будем полагать, что минеральные зерна имеют шаровидную форму.

При установившемся движении жидкой или газообразной среды через поровое пространство грунта сила вязкого сопротивления перемещению среды по порам $F_{\text{вязк.}}$ уравнивается внешнее давление P и вес перемещающейся среды $F_{\text{вес.}}$, то есть

$$F_{\text{вязк.}} = F_{\text{вес.}} + P.$$

Для конкретности расчета полагаем, что в уплотненном грунте перемещается вода, хотя аналогичные рассуждения справедливы и для других жидкостей и газов.

Рассматривая фильтрационный расход воды через единицу площади поверхности полученного взрывом сооружения, установив значения слагаемых в приведенной формуле.

Величина внешнего давления определяется напором H , уровнем воды в полости h и пористостью грунта m :

$$P = \gamma_B (H + h) m,$$

где γ_B — плотность свободной (перемещающейся) воды.

Грунтовая влага может быть представлена в виде двух частей: связанной воды (в основном в виде адсорбционных пленок)

и свободной. При фильтрации объем свободной воды в грунте увеличивается за счет заполнения свободных пор. Поэтому общий объем воды, перемещающейся в поровом пространстве грунта, оказывается равным общему объему пор, уменьшенному на объем связанной воды. Отсюда

$$F_{\text{вес.}} = \gamma_B m - \gamma_a \frac{a_1}{d^3} [(d + \delta)^3 - d^3],$$

где γ^a — плотность воды в адсорбционной пленке минеральной частицы;

a_1 — содержание твердой фазы в грунте;

δ — толщина адсорбционной пленки;

d — эффективный диаметр минеральной частицы.

Вводя в уравнение выражение $\lambda = \frac{\delta}{d}$ и учитывая, что $\delta \leq d$, $\lambda^3 \rightarrow 0$, получим:

$$F_{\text{вес.}} = \gamma_B m - 3\lambda \gamma_a a_1 (1 + \lambda).$$

Сила вязкого сопротивления движения поровой воды, согласно Е. Д. Каминанову [27],

$$F_{\text{вязк.}} = B \mu q,$$

где B — постоянная, имеющая размерность и являющаяся характеристикой геометрии пор;

μ — вязкость воды;

q — объемный расход воды через единицу площади.

С учетом приведенных выше выражений получим после некоторых преобразований уравнение фильтрационного расхода воды через единицу площади недеформированного грунта:

$$q = \frac{\gamma_B m (H + h + 1)}{\mu B} - \frac{3\lambda \gamma_a a_1 (1 + \lambda)}{\mu B}.$$

Уплотнение грунта, происходящее в основном за счет уменьшения свободной пористости, сопровождается изменением его физико-механических показателей. Пористость уплотненного грунта при этом

$$m_* = m - \theta,$$

а содержание твердой фазы увеличивается до

$$a_1^* = \frac{a_1}{1 - \theta}.$$

Поскольку постоянная B пропорциональна удельной поверхности грунтовых пор Σ , изменяющейся при уплотнении по закону

$$\Sigma_* = \frac{\Sigma}{1 - \theta},$$

то для уплотненного грунта имеем:

$$B_* = \frac{B}{1 - \theta}.$$

20. Гундарев К. А. Влияние взрывов зарядов различной симметрии на прочностные свойства связных грунтов.— В кн.: «Использование взрыва в народном хозяйстве», ч. III, Киев, «Наукова думка», 1970.
21. Давыдов С. А. Применение энергии взрыва в гидротехническом строительстве.— В кн.: «Действие взрыва в грунтах», М., Госгортехиздат, 1954.
22. Давыдов С. А., Кузнецов В. А. Взрывание на выброс траншейными зарядами ВВ. «Взрывное дело», № 69/26, 1970.
23. Демидюк Г. П. Современные теоретические представления о действии взрыва в среде.— В кн.: «Буровзрывные работы в горной промышленности», М., Госгортехиздат, 1962.
24. Докучаев М. Н., Родионов В. Б., Ромашева В. П. Взрывы на выброс. АН СССР, 1969.
25. Зарещкий Ю. К. Теория консолидации грунтов, М., «Наука», 1967.
26. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, М., Физматгиз, 1966.
27. Каминанов Е. Д. Изменение плотности при взрыве. «Гидротехническое строительство», № 10, 1947.
28. Коллинз Р. Течение жидкости через пористые материалы, М., «Мир», 1952.
29. Коул Р. Подводные взрывы, М., ИЛ, 1969.
30. Кравец В. Г., Демсчук Л. И. Применение радиоактивного каротажа для исследования грунтов в зоне, уплотненной взрывом.— В кн.: «Взрыв в пористых и дисперсных средах», Киев, «Наукова думка», 1969.
31. Кузнецов В. А. Особенности линейно-распределенных зарядов выброса в грунтах.— В кн.: «Использование взрыва в народном хозяйстве», ч. III, Киев, «Наукова думка», 1970.
32. Кушнарев Д. М., Беликов М. П. Взрывные работы в гидромелиоративном и сельском строительстве, М., Издательство литературы по строительству, 1972.
33. Лаурентьев М. А., Кузнецов М. В., Шер Е. М. О направленном метании грунта при помощи взрыва. Новосибирск, СО АН СССР, 1961.
34. Лебедев А. Ф. Уплотнение грунтов при различной их влажности, М., Стройвоенмориздат, 1948.
35. Ляхов Г. М. Основы динамики взрыва в грунтах и жидких средах, М., «Недра», 1964.
36. Марченко Л. М. Увеличение эффективности взрыва при добывании полезных ископаемых, М., «Наука», 1955.
37. Мельников Н. В., Марченко Л. Н. Энергия взрыва и конструкция заряда, М., «Недра», 1964.
38. Мельников Н. В., Марченко Л. Н. Методы повышения коэффициента полезного использования энергии взрыва. ИГД АН СССР, 1959.
39. Мельников Н. В., Демидюк Г. П. Регулирование объемной концентрации энергии ВВ как средство интенсификации горных пород взрывом, М., «Недра», 1970.
40. Мельников В. В., Рыков Г. В. О влиянии скорости деформирования на сжимаемость суглинков. ПМТФ, № 2, 1965.
41. Михалюк А. В., Черный Г. И. Экспериментальные исследования реологических соотношений сжимаемых пород при ударных нагрузках. ПМТФ, № 1, 1970.
42. Опыт применения взрыва на строительстве Главного Мургабского коллектора. «Гидротехника и мелиорация», № 6, 1971.
43. Орнатский Н. М. Механика грунтов, МГУ, 1962.
44. Основы динамики грунтов и ее практическое приложение. Киев, «Наукова думка», 1968.
45. Нордайи М. Д. Разрушение и механика горных пород. Сб. докладов на симпозиуме в г. Ролла (США). Институт горного дела им. Скопинского А. А., 1963.
46. Панюков П. А. Инженерная геология, М., Госгортехиздат, 1962.
47. Покровский Г. И., Федоров И. С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах, М., Гостройиздат, 1957.
48. Покровский Г. И., Черниговский А. А. Расчет зарядов при массовых взрывах на выброс, М., Госгортехиздат, 1962.
49. Покровский Г. И., Федоров И. С., Докучаев М. М. Применение направленного взрыва в гидротехническом строительстве, М., Гостройиздат, 1963.
50. Покровский Г. И. Зависимость формы зоны действия взрыва от формы и расположения зарядов. «Взрывное дело», № 54/11, 1964.
51. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды, М., Госгортехиздат, 1964.
52. Ханукаев А. Н. Энергия волн напряжения при разрушении пород взрывом, М., Госгортехиздат, 1962.
53. Черниговский А. А. Расчет плоских зарядов для вскрытия полезных ископаемых, М., «Недра», 1965.
54. Черный Г. И. Методы направленного изменения параметров взрывного импульса при взрывах в грунтах.— В кн.: «Использование взрыва в народном хозяйстве», ч. III, Киев, «Наукова думка», 1970.
55. Шифрин Е. И. Применение метода подобия для корректирования зарядов при взрывании на выброс. «Взрывное дело», № 61/13, 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Взрыв в грунтах	5
Понятие о взрыве	5
Полезная работа взрыва	7
Основные свойства грунтов	9
Характер действия взрыва в грунтах	12
Взрывчатые вещества, средства и способы взрывания	22
Взрывчатые вещества для строительства каналов и коллекторов	23
Характеристика взрывчатого превращения	31
Средства и принадлежности взрывания	33
Способы взрывания	53
Опыт строительства Каракумского канала им. В. И. Ленина в Турк- менской ССР, а также каналов и коллекторов в братских рес- публиках	54
Методы ведения взрывных работ	54
Технология и опыт строительства каналов линейными зарядами взрывчатого вещества	72
Изменение плотности и прочности грунтового массива в зоне действия взрыва	83
Изменение фильтрационных свойств грунтового массива вокруг очага взрыва	98
Экономическая эффективность строительства каналов и коллекторов методом взрыва	110
Основные показатели экономической эффективности	112
Капитальные вложения и методы их расчета	113
Стоимость продукции (текущие затраты) и методы их расчета	116
Определение производительности труда	121
Экономический эффект от сокращения срока строительства	123
Вопросы комплексной механизации технологических процессов строи- тельства каналов взрывом	137
Транспортировка взрывчатого вещества на объект строительства	146
Установка для механизированной укладки линейных зарядов ВВ	149
Организация работ при использовании комплексно-механизирован- ной технологии	163
Указатель литературы	167

Управление «Каракумстрой»
Проектно-технологический трест «Каракуморгтехстрой»

БОЯКО Иван Федорович, ИГНАТОВ Иван Павлович,
ПИСАРЕВ Юрий Аверьянович

СТРОИТЕЛЬСТВО ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ
И КОЛЛЕКТОРОВ ВЗРЫВОМ

Редактор Думнова Г. Б.
Худ. редактор Мамеджиков Д.
Тех. редактор Радько Н.
Корректор Куткин В.