

Г. И. ПОКРОВСКИЙ, И. С. ФЕДОРОВ, М. М. ДОКУЧАЕВ

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛОТИН
НАПРАВЛЕННЫМИ
ВЗРЫВАМИ**

МОСКВА — 1951

Проф., д-р техн. наук Г. И. ПОКРОВСКИЙ,
проф., д-р техн. наук И. С. ФЕДОРОВ, инж. М. М. ДОКУЧАЕВ

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛОТИН НАПРАВЛЕННЫМИ ВЗРЫВАМИ

*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ
Москва — 1951

Редактор—канд. техн. наук *В. А. МЕЙСТЕР*

Книга содержит описание и обобщение накопленного в СССР за последнее десятилетие опыта по строительству напорных гидротехнических сооружений — плотин и перемычек — при помощи массовых направленных взрывов. На основе анализа физических предпосылок направленного действия взрыва в грунте и производственного опыта построена соответствующая теория.

В книге приведены технические показатели, таблицы расчетных коэффициентов и другие справочные материалы.

Книга предназначена для специалистов взрывного дела, инженеров-гидротехников и инженеров-строителей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Область техники, которой посвящена книга, возникла в СССР и быстро развивается.

Возможность применения взрывного способа для возведения земляных напорных гидротехнических сооружений может считаться в настоящее время доказанной: в этой области ведут работу различные научно-исследовательские учреждения, достижения которых уже нашли успешное применение на ряде ответственных объектов.

Практика применения направленного взрыва в гидротехническом строительстве предъявляет все новые и новые требования к исследовательской работе, что создает благоприятные условия для более ясного научного освещения проблемы направленного взрыва.

Настоящая работа имеет целью подвести итоги многолетней работы по теоретическому обоснованию и лабораторному изучению направленного взрыва, а также и опыта строительства плотин и перемычек при помощи направленных взрывов. Авторы стремились к тому, чтобы книга явилась средством внедрения этого достижения советской науки в практику гидротехнического строительства.

Поэтому в книге, наряду с изложением теоретических и экспериментальных исследований, приводятся краткие данные по технико-экономическим показателям метода, описываются случаи его применения и уделяется значительное внимание вопросам проектирования и производства работ по возведению напорных сооружений взрывным способом.

Авторы надеются, что книга будет способствовать дальнейшему развитию и усовершенствованию способа производства гидротехнических работ при помощи направленного взрыва.

Авторы будут признательны всем лицам и учреждениям за критические замечания по книге, которые следует направлять по адресу: Москва, Третьяковский проезд, д. 1, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре.

I. ВВЕДЕНИЕ

Невиданное в истории техники развитие гидротехнического строительства в СССР, громадные работы по воплощению в жизнь Сталинского плана преобразования природы нашей Родины, перспективы великих строек коммунизма—Куйбышевского и Сталинградского гидроузлов, Главного Туркменского канала, Каховской гидростанции, Южно-Украинского и Северо-Крымского каналов — создают весьма плодотворные предпосылки к развитию новых способов строительства. Одним из таких новых способов является способ массовых направленных взрывов.

Этот новый вид взрывной техники возник в СССР и за последнее десятилетие стал применяться при различных земляных и горных работах. Направленный взрыв дает значительную экономию при проведении взрывных работ и открывает большие возможности в различных областях гидротехнического, мелиоративного и транспортного строительства и горного дела.

Анализ развития техники показывает, что применение все более концентрированных форм энергии и все более и более синтетических форм движения характеризует историю энергетики последних десятилетий.

Переход от громоздкой и маломощной паровой машины к весьма компактному реактивному двигателю, не имеющему движущихся жестких элементов,—вот характерная тенденция развития современной техники. Принципиальная силовая схема двигателя упрощается, и его мощность, отнесенная к единице веса, значительно возрастает. Отражением этой тенденции в строительном деле является использование направленного взрыва для перемещения масс грунта.

Сущность направленного взрыва состоит в том, что энергия, выделяемая при взрыве, применяется для тех или иных целей так, чтобы получить желаемое действие только в заданной части пространства и создать движение только в заданном направлении. Направленный взрыв представляет полную противополож-

ность обычному неуправляемому, протекающему хаотически, взрыву. Учение о направленном взрыве и его практическая реализация являются, таким образом, применением совершенно новых принципов во взрывном деле.

Впервые на практике направленный взрыв был применен в период 1930—1936 гг. на работах, произведенных трестом Союзвзрывпром, и в 1938 г. на речном транспорте. Следует отметить такие методы, как: двухрядное взрывание, направленный выброс путем последовательного взрыва расположенных рядом зарядов, применение зарядов с воздушными полостями и камерами или применение различных фигурных, в частности,кумулятивных зарядов.

Можно отметить также особый эффект действия мощных взрывов на грунты; этот эффект выражается в том, что при подходящих условиях удается создавать весьма плотные массивы насыпного грунта в теле плотины или увеличивать водонепроницаемость естественных влажных грунтов и уменьшать фильтрацию через них (например, через дно и откосы каналов).

Направленный взрыв—это весьма гибкое средство, умело используя которое, инженер-взрывник может в несколько дней создавать огромные сооружения из грунтов при минимальном количестве механизмов и рабочих, не считаясь со временем года и без какой-либо особо сложной подготовки.

II. ОСНОВЫ ТЕХНИКИ НАПРАВЛЕННОГО ВЗРЫВА В ГРУНТАХ

Если остановиться более подробно на принципах направленного взрыва применительно к задачам строительной техники, то на первом месте можно поставить направленный взрыв в грунте с целью перемещения массы грунта в заданном направлении в определенное место и укладку этого грунта в виде насыпи заданной формы и с заданными механическими свойствами.

Основой всех этих принципов является давно известное практическое правило о том, что основной выброс материала, внутри которого происходит взрыв, направлен по линии наименьшего сопротивления, т. е. по кратчайшему расстоянию от центра заряда до «свободной» поверхности. «Свободная» поверхность может быть не только верхней естественной поверхностью грунта. Это может быть поверхность какой-либо полости или пустоты, созданной предварительно во взрываемом массиве. Такую полость можно образовать, например, при помощи предварительного взрыва вспомогательного заряда, расположенного в соответствующем месте. Чтобы эта полость не успела заполниться грунтом или грунтовой водой, целесообразно взорвать основной заряд через соответствующий небольшой промежуток времени после взрыва вспомогательного заряда. Основной заряд следу-

ет взорвать в такой момент, когда воронка или камуфлетная полость, образованные вспомогательным зарядом, достигнут максимальных размеров.

Таким образом, основные принципы направленного взрыва в грунте сводятся к следующему:

1) правильная оценка влияния полости на направленный взрыв;

2) выбор наиболее целесообразного взаимного расположения зарядов, их величины и последовательности взрыва;

3) выбор наиболее целесообразных моментов времени для взрыва зарядов.

Рассмотрим эти принципы в отдельности, причем первому из них уделим особое внимание потому, что он вскрывает физическую сущность изучаемого процесса и позволяет обосновать метод количественного расчета.

III. О ВЛИЯНИИ ПОЛОСТИ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ ВЫБРОСЕ ГРУНТА ВЗРЫВОМ

При проведении взрывных работ на выброс грунта нередко возникает необходимость направить выбрасываемый грунт преимущественно в одну сторону. Кроме того, весьма важно рассчитать границы, в пределах которых грунт может быть выброшен взрывом в данных условиях.

По первому из указанных вопросов до последнего времени вообще не было каких-либо расчетных данных. По второму вопросу имеется ряд эмпирических формул, определяющих общие размеры воронки выброса, но непригодных для более детальных расчетов, особенно в условиях направленного выброса.

Поэтому возникает необходимость выяснить теоретические предпосылки для таких расчетов и сделать из них практические выводы. Первый шаг в этом направлении и намечается в данной главе.

1. Действие взрыва одиночного сосредоточенного заряда на грунты и горные породы

Допустим, что внутри некоторой твердой среды имеется сферический заряд. При его взрыве на стенки сферы, содержащей заряд, весьма быстро начинает действовать очень высокое давление, которое вызывает расходящуюся во все стороны ударную волну. За фронтом этой волны среда начинает двигаться по радиальным направлениям. Это движение обусловлено некоторым сжатием среды под действием весьма высоких давлений за фронтом ударной волны. Если выделить в среде ряд сферических слоев с центром в центре заряда, то можно непосредственно полагать, что при движении под действием взрыва эти слои должны сжиматься в радиальном и расширяться в тангенциальном направлении. В результате этого в системе должен

возникнуть ряд радиальных трещин (рис. 1). Однако эти трещины могут не доходить до полости, где был заряд. Наоборот, вследствие весьма высоких давлений среда вблизи заряда будет находиться в пластическом состоянии и может спрессоваться в такую монолитную массу, в которой исчезают все отдельные трещины или неоднородности.

После действия взрыва, когда расширение среды достигнет возможного предела, начинается обратное движение среды, обусловленное падением давления в центральной зоне и движением волны разрежения вслед за ударной волной.

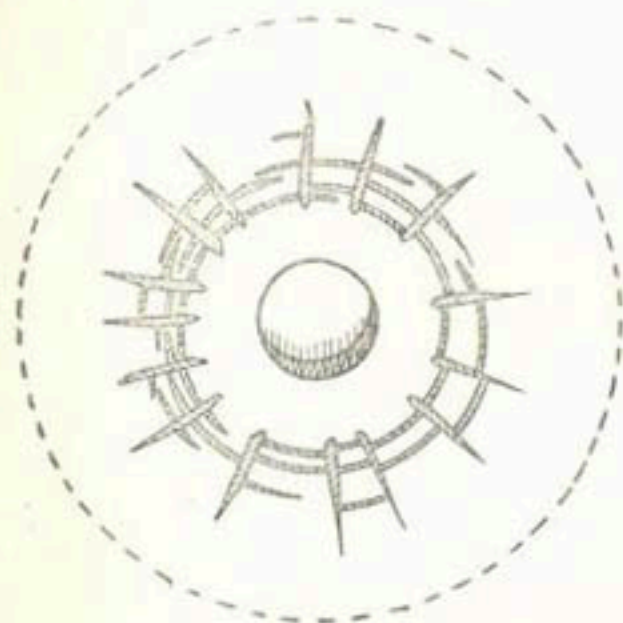


Рис. 1. Радиальные и кольцевые трещины от действия взрыва

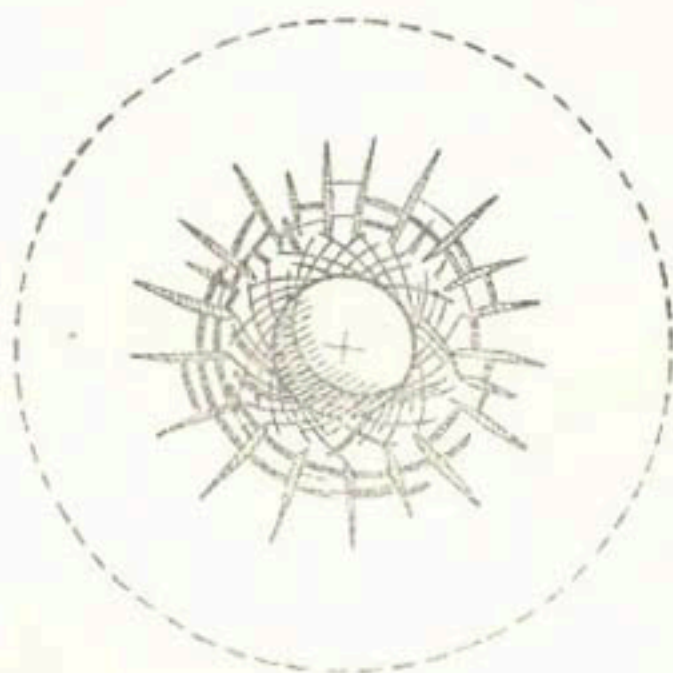


Рис. 2. Сплошная зона разрушения вокруг места взрыва

Вследствие этого сжатия среда начнет растягиваться и в дополнение к радиальным трещинам возникнет еще целая система кольцевых трещин (рис. 1).

Однако вблизи места взрыва это центростремительное движение приведет к сжатию сферического нестрессовавшегося слоя, который будет работать как сферический свод и поэтому может еще более уплотниться. В результате получается парадоксальная картина, состоящая в том, что зона разрушения не доходит до заряда. Такое явление может быть воспроизведено экспериментально путем взрыва небольших зарядов, например, электродетонаторов в органическом стекле или в других более или менее вязких и прозрачных средах.

В горных породах обычно не получается упрочненной зоны вблизи заряда потому, что образовавшиеся трещины не могут быть полностью ликвидированы даже весьма высоким обжатием. Кроме того, в горных породах так же, как и в металлах, вокруг места взрыва образуется пластическая зона с поверхностями скольжения, наклоненными к радиусам приблизительно под углом в 45° и представляющими отрезки соответствующей ло-

гарифмической спирали. В таких случаях среда обычно теряет свою сплошность и вокруг места взрыва образуется зона разрушений (рис. 2).

Искровые фотоснимки взрыва в стеклянных блоках показывают, что разрушение материала начинается не тогда, когда через него проходит фронт ударной волны сжатия, несущий весьма высокие давления, или когда волна сжатия сменяется волной разрежения, а в тот момент, когда смещения частиц среды становятся настолько значительными, что сплошность среды нарушается. Следовательно, для получения разрушения и последующего выброса среды требуется сообщить этой среде возможно более значительные скорости при минимальных давлениях и минимальных по весу зарядах. При таких условиях полезная работа взрыва будет соответственно увеличена.

Наиболее простой путь для решения поставленной задачи состоит в том, чтобы поместить заряд в некоторой полости. Для простоты допустим, что заряд, имеющий массу M , помещен в центре сферической полости радиусом R_0 . Рассмотрим, чему при таких условиях будет равна после взрыва скорость v некоторой точки среды на расстоянии R от центра заряда. При решении примем, что среда обладает достаточно малой объемной сжимаемостью. Это на практике в некоторой мере соответствует водонасыщенному грунту. Трением и сцеплением в грунте мы пока также пренебрегаем, что допустимо во всех случаях действия достаточно-мощных зарядов на достаточно малых расстояниях, когда силы, обусловленные взрывом, оказываются весьма значительными.

Так как разрушение среды осуществляется на значительном расстоянии за фронтом ударной волны, то можно принять, что эта волна ушла от заряда на расстояние R_1 , существенно превышающее расстояние R до точки, где определяется скорость v . Если среда несжимаема, то к ней применима теория потенциала скоростей, согласно которой скорость обратно пропорциональна квадрату расстояния, следовательно:

$$v = v_0 \frac{R_0^2}{R^2} \quad (1)$$

где R_0 — радиус полости, внутри которой находится заряд, и v_0 — скорость на границе этой полости.

Общая энергия движения среды с плотностью ρ при рассматриваемых условиях будет равна:

$$U = 4\pi\rho \int_{R_0}^{R_1} v^2 R^2 dR = 2\pi\rho R_0^4 v_0^2 \int_{R_0}^{R_1} \frac{dR}{R^2} = 2\pi\rho R_0^4 v_0^2 \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_1} \right). \quad (2)$$

Поскольку принято, что $R_1 \geq R_0$, то можно написать приближенно

$$U = 2\pi\rho R_0^3 \cdot v_0^2. \quad (3)$$

Допустим, что энергия взрыва, передаваемая от заряда окружающей среде,

$$U = U_1 C, \quad (4)$$

где C — вес заряда;

U_1 — энергия единицы веса взрывчатого вещества, равная для обычных взрывчатых веществ $4 \cdot 10^5 \frac{\text{КДж}}{\text{кг}}$.

Тогда

$$v_0 = \sqrt{\frac{U_1 C}{2 \pi \rho R_0^3}}. \quad (5)$$

Подстановка (5) в (1) дает:

$$v = \sqrt{\frac{U_1 C}{2 \pi \rho}} \cdot \frac{\sqrt{R_0}}{R^2}. \quad (6)$$

На основании ряда данных можно предположить, что разрушения среды возможны, если скорость в соответствующих условиях больше некоторой критической величины v_k . Отсюда следует, что радиус зоны разрушения R_k на основании формулы (6) будет равен:

$$R_k = \sqrt[4]{\frac{U_1 C}{2 \pi \rho}} \cdot \frac{\sqrt{R_0}}{\sqrt{v_k}}. \quad (7)$$

Таким образом, увеличивая радиус сферической полости R_0 , внутри которой находится заряд, можно в некоторой мере увеличивать зону разрушающего действия взрыва. Это объясняет с теоретической стороны издавна известный в практике взрывного дела прием, называемый воздушной забойкой, состоящий в том, что заряд для увеличения его действия на среду помещают внутри некоторой воздушной полости.

Формула (7) не может считаться вполне точной. Эта формула приводит к непрерывному увеличению R_k при увеличении R_0 . На самом деле увеличение R_k возможно только при росте R_0 до определенного предела, после чего дальнейшее увеличение R_0 уже не вызывает увеличения R_k , а наоборот, приводит к его уменьшению.

Это можно свести к потерям энергии взрыва внутри объема сферы с радиусом R_0 . Если допустить, что эти потери пропорциональны объему сферы или R_0^3 , то можно считать, что среде передается энергия равная:

$$U_1 C - k R_0^3.$$

где k — соответствующая постоянная.

Постоянная k может быть определена из условия, что при определенном значении $R_0 = R_{ок}$ разрушения среды прекращаются вовсе. Тогда очевидно:

$$R_k = R_{ок}.$$

Кроме того, на основании формулы (7) можно в этих условиях написать:

$$R_{ок} = \sqrt[4]{\frac{U_1 C - k R_{ок}^3}{2 \pi \rho}} \cdot \frac{\sqrt[4]{R_{ок}}}{\sqrt{v_k}}, \quad (8)$$

отсюда

$$k = \frac{U_1 C - 2 \pi \rho v_k^2 \cdot R_{ок}^3}{R_{ок}^3}. \quad (9)$$

Обобщая формулу (8), можно написать:

$$R_k = \sqrt[4]{\frac{U_1 C - k R_0^3}{2 \pi \rho}} \cdot \frac{\sqrt[4]{R_0}}{\sqrt{v_k}}. \quad (10)$$

Это выражение дает максимальное значение $R_{ок}$ при условии (находимом обычным способом отыскания максимума функций):

$$R_0 = \sqrt[3]{\frac{U_1 C}{4 k}}. \quad (11)$$

Значения v_k и $R_{ок}$ должны быть установлены экспериментально, что связано с некоторыми трудностями и пока еще не осуществлено. Поэтому полный расчет зоны разрушающего действия взрыва по приведенным формулам в настоящее время провести еще нельзя.

Не исключено, что дальнейшее изучение этого вопроса приведет к выводу о целесообразности создания полостей не сферической, а иной формы. Полости могут быть осуществлены также только с какой-либо одной стороны заряда. Все эти случаи требуют дальнейшего теоретического и экспериментального изучения.

2. Полость в грунте или горной породе, находящаяся вне заряда, как средство управления энергией взрыва

Допустим, что в неограниченной среде заложен сферический заряд C в полости с радиусом R_0 . На некотором расстоянии от этого заряда имеется другая сферическая полость радиусом R_n , которая заполнена воздухом. Расстояние между центрами полостей равно R_A (рис. 3). При взрыве среда начинает перемещаться от места взрыва. Однако на поверхности пустой полости, не встречая изнутри никакого сопротивления, среда устремляется внутрь полости. При этом линии движения среды должны быть направлены вблизи поверхности полости внутрь этой полости. Следовательно, такая полость действует как центр, притягивающий к себе окружающую среду, т. е. производящий действие, обратное действию взрыва обычного заряда. Поэтому такую полость можно рассматривать как отрицательный заряд. Сово-

купность отрицательного и положительного зарядов можно называть по аналогии с электростатикой взрывным диполем.

Основным фактором, определяющим эффект от применения взрывного диполя, являются те скорости, которые получаются на поверхности полости. Эти скорости вообще будут различными в различных точках поверхности полости. На части, обращенной в сторону заряда, эти скорости будут наибольшими, а на противоположной стороне полости — наименьшими. В этом отношении полость без заряда существенно отличается от полости с зарядом, размещенным в центре, когда все скорости распределены симметрично.

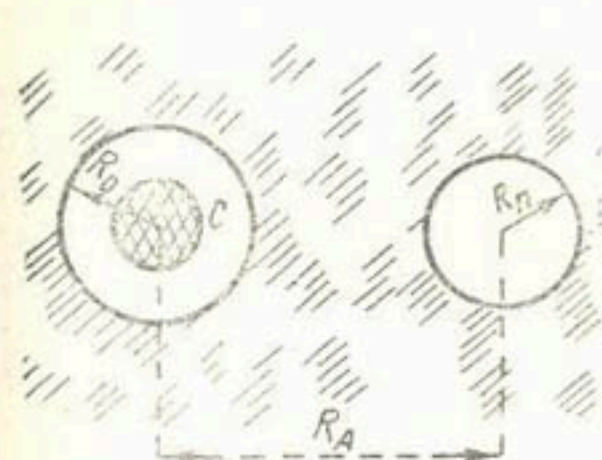


Рис. 3. Схема взрывного диполя

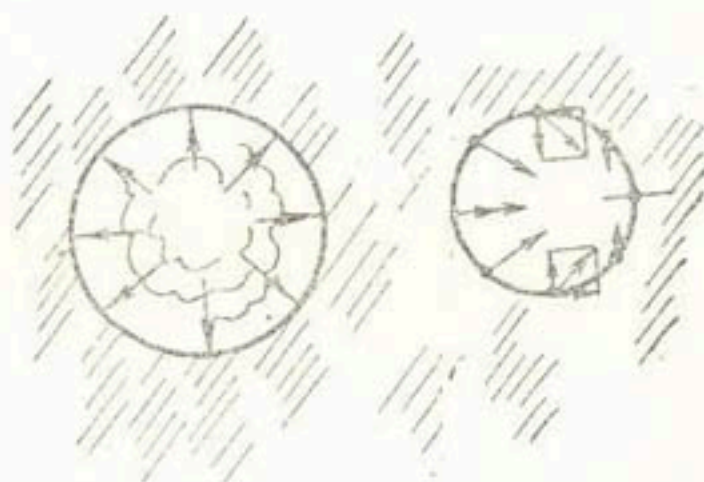


Рис. 4. Схема движения среды от действия взрыва в грунте со сферической полостью

Однако, если размеры полости сравнительно невелики и $R_n \ll R_A$, то можно приближенно принять, что скорости, добавляющиеся к скорости среды v , на поверхности полости всюду одинаковы и равны:

$$v_{no} = v_0 \cdot \frac{R_0^2}{R_A^2} \quad (12)$$

Формула (12) является приближенной и написана без учета сжимаемости грунта. Поэтому излагаемые далее количественные расчеты также являются приближенными и требуют уточнения путем сравнения с опытом. Это и будет сделано ниже.

Когда волна сжатия доходит до полости, то от свободной поверхности среды на границе полости отражается внутрь среды волна разрежения. В результате такого отражения частицы среды на поверхности полости дополнительно приобретают скорости, равные по величине v_{no} , направленные к центру полости. В результате сложения этих скоростей со скоростями, вызванными самим взрывом, получится такое движение, какое показано на рис. 4.

Допустим, что внутри полости расположен некоторый мнимый отрицательный заряд, равный $-C_{эл}$.

Тогда на основании формулы (5), полагая

$$v_0 = v_{no} \text{ и } R_0 = R_n, \quad (13)$$

получаем:

$$-C_{эп} = 2\pi\rho R_n^3 v_{no}^2 \frac{1}{U_1}. \quad (14)$$

Заменяя v_{no} по формуле (13) и v_0 по формуле (5), находим:

$$-C_{эп} = C \cdot \frac{R_n^3 \cdot R_0}{R_A^4}. \quad (15)$$

Этот мнимый отрицательный заряд вызывает свое поле скоростей, складывающееся векторно с полем скоростей основного заряда, и обуславливает такой спектр линий движения среды, который показан на рис. 5. Между положительным и отрицательным зарядами создается усиленный поток среды, имеющий довольно резко направленный характер. Опыт и теория показывают, что при этом можно получить направленное смещение или при расположении взрывного диполя вблизи поверхности—направленный выброс материала среды.

Сферические полости, создающие эффект отрицательных зарядов, могут быть образованы на практике при помощи камуфлетных взрывов. Если среда неустойчива, то такие взрывы необходимо производить несколько раньше взрыва основного заряда с таким расчетом, чтобы давление взрывных газов внутри полости успело уже достаточно снизиться к моменту основного взрыва, но чтобы самая полость еще не разрушилась. Сфериче-

ские полости могут быть заменены также полостями других форм, например, цилиндрическими пустотами; такие пустоты могут быть образованы взрывами удлиненных зарядов.

Не анализируя деталей данного метода (это можно сделать только применительно к той или иной конкретной задаче), следует считать, что рассмотренные полости могут и должны явиться эффективным средством управления энергией взрыва в грунтах и в воде.

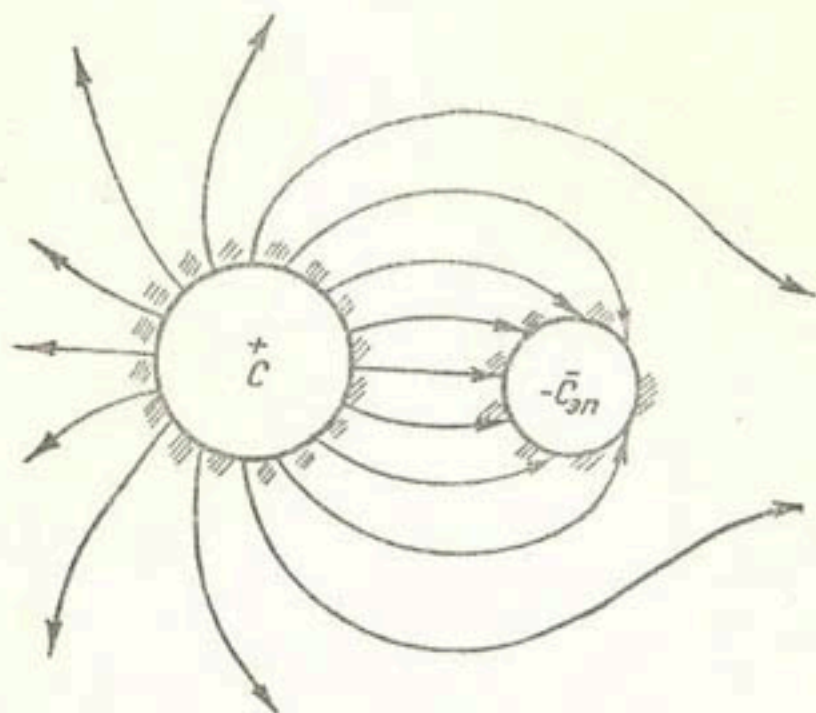


Рис. 5. Спектр¹ линий движения среды от действия взрыва

3. Определение критической скорости v_k для различных сред

Чтобы пользоваться изложенным расчетным аппаратом с целью количественного определения размеров зон разрушения в тех или иных реальных средах, необходимо знать величину критической скорости v_k , при достижении которой обеспечивается разрушение данной среды. Эту величину можно рассчитать, исходя из формулы (7), которую можно преобразовать, приняв, что вся полость с радиусом R_0 заполнена зарядом C с плотностью $\rho_{вв}$.

Тогда

$$R_0 = \frac{\sqrt[3]{C}}{\sqrt[12]{\frac{4}{3} \pi \rho_{вв}}}. \quad (16)$$

При таком условии формуле (7) можно придать следующий вид:

$$R_k = \frac{\sqrt[4]{\frac{U_1}{2 \pi \rho}}}{\sqrt[12]{\frac{4}{3} \pi \rho_{вв}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{v_k}} \cdot \sqrt[3]{C}. \quad (17)$$

Данная формула имеет структуру, совпадающую с общезвестными эмпирическими формулами для расчета радиуса разрушения:

$$R_k = k_{вз} \sqrt[3]{C}, \quad (18)$$

где $k_{вз}$ — постоянная величина, устанавливаемая опытом.

Сравнивая формулы (17) и (18), можно написать:

$$k_{вз} = \frac{\sqrt[4]{\frac{U_1}{2 \pi \rho}}}{\sqrt[12]{\frac{4}{3} \pi \rho_{вв}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{v_k}}. \quad (19)$$

Отсюда находим:

$$v_k = \frac{1}{k_{вз}^2} \cdot \frac{\sqrt[4]{\frac{U_1}{2 \pi \rho}}}{\left(\frac{4}{3} \pi \rho_{вв}\right)^{\frac{1}{6}}}. \quad (20)$$

В технической системе единиц можно принять

$$U_1 = 4 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{сек}^2; \quad \rho_{\text{об}} = 160 \text{ тем}/\text{м}^3, \text{ т. е. } 1600 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Принимая далее $\rho_{\text{об}}$, $k_{\text{об}}$ и ρ на основании общеизвестных опытных данных¹, получаем следующие значения:

$$\begin{array}{ll} \text{глина} & v_k = 4 \text{ м}/\text{сек}, \\ \text{скала} & v_k = 16 \text{ м}/\text{сек}. \end{array}$$

Из формулы (20) можно сделать вывод, что v_k приблизительно обратно пропорционально $k_{\text{об}}^2$. Поэтому, исходя из общеизвестных данных о $k_{\text{об}}$, можно легко получить и соответствующее значение v_k , используя приведенные здесь значения этой величины для глин и скалы.

Таким образом, данный метод может быть использован для конкретных расчетов.

4. Экспериментальная проверка основных положений теории

Для проверки изложенных теоретических построений в гидротехнической лаборатории института Водгео были проведены опыты. Эти опыты проводились частично в лотке, частично на центрифуге. При этом оказалось, что в общем те и другие опыты дают в принципе одинаковые результаты. Это вполне понятно потому, что в рассмотренной теории масштаб не играет роли.

Опыты проводились с крупнозернистым и мелкозернистым песком, влажность которого варьировала от 0,72% до 3,38% при плотности от 1,51 до 1,68 г/см³. Особого влияния крупности частиц песка, влажности и плотности в этих пределах не ощущалось. Поэтому результаты всех опытов можно рассматривать совместно.

В песке на глубине H_0 от 3 до 7 см укладывались электродетонаторы. Предварительно в плоскости центра заряда вставлялся железный лист, покрытый белой бумагой, на которой находилась копировальная бумага. При взрыве частицы песка смещались и оставляли на белой бумаге следы своего движения (см. рис. 6 и 7). Таким способом удалось довольно успешно записать спектр движения частиц грунта и довольно точно определить направление и скорость движения частиц в каждой заданной точке.

Зная эти направления, можно было легко вычислить отношения компонент скоростей и отношения величин соответствующих зарядов, вызывающих своим взрывом указанные компоненты скорости.

Хотя опыты проводились в данном случае с цилиндрическими зарядами, оказалось возможным исходить из сферической картины при расчете эквивалентных зарядов. Эта возможность была

¹ См., например, „Справочник по взрывному делу“, часть I, Москва, 1939 г.

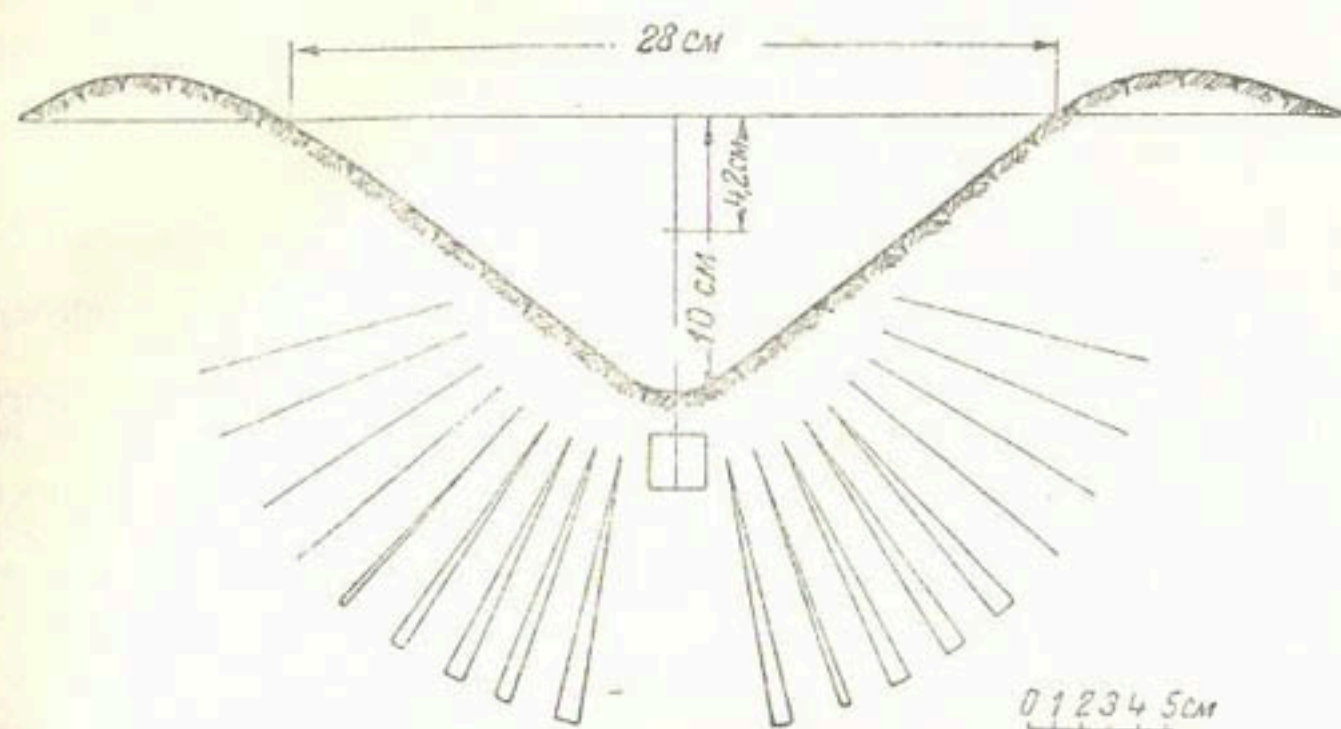


Рис. 6. Зона деформации, полученная от взрыва ВВ в крупнозернистом песке, где была полость размером 2×2 см

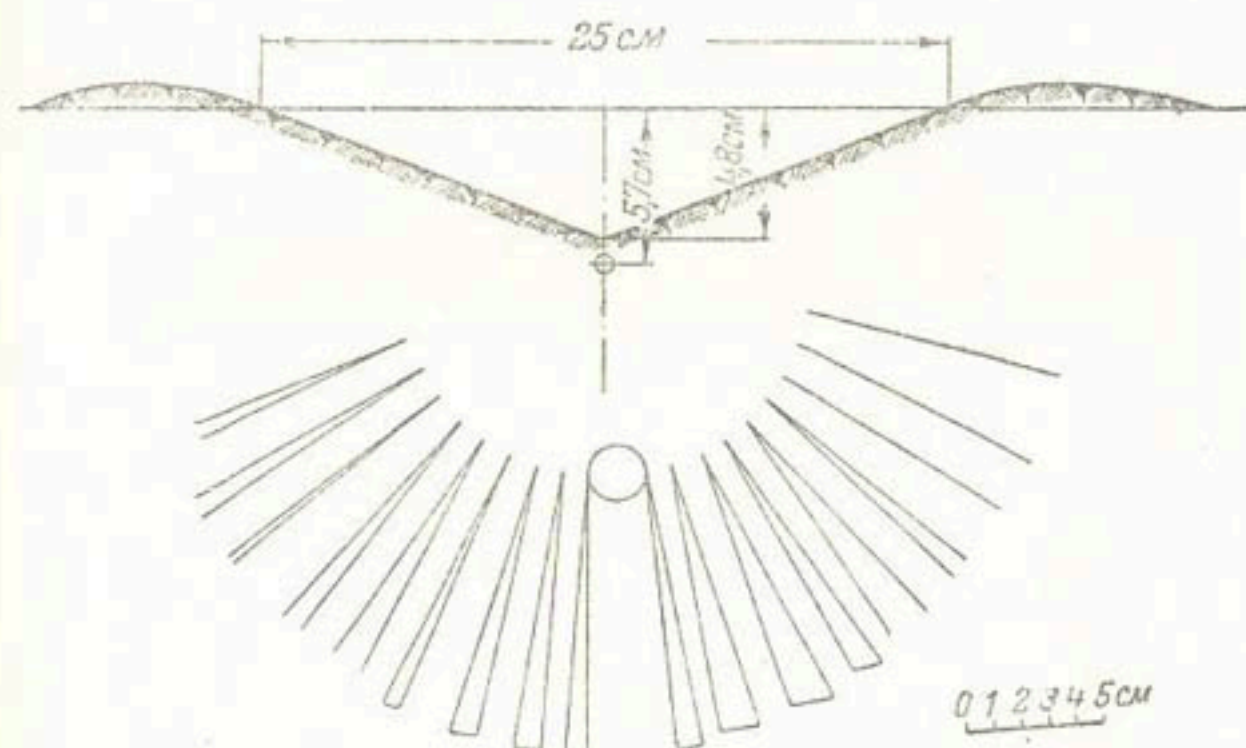


Рис. 7. Зона деформации, полученная от взрыва ВВ в крупнозернистом песке, где была цилиндрическая полость диаметром 2 см

обусловлена тем, что глубина расположения заряда значительно превышала длину заряда.

В этом случае, исходя из формулы (6), можно вывести соотношения:

$$v = \frac{r^{2/3}}{R_1^2} \quad (22)$$

$$v_z = \frac{C_z^{2,3}}{R_2^{2,3}} \quad (23)$$

отсюда следует:

$$\frac{C_z}{C} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^3 \cdot \left(\frac{v_z}{v} \right)^{3/2}, \quad (24)$$

где R_1 —расстояние от заряда C до точки, в которой производится регистрация направления движения;

R_2 —расстояние до этой точки от центра эквивалентного заряда C_z ;

v и v_z являются соответствующими компонентами скорости частиц грунта в данной точке.

Теоретически следует ожидать, что

$$\frac{C_z}{C} = 1.$$

Полученные результаты опыта приведены на рис. 8, где дана зависимость

$$\frac{C_z}{C} = f\left(\frac{R_1}{H_2}\right).$$

На рис. 8 нанесены точки с номерами опытов; соответственные значения влажности грунта w и плотности γ приведены в таблице на этом же рисунке.

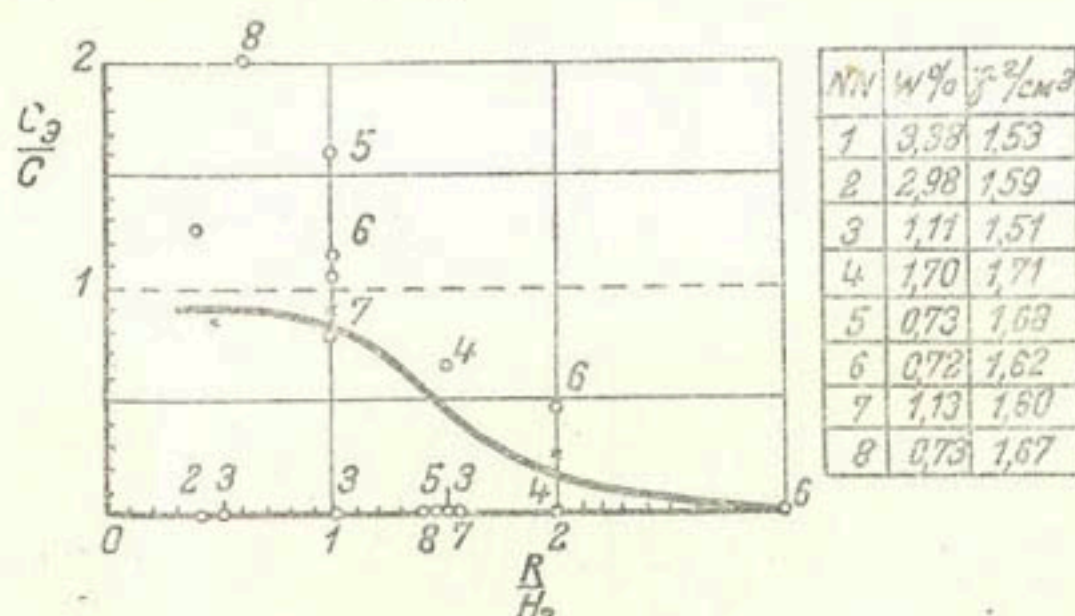


Рис. 8. График сравнения экспериментальных и теоретических значений эквивалентного заряда в случае свободной поверхности

Кривая, построенная на рис. 8 как средняя из всех опытов, при уменьшении R_1 асимптотически приближается к горизонтальной линии, соответствующей $C_z/C=1$. Это значит, что вблизи заряда предложенная теория довольно хорошо совпадает с опытом. Наоборот, на более значительных расстояниях влияние свободной поверхности почти исчезает; это объясняется следующим образом. Ввиду объемной сжимаемости грунта величина C_z всегда должна быть несколько меньше теоретического значе-

ния. Чем меньше давление, тем больше коэффициент уплотнения грунта, следовательно, тем заметнее должно быть снижение $C_{\text{э}}$ (и следовательно $\frac{C_{\text{э}}}{C}$). С другой стороны, чем больше R_1 , тем меньше давление, обусловленное взрывом. Отсюда следует, что при увеличении R_1 в сжимаемых грунтах значение $\frac{C_{\text{э}}}{C}$ должно уменьшаться и может приблизиться к нулю. Именно все это и можно видеть на рис. 8.

Таким образом, опыты подтвердили не только общую правильность теории, но показали также, что и отступления от этой теории могут найти совершенно определенное объяснение.

На рис. 9 приведены данные, характеризующие влияние полости. При опытах в грунт закладывались картонные трубки круглого и квадратного сечения, которые и образовали соответствующие полости. В этом случае расчет приходилось уже вести по схеме плоской (цилиндрической) задачи, так как длина полости была значительна и замеры направления скоростей производились вблизи этих полостей. Расстояния до заряда были сравнительно невелики.

При таких условиях можно вывести следующее. Аналогично формулам (22) и (23) получаем

$$v = \frac{C^{1/2}}{R_1} v_{\text{эп. экв}} = \frac{C^{1/2}_{\text{эп. экв}}}{R_2},$$

откуда

$$\frac{C_{\text{эп. экв}}}{C} = \left(\frac{R_2 v_2}{R_1 v_1} \right)^2, \quad (25)$$

где $C_{\text{эп. экв}}$ означает экспериментальное значение эквивалентного заряда, обусловленного наличием полости. Теоретическое значение этой величины в условиях плоской задачи определяется так:

$$\frac{C_{\text{теор. экв}}}{C} = \left(\frac{R_n}{R_1} \right)^2, \quad (26)$$

отсюда

$$\frac{C_{\text{эп. экв}}}{C_{\text{теор. экв}}} = \left(\frac{R_2}{R_n} \cdot \frac{v_2}{v_1} \right)^2. \quad (27)$$

На основании замеров направлений компонент скорости частиц грунта и описанных расчетов можно получить следующую зависимость:

$$\frac{C_{\text{эп. экв}}}{C_{\text{теор. экв}}} = f \left(\frac{R_2}{R_1} \right).$$

Эта зависимость показана на рис. 9; там же приведены и соответствующие данные о грунтах.

На рис. 9 видно, что экспериментальные значения $C_{\text{экв. экв}}$ существенно меньше теоретических. Это может быть обусловлено отчасти тем, что здесь нельзя в полной мере пользоваться методами двумерной задачи. При этом характерно, что чем больше R_1 , тем больше и $C_{\text{теор. экв.}}$

Повидимому, это объясняется тем, что вблизи полости возникают значительные растягивающие силы, при которых плотность грунта сильно уменьшается.

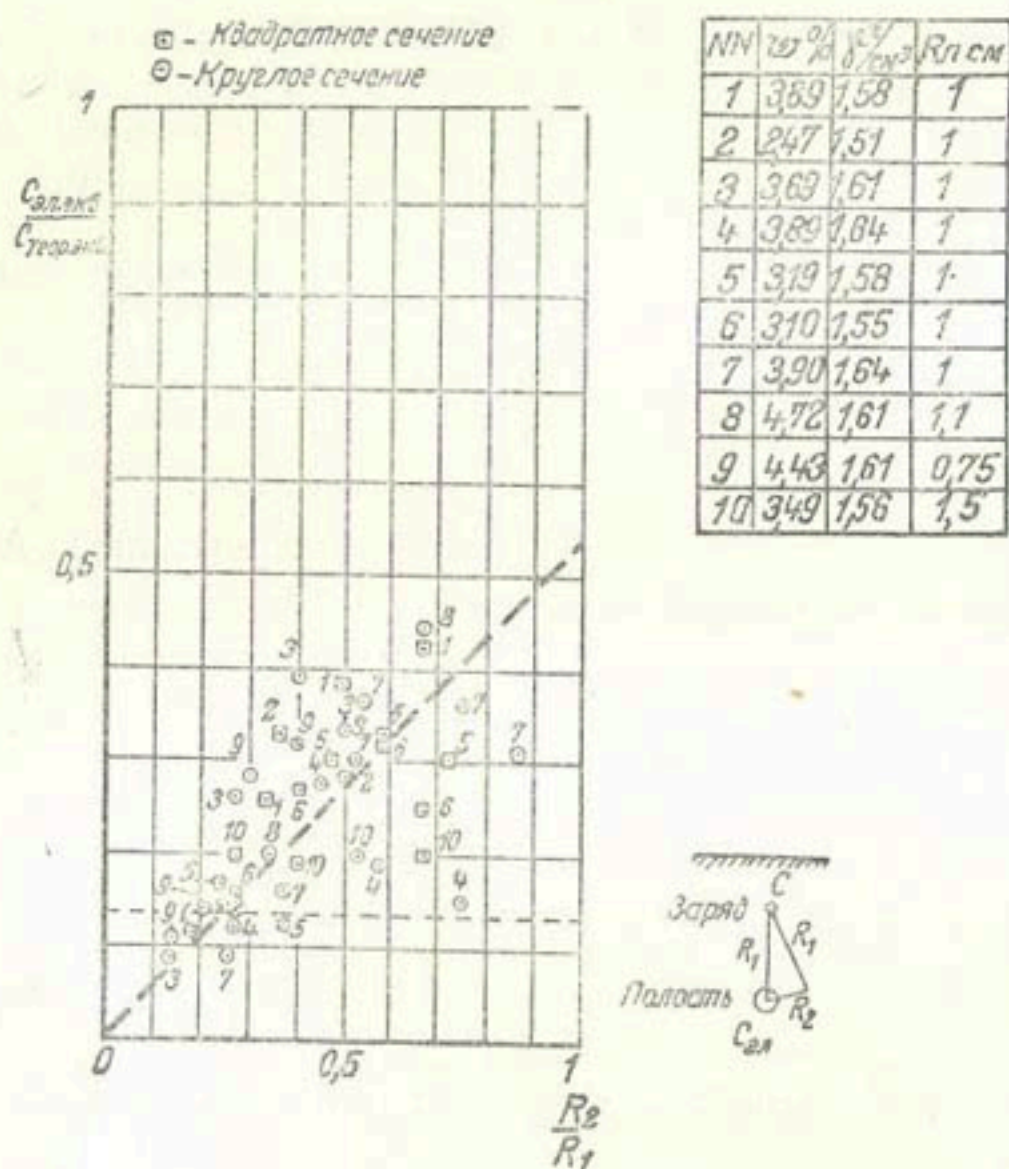


Рис. 9. Экспериментальные данные, характеризующие влияние различного сечения полостей на эквивалентный заряд

Таким образом, и здесь расхождение экспериментальных и теоретических данных имеет вполне определенный физический смысл.

На основании всего сказанного здесь можно считать, что рассмотренные теоретические соображения качественно правильно отображают ряд характерных явлений, при помощи которых можно управлять действием взрыва в грунте. Дальнейшее исследование должно быть направлено на то, чтобы путем учета сжимаемости грунта получить не только качественное, но и количественное совпадение теории и эксперимента.

Из изложенных теоретических соображений можно, в частности, сделать следующие практические выводы:

1) помещение заряда внутри некоторой полости может при взрыве вызывать (для некоторых сред) увеличение зоны разрушений и объема выброшенной породы;

2) при увеличении размеров указанной полости сначала эффект разрушения и выброса должен расти, а потом, достигнув максимума, будет постепенно уменьшаться;

3) размеры полости, обеспечивающей максимальный эффект выброса (или максимальный эффект разрушения), могут быть установлены экспериментально или рассчитаны, если известны значения R_{II} и v_K .

В частных случаях оптимальный размер полости может равняться объему заряда; тогда осуществление полости вокруг заряда излишне. В других случаях возможно, что оптимальный размер полости окажется меньше объема самого заряда, тогда есть основание применить более плотные или более мощные взрывчатые вещества.

4. Полость может быть осуществлена также вне заряда, с той стороны, куда должен быть направлен выброс грунта; размеры полости и ее расстояние от заряда зависят от местных условий. Следует обратить внимание на возможность создания таких полостей при помощи небольших камуфлетных взрывов.

IV. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ НАПРАВЛЕННЫЙ ВЗРЫВ В ГРУНТЕ

Обычно во взрывном деле рассчитываются видимые размеры воронок, получаемых в грунтах при взрыве заглубленных зарядов. Такой расчет, однако, непригоден, если необходимо установить реальный размер воронки, не искаженный массами грунта, упавшего в воронку после окончания действия взрыва.

Между тем такая задача приобретает существенное практическое значение в связи с рассмотренными в предыдущем разделе задачами управления взрывом. Всякая воронка, созданная тем или иным способом, может рассматриваться как некоторая полость, способная обеспечить направленное действие взрыва заряда, расположенного вблизи полости.

Если воронка создается с этой целью путем взрыва специально заложенного вспомогательного заряда, причем этот взрыв осуществляется непосредственно перед основным взрывом, то форма и размер воронки, определяющие направленное действие основного заряда, должны быть взяты без учета того грунта, который упадет в них несколько позднее или упал и находится в сильно разрыхленном состоянии.

Изложенные в предыдущем разделе теоретические соображения хорошо объясняют с качественной стороны сущность направленного действия взрыва в грунте. Но полученные формулы не всегда дают правильные количественные результаты, во-первых, потому что не всегда известны необходимые расчетные данные и, во-вторых, потому, что не всегда можно внести в расчет поправки, учитывающие отступление реального грунта от той идеальной несжимаемой и не имеющей внутреннего трения среды, которая положена в основу теории.

Поэтому, уяснив теоретически общую сущность направленного действия взрыва в грунте, при практических расчетах следует исходить из эмпирических формул, тщательно проверенных на практике.

Для решения вопроса о действительной форме воронки можно исходить из следующих общеизвестных формул¹:

$$C = kh^3 (0,4 + 0,6 n^3), \quad (28)$$

где C — вес заряда в кг;

k — постоянная, определяющая свойства грунта;

$n = \frac{R}{h}$ — показатель горна или показатель выброса;

R — радиус воронки на поверхности грунта в м;

h — глубина заложения заряда в м.

Формула (28) может быть переписана еще так:

$$C = k(0,4 h^3 + 0,6 R^3), \quad (29)$$

откуда

$$R = 1,2 \sqrt[3]{\frac{C}{k} - 0,4 h^3}. \quad (30)$$

Таким образом, можно определить радиус воронки R на уровне поверхности грунта. Чтобы определить форму воронки, можно принять, что она представляет собою тело вращения с осевым сечением, показанным на рис. 10. Нижняя часть воронки представляет собою часть сферы, которая образовалась бы в данном грунте при камуфлетном взрыве. Радиус этой сферы сжатия грунта равен, как известно²,

$$r = k_{сж} \sqrt[3]{C}. \quad (31)$$

Зная C и h по условиям заложения заряда, а также k и $k_{сж}$ для данного грунта (например, по данным опытных взрывов), можно рассчитать R и r и построить контур воронки.

Воронка описанного вида может служить в качестве соответствующей полости для обеспечения направленного действия взрыва другого заряда C_2 , расположенного вблизи этой полости

¹ См., например, Справочник по взрывному делу, ч. 1, Москва, 1939.

² См., например, Справочник по взрывному делу, Москва, 1939.

по схеме, показанной на рис. 11. При этом необходимо, чтобы заряд C_2 был расположен на расстоянии w_2 от поверхности воронки, получаемой при взрыве первого заряда C_1 , удовлетворяющем неравенству:

$$w_2 < h_2, \quad (32)$$

где h_2 — глубина заложения заряда C_2 .

Заряд C_2 можно рекомендовать закладывать на нормали к образующей воронки от заряда C_1 . Эту нормаль w_2 целесообразно провести на равных расстояниях от точек A_1 и A_2 . Предельная величина w_2 ограничивается точкой B_2 , образованной

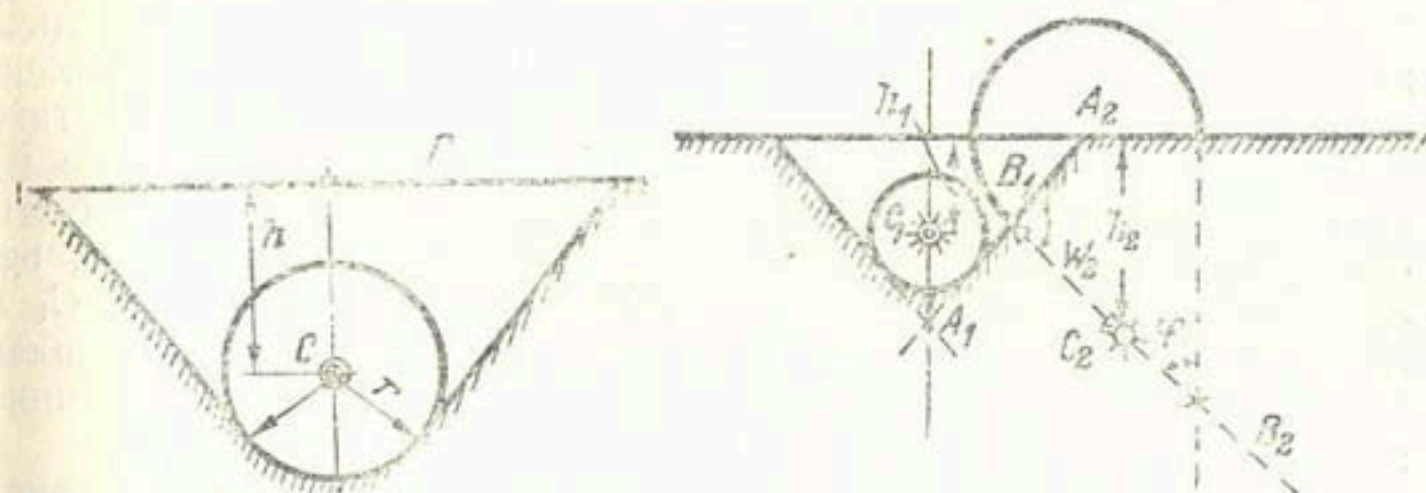


Рис. 10. Схема расчета действия сферического заряда

Рис. 11. Схема расчета основного и дополнительного зарядов при направленном взрыве

пересечением нормалей, проведенных к образующей воронки и поверхности грунта на равных расстояниях от точки A_2 . Как правило, следует брать величину w_2 в пределах от $1/2$ до $2/3$ расстояния $B_1 B_2$.

При таких условиях линией наименьшего сопротивления для заряда C_2 будет не h_2 , а w_2 и основной выброс грунта будет направлен в направлении w_2 .

Чтобы обеспечить максимальную дальность метания бросаемого описанным способом грунта, можно в первом приближении пренебречь сопротивлением воздуха и принять направление w_2 под углом 45° к горизонту, как это вытекает из законов элементарной баллистики.

Отсюда следует, что прямолинейные образующие воронки заряда C_1 должны быть наклонены также под углом к горизонту, равным 45° .

При таком условии элементарный геометрический расчет приводит к уравнению, дополнительно связывающему R и r :

$$R = h_1 + r\sqrt{2} \quad (33)$$

или

$$h_1 = R - r\sqrt{2}.$$

Заменяя R по формуле (30) и r по формуле (31), получаем уравнение:

$$h_1 = 1,2 \sqrt[3]{\frac{C_1}{h} - 0,4 h_1^3} - 1,4 k_{\text{вз}} \sqrt[3]{C_1}. \quad (34)$$

Решая уравнение алгебраически, или путем графического построения, что практически удобнее и нагляднее, можно найти h_1 при заданном C_1 или, наоборот, найти C_1 при заданном h_1 .

Таким образом, рассчитываются условия, определяющие величину и положение вспомогательного заряда C_1 .

Величина основного заряда C_2 зависит от желаемой дальности метания грунта направленным взрывом, а также от того, насколько необходимо обеспечить четко выраженный направленный выброс грунта. Чем более чистое направленное действие желательно получить, тем меньше должно быть расстояние w_2 по сравнению с расстоянием B_1B_2 . Чем дальше должен быть брошен грунт, тем больше должен быть заряд C_2 . При этом необходимо обеспечить такое время между взрывом заряда C_1 и взрывом заряда C_2 , чтобы последний из этих взрывов вовлек бы в новое направленное движение массы грунта, падающие после выброса от первого взрыва.

Отработка этого вопроса удобнее всего осуществляется экспериментально. Однако, некоторые теоретические соображения могут быть высказаны и в этом случае.

Исходя из условий подобия, можно считать, что скорости, сообщаемые грунту, выбрасываемому при взрыве, будут одинаковы, если

$$\frac{C}{h^3} = \text{const}$$

и заряды состоят из одного и того же взрывчатого вещества.

Если же при неизменном заряде C изменяется h , то отдельные элементы метаемой массы грунта должны возрасти пропорционально h^3 . Из элементарных расчетов следует, что скорость v пропорциональна корню квадратному из отношения энергии к массе. При изложенных условиях это приведет к соотношению

$$v = a \sqrt{\frac{C}{h_1^3}}, \quad (35)$$

где a — постоянная, зависящая от свойств грунта и свойств взрывчатого вещества.

Дальность полета тела, брошенного под углом φ к горизонту, согласно элементарной баллистики равна

$$x = 2 \frac{v^2}{g} \cdot \sin \varphi \cos \varphi, \quad (36)$$

где g — ускорение силы тяжести.

Из формул (35) и (36) следует:

$$x = 2 \frac{a^2}{g} \cdot \frac{C}{h^3} \sin \varphi \cos \varphi, \quad (37)$$

или, заменив

$$2 \frac{a^2}{g} = b = \text{const},$$

получаем:

$$x = b \frac{C}{h^3} \sin \varphi \cos \varphi. \quad (38)$$

Постоянную b удобнее всего определить экспериментально.

Конечно, весь выброшенный грунт не полетит на одинаковое расстояние. Величина x будет определять собою, в зависимости от способа эмпирического расчета b , или предельную дальность метания грунта, или другую характеристику, например, дальность горизонтального перемещения центра тяжести метаемой массы грунта.

Практически вместо h^3 необходимо в формуле (38) подставить эффективную величину

$$(w_2 + h_1)^3,$$

определяющую размеры общей массы грунта, подлежащей выбросу. Тогда формула (38) приобретает вид:

$$x = b \frac{C_2}{(w_2 + h_1)^3} \sin \varphi \cos \varphi, \quad (39)$$

а формула (35):

$$v = a \sqrt{\frac{C_2}{(w_2 + h_1)^3}}. \quad (40)$$

Время t взлета вверх и падения вниз грунта, брошенного взрывом заряда C_1 , равно, как вытекает из элементарных формул динамики,

$$t = \frac{2v}{g}. \quad (41)$$

Из (40) и (35) следует:

$$t = \frac{2a}{g} \sqrt{\frac{C_1}{h_1^3}}$$

или при замене

$$\begin{aligned} \frac{2a}{g} &= d, \\ t &= d \sqrt{\frac{C_1}{h_1^3}}. \end{aligned} \quad (42)$$

Величина d должна определяться из опыта.

Формула (42) дает возможность определять время между взрывами заряда C_1 и заряда C_2

Таким путем можно установить общий вид формул для расчета основных практических характеристик зарядов, их расположения и времени взрыва для обеспечения направленного выброса грунта.

Дальнейшее развитие расчета может быть осуществлено следующим путем. Рассмотрим более общий случай, когда направление w_2 составляет с нормалью к поверхности грунта x угол φ (рис. 11).

Дальность бросания грунта x может быть выражена следующей формулой:

$$x = A \left[\sin \varphi \cos \varphi \left(\frac{C_2}{w_2^3} \right)^2 - \sin \varphi \left(\frac{C_1}{h_1^3} \right) \left(\frac{C_2}{w_2^3} \right) \right]. \quad (43)$$

Эта формула выводится из допущения, что скорость падающего грунта (брошенного зарядом C_1 вертикально вверх), пропорциональная $\left(\frac{C_1}{h_1^3} \right)$, и скорость грунта, брошенного под углом φ зарядом C_2 , пропорциональная $\left(\frac{C_2}{w_2^3} \right)$, складываются по правилу параллелограмма, после чего вся масса летит, не испытывая сопротивления воздуха; A представляет собою постоянную, зависящую от свойств грунта и свойств взрывчатого вещества. Очевидно, что такой вывод возможен только при значениях h_1 и w_1 , близких друг к другу.

Максимальная дальность бросания x получается по формуле (43) в том случае, если выполняется условие:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2 \cos \varphi} \left(\frac{w_2}{h_1} \right)^3. \quad (44)$$

Это условие получается обычным способом нахождения максимума функций. Из уравнения (44) может быть определена любая из пяти входящих в него величин, если заданы остальные четыре. Получаются следующие расчетные формулы:

$$C_1 = 2 C_2 \left(\frac{h_1}{w_2} \right)^3 \cos \varphi, \quad (45)$$

$$C_2 = \frac{C_1}{2 \cos \varphi} \left(\frac{w_2}{h_1} \right)^3, \quad (46)$$

$$h_1 = w_2 \sqrt[3]{\frac{C_1}{2 C_2 \cos \varphi}}. \quad (47)$$

$$w_2 = h_1 \sqrt[3]{\frac{2 C_2 \cos \varphi}{C_1}}, \quad (48)$$

$$\cos \varphi = \frac{C_1}{2 C_2} \left(\frac{w_2}{h_1} \right)^3. \quad (49)$$

Все эти соотношения построены исходя из формулы (43), причем в качестве переменных при определении оптимальных условий взяты x и $\left(\frac{C_2}{w_2^3}\right)$.

Можно к этой же задаче подойти, полагая переменными x и φ , и отыскивать такое значение φ , при котором величина x была бы наибольшей.

В этом случае получаем наибольшее значение x при условии, что

$$\cos \varphi = \frac{C_1}{4C_2} \left(\frac{w_2}{h_1} \right)^3 + \sqrt{\left[\frac{C_1}{4C_2} \left(\frac{w_2}{h_1} \right)^3 \right]^2 + \frac{1}{2}}. \quad (50)$$

Из структуры формулы (50) следует, что оптимальные значения $\cos \varphi$ лежат в пределах между 1 и $\sqrt{1/2}$, т. е. оптимальный угол φ находится в пределах между 0° и 45° .

Изложенный способ определения дальности бросания грунта может быть видоизменен различными способами в зависимости от конкретной обстановки взрывных работ. Типичным случаем при этом можно считать такой, когда заряд C_1 расположен около достаточно крутого откоса и сбрасывает силой взрыва грунт в сторону этого откоса. Грунт при таких условиях уже не может упасть обратно в образовавшуюся воронку. Поэтому взрыв заряда C_2 может быть произведен через любой промежуток времени после взрыва заряда C_1 , и заряд C_2 бросит грунт так же, как если бы мы имели одиночный заряд, расположенный около откоса, соответствующего откосу воронки, полученной при взрыве заряда C_1 .

Для определения x в этом случае можно применять описанный выше способ.

Именно таким путем оказывается возможным проанализировать результаты взрывных работ, произведенных Союзвзрывпромом, поскольку достаточно точных данных о времени замедления нет, и на основании некоторых соображений можно допустить, что последовательные взрывы системы зарядов практически происходили независимо друг от друга.

Опытное определение постоянной b , входящей в формулу (38), связано с некоторой неопределенностью, обусловленной тем, что точное определение центра тяжести бросаемых взрывом масс грунта как до взрыва, так и после него может быть осуществлено только приближенно. Поэтому величина дальности бросания x может быть установлена также только приближенно, причем за величину x следует принимать горизонтальное смещение центра тяжести бросаемых масс грунта.

Необходимо при этом заметить также, что в приближенном теоретическом расчете не учитывается вертикальное перемещение центра тяжести бросаемых масс грунта, так как такой учет существенно усложнил бы окончательные расчетные формулы.

Кроме этого, можно ожидать, что чем круче свободный откос грунта, т. е. чем больше угол φ , тем более настильными будут траектории частиц грунта, брошенных взрывом. Поэтому влияние вертикальной компоненты перемещения центра тяжести масс грунта на величину x должно быть тем значительнее, чем больше φ .

Так как практически во всех случаях в конечном итоге центр тяжести бросаемых взрывом масс смещается сверху вниз, то это смещение должно приводить к увеличению дальности x и значения b . Это увеличение должно быть тем более значительным, чем больше траектории частиц грунта, т. е. чем больше φ . Таким образом, следует предполагать, что практически

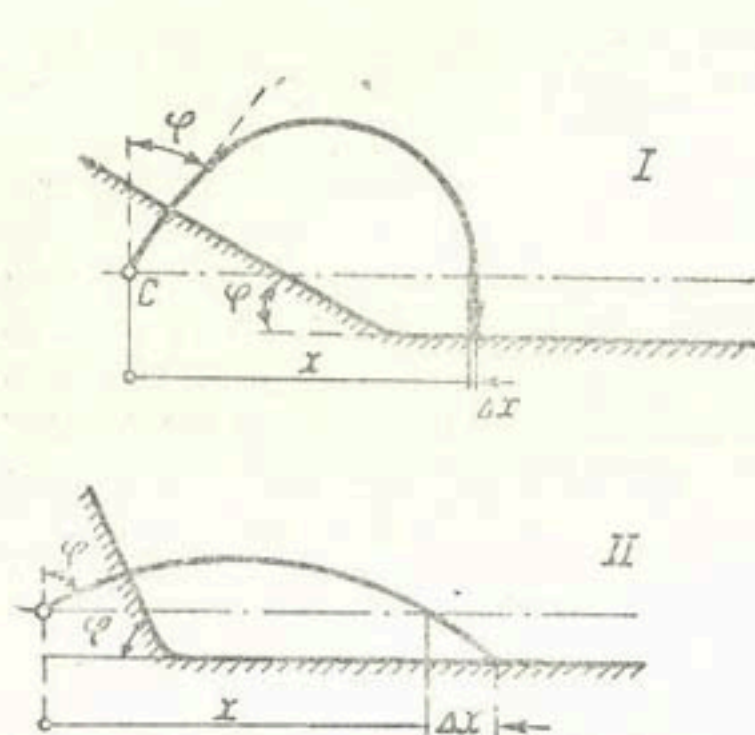


Рис. 12. Траектории движения центра тяжести массы грунта, бросаемой взрывом заряда, расположенного в откосах разной крутизны

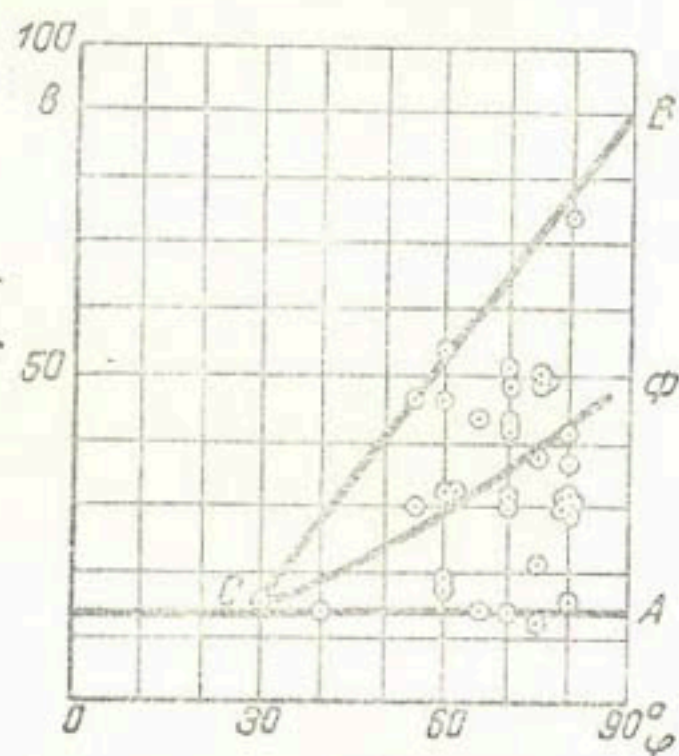


Рис. 13. Зависимость коэффициента дальности выброса грунта b от угла откоса φ

величина b не будет вполне постоянной и будет зависеть от угла φ . Можно ожидать, что при увеличении φ , b будет тоже расти, т. е.

$$\frac{db}{d\varphi} > 0.$$

Это и получается в действительности при сопоставлении результатов экспериментов.

На рис. 12 показаны два варианта сущности изложенного явления. Вариант I характеризуется тем, что угол φ сравнительно мал. В соответствии с этим траектория движения центра тяжести бросаемой массы грунта оказывается навесной, и увеличение дальности Δx вследствие снижения конечной точки

траектории оказывается малой по сравнению со всей величиной x . Наоборот, при варианте II угол φ велик и Δx также оказывается существенно больше, чем при варианте I.

Кроме сказанного следует ожидать, что колебания в значении b будут тем больше, чем больше b , так как окончательное снижение центра тяжести бросаемых взрывом масс в различных случаях может быть различным.

Это также подтверждается экспериментально. Минимальное значение b остается практически неизменным при всех значениях φ , а максимальное значение b растет при увеличении φ .

Соответствующая обработка данных, заимствованных из отчетов Союзвзрывпрома по сооружению перемычек на строительстве гидростанций, приведена на рис. 13. Все точки, рассчитанные на основе опытных данных, лежат в области между прямыми A и B. На рис. 13 показана также кривая Φ , построенная по средним точкам. Эта кривая может быть использована для ориентировочного нахождения величины b .

Величины коэффициентов b дальности метания основной массы грунта при устройстве указанных выше перемычек приведены также в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты b при направленном выбросе грунта при строительстве перемычек

$$b = \frac{xw^3}{C \sin \varphi \cos \varphi}$$

№ створов	Наименование породы при выбросе	Вес заряда C в кг	Глубина заложения H в м	Длина наименьшего сопротивления w в м	Угол наклона ко-согора φ в град.	Расстояние метания грунта, считая до середины перемычки x в м	Коэффициент дальности метания b	Примечания
Верхняя перемычка ГЭС № 1								
Б 3 2	Лёсс (сухой IV категории)	1 860	9,0	8,0	75	20,0	21,0	1 ряд зарядов при мгновенном взрыве
		1 860	9,0	8,0	70	19,0	31,0	
		1 860	10,0	7,0	80	18,0	31,0	
7 8 9	Лёсс (сухой IV категории)	5 100	9,0	8,0	75	30,0	12,0	2-й ряд зарядов с отставанием в 2 сек.
		2 900	9,0	9,0	65	28,0	19,0	
		5 650	13,0	10,0	78	27,0	50,0	
Нижняя перемычка ГЭС № 1								
1 2	Лёсс (сухой IV категории)	5 100	14,0	13,0	75	16,0	38,0	
		5 100	14,0	13,0	70	22,0	30,0	
1 2	Лёсс (сухой IV категории)	1 710	9,0	8,0	40	22,0	14,0	
		1 710	9,0	8,0	30	22,0	15,0	

№ отбора	Наименование породы при выбросе	Вес заряда С в кг	Глубина заложения Н в м	Линия наименьшего сопротивления Ω в м	Угол наклона ко-согора φ в град.	Расстояние метания грунта, считая до середины перемычки х в м	Коэффициент дальности метания b	Примечания
----------	---------------------------------	-------------------	-------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	---	---------------------------------	------------

Завал шлейфов на реке

15	Лёсс (сухой IV категории)	540	12,6	4,0	80	22,0	29,0	
13—14		280	9,0	4,0	80	22,0	29,0	
10—11		270	6,0	5,0	70	30,0	43,0	
7		1 040	9,0	6,5	80	20,0	30,0	
1	Лёсс (сухой IV категории)	2 400	14,0	10,0	75	29,0	48,0	
2		5 000	12,6	10,0	80	31,0	36,0	
4		10 000	14,0	12,0	80	41,0	41,0	
6		3 400	11,0	8,0	70	28,0	13,0	

Верховая перемычка ГЭС № 3

1	Лёсс	4 350	15,0	15,0	60	30,0	53	
2	То же	6 760	16,0	15,0	60	28,0	32	
3	"	6 800	16,5	16,0	70	25,0	48	
4	"	6 800	17,5	15,0	55	28,0	30	
5	"	6 800	17,5	17,5	60	25,0	46	
6	"	6 800	16,5	16,0	70	28,0	52	

Низовая перемычка ГЭС № 3

1	Лёсс	5 500	17,5	15,0	55	35,0	46	
2	То же	6 900	17,5	15,0	60	28,0	31	
3	"	6 900	17,5	15,0	80	26,0	74	
4	"	6 900	17,5	15,0	75	25,0	49	
5	"	6 900	17,5	15,0	65	33,0	43	

Завал русла реки

1	Лёсс и галечник	226	6,0	5,5	70	19,0	43	1-й ряд зарядов (взрыв мгновен. действия)
2	То же	226	6,0	5,5	70	19,0	43	
3	"	226	6,0	5,5	70	19,0	43	
4	"	226	6,0	5,5	70	19,0	43	
5	"	226	6,0	5,5	70	19,0	43	
6	"	226	6,0	5,5	70	19,0	43	
I а	Лёсс и галечник	463	6,0	6,0	80	24	30	2-й ряд зарядов (взрыв с отставанием в 2 сек)
II а	То же	463	6,0	6,0	80	24	30	
III а	"	463	6,0	6,0	80	24	30	
IV а	"	463	6,0	6,0	80	24	30	
V а	"	463	6,0	6,0	80	24	30	

Завал русла реки

I	Суглинок	2 600	21,0	13,5	60	20	18,5	
II	То же	2 600	21,0	13,5	60	20	18,5	

Рис. 13 показывает, что экспериментальные значения b укладываются в зоне между горизонтальной прямой A , соответствующей значению $b = 18 \frac{M^4}{\text{кг}}$, и наклонной прямой BC с уравнением:

$$b = 11\varphi^\circ - 24 \frac{M^4}{\text{кг}},$$

идущей в пределах $30^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$.

Описанная схема взрыва и соответствующего расчета не является единственно возможной. Эта схема может быть изменена в том отношении, что при взрыве второго заряда можно не ожидать падения масс грунта, поднятых первым взрывом. Можно поставить задачу о взрыве второго заряда в момент, когда давление в грунте от первого взрыва упало до достаточно малых величин, что практически связано с подбором коэффициента d в формуле (42). Можно подобрать столь малое d , что будут осуществляться именно эти условия. Но тогда окажется возможным гарантировать направленный выброс только того грунта, который брошен вторым взрывом. Грунт же, поднятый первым взрывом, в основном упадет вертикально вниз и частично заполнит образовавшуюся воронку. Таким образом, в этом случае количество бросаемого грунта уменьшится. Однако дальность бросания существенно возрастет.

Следовательно, вторая схема взрыва двух зарядов может в некоторых случаях также представлять практический интерес.

Описанные схемы из двух зарядов могут быть развиты в схемы из трех и более зарядов, взрывааемых последовательно. При этом третий и последующие заряды могут работать по схеме с малым временем замедления потому, что грунт, брошенный вторым зарядом, при всех условиях движется направленно и не требует ускорения от последующих взрывов. Таким путем можно создать цепь зарядов, бросающих грунт по линии своего расположения в направлении к тому заряду, который взорван первым.

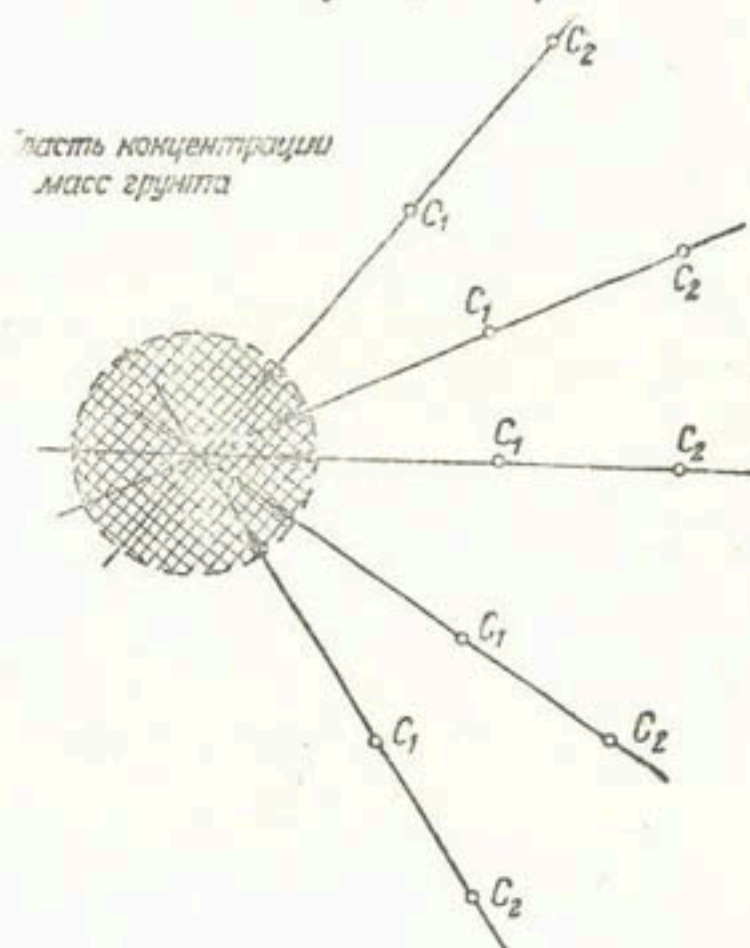


Рис. 14. Схема расположения зарядов для получения концентрации масс грунта

Если расположить несколько цепей таких зарядов, причем направления бросания грунта ориентировать в плане так, чтобы они пересекались в одной точке, то можно вблизи этой точки сосредоточить весьма значительные массы грунта (рис. 14). Практически такой прием осуществим весьма легко и многократно проверен на взрывных работах, проводившихся в СССР.

V. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ОТСТАВАНИЯ ВЗРЫВА ОСНОВНОГО ЗАРЯДА ПО ОТНОШЕНИЮ К ВЗРЫВУ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ЗАРЯДА

Основная идея направленного выброса грунта состоит в том, что производится сначала взрыв вспомогательного заряда, а потом, когда воронка (или полость), полученная в результате этого взрыва, достигнет максимальных размеров, взрывается основной заряд. Следовательно, время отставания взрыва основного заряда по отношению к взрыву вспомогательного заряда равно времени возрастания размеров полости, образуемой взрывом вспомогательного заряда.

Это время зависит в основном от двух факторов:

- 1) энергии и размера вспомогательного заряда и
- 2) сил тяжести, действующих на окружающую среду, определяемых произведением плотности среды ρ на ускорение силы тяжести g .

Если взрыв происходит в нескальном грунте или в воде, то обычно силами прочности среды можно пренебречь.

Для дальнейшего упрощения задачи допустим, что среда, внутри которой происходит взрыв, достаточно мало сжимаема, обладает малым внутренним трением и к ней можно применить основные закономерности гидродинамики несжимаемой жидкости. При этом условии можно из основных закономерностей гидродинамики вывести для сферического заряда, находящегося на глубине H под плоской поверхностью среды с плотностью ρ , следующие зависимости.

Скорость движения среды непосредственно у поверхности соприкосновения продуктов взрыва и среды (при мгновенном выделении энергии взрыва) равна:

$$v_0 = \sqrt{\frac{\rho_{вз}}{3\rho}} \cdot \sqrt{2 U_1 k_n}, \quad (51)$$

где U_1 — удельная энергия взрывчатого вещества;
 $\rho_{вз}$ — плотность взрывчатого вещества;
 ρ — плотность среды;
 k_n — коэффициент полезного действия.

Величина

$$\sqrt{2 U_1 k_n} = v_{ск} \quad (52)$$

есть средняя квадратичная скорость разлета продуктов детонации при взрыве в пустоте.

Практически в большинстве случаев с достаточным приближением можно принять:

$$v_0 \approx 2000 \sqrt{k_n \frac{m}{\text{сек}}}.$$

Можно k_n заимствовать из литературных данных¹. Например, для достаточного заглубления:

$$k_n = 0,2$$

и, следовательно,

$$v_0 \approx 900 \text{ м/сек.}$$

Ввиду того что расширение среды, где произошел взрыв, встречает сопротивление, обусловленное в частности силой тяжести, скорость v_0 будет с течением времени уменьшаться и в конце концов расширение продуктов взрыва прекратится совсем. В этот момент полость, полученная в среде от взрыва, достигнет максимальных размеров.

Если определять радиус этой полости, полагая, что противодействие, обусловленное весом среды, остается неизменным в течение всего времени расширения полости, то можно работу расширения приравнять к объему сферы расширения, умноженному на гидростатическое давление:

$$U_1 C k_n = \frac{4}{3} R_n^3 \pi \rho g H. \quad (53)$$

Здесь C — масса заряда, g — ускорение силы тяжести и H — глубина расположения заряда. Отсюда

$$R_n = \sqrt[3]{\frac{3 U_1 C k_n}{4 \pi H \rho g}}. \quad (54)$$

Полагая приближенно, что движение равнозамедленное, получаем время движения равным

$$t = \frac{2 R_n}{v_0}. \quad (55)$$

Из формул (51), (54) и (55) получаем:

$$t = \frac{3^{5/6} \rho^{1/6} C^{1/3}}{(\pi g)^{1/3} \rho_{\text{вв}}^{1/2} \left(\sqrt{2 U_1 k_n} \right)^{1/3} H^{1/3}}.$$

Если считать $\rho = 100 \text{ тем/м}^3$, $\rho_{\text{вв}} = 150 \text{ тем/м}^3$, $g = 10 \text{ м/сек}^2$, $\sqrt{2 U_1 k_n} \approx 900 \text{ м/сек}$, то получим:

$$t = 0,015 \sqrt[3]{\frac{C}{H}} \text{ сек.} \quad (56)$$

¹ Г. И. Покровский и И. С. Федоров, Исследование удара и взрыва в деформируемых средах, ч. III, 1940.

причем C должно быть выражено в технических единицах массы (тем) и H —в м.

Если, например, $C=1\,000\text{ кг} \approx 100\text{ тем}$ и $H=9\text{ м}$, то $t \approx 0,033\text{ сек.}$

При решении указанной задачи время t можно принимать за нижний предел времени отставания. Величина t ближе всего к действительному времени расширения полости, образованной взрывом, в горизонтальном направлении.

Перейдем теперь к определению верхнего предела t . С этой целью рассмотрим движение среды, выбрасываемой взрывом вертикально вверх. Исходя из гидродинамической теории, можно для этого случая дать следующую формулировку: скорость движения среды по вертикали, проходящей через центр заряда в точке, отстоящей на расстоянии y от центра заряда, равна:

$$v_y = \sqrt{\frac{2\rho_{sv}}{3\rho} k_n U_1 \left[\left(\frac{R_0}{y} \right)^2 + \left(\frac{R_0}{2H-y} \right)^2 \right]}. \quad (57)$$

Здесь: R_0 — радиус заряда;

U_1 — энергия, выделяемая при взрыве единицы массы взрывчатого вещества;

ρ_{sv} — плотность взрывчатого вещества;

ρ — плотность среды;

k_n — некоторый коэффициент полезного действия.

Энергия, передаваемая столбу среды, с сечением, равным единице, находящемуся над зарядом при взрыве последнего, равна

$$U_{cm} = \frac{\rho}{2} \int_{R_0}^H v_y^2 \cdot dy. \quad (58)$$

На основании (57) и (58) можно написать, пренебрегая в первом приближении вторым членом в скобках в формуле (57):

$$U_{cm} = \frac{1}{9} \rho_{sv} k_n U_1 R_0^4 \left(\frac{1}{R_0^3} - \frac{1}{H^3} \right). \quad (59)$$

Эта энергия затратится на подъем указанного столба вертикально вверх.

Высота подъема будет равна:

$$y_m = \frac{U_{cm}}{\rho g (H - R_0)}, \quad (60)$$

где g — ускорение силы тяжести.

Учитывая, что обычно

$$H \gg R_0,$$

можно на основании (59) и (60) написать:

$$y_m = \frac{\rho_{sv} \cdot k_n \cdot U_1 \cdot R_0}{9 \rho g H}. \quad (61)$$

Время подъема массы на эту высоту равно:

$$t = \sqrt{\frac{2 y_m}{g}}. \quad (62)$$

Из (61) и (62) следует:

$$t = \frac{1}{3g} \sqrt{\frac{2 \rho_{ss} \cdot k_n U_1 R_0}{\rho H}}. \quad (63)$$

Можно считать, что время t по крайней мере приближенно и есть искомое время замедления.

Величина R_0 может быть выражена через массу заряда C . Именно:

$$C = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_{ss},$$

отсюда

$$R_0 = \sqrt[3]{\frac{3C}{4\pi\rho_{ss}}}. \quad (64)$$

Соединяя (63) и (64), получаем:

$$t = \frac{1}{3g} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ss}}{\rho} \cdot \frac{k_n U_1}{H}} \sqrt[3]{\frac{3C}{4\pi\rho_{ss}}}$$

или

$$t = \frac{1}{3g} \sqrt{\frac{\rho_{ss}}{\rho} \cdot \frac{k_n U_1}{H}} \cdot \sqrt[6]{\frac{3C}{4\pi\rho_{ss}}}. \quad (65)$$

Характерной особенностью формулы (65) является то, что масса (вес) заряда C входит в правую часть под знаком корня 6-й степени. Это указывает на весьма малое влияние величины заряда за время t . Другие величины также входят в формулу под знаком корня 2-й степени. Следовательно, и их влияние также сравнительно невелико. Отсюда можно вывести, что неточности в величинах, входящих в правую часть формулы (65), сравнительно мало влияют на точность величины t .

Для количественных расчетов можно принять:

$$\begin{aligned} \rho_{ss} &= 150 \text{ тем/м}^3; \\ \rho &= 100 \text{ тем/м}^3; \\ U_1 &= 4 \cdot 10^8 \text{ кгм/тем}; \\ g &= 10 \text{ м/сек}^2; \\ k_n &= 0,2. \end{aligned}$$

При таких условиях (приближенно)

$$t \approx 12,5 \frac{\sqrt[6]{C}}{\sqrt{H}}. \quad (66)$$

Здесь C выражено в технических единицах массы (тем) и H в м.

Примем для примера:

$$C = 1\,000 \text{ кг},$$

$$H = 9 \text{ м},$$

тогда

$$t \approx 13 \text{ сек.}$$

Эту величину можно считать верхним пределом времени отставания взрыва основного заряда.

Так как для обеспечения направленного выброса имеет значение, главным образом, образование нижней части полости при взрыве вспомогательного заряда, то реальное значение должен иметь в большей мере нижний предел величины t . Поэтому для практических целей можно исходить из нижнего предела, найденного по формуле (56). В качестве запаса надежности следует, однако, эту величину увеличить в 1,5—2 раза.

VI. НАПРАВЛЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА, ОБУСЛОВЛЕННОЕ НАЛИЧИЕМ ВЫЕМКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА

В ряде случаев оказывается необходимым обеспечить выброс грунта взрывом в пределах узкого сектора. Эта задача решается достаточно просто устройством тем или иным путем (например, вспомогательным взрывом) выемки над местом, где заложен основной заряд. Целесообразно применять этот прием на откосах, когда особенно легко обеспечить направленный выброс в определенную сторону (рис. 15). Можно также осуществить направленный выброс, устроив предварительно на поверхности грунта выемку с некоторым смещением ее относительно заряда в ту сторону, куда должен произойти выброс грунта (рис. 16). Изложенный принцип был предложен в 1938 г. Н. Г. Арзимановым для дноуглубительных взрывных работ на реках и с тех пор широко применяется различными организациями в СССР¹.

Однако до последнего времени не был выявлен в достаточной степени тот факт, что выемка не только способствует направлению выброса грунта в определенную сторону, но и концентрации энергии взрыва в более или менее узком секторе.

Еще в 1943 г. в Военно-инженерной академии им. Куйбышева были проведены опыты, показавшие следующее. Если поместить заряд в какой-либо достаточно плотной и мало сжимае-

¹ Н. Г. Арзиманов, Подводное взрывание с направленным выбросом, Москва, 1947.

мой среде, например, в воде, и осуществить выемку на поверхности этой среды (например, путем опускания в воду тонкостенного пустого сосуда), то при взрыве из выемки вырывается весьма интенсивная тонкая струя, способная даже пробивать железные листы. Аналогичные результаты дает сильный электрический разряд внутри среды.

Если перенести эти закономерности на грунт, внутри которого заложен заряд, и осуществить соответствующую выемку, то и в этом случае должен иметь место резко направленный выброс, с концентрацией энергии взрыва по направлению линии наименьшего сопротивления.

Для количественных расчетов можно принять различные схемы. Все они практически приводят к одинаковым выводам.

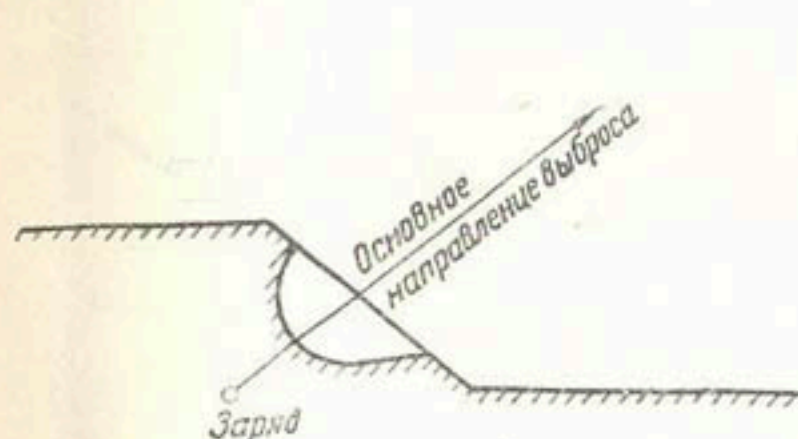


Рис. 15. Направление выброса грунта при взрыве ВВ в откосе

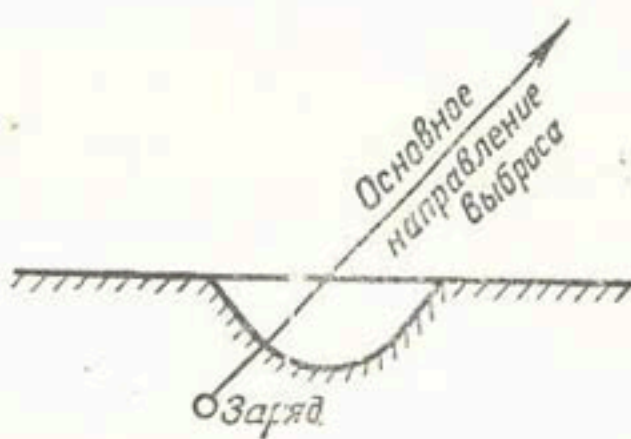


Рис. 16. Направление выброса грунта при взрыве в откосе воронки

В частности, допустим, что импульсы взрыва действуют радиально от центра заряда одинаково по всем направлениям, причем отдельные радиальные элементы грунта (имеющие форму усеченных пирамид) движутся независимо друг от друга.

Тогда можно считать, что масса каждого элемента грунта пропорциональна кубу расстояния R от центра заряда до свободной поверхности (по данному направлению). Скорость при этом получится обратно пропорциональной R^3 .

$$v = \frac{A}{R^3}, \quad (67)$$

где A — постоянная, которую можно определить из условия

$$\frac{1}{2} \int_0^m v^2 dm = U_1 C, \quad (68)$$

где dm — элемент массы;

U_1 — удельная энергия, выделяемая при взрыве единицы массы взрывчатого вещества и

C — масса заряда.

Интеграл в левой части следует распространить на всю массу, выбрасываемую или смещаемую взрывом.

При изложенных условиях легко построить график распределения относительных величин скорости v , получаемых отдельными элементами грунта.

На рис. 17 дан такой график для случая полусферической выемки в грунте, имеющей радиус R_0 , равный половине глубины

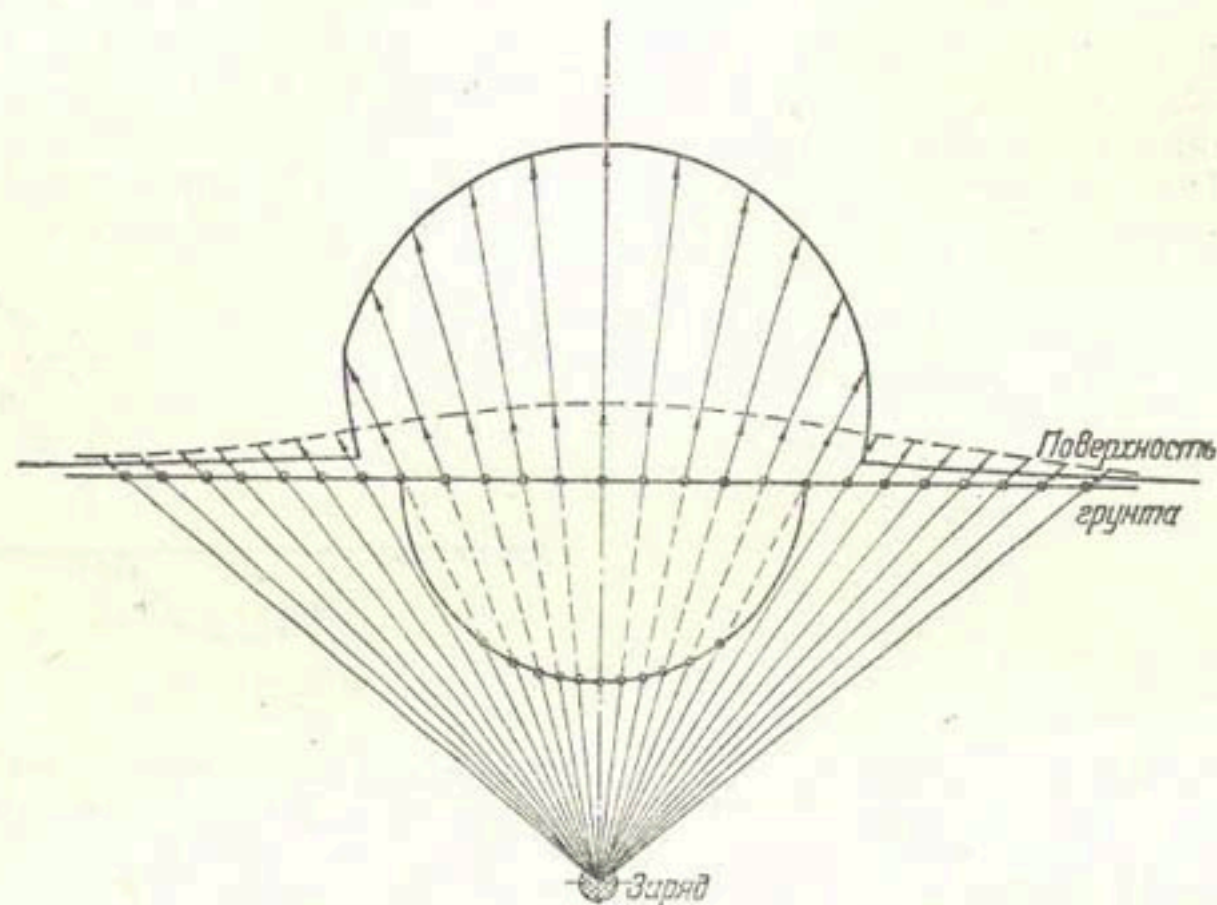


Рис. 17. График распределения скоростей v для случая полусферической выемки

заложения заряда. Векторы скорости отложены от поверхности грунта и соединены плавными кривыми. Сплошная линия соответствует скоростям, которые имеют место при наличии выемки; пунктир дает скорости для случая, когда выемки нет. Если бы постоянная A оставалась одной и той же при наличии и при отсутствии выемки, то скорость в направлении линии наименьшего сопротивления при наличии выемки должна была бы в данном случае быть в 8 раз больше, чем без выемки. Однако условие сохранения энергии, выраженное в формуле (68), приводит к уменьшению A при наличии выемки. Поэтому в направлении наименьшего сопротивления скорость увеличивается не в 8, а приблизительно в 4 раза.

На рис. 18 приведен выброс грунта взрывом заряда в 400 т, произведенным в 1948 г. на строительстве водохранилища. Для этого выброса взрывом трех зарядов общим весом 21 т была сделана предварительно направляющая выемка.

Общее количество выброшенного в плотину грунта составляет $330\,000\text{ м}^3$. На этом рисунке пунктиром с точкой нанесена траектория выброса грунта с наибольшей дальностью; пунктирной линией — теоретическая эпюра скоростей. Эта эпюра построена в предположении, что грунт движется первоначально по радиусам, исходящим из центра заряда. При этом принимается, что величина скорости обратно пропорциональна кубу расстоя-

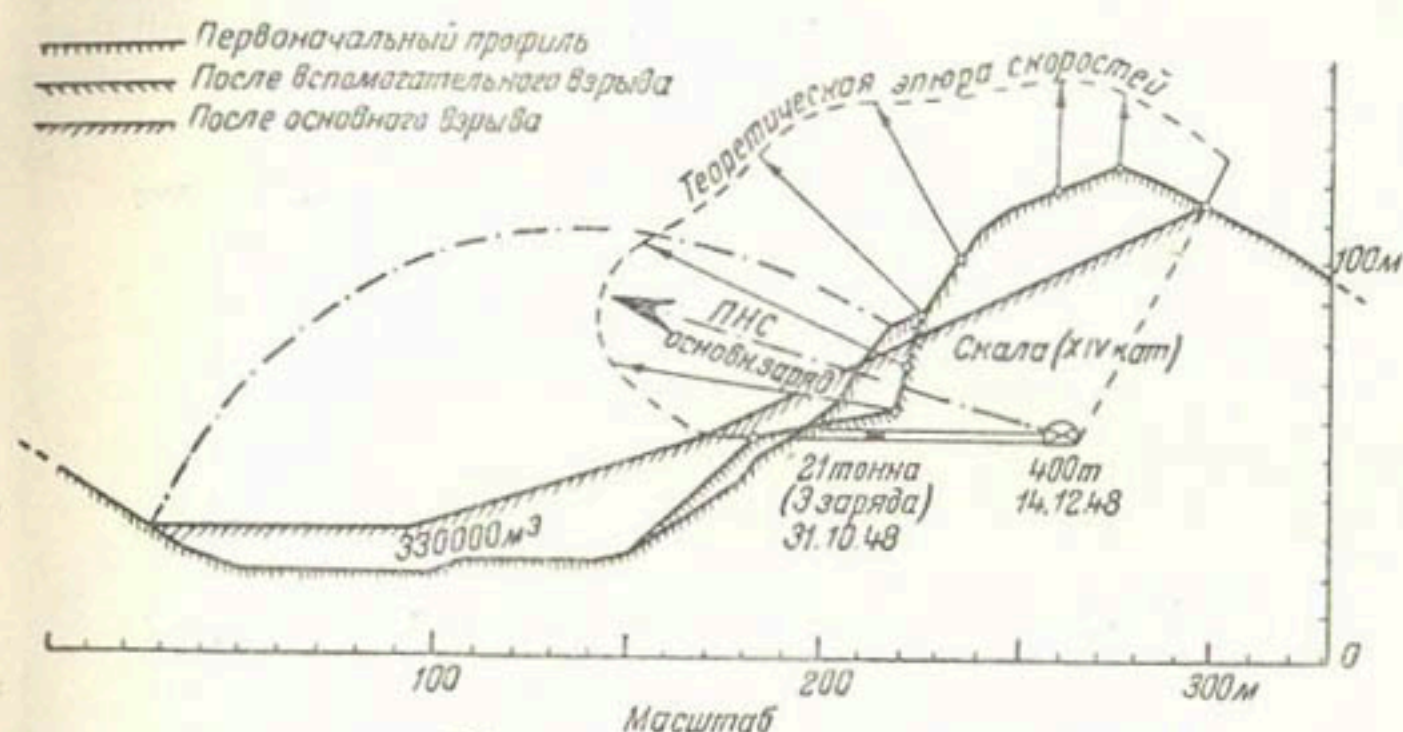


Рис. 18. Схема направленного выброса грунта при постройке плотины

ния от центра заряда до соответствующей точки поверхности грунта.

Если принять, что рассмотренная выемка сделана в откосе грунта, имеющем уклон 45° , то окажется, что дальности бросания грунта взрывом будут пропорциональны квадратам соответствующих скоростей. Очевидно, что эти дальности необходимо отсчитывать от свободной поверхности грунта.

Соответствующее построение приведено на рис. 19, где показана граница зоны, куда грунт может быть брошен взрывом. Пунктир дает соответствующую границу для случая, когда выемка отсутствует.

Если выемка имеет не полусферическую, а коническую форму, то концентрация энергии взрыва около направления линии наименьшего сопротивления оказывается еще более значительной. На рис. 20 дано построение условной дальности бросания грунта для случая конической выемки.

Наконец, на рис. 21 показана картина выброса при асимметричном расположении заряда по отношению к оси выемки. В этом случае получается характерное изменение направления выброса, лежащее в основе многих практических применений направленного выброса грунта.

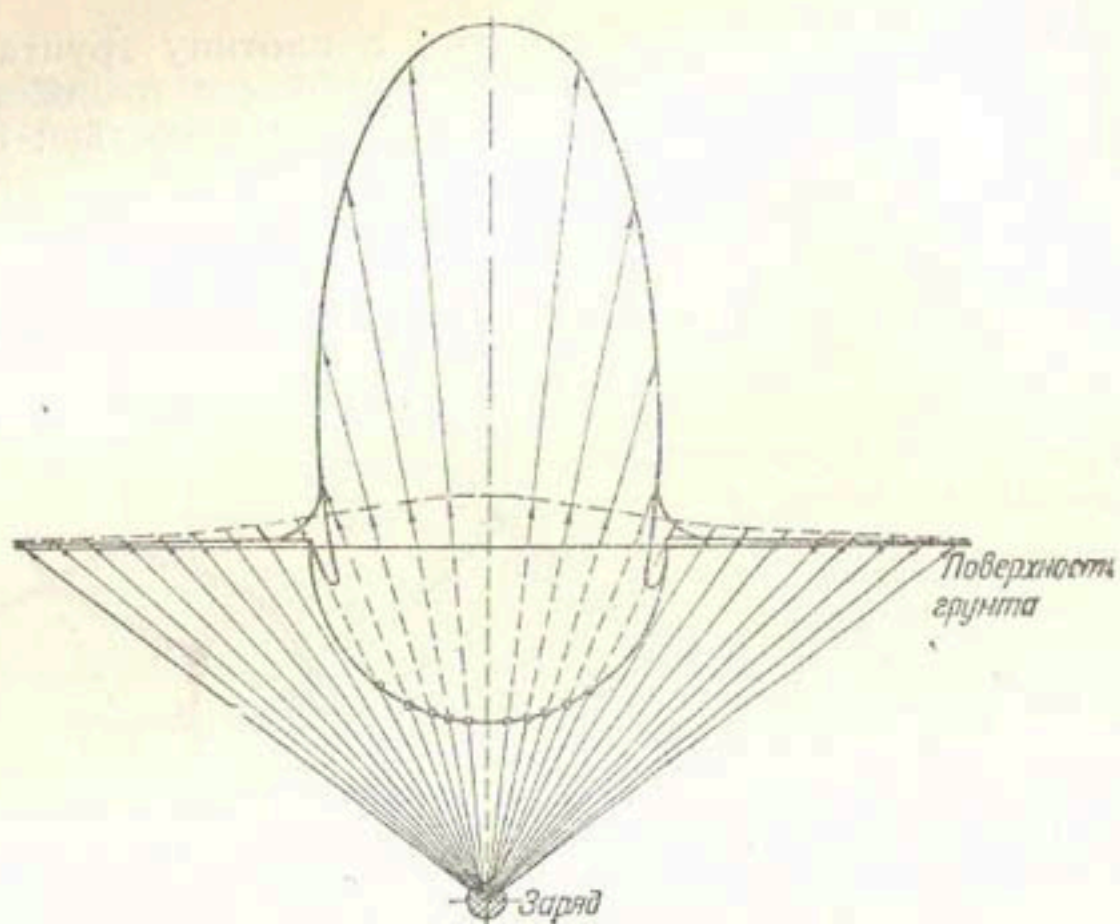


Рис. 19. Границы зоны выброса грунта взрывом заряда
вблизи полусферической выемки

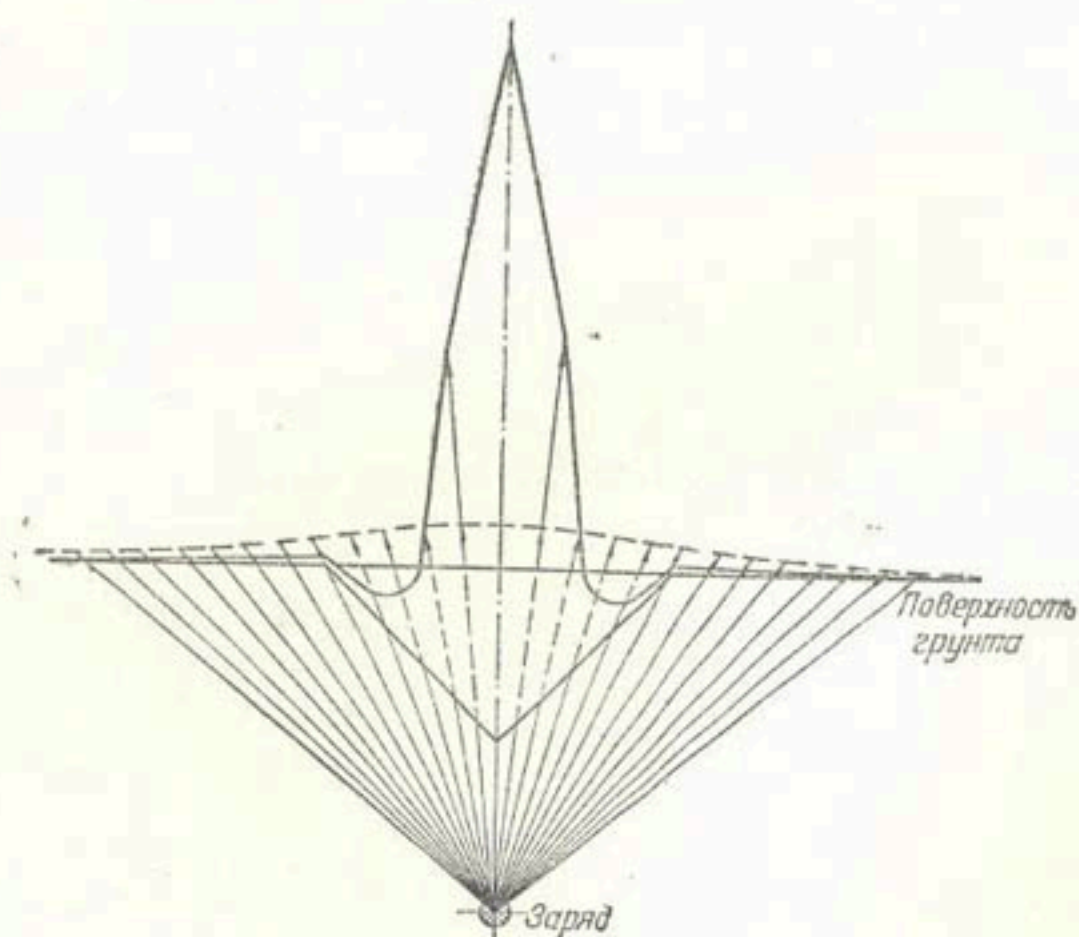


Рис. 20. Границы зоны выброса грунта взрывом заряда
вблизи конической выемки

Так как при рассмотренных явлениях имеет место концентрация энергии взрыва около определенного направления, то эти явления можно рассматривать как особую, своеобразную форму кумуляции. Эта форма кумуляции существенно отличается от тех ее форм, которые широко известны и применяются обычно в военной технике для пробивания брони.

Описываемая здесь форма кумуляции несомненно имеет существенное теоретическое и практическое значение, в частности, для обеспечения концентрированного направленного выброса грунта.

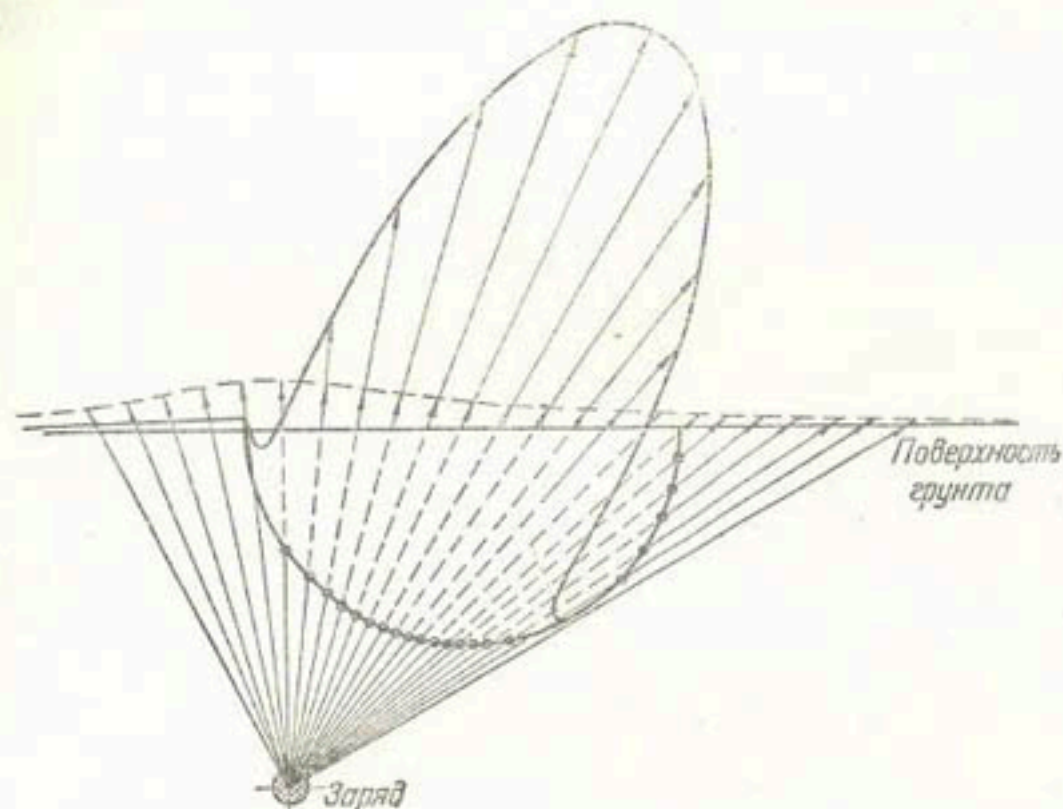


Рис. 21. Границы зоны выброса грунта взрывом в случае асимметричного расположения заряда по отношению к оси выемки

Именно эта форма кумуляции была применена работниками Узбеквзрывпрома при осуществлении направленного выброса грунта на строительстве водохранилищ и в ряде других случаев.

Не подлежит сомнению, что данная форма направленного взрыва заслуживает широко применения на практике и соответствующего теоретического исследования и дальнейшего развития.

Для описанных расчетов выброса грунта взрывом имеет существенное значение определение направлений и соответствующих скоростей выброса. Эта задача в целом является достаточно сложной и многообразной. Однако в первом приближении можно, сделав некоторые допущения, получить решение задачи в весьма компактной форме.

В частности, целесообразным оказался следующий путь исследований. Для экспериментального определения направлений разлета грунта при взрыве применялась ускоренная киносъемка движения грунта при помощи скоростной киносъемочной камеры.

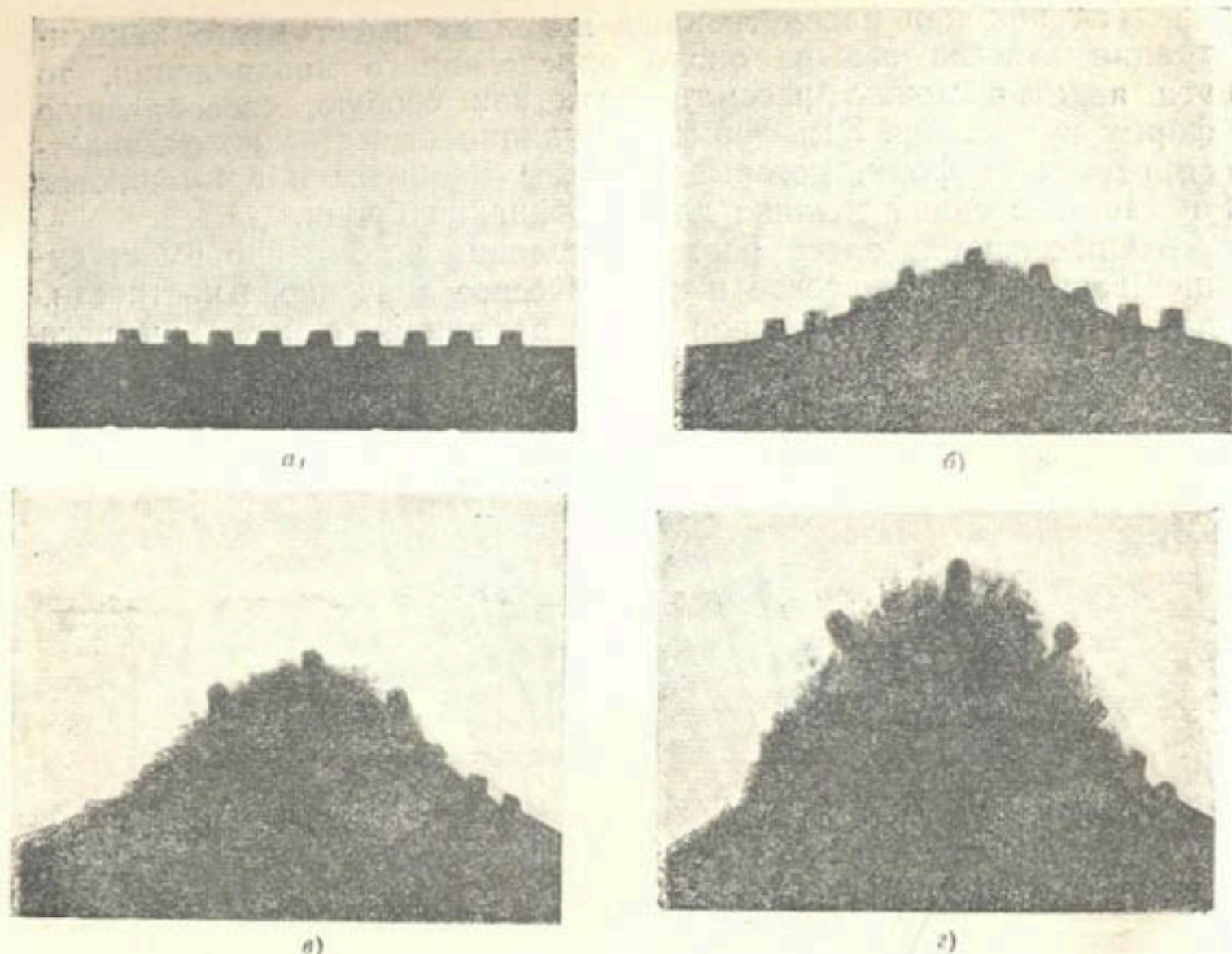


Рис. 22. Кадры ускоренной киносъемки выброса грунта взрывом при горизонтальной поверхности грунта

a—поверхность грунта до взрыва;

б—поверхность грунта при времени действия взрыва $t = 7,5 \cdot 10^{-5}$ сек.;

в—то же при $t = 15,0 \cdot 10^{-5}$ сек.;

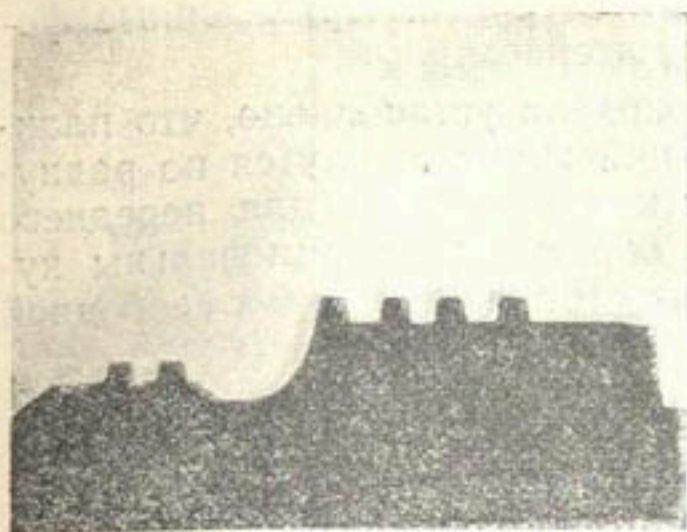
г—то же при $t = 22,5 \cdot 10^{-5}$ сек.

Частота кадров составляла 4 000 в 1 сек. Такая частота позволила весьма детально изучить взрывы малых масштабов, когда процесс взрыва протекает чрезвычайно быстро.

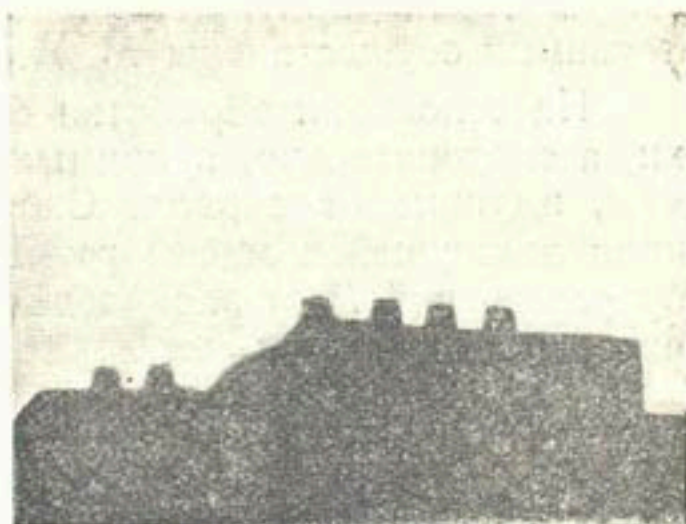
В лабораторных условиях в качестве заряда применялся электродетонатор № 8, имеющий взрывчатое вещество, эквивалентное 1,3 г тротила.

Опыты производились с глиной, имевшей влажность около 20%. Подсветка фона производилась прожектором. Для рассеивания света был применен экран из кальки. Глина укладывалась слоями в деревянный ящик и трамбовалась падающим грузом. Ось детонатора направлялась перпендикулярно к плоскости фотоснимка. На поверхности грунта укладывались небольшие деревянные планки, видимые на снимке. По направлению движения этих планок можно было судить о направлениях выброса грунта.

На рис. 22 показана серия кадров, снятая при наличии плоской горизонтальной поверхности грунта. На рис. 23 даны



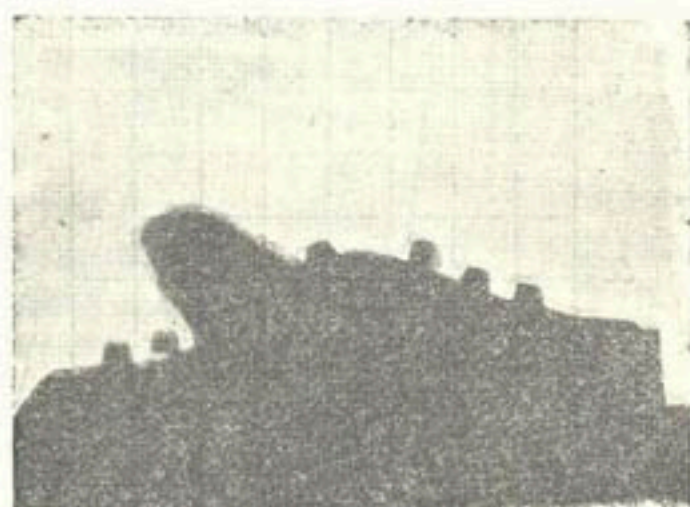
a)



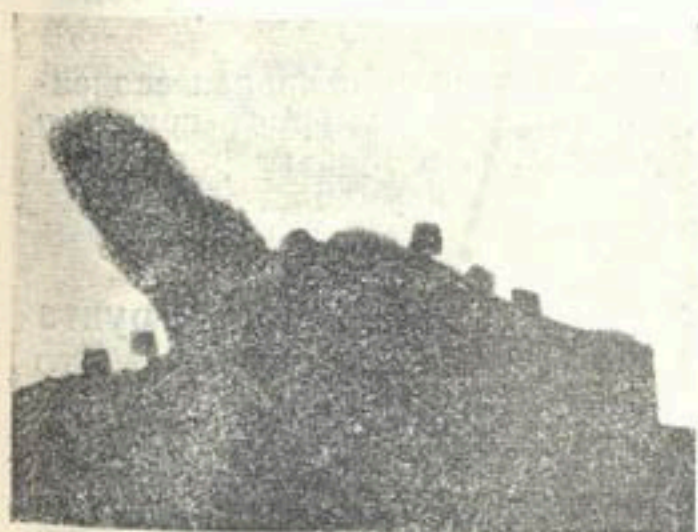
б)



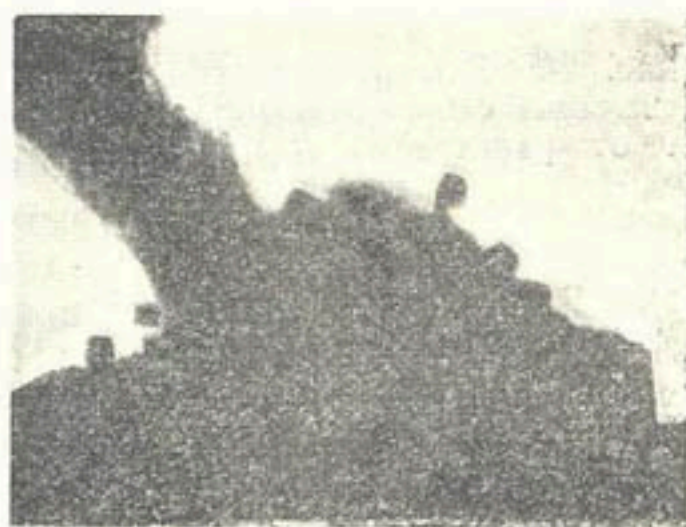
в)



г)



д)



е)

Рис. 23. Кадры ускоренной киносъемки выброса грунта взрывом при наличии выемки в грунте

а—поверхность грунта до взрыва;

б—поверхность грунта при времени действия взрыва $t = 7,5 \cdot 10^{-5}$ сек.;

в—то же при $t = 15 \cdot 10^{-5}$ сек.;

г—то же при $t = 22,5 \cdot 10^{-5}$ сек.;

д—то же при $t = 30 \cdot 10^{-5}$ сек.;

е—то же при $t = 37,5 \cdot 10^{-5}$ сек.

кадры съемки при наличии выемки в грунте. Приведенные фотоснимки осуществлены М. А. Герштейном.

На основании обработки фотокадров установлено, что планки, а следовательно, и примыкающий грунт движутся по радиусам, идущим от заряда. Скорости выброса v (для переднего края движущейся массы грунта) обратно пропорциональны кубу расстояний R от заряда до соответствующей точки свободной поверхности грунта:

$$v = \frac{A}{R^3}, \quad \text{причем} \quad A = \text{const.}$$

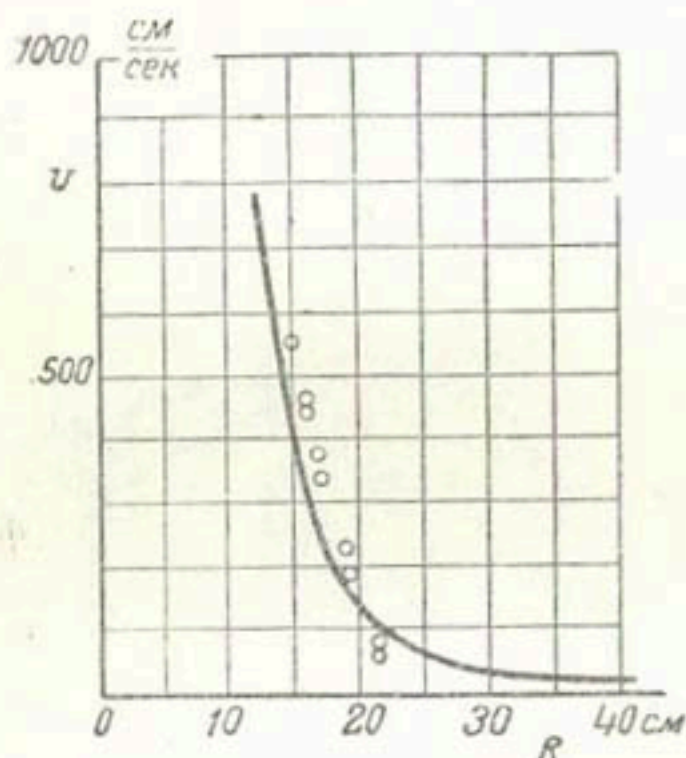


Рис. 24. Экспериментальная зависимость скорости выброса грунта v от расстояния R при обычном взрыве

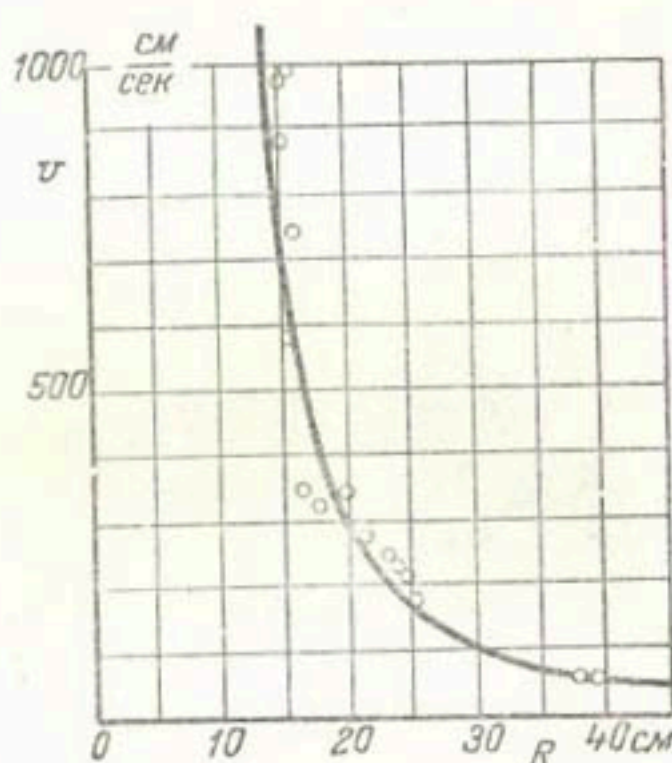


Рис. 25. Экспериментальная зависимость скорости выброса грунта v от расстояния R при направленном взрыве

Значение A различно: в случае плоской поверхности грунта $A=10^6$ см⁴/сек, при наличии выемки $A=2,7 \cdot 10^6$ см⁴/сек. Это указывает на то, что при направленном взрыве коэффициент полезного действия взрыва больше, чем при обычном взрыве. Если бы вся энергия взрыва пошла на движение грунта, то в случае обычного взрыва $A=2 \cdot 10^7$ см⁴/сек, т. е. в 20 раз больше опытного значения A . Отсюда следует, что коэффициент полезного действия при выбросе грунта взрывом весьма невелик. Впрочем такой вывод был уже известен давно.

На рис. 24 и рис. 25 показаны экспериментальные зависимости $v=f(R)$, показывающие, с какой точностью осуществляется рассмотренная закономерность; рис. 24 относится к обычному, а рис. 25 — к направленному взрыву.

VII. ОБ УПЛОТНЕНИИ ПРИ ПАДЕНИИ МАСС ГРУНТА, БРОШЕННЫХ ВЗРЫВОМ

1. Теоретические соображения

При применении направленного взрыва для строительства плотин и других сооружений из грунта существенное значение имеет задача не только переместить грунт в заданное место и уложить его в соответствии с проектным профилем сооружения. Необходимо также добиться достаточной плотности и однородности выброшенного грунта.

Обычно грунт, выброшенный взрывом, представляется сильно разрыхленным и кажется малопригодным в качестве массива ответственного грунтового сооружения. Это впечатление, однако, неверно. Его можно назвать в буквальном смысле слова поверхностным потому, что оно относится к поверхностному слою набросанного взрывом грунта. Если же обратить внимание на более глубокие части массива грунта, брошенного взрывом, то впечатление существенно изменяется. Исследования, проведенные при помощи шурфов и буровых скважин, показывают, что внутренние части масс грунта, брошенных взрывом, обладают, как правило, достаточной плотностью и прочностью.

Это обстоятельство нетрудно показать, исходя также из общих физико-механических предпосылок. Конечно, эти предпосылки дают только общее представление о характере уплотнения и не могут применяться для практических расчетов.

Энергия движения, приобретаемая единицей объема грунта, падающего с высоты H , имеющего плотность ρ , равна:

$$U_1 = \rho g H, \quad (69)$$

где g — ускорение силы тяжести.

Эта энергия может быть при ударе этого грунта о жесткую преграду преобразована в энергию сжатия грунта. Энергия сжатия единицы объема может быть выражена так:

$$U_2 = \frac{P^2}{2E}, \quad (70)$$

где P — максимальное давление, достигаемое при сжатии, и E — модуль сжатия данного материала.

Для определения среднего P , которое характеризует уплотнение, приравняем U_1 и U_2 и получим:

$$P = \sqrt{2 E \rho g H}. \quad (71)$$

Относительную степень уплотнения грунта можно определить на основе отношения

$$\frac{P}{E} = \sqrt{2 g H \cdot \frac{\rho}{E}}. \quad (72)$$

Известно, что

$$\sqrt{2gH} = v_n, \quad (73)$$

где v_n — скорость, приобретаемая телами при свободном падении с высоты H .

Далее, известно, что

$$\sqrt{\frac{E}{\rho}} = v_3, \quad (74)$$

где v_3 — скорость звука.

Следовательно, формулу (72) можно переписать так:

$$\frac{P}{E} = \frac{v_n}{v_3} = M. \quad (75)$$

Таким образом, отношение среднего уплотняющего давления при ударе к модулю сжатия данного материала равно числу M , т. е. отношению скорости движения до удара к скорости звука в данном материале.

Формулы (72) или (75) дают весьма высокие средние уплотняющие давления, если масштаб направленного бросания грунта взрывом достаточно велик. Например, если $E = 500 \text{ кг/см}^2 = 5 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^2$, $\rho = 160 \text{ т/м}^3$, $g \approx 10 \text{ м/сек}^2$, $H = 100 \text{ м}$,

то

$$\frac{P}{E} = \frac{1}{4}$$

или

$$P \approx 125 \text{ кг/см}^2.$$

Это давление превосходит в десятки раз те значения уплотняющих давлений, которые достигаются при самой тщательной укатке и трамбовке грунта самыми совершенными механизмами.

Приведенные формулы и расчеты имеют весьма приближенный характер. На практике явление уплотнения грунта существенно усложняется.

Действительно по формулам (72) и (75) выходит, что масса грунта, сброшенная с высоты 1 м, получит уплотнение, соответствующее нагрузке около 12 кг/см^2 при $E = 500 \text{ кг/см}^2$, $\rho = 160 \text{ т/м}^3$. Между тем куча песка, насыпанная, например, с автомашины-самосвала, имеет, как известно, довольно рыхлое строение. Приводимые ниже данные показывают также следующее. Средний объемный вес уложенного взрывом лёссовидного грунта получился равным $1,57 \text{ т/м}^3$, между тем как можно было бы ожидать более значительных величин плотности.

Источником неточности формул (72) и (75) является, в частности, сопротивление воздуха падающему грунту, возможность боковой деформации (сдвига) упавших масс грунта и деформации основания.

Конечно, уплотнение при падении больших масс грунта оказывается неравномерным. Более всего уплотняются те части массива, которые находятся внизу. В этих частях значения P могут быть даже существенно больше вычисленной величины. Верхние же части массива уплотняются слабо. Такое распределение уплотнения является рациональным, поскольку уплотняются те части массива грунта, которые должны нести наибольшие нагрузки и прочность которых должна быть обеспечена в первую очередь. Это очень существенное положительное качество, обеспечиваемое автоматически при применении направленного взрыва в больших масштабах, трудно переоценить. Это явление следует использовать на практике в самых широких масштабах.

Определенное описанным способом среднее уплотняющее давление P можно использовать только как общую характеристику степени уплотнения. Фактически в каждом слое уплотняемой массы будет действовать некоторое определенное уплотняющее давление, зависящее от положения данного слоя в массиве. Вообще следует ожидать, что максимальное уплотняющее давление будет действовать в нижней части массива, а на верхней поверхности массива оно будет равным нулю.

Выделим в массиве падающего грунта столбик с поперечным сечением, равным единице, и с высотой, равной y_m . Пусть уплотняющее давление в нижней части массива равно P_m . Тогда в первом приближении можно принять, что давление P_y на глубине y под поверхностью массива будет равно:

$$P_y = P_m \cdot \frac{y}{y_m}. \quad (76)$$

Величина P_m может быть определена, если принять, что вся энергия падения идет на уплотнение, но перераспределяется при этом согласно формуле (76). Если бы вся энергия уплотнения была распределена равномерно по высоте столба грунта, то ее общая величина была бы равна на основании (70)

$$U_1 y = \frac{P_y^2 y}{2E}.$$

Если же учесть перераспределение давления согласно (76), то можно написать:

$$\int_0^{y_m} \frac{P_y^2 y}{2E} \cdot dy = \frac{P_y^2 y}{2E}. \quad (77)$$

На основании (76) и (77) получим:

$$P_y = 1,73 P \frac{y}{y_m}. \quad (78)$$

Применяя те примерные условия, которые привели выше к значению $P=125 \text{ кг/см}^2$, получим:

$$P_y = 216 \frac{y}{y_m} \text{ кг/см}^2.$$

Допустим, что для уплотнения грунта необходимо иметь давление не менее 2 кг/см^2 , тогда можно полагать, что удовлетворительно будут уплотнены 99% всего объема массива грунта.

Изложенные расчеты конечно весьма приближенные. В частности, значительное уменьшение уплотнения падающих масс грунта может произойти вследствие осадки основания, на которое этот грунт падает. Однако ошибки в приведенных выводах, которые могут быть вызваны такой осадкой, сравнительно невелики. Например, если половина энергии падения уйдет в основание вследствие его деформации, все же уплотняющие давления останутся достаточно большими, и будет уплотнено более 98% от всего объема массива.

На основании сделанных выше оговорок можно считать, что пока еще нельзя говорить об уплотнении грунта, выбрасываемого взрывом, которое могло бы осуществляться само собой во всех случаях. Однако те общие положения физики этого явления, которые были рассмотрены выше, показывают, что имеются исходные данные для управления уплотнением грунта, бросаемого взрывом. Чем больше масштаб взрыва, тем значительнее уплотнение. Если правильно управлять движением выбрасываемых масс и изучить условия их падения, можно, повидимому, достигнуть существенных результатов. Дальнейшее изучение этого вопроса представляет существенный интерес.

Если бы, однако, падение масс грунта все же не обеспечило необходимой плотности, можно было бы исправить такой результат также при помощи взрыва в следующих условиях.

Предположим, что данный массив грунта является дамбой или плотиной; тогда следует около них поднять уровень воды в той мере, в какой позволяет достигнутая прочность грунта. Далее в воде производят один или несколько взрывов зарядов допустимой величины.

При взрывах ударная волна входит через воду в грунт и распространяется далее через этот грунт преимущественно по грунтовой воде, потому что скорость ударной волны в воде обычно существенно превосходит скорость распределения деформаций в скелете грунта. Таким образом, получается резкое, хотя и кратковременное, смещение грунтовой воды относительно скелета грунта. При этом происходит сначала интенсивная

суффозия, а непосредственно после этого не менее интенсивный кольматаж грунта вследствие застревания мелких частиц, переносимых водою в наиболее узких частях пор.

Многочисленные опытные данные указывают, что при осуществлении взрывов на выброс в водонасыщенных грунтах их коэффициент фильтрации резко снижается в зоне, примыкающей к воронке. Это обстоятельство наблюдается только при достаточной влажности грунта и, очевидно, объясняется указанными выше процессами.

Таким образом, имеются все основания применять взрыв в воде вблизи дамб и плотин, если требуется их дополнительное уплотнение. Постепенно повышая уровень воды и производя уплотняющие взрывы, можно таким образом дополнительно улучшить грунтовые массивы, если бы они оказались недостаточно прочными или слишком водопроницаемыми.

2. Исследование плотности грунта насыпей, образованных взрывом

При возведении обычным или взрывным способом земляных плотин, перемычек и дамб имеют значение равномерное по всему земляному гидросооружению распределение влажности и достаточная и равномерная плотность грунта.

Достижение необходимой плотности грунта, уложенного в тело земляного гидросооружения, нужно для того, чтобы обеспечить достаточную его устойчивость и водонепроницаемость.

Основным мерилом прочности земляного гидросооружения при его нормальном профиле является плотность грунта, уложенного в тело сооружения. Эта плотность определяется плотномером или же характеризуется объемным весом скелета грунта.

С целью изучения плотности и влажности грунта на строительстве ГЭС № 3 были проведены исследования плотности грунта лёссовидного суглинка тела перемычки, образованной взрывом, и опытных песчаных насыпей, также образованных взрывом в одном из районов торфоразработок.

Наблюдение за состоянием тела перемычки, образованной взрывом, производилось на верховой перемычке ГЭС № 3 спустя 1 месяц после взрыва.

Для этой цели в низовом откосе вблизи уреза воды было сделано 2 шурфа, в которых через 0,5 м по глубине брались пробы для определения влажности, объемного веса и механического состава грунта.

Механический состав грунта перемычки

Фракции диаметром	> 0,25 мм	составляют в %
"	от 0,25 до 0,05	0,16
"	" 0,05 " 0,01	15,74
"	" 0,01 " 0,05	68,40
"	" < 0,0005	15,36
"		0,64

Результаты определения влажности и объемного веса скелета грунта приведены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение влажности и объемного веса скелета грунта перемычки

Шурф № 1 (отметка устья +7,70 м)				Шурф № 2 (отметка устья +8,17 м)			Примечания
глубина взятия проб h в м	влажность W в %	объемный вес скелета γ в г/см ³	пористость грунта n в %	влажность W в %	объемный вес скелета γ в г/см ³	пористость грунта n в %	
0,5	18,7	1,56	42,7	18,0	1,56	42,0	Средняя влажность $W=21,1\%$
1,0	18,6	1,49	45,0	17,7	1,58	41,0	
1,5	20,0	1,54	43,0	19,0	1,63	40,0	
2,0	21,9	1,65	39,0	15,4	1,52	44,0	Средний объемный вес скелета $\gamma=1,57$
2,5	22,3	1,49	45,0	20,9	1,58	41,0	
3,0	22,6	1,44	47,0	21,2	1,60	41,0	Удельный вес $\Delta=2,704$ г/см ³
3,5	25,4	1,50	45,0	21,2	1,48	45,2	
4,0	26,4	1,50	45,0	21,9	1,48	45,2	Средняя пористость $n=43,5\%$
4,5	—	—	—	24,0	1,59	41,0	
5,0	—	—	—	25,0	1,59	41,0	

Как видно из этой таблицы, изменение влажности по глубине перемычки незначительное, порядка 6—8%; объемный вес скелета и пористость также изменяются незначительно: объемный вес скелета колеблется от 1,44 до 1,65 г/см³, пористость — от 39 до 47%.

Для сравнения грунта перемычки с грунтом в его естественном залегании воспользуемся опубликованными материалами по исследованию физических свойств лёссовидных грунтов в различных районах нашего Советского Союза.

Из работы Ю. М. Абелева¹ вытекает, что по своим физическим свойствам лёссовидные грунты довольно близки один к другому, и среднее значение их физических характеристик следующее:

удельный вес частиц грунта	$\Delta = 2,64 - 2,75$ г/см ³
объемный вес скелета	$\gamma = 1,40 - 1,60$ "
пористость	$n = 40 - 50\%$

Приведенные в табл. 2 значения объемного веса скелета и пористости не выходят из средних значений, приведенных для различных грунтов в их естественном залегании.

¹ См. «Строительные свойства лёссовидных грунтов». Статья в сборнике ВНОС № 5, 1935.

В работе А. А. Ничипоровича и В. С. Истоминой¹ приведены средние значения объемного веса скелета и влажности лёссовидного суглинка, укатанного цилиндрическим катком, равные соответственно $1,69 \text{ г/см}^3$ и $20,1\%$. Объемный вес скелета и влажность уложенного взрывом грунта перемычки ГЭС № 3 приближаются к указанным выше значениям для лёссовидного грунта в плотинах, возводимых способом укатки.

Полученный для тела перемычки, возведенной взрывом, средний объемный вес $1,57 \text{ г/см}^3$ также не расходится с объемным весом лёссовых суглинков (от $1,40$ до $1,60 \text{ г/см}^3$, в среднем $1,50 \text{ г/см}^3$), рекомендуемым Техническими условиями и нормами проектирования гидротехнических сооружений для земляных сооружений, возводимых способом отсыпки лёссовидного грунта в воду².

При исследовании плотности опытных насыпей, возведенных взрывным способом, были получены многочисленные значения влажности, объемного веса сухой фазы грунта. Для этих определений в опытных насыпях были устроены траншеи и шурфы, из которых на разных глубинах и с разных мест удаления от оси насыпи были взяты пробы грунта для определения влажности, объемного веса и механического состава. Для сопоставления полученных объемных весов грунта насыпей с объемным весом ненарушенного грунта на расстоянии 5 м от помещенных в грунте зарядов был вырыт шурф для взятия грунта, из которого возводилась насыпь.

Опытные насыпи, из которых брались пробы грунта, имели объем $8\text{—}20 \text{ м}^3$ и возводились одновременным взрыванием $10\text{—}30$ удлиненных зарядов, весом по 6 кг . Насыпи, образованные взрывом, располагались на сухом основании из растительного грунта.

В этом же районе 25 февраля 1951 г. была возведена насыпь в воде. Водоем имел глубину до 2 м . Для размещения зарядов на дне водоема были пробурены скважины глубиной по 6 м . В эти скважины были заложены 2 ряда зарядов весом по 300 кг .

После взрыва двух рядов зарядов была получена насыпь, которая на 1 м возвышалась над уровнем воды. В этой насыпи через день после взрыва были вырыты 3 шурфа глубиной до $1,3 \text{ м}$. Из шурфов на разных глубинах были взяты пробы грунта для определения объемного веса, влажности и механического состава.

Механический состав проб грунта, полученный ситовым способом и методом Сабанина, представлен на рис. 26 и 27.

Исследования механического состава грунта опытных насыпей, возведенных взрывом, показывают, что грунт относится по

¹ См. «Проектирование и постройка укатанных земляных плотин», 1936, стр. 306.

² См. ТУ и Н проектирования гидросооружений, Госэнергоиздат, 1949.

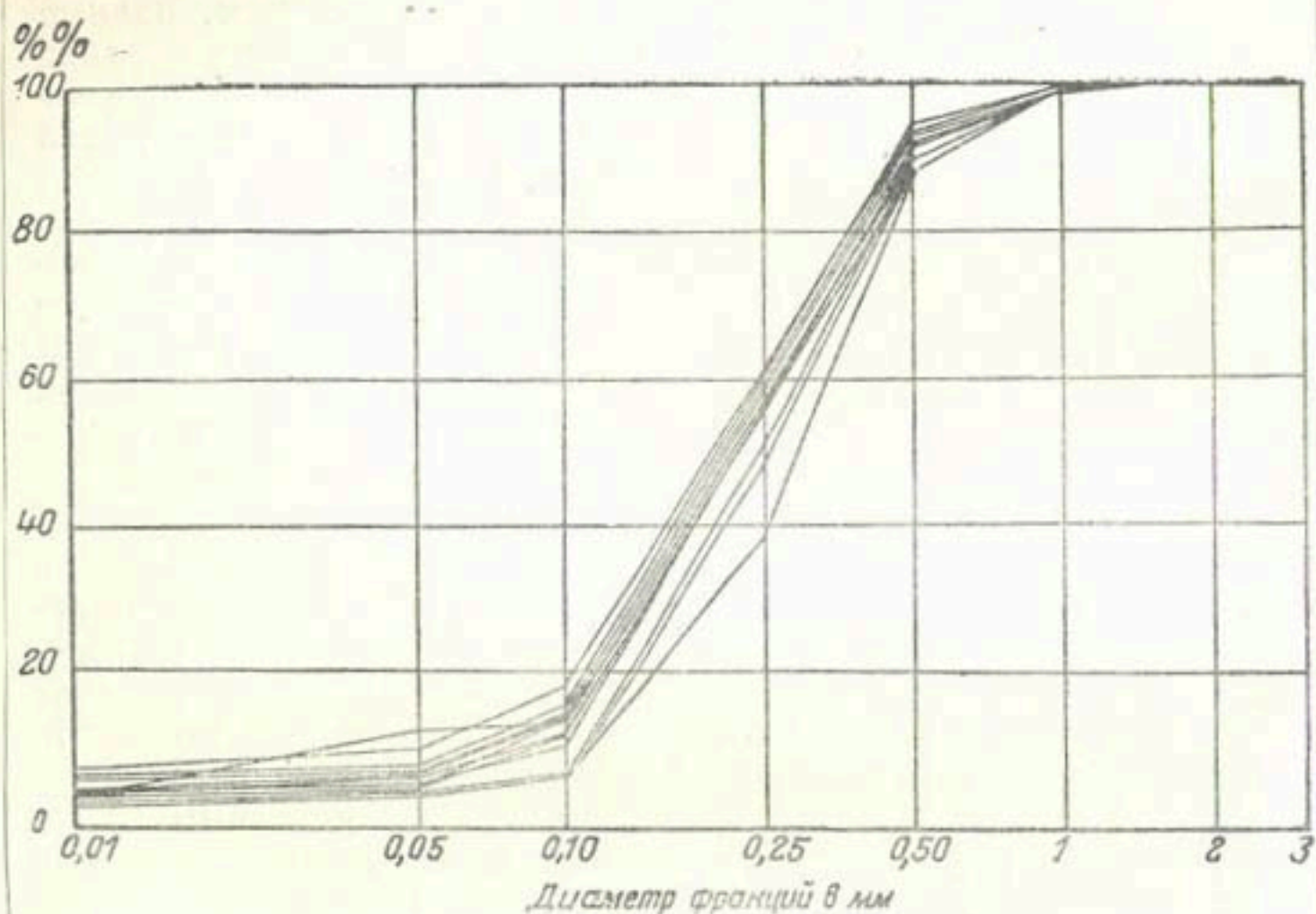


Рис. 26. График механического состава 11 проб грунта, взятого из насыпи, возведенной на сухом основании

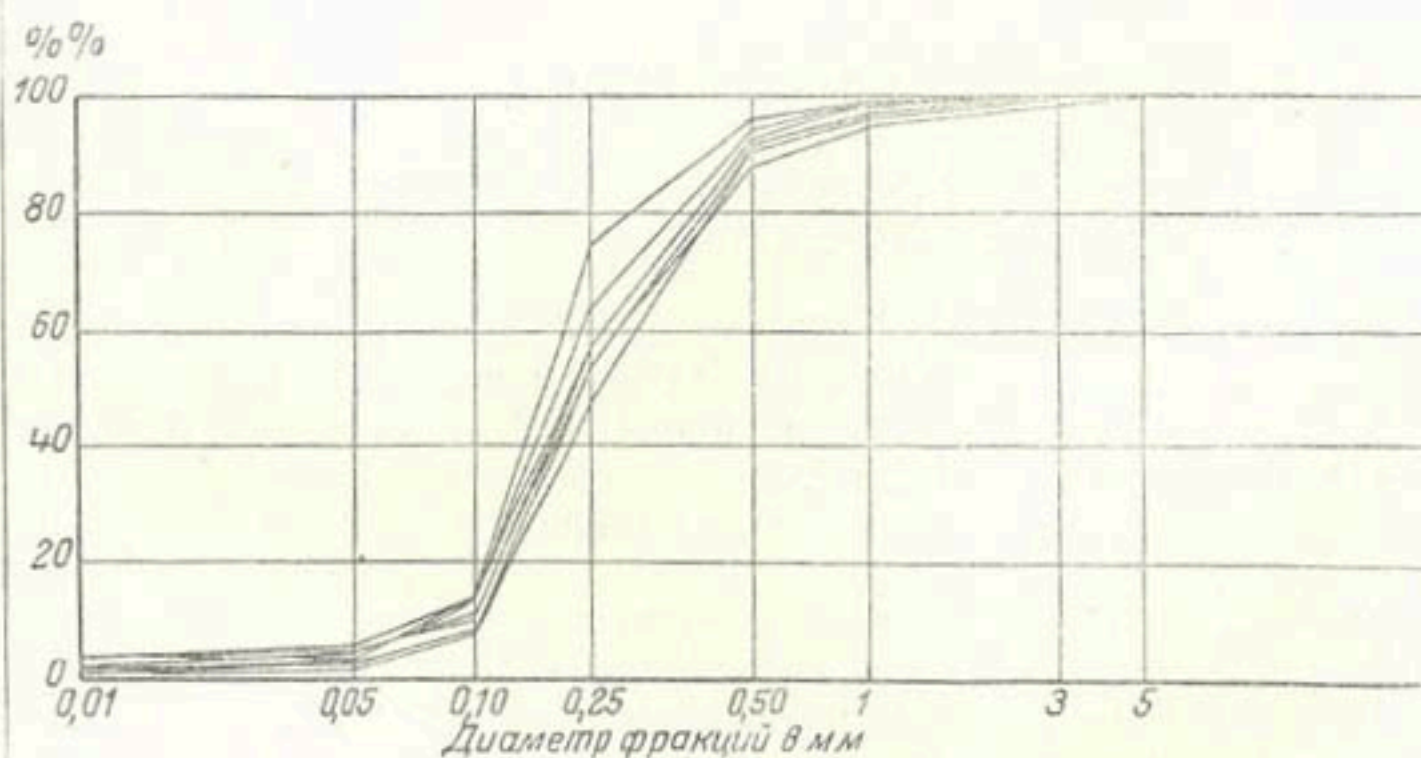


Рис. 27. График механического состава 7 проб грунта, взятого из насыпи, возведенной в воде

механическому составу к мелкозернистым пескам¹, с малой примесью глинистых частиц, доходящих до 15%.

Результаты произведенных определений объемного веса, влажности и пористости грунта опытных насыпей приведены в табл. 3 и 4.

В табл. 3 приведены результаты 76 определений объемного веса, влажности и пористости грунта, взятого из насыпей, возведенных на сухом основании, и 34 определений для грунта, взятого из насыпи, возведенной в воде.

В табл. 4 приводятся средние величины объемного веса, влажности и пористости грунта по каждой отдельной насыпи.

Таблица 3

Средние величины объемного веса, влажности и пористости

Наименование насыпи	Средняя глубина взятия образца в м	Средняя влажность в %	Средний объемный вес грунта в г/см ³	Средний объемный вес сухого грунта в г/см ³	Пористость в %	Количество опытов	Время существования насыпи
1	2	3	4	5	6	7	8
Насыпь № 1	0,50	13,62	1,69	1,48	49,0	3	10 дней
" № 2	0,38	10,95	1,64	1,48	41,1	3	40 "
" № 3	0,40	22,24	1,78	1,45	45,0	4	3 дня
" № 4	0,50	14,33	1,81	1,58	40,0	12	2 "
" № 4	0,65	12,15	1,72	1,55	41,50	4	28 дней
" № 5	0,31	17,12	1,81	1,54	41,5	15	2 дня
" № 6	0,31	11,06	1,72	1,55	41,50	16	8 дней
" № 7	0,40	12,21	1,86	1,66	38,80	19	6 "
Средний из средних	0,41	12,50	1,79	1,58	40,6	76	
Ненарушенный грунт в естественном залегании	0,59	16,21	2,06	1,77	33,00	3	
Уплотненный ручным способом грунт	0,63	12,05	1,89	1,68	36,5	10	
Рыхло насыпанный грунт	—	12,37	1,30	1,16	56,0	16	
Насыпь в воде	0,67	20,69	1,99	1,65	37,76	34	

Если проанализировать плотность грунта по глубине насыпи и в зависимости от времени существования ее, то можно установить, что объемный вес как по глубине, так и по времени существования насыпи остается практически неизменным. Например, насыпь № 2 спустя 10 дней после взрыва имела объемный

¹ См. В. С. Истомина и И. С. Федоров. Ускоренные и упрощенные способы исследования грунтов для гидротехнических сооружений, Стройиздат, 1945.

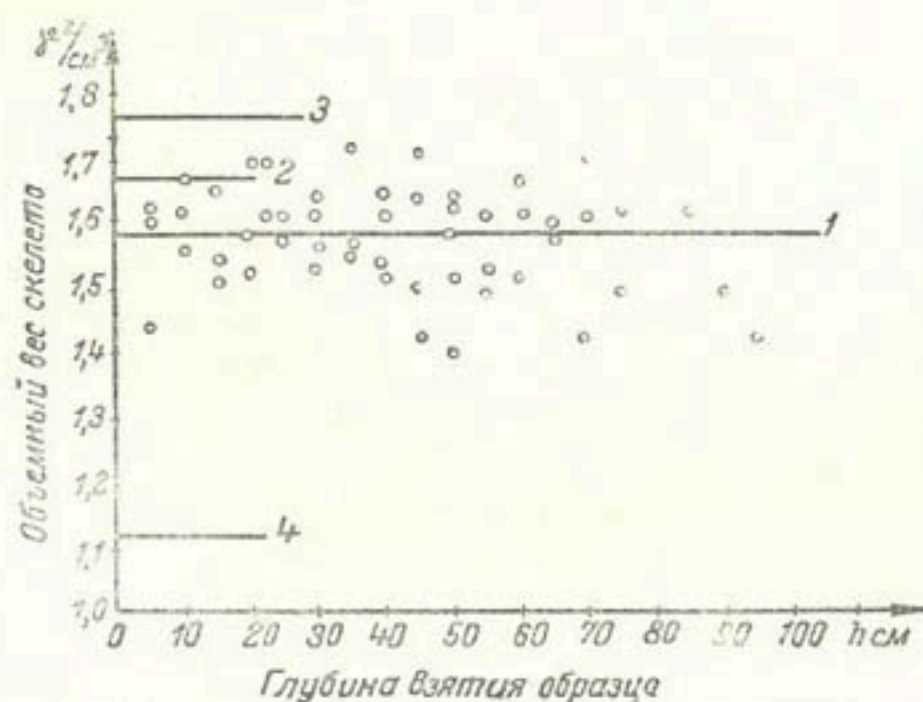


Рис. 28. График объемного веса грунта, взятого из насыпи, возведенной на сухом основании

1—средний объемный вес песка и насыпи; 2—средний объемный вес уплотненного ручным способом грунта; 3—средний объемный вес грунта не нарушенной структуры; 4—средний объемный вес рыхло насыпанного грунта

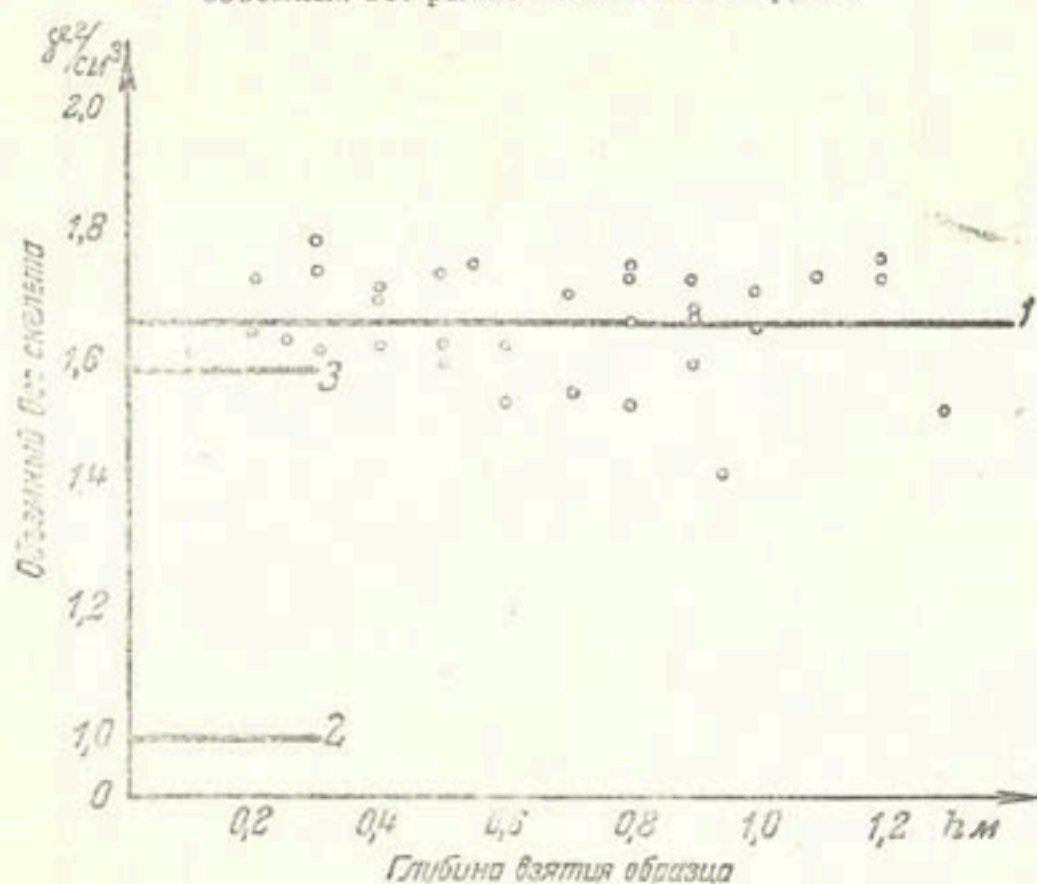


Рис. 29. График объемного веса грунта насыпи, возведенной в воде
1—средний объемный вес грунта насыпи; 2—средний объемный вес рыхло насыпанного грунта; 3—средний объемный вес грунта, уплотненного ручным способом

вес грунта $1,48 \text{ г/см}^3$, после 40 дней она имела тот же объемный вес. Графики, представленные на рис. 28 и 29, построенные по данным табл. 4, наглядно показывают, что объемный вес грунта не зависит от глубины взятия образца.

Значительный разброс точек на этих графиках объясняется тем, что насыпь получается несколько неоднородной; линии 1 представляют среднее значение объемного веса.

Физические свойства грунта насыпей, возведенных взрывным способом

Глубина взятия пробы h в м	Влажность w в %	Объемный вес влажного грунта γ_w в г/см^3	Объемный вес скелета грунта γ_c в г/см^3	Пористость n в %	Наименование грунта, время и место взятия пробы грунта	Средние величины
1	2	3	4	5	6	7
0,35	11,46	1,72	1,54	41,0	Насыпь № 2	$w = 13,82$ $\gamma_w = 1,69$ $\gamma_c = 1,48$ $n = 49,6$
0,55	15,26	1,71	1,48	44,0	Песок с незначит. примесью торфа.	
0,95	14,74	1,64	1,42	46,0	Проба взята в центре насыпи, спустя 10 дней после взрыва	
0,20	25,53	1,83	1,45	45,0	Насыпь № 3	$w = 22,24$ $\gamma_w = 1,78$ $\gamma_c = 1,45$ $n = 45,0$
0,50	18,20	1,60	1,35	49,0	Песок с примесью торфа. Проба взята в центре насыпи	
0,60	21,34	1,93	1,59	45,0	спустя 3 дня после взрыва	
0,70	23,92	1,76	1,42	40,0		
0,20	13,46	1,81	1,69	40,0	Насыпь № 4	$w = 12,27$ $\gamma_w = 1,85$ $\gamma_c = 1,64$ $n = 37,0$
0,50	11,79	1,82	1,62	38,0	Песок с примесью торфа. Проба взята в центре насыпи	
0,60	11,55	1,94	1,73	34,0	спустя 2 дня после взрыва	
0,25	16,84	1,84	1,57	41,0	Насыпь № 4	$w = 15,48$ $\gamma_w = 1,77$ $\gamma_c = 1,4$ $n = 41,0$
0,55	13,65	1,67	1,47	45,0	Песок с примесью торфа. Проба взята от оси насыпи в	
0,65	9,98	1,75	1,59	40,0	0,90 м спустя 2 дня после взрыва	
0,85	12,24	1,85	1,64	38,0		
0,15	14,15	1,89	1,65	37,0	Насыпь № 4	$w = 14,25$ $\gamma_w = 1,81$ $\gamma_c = 1,57$
0,35	14,00	1,75	1,54	41,0	Песок с примесью торфа. Проба взята в 2 м от оси насы-	
0,55	15,76	1,76	1,52	42,0	пи, спустя 2 дня после взрыва	

Глубина взятия пробы h в м	Влажность w в %	Объемный вес влажного грунта γ_w в г/см ³	Объемный вес скелета грунта γ_c в г/см ³	Пористость n в %	Наименование грунта, время и место взятия пробы грунта	Средние величины
1	2	3	4	5	6	7
0,75	13,44	1,81	1,59	40,0	Насыпь № 5 Проба взята в центре насыпи спустя 2 дня после взрыва	$n = 40,0$
0,85	13,90	1,82	1,59	40,0		
0,05	28,22	1,85	1,44	45,0		$w = 17,12$
0,45	12,54	1,85	1,64	38,0		$\gamma_w = 1,84$
0,55	13,27	1,83	1,61	39,0		$\gamma_c = 1,57$
0,65	14,45	1,83	1,59	40,0	Насыпь № 5 Песок с примесью торфа. Проба взята в 1 м от оси насыпи после взрыва спустя 2 дня	$n = 41,5$
0,10	16,80	1,88	1,60	40,0		$w = 15,45$
0,20	15,45	1,86	1,61	40,0		$\gamma_w = 1,87$
0,40	13,38	1,80	1,58	41,0		$\gamma_c = 1,61$
0,50	15,56	1,84	1,59	40,0		$n = 39,5$
0,60	16,06	1,97	1,69	37,0	Насыпь № 5 Песок с примесью торфа. Проба взята в 2 м от оси насыпи спустя 2 дня после взрыва	
0,10	19,46	1,84	1,54	41,0		$w = 18,03$
0,20	22,39	1,82	1,48	44,0		$\gamma_w = 1,80$
0,30	12,26	1,76	1,56	41,0		$\gamma_c = 1,52$
						$n = 42,0$
0,10	20,09	1,83	1,51	43,0	Насыпь № 5 Песок с примесью торфа. Проба взята в 3 м от оси насыпи, спустя 2 дня после взрыва	$w = 16,98$
0,30	17,17	1,87	1,58	40,0		$\gamma_w = 1,80$
0,40	13,68	1,71	1,50	43,0		$\gamma_c = 1,53$
						$n = 42,0$
0,10	12,71	1,85	1,62	40,0	Насыпь № 7 Песок с торфом. Проба взята в центре насыпи спустя 6 дней после взрыва	$w = 11,84$
0,20	12,51	1,91	1,70	37,0		$\gamma_w = 1,85$
0,30	13,13	1,82	1,61	41,0		$\gamma_c = 1,65$

Глубина взятия пробы h в м	Влажность w в %	Объемный вес влажного грунта γ_w в г/см ³	Объемный вес скелета грунта γ_c в г/см ³	Пористость n в %	Наименование грунта, время и место взятия пробы грунта	Средние величины
1	2	3	4	5	6	7
0,40	11,15	1,83	1,65	39,0	Насыпь № 7	$n = 38,6$
0,50	10,32	1,81	1,64	39,0		
0,60	11,20	1,83	1,63	39,0		
0,70	11,83	1,91	1,70	37,0		
0,05	10,80	1,77	1,60	40,5	Песок с торфом. Проба взята в 1 м от оси насыпи спустя 6 дней после взрыва	$w = 12,66$
0,25	13,30	1,83	1,62	40,0		$\gamma_w = 1,83$
0,35	13,02	1,96	1,73	36,0		$\gamma_c = 1,63$
0,45	12,45	1,90	1,70	37,0		$n = 39,35$
0,55	14,15	1,84	1,61	40,0	Насыпь № 7	
0,65	12,50	1,76	1,57	42,0		
0,75	12,45	1,80	1,61	40,0		
0,10	14,30	1,91	1,67	38,0		
0,20	12,63	1,99	1,71	36,5	Песок с торфом. Проба взята в 2 м от оси насыпи спустя 6 дней после взрыва	$w = 12,12$
0,30	10,85	1,82	1,64	39,0		$\gamma_w = 1,88$
0,50	11,15	1,87	1,68	38,0		$\gamma_c = 1,66$
0,60	11,70	1,82	1,62	40,0		$n = 38,2$
0,30	7,60	1,65	1,54	43,0	Насыпь № 2	
0,40	8,55	1,67	1,54	43,0		$w = 10,95$
0,50	16,70	1,62	1,39	39,5		$\gamma_w = 1,64$
						$\gamma_c = 1,48$
0,40	11,59	1,79	1,61	39,0	Насыпь № 4	$n = 41,8$
					Песок с торфом. Проба взята в 1,5 м от	$w = 12,18$

Глубина взятия пробы h в м	Влажность w в %	Объемный вес влажного грунта γ_w в г/см ³	Объемный вес скелета грунта γ_c в г/см ³	Пористость n в %	Наименование грунта, время и место взятия пробы грунта	Средние величины
1	2	3	4	5	6	7
0,70	11,00	1,80	1,62	40,0	оси насыпи, спустя 28 дней после взрыва	$\gamma_w = 1,72$
0,90	19,00	1,78	1,49	45,0		$\gamma_c = 1,55$
1,20	8,10	1,73	1,60	40,5		$n = 41,58$
					Насыпь № 6	
0,10	9,00	1,74	1,60	40,0	Песок с примесью торфа. Проба взята в центре насыпи спустя 8 дней после взрыва	$w = 10,81$
0,20	6,72	1,69	1,58	40,4		$\gamma_w = 1,72$
0,30	11,30	1,73	1,55	42,0		$\gamma_c = 1,56$
0,40	12,80	1,71	1,53	42,5		$n = 41,6$
0,50	11,52	1,76	1,58	42,0		
0,60	14,15	1,72	1,51	43,4	Насыпь № 6	
0,15	9,20	1,70	1,55	42,0	Песок с торфом. Проба взята в 1 м от оси насыпи, спустя 8 дней после взрыва	$w = 11,85$
0,25	9,68	1,77	1,62	39,5		$\gamma_w = 1,73$
0,35	13,95	1,76	1,56	41,5		$\gamma_c = 1,55$
0,45	13,12	1,70	1,50	44,0		$n = 42,0$
0,55	13,32	1,72	1,52	43,0		
0,05	8,29	1,75	1,62	39,5	Песок с торфом. Проба взята в 2 м от оси насыпи спустя 8 дней после взрыва	$w = 10,48$
0,15	11,05	1,68	1,51	43,5		$\gamma_w = 1,71$
0,25	7,69	1,74	1,62	39,5		$\gamma_c = 1,56$
0,35	8,21	1,76	1,63	39,2		$n = 41,7$
0,45	17,10	1,66	1,42	47,0		
Средн. из 76 опред.	12,5	1,79	1,58	40,6		

Глубина взятия пробы h в м	Влажность w в %	Объемный вес влажного грунта γ_w в г/см ³	Объемный вес скелета грунта γ_c в г/см ³	Пористость n в %	Наименование грунта, время и место взятия пробы грунта	Средние величины
1	2	3	4	5	6	7
0,10	20,88	1,93	1,60	38,0	Насыпь в воде Пробы были взяты из шурфа № 1 через 1 сутки после взрыва	$w = 11,14$ $\gamma_w = 2,01$ $\gamma_c = 1,66$ $n = 37,35$
0,20	19,33	1,97	1,65	39,0		
0,30	16,10	2,07	1,79	32,0		
0,40	21,02	2,06	1,70	36,0		
0,50	23,86	2,02	1,63	38,0		
0,60	22,03	1,98	1,62	39,0		
0,80	21,19	2,00	1,65	38,0		
0,90	22,56	2,05	1,68	37,0		
0,90	20,07	2,00	1,67	37,0		
1,00	24,56	2,03	1,64	38,0		
1,10	21,0	2,09	1,73	34,0		
0,25	18,29	1,93	1,63	38,0	Насыпь в воде Проба взята из шурфа № 2 через 1 сутки после взрыва	$w = 23,17$ $\gamma_w = 1,92$ $\gamma_c = 1,56$ $n = 41,13$
0,40	23,30	2,10	1,71	35,0		
0,60	25,26	1,91	1,53	42,0		
0,70	25,00	1,93	1,54	42,0		
0,80	24,24	1,89	1,52	42,0		
0,90	21,88	1,94	1,59	40,0		
0,95	23,95	1,76	1,41	47,0		
Сред.	23,17	1,92	1,56	41,13	Насыпь в воде Проба взята из шурфа № 3 через 1 сутки после взрыва	$w = 19$ $\gamma_w = 2,03$ $\gamma_c = 1,68$ $n = 37$
0,20	16,88	2,03	1,73	34,0		
0,40	16,88	1,96	1,62	34,0		
0,55	16,88	2,05	1,75	34,0		

Глубина взятия пробы h в м	Влажность w в %	Объемный вес влажного грунта γ_w в г/см ³	Объемный вес скелета грунта γ_c в г/см ³	Пористость n в %	Наименование грунта, время и место взятия пробы грунта	Средние величины
1	2	3	4	5	6	7
0,80	20,32	2,08	1,73	34,0		
0,90	21,54	2,08	1,72	35,0		
1,00	17,63	2,18	1,83	31,0		
0,30	20,40	1,75	1,46	44,9		
0,30	17,48	2,03	1,71	35,47		
0,50	17,88	1,88	1,60	39,54		
0,50	19,24	2,08	1,68	36,6		
0,70	21,70	2,04	1,65	37,7		
0,80	16,79	2,03	1,72	35,0		
1,00	17,57	2,01	1,70	35,83		
1,20	19,18	2,07	1,68	36,6		
1,20	18,15	2,07	1,70	35,83		
1,30	32,58	2,00	1,51	43,0		
Сред.	20,69	1,99	1,65	37,76		
0,43	12,72	2,08	1,84	30,0	Невозмущенный грунт в естественном за- легании. Проба взята из шурфа в 5—6 м от насыпи № 5	$w = 16,21$
0,63	16,80	2,09	1,78	32,0		$\gamma_w = 2,06$
0,73	19,12	2,01	1,68	36,0		$\gamma_c = 1,77$
Сред.	16,21	2,06	1,77	33,0		$n = 33,0$
0,63	13,48	1,95	1,72	35,0	Грунт уплотнен руч- ным способом. Опы- ты производились с грунтом, взятым из шурфа № 5, около насыпи	$w = 12,05$
0,63	13,48	1,90	1,68	36,6		$\gamma_w = 1,89$
0,63	13,48	1,92	1,69	36,2		$\gamma_c = 1,68$
0,63	13,48	1,93	1,73	35,8		$n = 36,6$

Глубина взятия пробы h в м	Влажность w в %	Объемный вес влажного грунта γ_w в г/см ³	Объемный вес скелета грунта γ_c в г/см ³	Пористость n в %	Наименование грунта, время и место взятия пробы грунта	Средние величины
1	2	3	4	5	6	7
0,63	13,48	1,93	1,70	35,8		
0,63	11,05	1,85	1,66	37,3		
0,63	11,05	1,82	1,55	41,5		
0,63	11,05	1,86	1,67	37,0		
0,63	11,05	1,88	1,70	35,8		
0,63	11,05	1,84	1,65	37,7		
	8,44	1,35	1,24	53,5	Рыхло насыпанный грунт. Опыты произ- водились с грунтом, выброшенным из шурфов насыпи	$w = 12,74$
	11,90	1,45	1,29	52,0		$\gamma_w = 1,36$
	11,70	1,35	1,15	56,6		$\gamma_c = 1,20$
	16,10	1,27	1,09	59,3		$n = 5,47$
	15,50	1,36	1,18	56,0		
	12,80	1,37	1,22	54,5		
	12,00	1,20	1,07	59,6	Рыхло насыпанный грунт. Опыты произ- водились в лабора- торных условиях	$w = 12$
	12,00	1,23	1,10	58,5		$\gamma_w = 1,35$
	12,00	1,22	1,09	59,0		$\gamma_c = 11,2$
	12,00	1,27	1,13	57,48		$n = 57,8$
	12,00	1,26	1,13	57,48		
	12,00	1,29	1,15	56,6		
	12,00	1,24	1,11	58,0		
	12,00	1,24	1,11	58,0		
	12,00	1,26	1,13	57,0		

В опытной насыпи, возведенной в воде, грунт по механическому составу близко подходит к грунту насыпей, возведенных на сухом основании, однако объемный вес получился в среднем больше на $0,07 \text{ г/см}^3$. Такое увеличение объемного веса показывает, что мокрый грунт укладывается взрывным способом более плотно, чем сухой. Повидимому, это объясняется тем, что после образования насыпи вода при выходе из нее увлекает мелкие частицы грунта и происходит заполнение пор в грунте.

Среднее значение объемного веса насыпи отличается от объемного веса грунта, уплотненного ручным способом, на $0,03 \text{ г/см}^3$, а от рыхло насыпанного на $0,40 \text{ г/см}^3$.

Оценивая данные по опытным песчаным насыпям, возведенным взрывным способом, следует иметь в виду, что исследованные насыпи имели высоту около 1 м.

Приведенные выше теоретические соображения показывают, что при возведении насыпей взрывным способом с увеличением массы и высоты, с которой падает грунт, уплотнение грунта в насыпи усиливается.

При соответствующем соотношении массы и высоты падения грунта может оказаться, что грунт насыпи будет иметь объемный вес, близкий к объемному весу ненарушенного грунта естественного состояния.

Следует также иметь в виду, что возведенная взрывом насыпь будет иметь осадку и от собственного веса. Поэтому с течением времени насыпь будет все больше уплотняться, осадка — стабилизироваться.

Уплотнение грунта можно ускорить и искусственным путем, применяя поверхностные взрывы зарядов, которые должны быть рассчитаны и расположены по насыпи так, чтобы при одновременном взрыве можно было равномерно обжать всю насыпь.

Среднее значение объемного веса песчаных опытных насыпей меньше на $0,10 \text{ г/см}^3$ среднего объемного веса уплотненного песка. При возведении взрывным способом насыпей большей высоты, чем опытные насыпи, можно ожидать, что средний объемный вес будет существенно больше приведенных здесь величин. Однако опытные данные пока еще недостаточны для окончательных выводов о степени уплотнения грунта, уложенного направленными взрывами.

Несмотря на это, нет никаких оснований опасаться, что насыпи, построенные взрывным способом, не могут эксплуатироваться как напорные гидротехнические сооружения. В гидротехнической практике имеется много случаев эксплуатации земляных напорных сооружений, выстроенных методом рыхлой отсыпки грунта¹. Хотя рыхлая отсыпка грунта в насыпь дает гораздо меньшую плотность грунта, чем в насыпи, возведенной направленным взрывом, гидротехнические земляные плотины и

¹ См. С. Н. Блинков, Возведение земляных плотин в зимних условиях, Гидротехника и мелиорация № 1, 1949.

дамбы высотой до 18 м, возведенные методом рыхлой отсыпки грунта в различных топографических, геологических и гидро-геологических условиях, эксплуатируются без каких-либо нарушений.

Исследования рыхлых насыпей в лабораторных и производственных условиях, проведенные С. Н. Блиновым во Всесоюзном научно-исследовательском институте Водгео, показали, что осадка рыхлых насыпей даже на слабых основаниях проходит без появления трещин, без образования внутри насыпей сводов, без оползания откосов, показывающих нарушения сплошности основания или насыпи. Вообще все рыхлые насыпи в эксплуатации устойчивы и практически водонепроницаемы, легко изменяют свою форму без размыва и нарушения сплошности, т. е. обладают достаточной «гибкостью»¹.

Положительные данные для рыхлых гидротехнических насыпей можно отнести также и к насыпям, возведенным направленным взрывом.

VIII. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ

1. Область применения взрывного способа производства работ при возведении гидротехнических сооружений

Развитие промышленности и сельского хозяйства в СССР с каждым годом требует сооружения новых гидростанций и водоемов. В послевоенную сталинскую пятилетку грандиозного развития достигло строительство большого количества прудов, водоемов и гидростанций, в частности, на малых реках.

Существующие методы возведения перемычек, плотин и дамб требуют большого количества механизмов, рабочих рук и длительного срока производства работ.

Описанная в предыдущих главах теория направленных массовых взрывов позволяет по-новому подойти к решению поставленной задачи по сооружению земляных плотин, перемычек и дамб на малых реках, логах и горных реках.

Рекомендуемый способ производства работ направленными взрывами должен найти широкое применение, особенно при строительстве регулирующих сток плотин, фильтрующих дамб на горных реках и при устройстве плотин в глубоких логах, причем производство работ по сооружению плотин и дамб может производиться без отвода воды.

Нужно отметить, что устройство регулирующих водохранилищ на горных реках часто связано с большими трудностями

¹ См. К. А. Михайлов, Ирригационные сооружения, ОИТИ, 1937, стр. 28—47.

ввиду того, что естественных условий для удобного возведения высоких плотин обычного типа во многих случаях не имеется.

Высота плотин в условиях горных долин нашего Союза может достигать 100 м и более. Сооружение высоких плотин требует большого количества материалов (цемент, железо и др.) и сопряжено с трудностью доставки материалов и громоздких механизмов в удаленные горные районы, а также размещения в необжитых горных районах сотен и тысяч людей, привлеченных к этим работам.

Применение направленного взрыва для образования завала горных рек, для сооружения регулирующих плотин и фильтрующих дамб вполне целесообразно, особенно в тех случаях, когда горные реки имеют крутые и высокие берега, достигающие иногда до 150 м. Завал таких крутых берегов при помощи взрывов не представляет трудности и не требует большого количества рабочих рук, громоздких механизмов и длительного срока. Строительство крупных плотин при помощи взрывов возможно осуществить в один строительный сезон.

Подтверждением этого могут служить высокие естественные плотины долинных горных озер, которые представляют собою завалы, образованные обрушением обрывистых берегов горных рек. Эти завалы могут быть водонепроницаемыми и водопроницаемыми.

Многие естественные плотины, образованные путем завалов, были исследованы энергетическим Институтом им. Г. М. Кржижановского АН СССР в составе комплексной экспедиции АН СССР в 1946—1947 гг. Исследованиями этой экспедиции подтверждается возможность применения нового способа плотиностроения путем завала горных ущелий при помощи мощных взрывов скалистых склонов и обрушения их в реку¹.

На основании всего этого имеется возможность утверждать, что образование при помощи направленного взрыва завалов может быть весьма эффективно и экономически выгодно при сооружении регулирующих паводки плотин и устройстве фильтрующих дамб на горных реках и удаленных горных районах.

Направленные массовые взрывы могут с успехом применяться и для сооружения различных земляных плотин, перемычек, дамб в различных топографических и геологических условиях.

Подтверждением того, что направленный взрыв может быть широко применен в любых условиях для строительства плотин, перемычек и дамб, являются успешно построенные в период 1942—1948 гг. плотины и перемычки на строительстве канала, ГЭС № 1, ГЭС № 3, ГЭС № 4 и ГЭС № 5, водохранилища на одной реке и, наконец, строительство плотины в 1948 г. на овраге при катастрофическом паводке.

Естественные завалы на горных реках, работающие как

¹ См. С. В. Клопов, «О сооружении регулирующих плотин на горных реках методом завала», Известия Академии наук СССР, ОТН № 10, 1949.

гидротехническое сооружение, а также построенные при помощи направленного взрыва плотины, перемычки служат доказательством того, что при благоприятных геологических, топографических условиях, пользуясь направленным взрывом, можно уложить грунт в воду или насухо для возведения напорных земляных гидротехнических сооружений III—V классов.

При постройке взрывным способом земляных гидротехнических напорных сооружений указанных выше классов следует учитывать, что до получения дополнительных данных об удовлетворительной эксплуатации подобного рода сооружений в обычных условиях их следует возводить высотой не более 10 м.

На горных реках, в горных ущельях можно допустить строительство плотин, дамб и перемычек высотой и более 10 м.

Для строительства плотины, перемычки, дамбы необходимо произвести осмотр русла с целью выбора наиболее подходящего места, где будут построены эти сооружения. При этом следует учитывать ряд обстоятельств, важнейшие из которых следующие:

а) с целью уменьшения объема работ следует выбирать для расположения плотины суженные места русла реки с крутым изогнутым в плане берегом;

б) грунт ложа потока и берегов должен быть по возможности плотный, маловодопроницаемый и слабо размываемый текущей водой; к таким грунтам относятся плотные глины, суглинки, песчано-гравелистые и скальные грунты;

в) для получения наибольшей емкости водоема при наименьшей высоте подпора воды плотину следует располагать ниже (по течению) мест с расширенным руслом или мест с широкой и низкой поймой, которая может быть затоплена при устройстве плотины.

При выборе суженного места русла реки с изогнутым берегом для создания кумулятивной выемки, необходимой для получения наилучшего выброса, следует образовывать дополнительными взрывами вогнутость берега. Направленный выброс грунта в намеченное место земляного гидросооружения должен быть обеспечен выбором формы, размеров и расположения одной или нескольких кумулятивных выемок.

При обследовании места для плотины, перемычки и дамбы необходимо выяснить, какие грунты, предназначенные для выброса взрывом в тело плотины, находятся на избранном створе. Кроме этого, следует снять поперечный профиль русла и поймы в месте расположения плотины; профиль необходим для подсчета количества грунта, потребного для плотины.

Благоприятными условиями для постройки плотин и дамб служат:

а) U-образные и V-образные ущелья большой глубины с крутыми стенами;

б) водонепроницаемые стенки и основание ущелья;

в) устойчивость горных пород завала против размыва и растворения водой;

г) наличие в речных наносах глинистых фракций, способствующих естественной кольяматации завала.

Только после получения перечисленных данных следует перейти к выбору типа плотины, перемычки или дамбы. Этот выбор можно произвести, руководствуясь соображениями, приведенными ниже.

2. Основные особенности и достоинства взрывного способа производства работ

Возведение земляных гидросооружений взрывным способом заключается в одновременной укладке в плотину с одного или двух берегов грунта без применения специальных уплотняющих этот грунт механизмов и вообще механизмов по производству земляных работ.

В состав работ по возведению плотины входят:

- а) разбивка возводимой плотины и участков берега, из которых предполагается выброс грунта в тело плотины;
- б) подготовка основания плотины и сопряжений ее с берегами;
- в) разбивка на местности шурфов, в которых будут заложены соответствующие заряды.

К основным технико-экономическим достоинствам способа возведения гидротехнических земляных сооружений взрывом на выброс относятся:

- а) возможность производства работ в любое время года независимо от состояния погоды;
- б) значительное ускорение производства работ по возведению земляных сооружений, по сравнению с обычными методами, и следовательно, весьма значительное снижение сроков строительства возводимых сооружений при достаточной надежности сооружений;
- в) значительное снижение стоимости возводимого сооружения за счет сокращения рабочей силы, механизмов, горючего, и т. п.

3. Типы гидросооружений, изыскания и проектирование сооружений, возводимых взрывным способом

При проектировании земляных гидротехнических сооружений, возводимых взрывным способом за перемычками, следует придерживаться следующих основных типов гидросооружений:

Тип I. Земляные плотины из однородного грунта без противифльтрационных устройств в основании; основное тело плотины состоит из грунта, имеющегося в берегах и выброшенного взрывом (рис. 30,а).

При сооружении плотин этого типа на водопроницаемом слое (до 6,0 м) можно применять тот же тип плотины, но с противифльтрационным устройством в виде шпунтов в основании

(рис. 30,б). Плотины типа I можно возводить взрывным способом практически из любого грунта, кроме растительного или плавунного. Лучшими грунтами для этого типа плотин и перемычек являются песчано-глинистые и легкие суглинки.

При сооружении плотин этого типа на водонепроницаемом слое гребень шпунтового ряда предварительно засыпается водонепроницаемым грунтом с таким расчетом, чтобы создать более уплотненную насыпь, закрывающую шпунтовый ряд. Такая мера дает возможность получить хорошее сопряжение тела плотины со шпунтом.

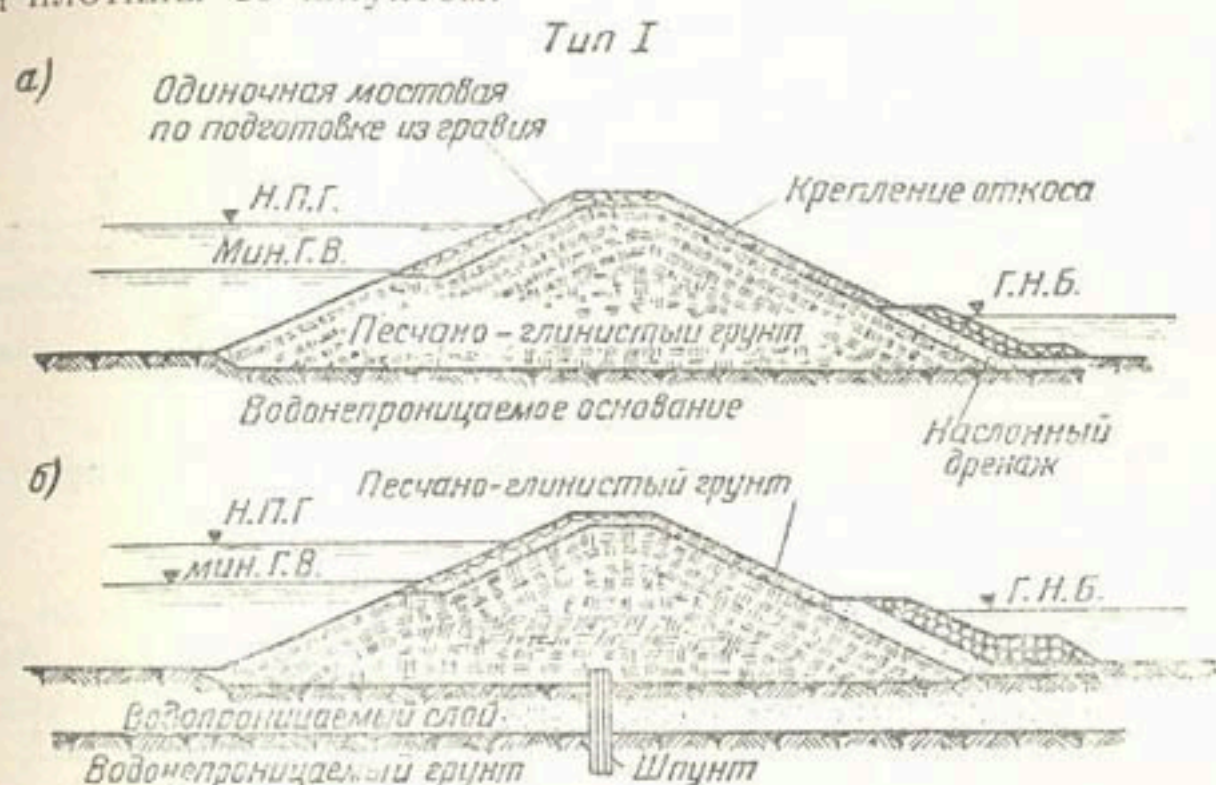


Рис. 30. Земляные плотины из однородного песчано-глинистого грунта без противодиффузионного устройства

а—на водонепроницаемом основании; б—при водопроницаемом слое грунта в основании

Основание низового откоса этого типа плотин или перемычек укрепляется наклонным дренажем.

Тип II. Земляные плотины из водопроницаемого грунта с противодиффузионным экраном и без противодиффузионных устройств в основании. Тело их в поперечном профиле состоит из различных грунтов (рис. 31,а)¹.

Материалом для тела такой плотины могут являться песчаные и песчано-гравелистые грунты. Для противодиффузионного экрана грунты употребляются водонепроницаемые, которые после профилирования откоса тела плотины укладываются обычным способом. Для защиты противодиффузионного экрана от вспучивания зимой, при наличии опасности промерзания его после срабатывания водохранилища, экран покрывается защитным песчаным слоем.

В случае возведения плотины на водопроницаемом слое грунта толщиной до 4,0 м устраивается шпунтовый ряд, кото-

¹ Н. А. Саверин, Плотины малых гидростанций, Госэнергоиздат, 1949.

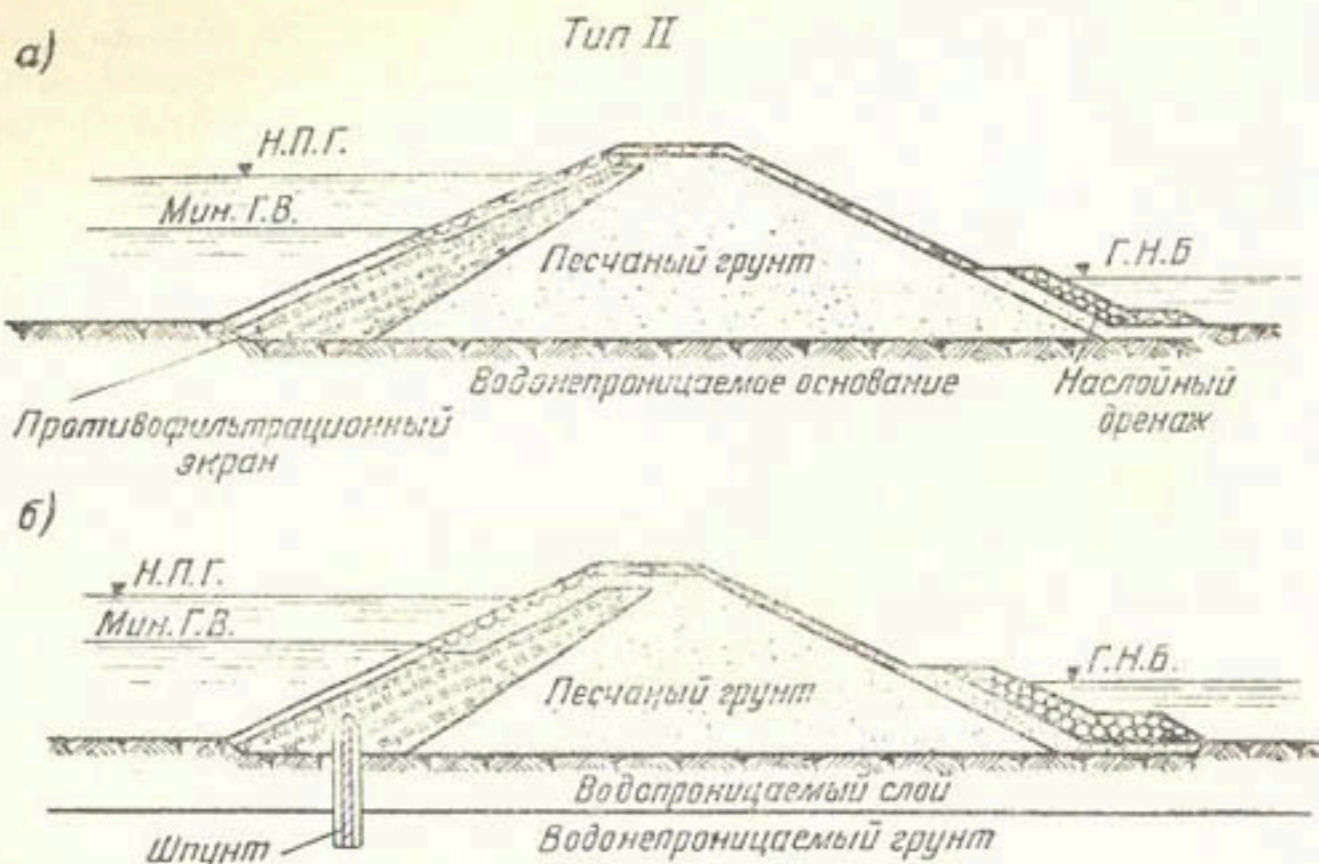


Рис. 31. Земляная плотина из песчано-гравелистого грунта с противофильтрационным экраном

а — на водонепроницаемом основании;
б — при водопроницаемом слое грунта в основании

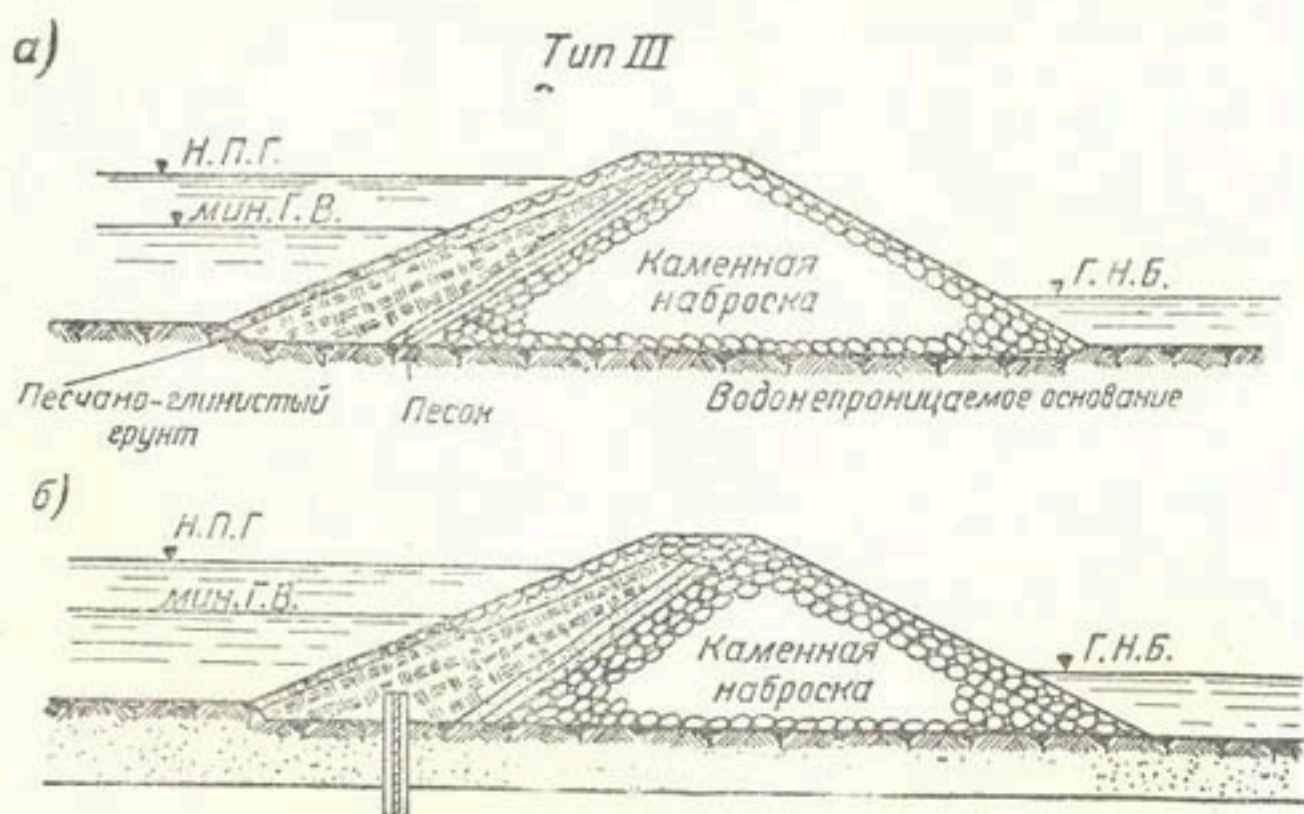


Рис. 32. Земляная плотина из камня, выброшенного взрывом, с противофильтрационным экраном

а — на водонепроницаемом основании;
б — при водопроницаемом слое грунта в основании

рый сопрягается с экраном (рис. 31, б). Основание низового откоса укрепляется наклонным дренажем или дренажной призмой.

Тип III. Плотины из камня, выброшенного взрывом, с противофильтрационной призмой или экраном и без противофильтрационных устройств в основании (рис. 32, а).

В случае возведения взрывным способом плотин из каменной наброски с противофильтрационным экраном на водопроницаемом слое грунта толщиной до 6,0 м устраивается шпунтовый

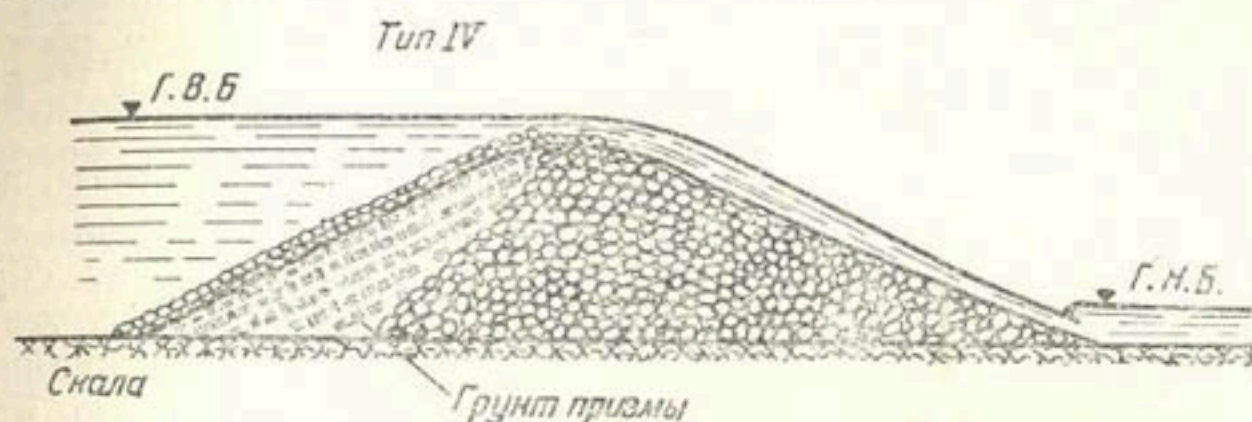


Рис. 33. Плотина из камня с призмой из мягкого грунта, допускающая перелив воды через гребень

ряд, входящий в состав экрана (рис. 32,б). Противофильтрационный экран укладывается на слой песка, помещенного на откосе каменной наброски.

Тип IV. Плотины из камня и с призмой нескального мало-водопроницаемого грунта, с укрепленными камнем откосами и без противофильтрационных устройств в основании, допускающие перелив воды через гребень (рис. 33).

Этот тип плотин может устраиваться также в том случае, когда русло по тем или иным причинам закрыть и отвести воду на период постройки нельзя и грунт должен взрывом выбрасы-

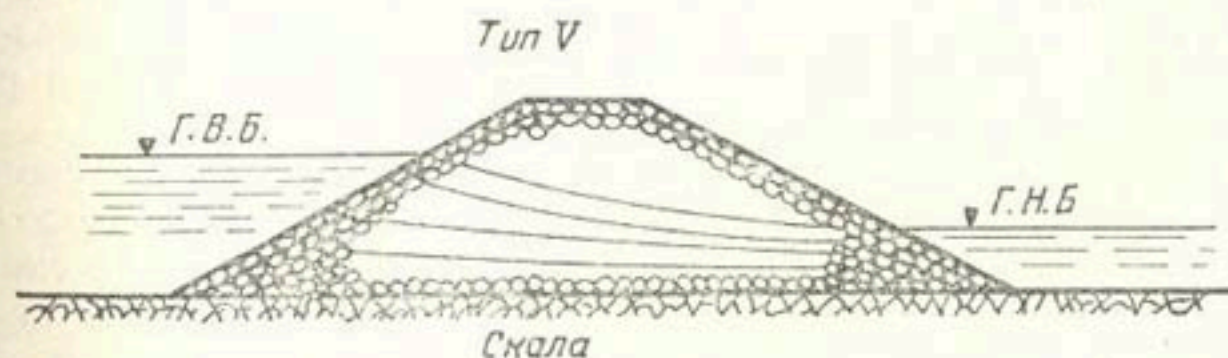


Рис. 34. Фильтрующие дамбы из камня на горных реках

ваться прямо в воду. При этом противофильтрационная призма при наличии глинистого грунта в берегах устраивается взрывным способом. Крепление откоса противофильтрационной призмы осуществляется обычными способами до заполнения водохранилища.

Тип V. Фильтрующие дамбы из камня на горных реках (рис. 34).

Этот тип дамбы устраивается в ущельях или на горных реках наброской взрывом скального грунта в воду реки или в сухое ущелье.

По высоте типы плотин, дамб и перемычек, выполняемые взрывным способом, разделяются на низкие, высотой менее 5 м, средние, высотой в пределах 5—10 м и высокие более 10 м.

По степени капитальности земляные гидросооружения, возводимые взрывным способом, могут применяться для постоянных и временных сооружений, относящихся к III, IV и V классам, не выше III разряда (см. ГОСТ 3315-46).

При каждой земляной плотине необходимо устраивать водосбросные и водоспускные сооружения, которые нужны для сброса паводковых вод из верхнего бьефа в нижний, для сброса льда и плавающих тел, а также для полезных попусков из водохранилища и частичного или полного его опорожнения.

Эти сооружения должны обладать такой прочностью, чтобы при падении на них брошенного взрывом грунта и действии взрывной волны они не были разрушены; их конструкция должна обеспечивать надежное сопряжение с телом земляной плотины. В некоторых случаях может потребоваться укладка вокруг этих сооружений грунта с целью защиты их от ударов при набросе взрывом основной массы плотины.

При выборе типа плотины, возводимой взрывным способом, следует исходить в первую очередь из геологических и гидрогеологических условий в основании и из наличия подходящего грунта для тела плотины. Следует также учитывать очертание берегов, из которых будет взрывом выброшен грунт в тело плотины, дамбы или перемычки, а также расположение карьеров глинистых грунтов, камня и гравия, потребных для экранов, дренажей и креплений откосов, принимая во внимание при этом и экономические соображения. Кроме этого, необходимо обеспечить строительство соответствующими мероприятиями по технике безопасности и получить разрешение на производство взрывных работ в намеченном месте строительства.

При уточнении типа земляного гидротехнического сооружения рекомендуется руководствоваться наличием пригодного грунта в берегах, где предполагается закладывать шурфы и скважины для помещения зарядов. Окончательный тип земляного сооружения должен обосновываться технико-экономическими сопоставлениями возможных вариантов.

При выборе типа земляной плотины в зависимости от геологических условий следует учитывать наличие вблизи места постройки пригодных грунтов, расположенных в достаточно крутых берегах и достаточно мощными слоями, для того, чтобы можно было со сравнительно небольшой площади выбросить взрывом в тело плотины нужное количество грунтов.

Требования в отношении статической устойчивости, предъявляемые к земляным гидротехническим сооружениям, сводятся к тому, чтобы откосы, получающиеся при принятом способе производства работ, имели достаточную устойчивость против оползания. Откосы и гребень земляного гидросооружения должны быть защищены от разрушающего действия волн и атмосферных осадков.

Градиенты и скорости фильтрационного потока в теле плотины и в основании плотины и водосбросных и водоспускных сооружений, в особенности при выходе фильтрационного потока в нижний бьеф, не должны превосходить величин, способных вызвать размыв грунта тела плотины и основания, опасный для сооружения¹.

Сопряжение земляного гидросооружения с водосбросными и водоспускными сооружениями и с берегами должно быть таково, чтобы фильтрация вдоль этих сооружений не могла вызвать нарушения целостности их.

Необходимо также, чтобы при выходе воды из водосливных и водоспускных сооружений в нижний бьеф не наблюдалось образования опасных для этих сооружений и для тела плотины размывов.

При проектировании земляного гидротехнического сооружения удовлетворение указанных требований должно быть обосновано топографическими, гидрологическими, инженерно-геологическими и производственно-строительными изысканиями и исследованиями.

Топографические изыскания производятся для составления планов в горизонталях, а также продольных и поперечных профилей в районе проектируемого гидросооружения. Гидрологические исследования имеют целью получение сведений о гидрологическом режиме реки, лога, ущелья в районе проектируемого гидросооружения в составе и объеме, необходимом для обоснования основных размеров сооружений и получения соответствующего водохозяйственного эффекта.

Инженерно-геологические изыскания и исследования сводятся к определению общего геологического строения, геоморфологии, литологии, стратиграфии и тектоники в районе как водохранилища, так и узла сооружений. Кроме того, инженерно-геологические изыскания и исследования имеют задачей изучение режима грунтовых вод в районе водохранилища и места расположения гидросооружений, изучение водоносности и фильтрационных свойств грунтов в основании и в берегах. Необходимо установить общую расчетную характеристику грунтов в основании плотины и в местах, откуда намечается выбросить взрывом грунт в тело плотины. Производственно-строительные изыскания производятся с целью обследования карьеров строительных ма-

¹ См. «Инструкция по проектированию, возведению и эксплуатации насыщенных земляных плотин», Стройиздат, 1944.

териалов, потребных для устройства плотины и ее элементов, условий найма и размещения рабочей силы и механизмов, потребных для отдельных процессов строительных работ, обследования наличия и состояния дорог и прочих данных подобного рода.

По указанным видам изысканий для проектного задания должен быть выполнен ряд работ, которые описаны в технических условиях и нормах, инструкциях и указаниях по проектированию и возведению насыпных земляных плотин¹.

4. Возведение земляных гидротехнических сооружений взрывным способом

Строительство земляного гидротехнического сооружения может быть начато при наличии утвержденного проекта взрывных и других видов работ, смет и календарного плана работ.

При производстве работ по устройству земляных гидросооружений взрывным способом следует прежде всего установить возможность вести работы «насухо» или в воду.

Если производство работ предполагается вести таким образом, что выброшенный взрывом грунт будет в тело плотин сброшен «насухо», то в этом случае надо предусмотреть пропуск воды в обход места постройки будущей плотины, т. е. нужно предусмотреть временные водопропускные сооружения, которые могли бы в различные периоды строительства обеспечить нормальный пропуск воды реки.

При производстве работ «насухо» обычно бывает необходимо построить перемычки для защиты места возведения сооружения от воды. Расход реки в этом случае направляют по каналу или по туннелю в обход места возведения земляного гидротехнического сооружения.

Возведение земляной плотины взрывным способом следует начинать с создания дренажных устройств и противофильтрационных устройств (шпунты) в основании и постройки водоспуска.

Небольшие извилистые в плане горные реки, с большим падением и крутыми берегами, образующие узкое ущелье, позволяют производить отвод воды в обход сооружения напорным или безнапорным туннелем и при малых расходах — лотками. При более спокойном рельефе и низких берегах реки целесообразно отвести строительные расходы каналом.

Грунт под лотком вокруг оголовка и стенок должен быть особенно тщательно уплотнен (до укладки основного тела плотины взрывным способом), чтобы вода не просачивалась вдоль водосливного сооружения, что представляет существенную опасность для плотины.

При проектировании и возведении водопропускных сооруже-

¹ См., например, Водгео, Инструкция по проектированию, возведению и эксплуатации насыпных земляных плотин, Госстройиздат 1944. НИИГ. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений. Земляные насыпные плотины, 1941.

ний в общем следует руководствоваться инструкциями ТУ и Н проектирования земляных и насыпных плотин¹.

После того как построены водоспускные и водосбросные сооружения, работа по возведению земляной плотины взрывным способом должна выполняться в следующем порядке:

а) производится подготовка основания под плотину, для чего снимается растительный грунт на глубину 0,30—0,50 м, причем обнаженную поверхность основания можно разрыхлить. Это необходимо сделать для уменьшения фильтрации по подошве сооружения;

б) для лучшего сопряжения земляного гидросооружения с берегами нависшие и очень обрывистые берега в местах сопряжения земляной плотины с берегами (особенно противоположного от места взрыва берега) должны быть сглажены взрывом или другим каким-либо способом;

в) когда береговые склоны и основание под плотину подготовлены, осуществляют выброс грунта в тело плотины взрывным способом с одного или с обоих берегов. При этом следует обратить особое внимание на то, чтобы обеспечить хороший контакт масс грунта с построенными ранее водоспускными сооружениями. С этой целью можно их обсыпать предварительно слоем грунта. Размеры этой обсыпки следует установить, исходя из особенностей каждого отдельного сооружения;

г) при постройке плотины из сильно водопроницаемых грунтов следует устроить противофильтрационный экран. Плотины, возводимые взрывным способом из камня, могут быть допущены для напора $H=5$ м.

В условиях горных рек фильтрующие дамбы могут возводиться для напора и больше 5 м.

В некоторых случаях может оказаться неудобным или невозможным предварительное сооружение водоспускных устройств. При таких условиях можно применить сифонные водосливы, которые строятся после возведения тела плотины.

В случаях, когда необходимо быстро обеспечить сброс воды, можно применить сборные сифонные водосливы из металлических труб, приспособленных для удобной сборки на месте установки. При этом необходимо исключить возможность размыва тела плотины и примыкающего к ней основания путем отвода труб на соответствующее расстояние или путем защиты откоса и основания в месте сброса.

5. Дренажные устройства

В случае если в зоне пизового откоса основного тела плотины уложен (после взрыва) крупнозернистый грунт (гравий, галька и т. п.) или каменная наброска, плотины, возводимые

¹ВНИИГ, ТУ и Н проектирования гидротехнических сооружений, Земляные насыпные плотины, 1941, Водгео. Инструкция по проектированию земляных насыпных плотин, 1944.

взрывным способом, можно проектировать без дренажного устройства.

В дренажном устройстве нет необходимости также и в том случае, если в основании имеется водопроницаемый пласт с глубоким залеганием зеркала грунтовых вод, обладающих каким-либо мощным естественным дренажем, при котором кривая депрессии фильтрационного потока ни при каких условиях не сможет выклиниваться на низовом откосе земляной плотины.

При других условиях обычно требуется оборудование плотин дренажным устройством.

Назначение дренажа заключается в организованном перехвате и отводе воды, фильтрующей через плотину и ее основание из верхнего бьефа в нижний.

Дренажные устройства надлежит располагать в зоне низового клина плотины, примерно на границе сопряжения ее тела с основанием.

Дренаж должен обладать достаточной пропускной способностью, обеспечивающей полный отвод поступающей к нему воды, и должен препятствовать выносу частиц грунта, могущему нарушить устойчивость тела плотины.

Основные конструктивные системы и формы дренажа следующие (см. рис. 35):

- а) призма в основании низового откоса;
- б) дренажное покрытие низового откоса;
- в) дренажный тюфяк в основании низового откоса.

Выбор конструкции дренажа производится в зависимости от типа плотины и ряда других условий (геологических, гидрогеологических, наличия воды в нижнем бьефе и т. д.). В плотинах, низовая часть которых выполняется из мелкозернистого грунта (глина, суглинок, песок), дренаж следует устраивать во всех без исключения случаях, выбирая конструкцию его в зависимости от наличия подходящего местного материала.

Наиболее рациональным типом дренажного устройства является наслойный дренаж из постепенно укрупняющегося материала как со стороны плотины, так и со стороны основания (если последнее сложено из мелкозернистых водопроницаемых грунтов). В отдельных случаях может оказаться целесообразным применение комбинированного устройства (в виде комбинации из дренажной призмы и дренажного покрытия).

6. Поперечный профиль земляной плотины

Ширина плотины поверху назначается по конструктивным соображениям или же в зависимости от тех хозяйственных целей, для которых предполагается использовать гребень плотины, например, для прокладки дороги того или иного типа. Наименьшую допустимую по конструктивным соображениям ширину поверху следует принимать в зависимости от высоты, около 3—5 м.

В случае прокладки по гребню плотины дороги ширина ее поверху должна назначаться согласно ТУ и Н для проектирования автогужевых дорог, автострад и мостовых сооружений.

Превышение гребня плотины над наивысшим статическим горизонтом воды в верхнем бьефе (горизонт при пропуске паводка нормальной обеспеченности) не должен быть менее 1,0 м для плотин III класса и 0,5 м — для плотин IV класса.

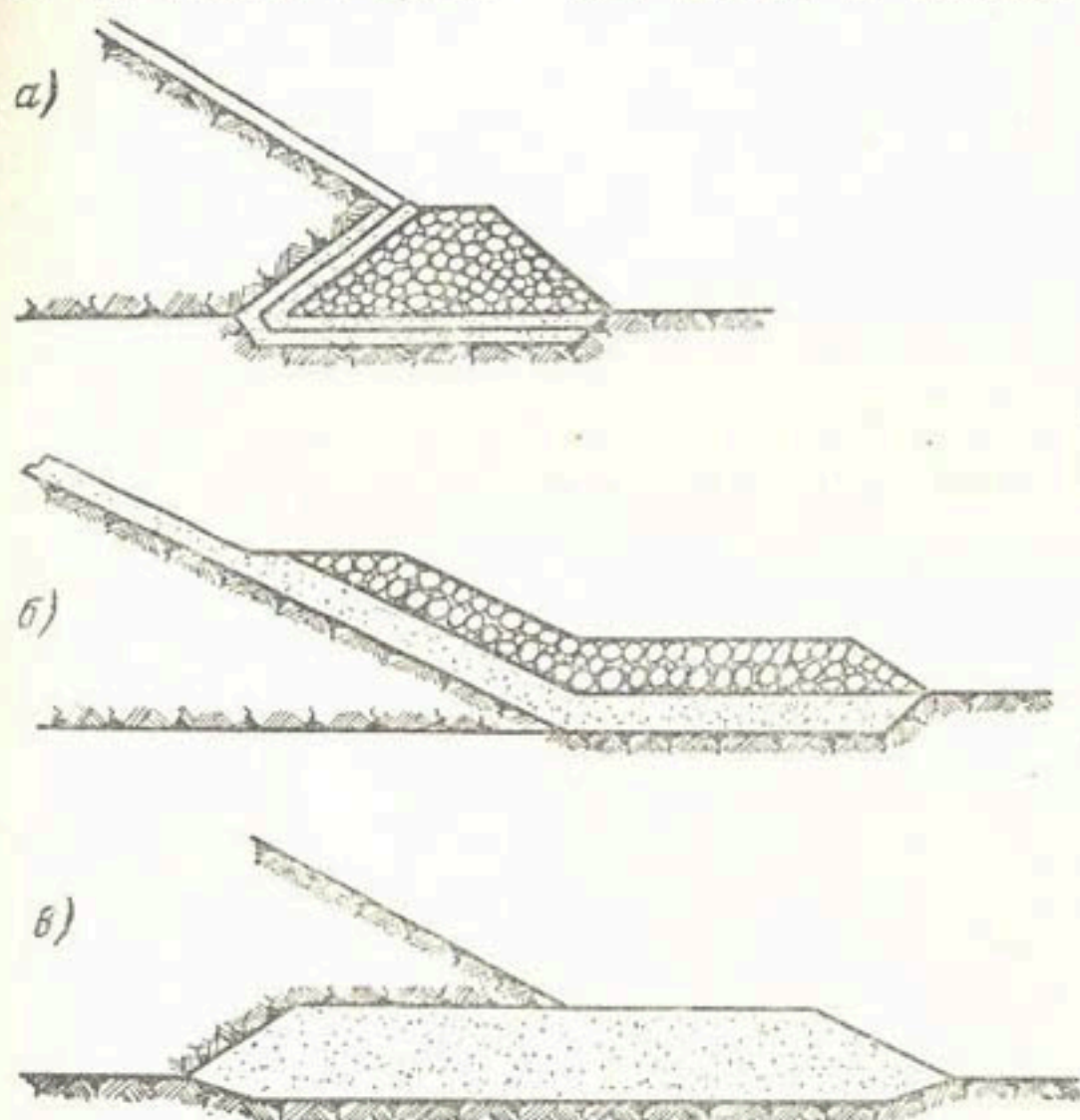


Рис. 35. Типы дренажных устройств

а—призмы в основании низового откоса; *б*—дренажное покрытие низового откоса; *в*—дренажный тюфяк в основании низового откоса

После устройства взрывным способом насыпи плотины, дамбы или перемычки и устройства экранов и дренажных призм согласно проекту, производят окончательную планировку откосов и гребня плотины, а затем с целью защиты их от действия волн, атмосферных осадков, ледяного покрова и пр. покрывают камнем на слое щебня или гравия (мостовая или наброска). Отказ от покрытия гребня и откосов в каждом случае должен быть обоснован.

Тип покрытия откосов и гребня следует выбирать в зависимости от наличия необходимых материалов, ответственности сооружений, климатических условий и интенсивности волнения.

В качестве такого покрытия можно применять двойную мостовую толщиной 0,4—0,5 м на слое гравия или щебня толщи-

ной 0,2 м; одиночную мостовую из булыжника толщиной 0,25—0,35 м на слое щебня 0,15—0,20 м; каменную отсыпь из камней размером 0,15—0,25 м на слое гравия или щебня общей толщиной не менее 0,5—0,6 м; каменную наброску в плетневых клетках толщиной 0,4—0,6 м на слое гравия 0,20—0,25 м (рис. 36).

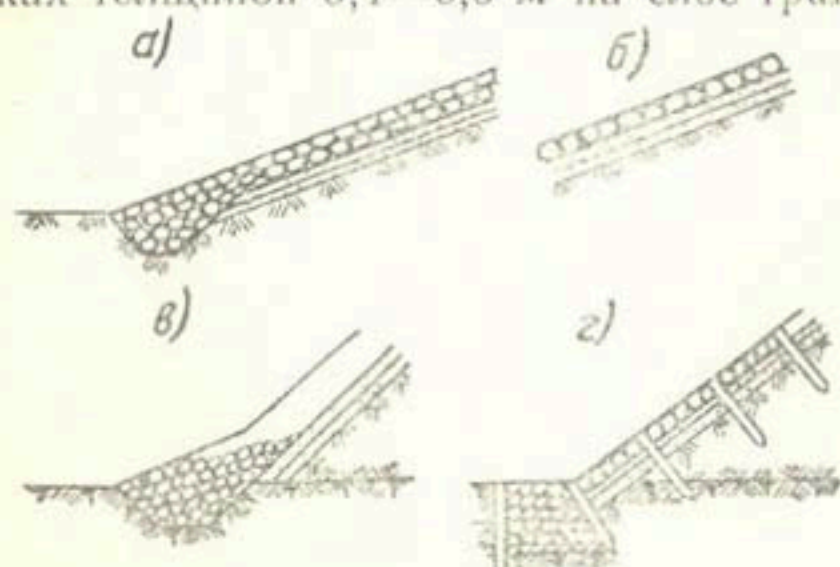


Рис. 36. Типы покрытия верхового откоса
а—двойная мостовая; б—одиночная мостовая; в—каменная отсыпь; г—каменная наброска в плетневых клетках

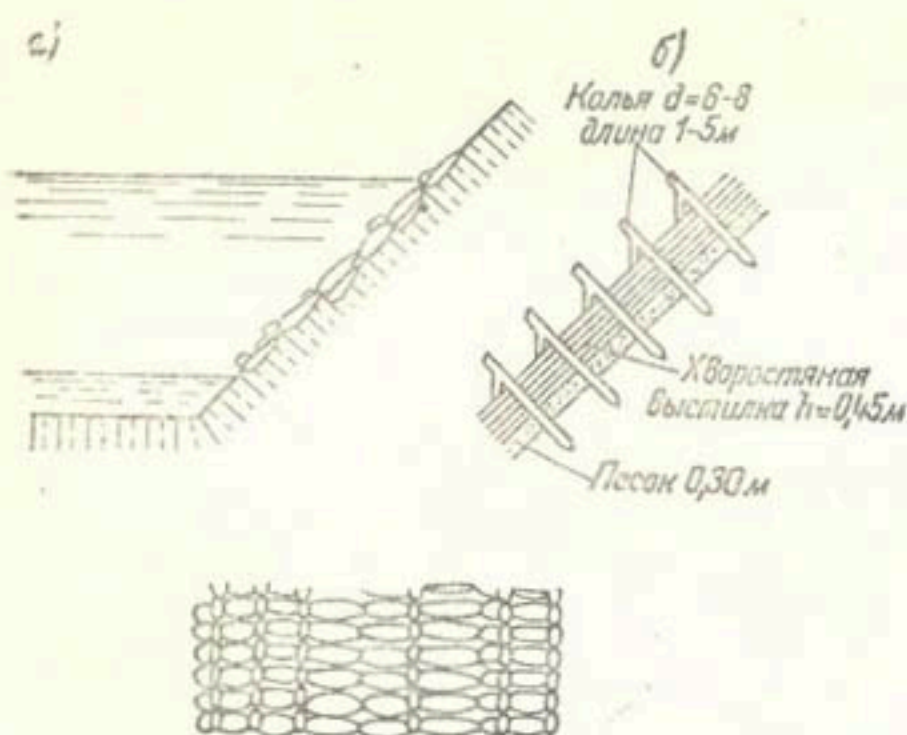


Рис. 37. Крепление напорного откоса плотины
а—фашинная выстилка; б—выстилка хворостом

ных условиях, когда грунт откоса не разжижается и не сплывает под водой, откосы ниже и выше зоны действия волн и льда можно оставлять без покрытия.

Низовой откос плотины, выполненный из песчаных, суглинистых и глинистых грунтов, следует покрывать дерном или слоем растительной земли, или растительной землей, смешанной с суглинком, толщиной от 10 до 13 см и засеивать их травой. Для отвода атмосферных вод в низовом откосе устраиваются бермы с уклоном в продольном и поперечном направлениях.

При защите откосов глинистых и суглинистых грунтов в качестве подготовки для всех видов покрытия под слоем гравия необходимо уложить песок слоем не менее 0,10—0,15 м.

Покрытие откосов может быть неодинаковое в различных зонах. Так, в зоне действия льда или сильного волнения (1 м выше горизонта ледохода или наиболее высокой волны и 1,5 м ниже наименьшего горизонта воды в водохранилище) покрытие верхового откоса может быть назначено по типу а и в (рис. 36). За пределами этой зоны покрытие может быть сделано по типу б и г (рис. 36).

Крепление откосов может быть выполнено также из фашин или хвороста по типу а и б (рис. 37).

В особо благоприят-

Покрытие гребня плотины при интенсивном движении может производиться согласно инструкциям Цудортранса. Для плотин малой высоты при отсутствии движения специальное покрытие делать не следует, в крайнем случае гребень может быть покрыт дерном. Гребень плотины для стока дождевой воды имеет в обе стороны от оси (в поперечном направлении) уклон в 2—3%.

После того как взрывом на выброс сделаны насыпь и произведена подготовка ее поверхности, следует приступить к устройству экрана. Плотины снабжаются экраном с целью понижения величины градиентов фильтрационного потока и уменьшения опасности разрушения сооружения, уменьшения фильтрационных потерь воды через тело плотины, понижения депрессионной поверхности в теле плотины, а также и для увеличения зоны в теле плотины с пониженной влажностью грунта.



Рис. 38. Пластичный экран плотины на мягком водоупорном основании

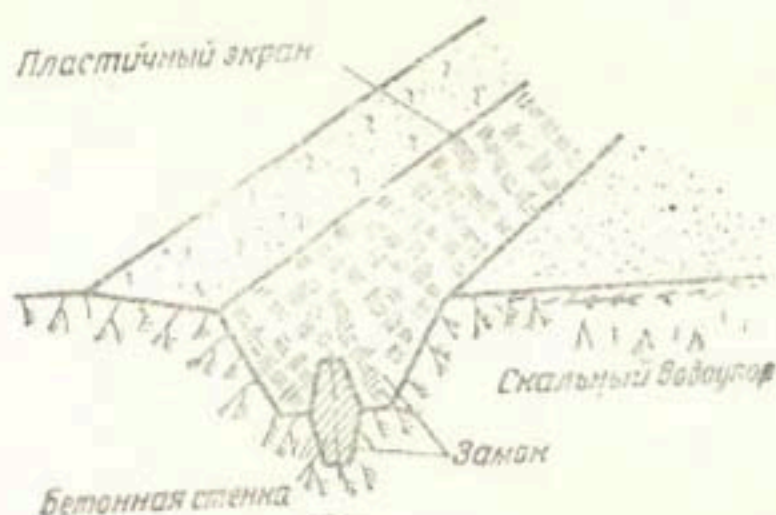


Рис. 39. Пластичный экран плотины на скальном водоупорном основании

Экран должен быть защищен от механических повреждений, от вредного действия резких колебаний горизонтов верхнего бьефа. Установление потребности в противофильтрационном устройстве или отказ от него производится попутно с выбором типа земляной плотины.

Для плотин, возводимых взрывным способом, противофильтрационное устройство может быть выполнено в виде пластичного экрана, расположенного с верховой стороны. Основные размеры его устанавливаются обычно по конструктивным условиям или из условий фильтрационных свойств грунта, из которого выполняется экран.

На рис. 38 показан тип пластичного экрана из глинистого грунта для плотины на мягком водоупорном основании, а на рис. 39 тот же экран для плотины, сооруженной на скальном водоупорном основании.

Толщина экрана сверху должна быть не менее 1,0 м, а внизу—не менее 1/10 величины напора на плотину, но не менее 2 м.

Со стороны верхового откоса экран покрывается защитным слоем, толщина которого не должна быть менее 1,5 м, а в частях, находящихся выше горизонта воды, не менее толщины слоя промерзания. Возвышение экрана над максимальным горизонтом воды в водохранилище принимается не менее 0,5 м.

Кроме глинистых экранов в описываемых плотинах III—V классов могут применяться торфяные экраны. Толщина их принимается не менее 0,6 м вверху и 1,5 м внизу — для плотин средней высоты и 0,5 м по всей высоте — для плотин малой высоты.

При устройстве экранов следует иметь в виду, что если грунты для экрана находятся на таком расстоянии от створа плотины, при котором может быть осуществлен выброс его взрывом на верховую сторону плотины, то для укладки грунта в экран следует воспользоваться взрывным способом. Уложенный таким образом грунт на откосе насыпи следует согласно проекту спланировать и соответствующим образом уплотнить.

Особенно рационально применить взрывной способ при укладке противофильтрационных устройств в глубоких логах, ущельях, на горных реках, где можно взрывом выбросить грунт в воду для колыматажа завала, образованного взрывом. Ориентировочно для определения объема грунта можно руководствоваться следующими данными: в расчет принимают такой объем грунта, который должен быть не менее объема предполагаемого пластичного экрана. Если окажется, что выброшенного грунта для колыматажа недостаточно, то следует повторить выброс грунта на верховую сторону завала.

7. О расчете фильтрации через плотины, построенные при помощи направленного взрыва

Фильтрация через тело земляных плотин, построенных при помощи направленного взрыва, может быть рассчитана способами, известными в гидротехнике. Основной трудностью при таких расчетах является правильный выбор расчетного значения коэффициента фильтрации. В настоящее время не имеется достаточных опытных данных для того, чтобы давать рекомендации в этом отношении на основании практики.

До получения более подробных опытных данных можно ограничиться следующим. Коэффициент фильтрации должен быть установлен исходя из механического состава грунтов, подлежащих выбросу взрывом. На основании этого анализа устанавливается эффективный диаметр частиц по известным формулам.

Во всяком случае в запас надежности следует принимать коэффициент несколько большим, чем для того же грунта ненарушенной структуры.

При проектировании сооружений значительного масштаба следует рекомендовать произвести предварительные опытные

взрывы с выбросом грунта и в этом грунте произвести непосредственное определение коэффициента фильтрации путем магнетания воды в скважины, пробуренные в выброшенном взрывом грунте, и определения градиента и расхода.

Можно также взять монолиты ненарушенной структуры из набросанного грунта и определить в лаборатории коэффициент фильтрации для образцов грунта, вырезанных из этих монолитов.

Конечно, нельзя считать, что отсутствие достаточных данных о фильтрационных свойствах насыпей, устроенных взрывным способом, является препятствием к использованию направленного взрыва для возведения земляных напорных сооружений. В практике строительства гидротехнических сооружений имеется много случаев постройки напорных земляных сооружений методом рыхлой отсыпки грунта. Фильтрация рыхлых насыпей исследовалась С. Н. Блиновым и другими авторами, которые установили, что рыхлые земляные сооружения хорошо противостоят действию фильтрации.

Коэффициент фильтрации таких сооружений из глинистых грунтов, по наблюдениям в лабораторных и производственных условиях, получался порядка $10^{-4} - 10^{-5}$ см/сек.

При взрывном способе отсыпки грунта получается более плотная насыпь; поэтому можно данные для рыхлых насыпей по коэффициентам фильтрации с некоторым запасом надежности принять за исходную величину для насыпей, возведенных взрывным способом.

Безусловно, эти положения нельзя понимать как отрицание необходимости изучения фильтрации в теле насыпей, возведенных взрывным способом.

Наоборот, такие исследования для столь перспективного метода, каким является производство работ с применением направленного взрыва по возведению земляных напорных сооружений, необходимо производить как в лабораторных, так и в производственных условиях.

Следует особо отметить, что в настоящее время одним из наиболее актуальных вопросов в области направленного взрыва применительно к сооружению плотин является изучение фильтрационных свойств и суффозии в грунтах, выброшенных взрывом.

Поэтому после возведения плотины взрывным способом и сдачи ее в эксплуатацию желательно установить систематическое наблюдение за фильтрацией в основании и берегах и, в особенности, в теле плотины (наблюдения за положением кривой депрессии, фильтрационными расходами и т. п.). Для этой цели в теле земляной плотины в створах, нормальных к оси плотины, должны быть установлены пьезометры. Для створов пьезометров должны быть выбраны наиболее характерные поперечные профили плотины.

IX. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕННЫХ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ

Первые опыты по применению направленных массовых взрывов при сооружении плотин и перемычек производились в СССР еще в марте 1935 г. на головном узле одного строительства.

Образование плотин и перемычек взрывным методом осуществлялось в сочетании с массовыми методами строительства, при всестороннем содействии партийных и государственных органов.

Позже направленными массовыми взрывами были построены перемычки на канале, на арыке, при строительстве гидроэлектрических станций № 1, 3 и 4, на овраге и, наконец, при строительстве водохранилища.

Метод направленных массовых взрывов был использован при наращивании плотины на одном водохранилище, где для направленного выброса 330 000 м³ породы был взорван заряд весом 400 т.

Перечисленные массовые взрывы были выполнены под руководством инженеров Н. М. Рождественского, А. Н. Кобзева и др. Ниже приводятся данные о конкретных случаях применения массовых взрывов при постройке гидротехнических сооружений.

1. Перемычка на арыке

На протяжении 60 км на одном арыке образовался узкий каньон, глубиной в начальной части около 30 м и в низовьях около 15 м, представляющий благоприятные условия для использования водной энергии.

Русловая часть каньона имеет ширину от 15 до 20 м.

Склоны каньона, сформированные в лёссовом грунте, местами обрывистые, местами пологие, сглаженные делювиальным процессом.

Гидрогеологический режим вблизи арыка является искусственным, зависящим от его хозяйственного использования и от баланса воды в ирригационной системе. Водный режим характеризуется устойчивыми осенне-зимними расходами в пределах 50 — 55 м³/сек и летними, колеблющимися в пределах 10 — 20 м³/сек.

Для постройки плотины был выбран створ, где каньон имел глубину 24 м и ширину по дну 15,0 м. Берега его относительно пологие, в русловой части они сложены мергелем, а выше уровня воды — лёссом. Откос правого берега около 1:1, левого — 1:2.

Для переключения воды в обводное русло предполагалось перегородить русло арыка сипайной перемычкой высотой 8,0 м, рассчитанной на напор 7,0 м, но от этого способа пришлось отказаться, так как сооружение сипайной перемычки не удо-

влетворяло заданным срокам и материальным возможностям строительства.

Специалистами взрывного дела было предложено перегородить русло в этом месте, применив направленный массовый взрыв. Для сооружения перемычки было заложено семь зарядов, расположенных в 2 ряда на правом берегу арыка.

Первый ряд состоял из пяти вспомогательных зарядов, второй—из двух основных. Заряды первого ряда предназначались для придания крутизны берегу с целью обеспечения направленности действия основных зарядов.

Расчетные величины, принятые при проектировании и производстве взрыва, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели	Для 1-го ряда зарядов	Для 2-го ряда зарядов
H — высота обрушаемого массива в м	6—7	13,0
w — линии наименьшего сопротивления в м	5—5,8	10,6—11
$\frac{w}{H}$	0,83	0,81—0,85
k — расчетный коэффициент	1,2	1,2
n — показатель выброса (горна)	1,0	1,2
Q — величина зарядов в кг	150—240	2 400—2 650
a — расстояния между зарядами в м	7—8	17,0

Общая величина заряда составляла 6 т.

Заряды второго ряда взрывались через 4 сек. после взрыва зарядов 1-го ряда.

Взрывом, произведенным в марте 1942 г., была создана перемычка высотой 9 м, шириной по гребню 13 м и по основанию 50 м, что соответствовало проекту.

Объем тела перемычки составил примерно 4 000 м³.

Расход воды в арыке в момент взрыва составлял 20 м³/сек при скорости 2 м/сек.

Продольный профиль этой перемычки показан на рис. 40.



Рис. 40. Продольный профиль перемычки, построенной на канале направленным взрывом

2. Перемычки плотины ГЭС № 1

Земляная плотина головного узла ГЭС № 1 проектировалась высотой 28,0 м и должна была перекрыть каньон до уровня берегов. Вход в деривационный канал располагался в некотором удалении от плотины на левом берегу.

Водоспускное сооружение в виде трубы было расположено в мергельном основании плотины у левого берега и предназначалось как для строительного периода, так и для эксплуатации.

Для сокращения объема выемки высокого берега под тран-

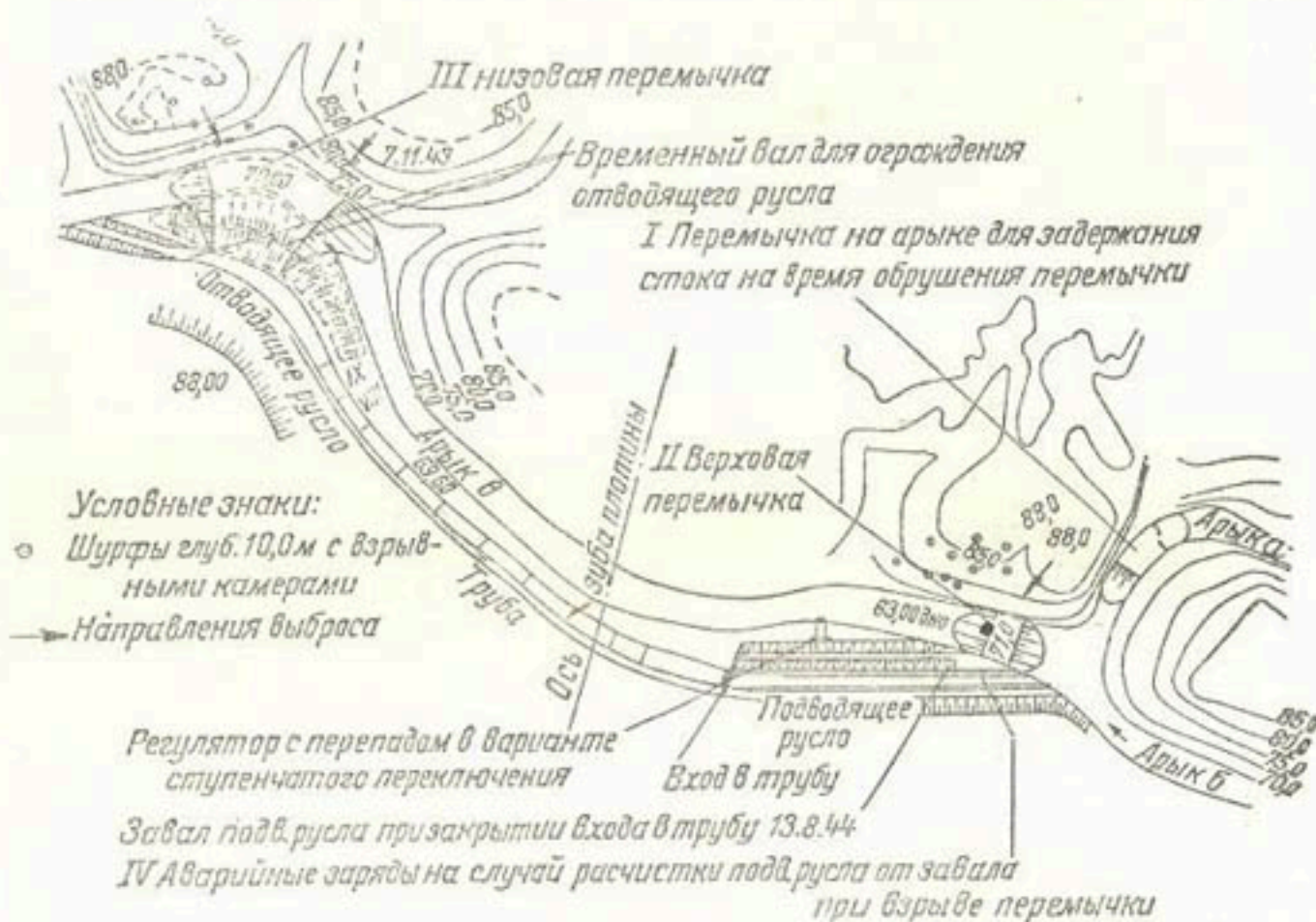


Рис. 41. Расположение перемычек ГЭС № 1

шею трубы ее предельно приблизили к естественному руслу, отделив от последнего перемычкой шириной около 6,0 м.

Переключение воды в трубу требовало устройства двух русловых перемычек высотой 11,0 м и длиной около 20,0 м.

По проекту перемычки намечались из сипайной и тяжелой карабурной кладки, что даже при минимальном расходе воды и напоре 7,0—8,0 м представлялось затруднительным и даже сомнительным для осуществления.

Поэтому были сделаны попытки облегчения задачи путем постепенного переключения воды с уменьшением первоначального напора на перемычку.

По одному из вариантов предполагалось сделать русло в обход перемычки путем углубления подводящего канала трубы, снабдив его в конце регулятором с перепадом (рис. 41). После устройства перемычки можно было бы, закрыв затворы

регулятора и подняв горизонт воды на вторую ступень, направить воду в трубу.

В любом варианте сооружения, связанные с отводом воды из котлована плотины, требовали значительного срока выполнения, большого количества материалов и квалифицированной рабочей силы.

Работы эти должны были выполняться в маловодный период. По календарным же срокам строительства они приходились на осень и в оставшийся период времени до увеличения расходов воды в арыке не укладывались.

Применение массового взрыва позволило выйти из создавшегося положения и избежать отсрочки строительства плотины на один сезон.

В течение 5 дней был составлен проект взрывных работ.

Строители стремились предельно уменьшить расход воды на время обрушения грунта в тело перемычек.

Поэтому была предложена и осуществлена сложная схема операций, иллюстрируемая рис. 41. Первоначально устраивалась взрывом берега перемычка в русле арыка *а* (высота перемычки 4,5 м, объем 2 250 м³); эта перемычка позволила на 15 мин. приостановить сток арыка *а* и уменьшить расход в арыке *в*. Вслед за этим через 3 мин. выполнен взрыв в створе верховой перемычки и далее через 3 сек. — низовой.

Одновременное устройство двух перемычек гарантировало надежность переключения.

Сооружение верховой и низовой перемычек было осуществлено зарядами, расположенными на правом берегу.

Для сооружения верховой перемычки заряды были расположены в 3 ряда, а низовой — в 2 ряда.

Принятые при проектировании и производстве взрывов основные расчетные величины приводятся в табл. 6.

Взрывание каждой перемычки производилось от самостоятельной сети. Заряды вторых и третьих рядов взрывались с замедлением в 4 сек.

В четыре дня была произведена подготовка к взрывам и в течение одного дня (7 ноября 1943 г.) выполнены все операции по переключению воды в трубу.

Верховая перемычка выполнена высотой 8,0 м и низовая 12,0 м, объемом соответственно 5 000 и 7 700 м³.

Полученные профили перемычек близки к заданным и показаны на рис. 42. Плотность укладки грунта перемычки обеспечила их водонепроницаемость; фильтрации не наблюдалось.

Механический состав грунта перемычек характеризуется следующими данными:

фракции > 0,25 мм	составляют 1,4 %
от 0,25 до 0,05 мм	— 9,77 %
" 0,05 " 0,01 мм	— 37,18 %
" 0,01 " 0,005 мм	— 38,55 %
меньше 0,005 мм	— 13,10 %

Сооружение временных перемычек вызывалось необходимостью временного прекращения потока воды по арыку в момент закрытия входных затворов трубы водосброса головного узла. Так как затворы водосброса не являлись маневрен-

Наращивание простой насылью

72.7

74.0

Лесс

Мергель

Подводящее русло

Взрывная перемычка $h=8,00$ м

89.0

17.0 7.0 8 8 12 6.0 5.25 16.0 8.0 36.0

Экран из лесового грунта

Макс. подп. в. $Q=50 \frac{м^3}{сек}$ 71,70
 Мин. подп. в. $Q=7,0$ 70,0
 Мин. быт. в. $Q=7,0$ 63,35

3,0 74,0 71,0 63,0

8,0 м

72,0

Последующее профильтрование

70,00

62,0

~ 66,0

Заданный профиль

Полученный профиль

ными, желательно было освидетельствовать их закрытие без воды.

После закрытия входных затворов наглухо были произведены взрывы на сброс в русло арыков *a* и *в* 30 000 м³ грунта для развития понурной части плотины; общий вес зарядов составил при этом 78 400 кг. Предварительное освобождение русла от воды при помощи временных перемычек позволило оградить головное сооружение от действия водяного тарана.

3. Перемычки ГЭС № 3

Учитывая опыт предыдущих взрывов, проектом было предусмотрено заграждение русла с помощью массового взрыва. Верховая и низовая перемычки являлись упорными призмами плотины, входящими в ее контур (рис. 43).

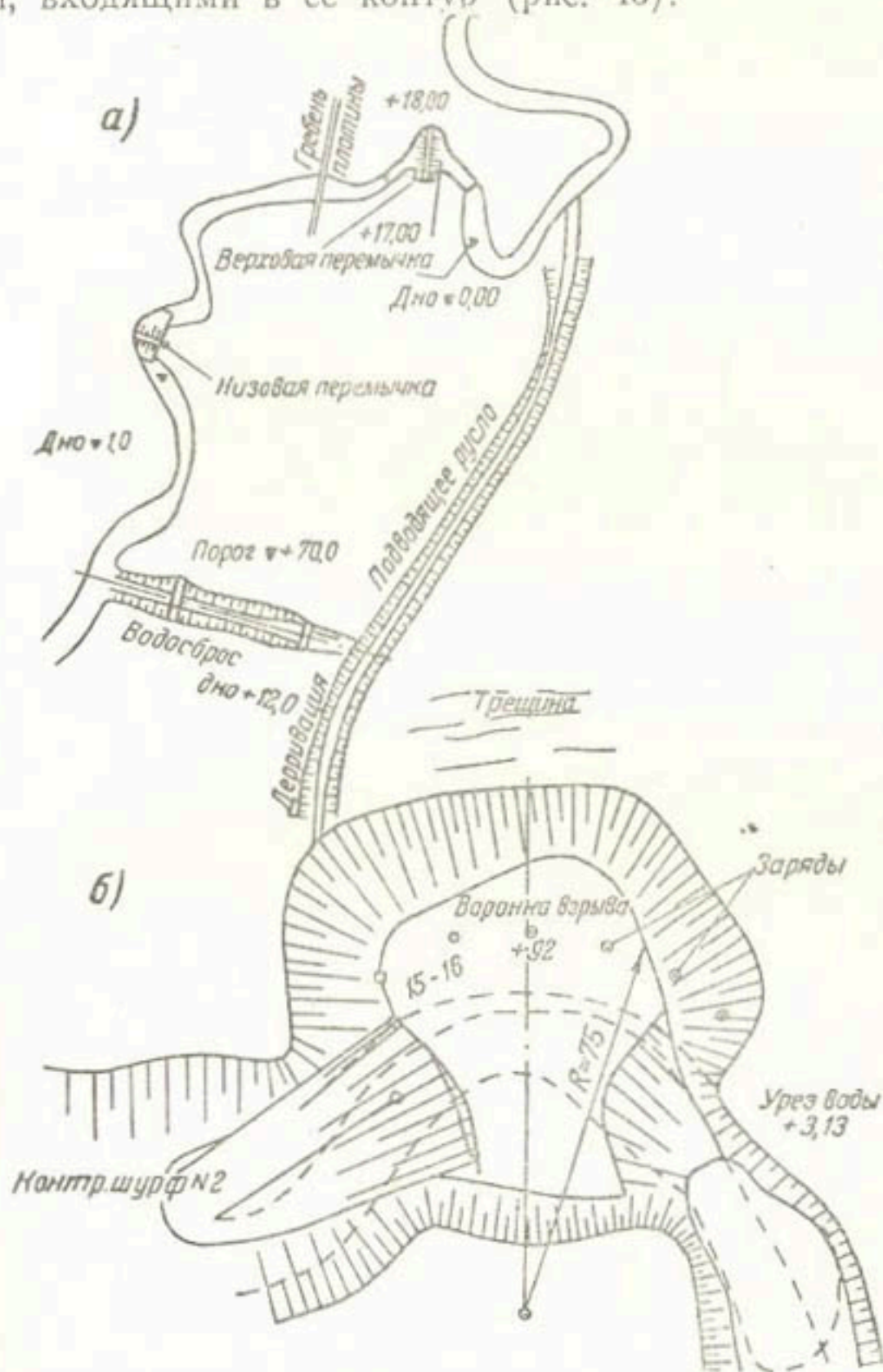


Рис. 43. Перемычки ГЭС № 3

а—схематический план перемычек; б—план верховой перемычки

Для сооружения верховой и низовой перемычек заряды по проекту располагались на правом берегу арыка.

При выборе створов перемычек здесь впервые была использована вогнутость берегов, создающая условия для направленного взрыва и благоприятно влияющая на создание более высоких перемычек.

Таблица 6

Показатели	Верхняя перемычка			Нижняя перемычка		Перемычка на арке <i>a</i>
	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	1-й ряд	2-й ряд	
<i>H</i> —высота обрушаемого массива в м . . .	7—9	10—14	15	6—9	10,5—16,5	12
<i>w</i> —длина наименьшего сопротивления в м	4—7	8—10	10	4—7,5	4—14	10
$\frac{w}{H}$	0,6—0,80	0,71—0,86	0,67	0,7—0,83	0,8—0,85	0,82
<i>k</i> —расчетный коэффициент	1,3	1,3	1,3	0,6—1,3	1,3	1
<i>n</i> —показатели выброса (горна)	1—1,25	1,25	1,25—1,5	1,0	1,25	Рыхлый
<i>C</i> —вес зарядов в кг	83—800	1 050—2 040	1 500—3 150	38—550	1 750—5 600	1 000
<i>a</i> —расстояние между зарядами в м	5—8	10—13	10—13	5—9	9,5—16	—
Количество зарядов	5	4	2	9	4	1
Общий вес зарядов в кг	11 500			15 500		1 000

При сооружении верховой перемычки заряды располагались в 1 ряд, а низовой — в 2 ряда, причем во втором ряду был расположен всего лишь 1 заряд.

Принятые при проектировании и производстве взрыва расчетные величины приводятся в табл. 7.

Таблица 7

Показатели	Верховая перемычка	Низовая перемычка	
		1-й ряд	2-й ряд
H — высота обрушаемого массива в м	16—18	18,5	18,5
w — в м	15,0	14—15	14
$\frac{w}{H}$ —	0,83—0,94	0,76—0,84	0,76
k — расчетный коэффициент	1,3	1,3	1,3
n — показатель выброса	1—1,25	1,25	1,0
C — вес зарядов в кг	4 350—6 800	5 500—6 900	4 600
a — расстояние между зарядами в м	14,5—17,0	15—19,5	—
Количество зарядов	6	5	1
Общий вес зарядов в кг	38 316	3 759	3

Проект был осуществлен вполне успешно, причем отступления от расчетных предположений имели место только в благоприятную сторону.

В течение короткого срока (20 дней) были выполнены подготовительные работы по насыпам и подготовке зарядных камер.

Взрыв был произведен одновременно в створах обеих перемычек. В течение 36 час. происходило накопление воды в свободном бьефе до отметки +8,0 и постепенное увеличение напора на перемычку, затем вода направилась в водосброс.

План и разрезы перемычек, полученных в результате взрывов, представлены на рис. 43 и 44.

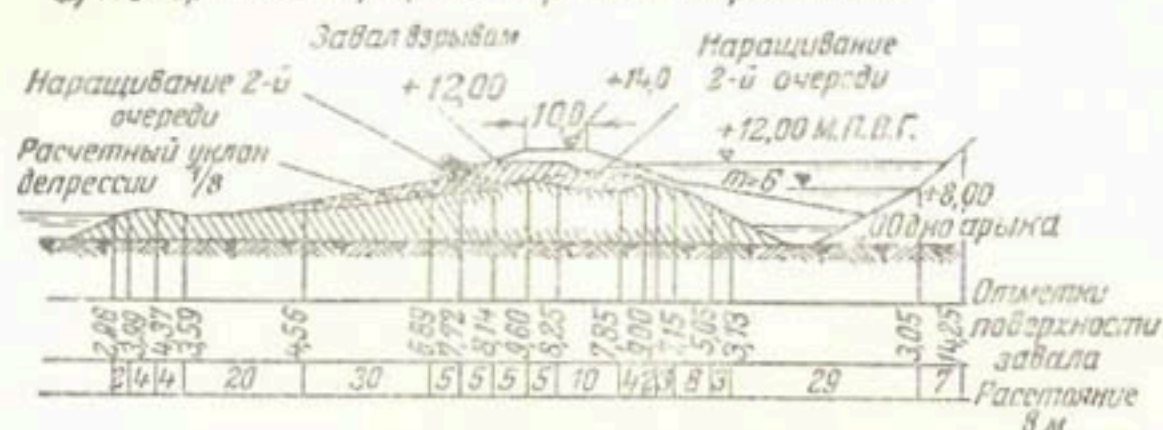
Объем тела верховой перемычки составил 17 400 м³ при следующих габаритах: высота 9,6 м, ширина поверху 25 м, ширина в основании 100 м.

Значительное влияние на увеличение перемычек имели вогнутость берегов и предварительное увлажнение грунта.

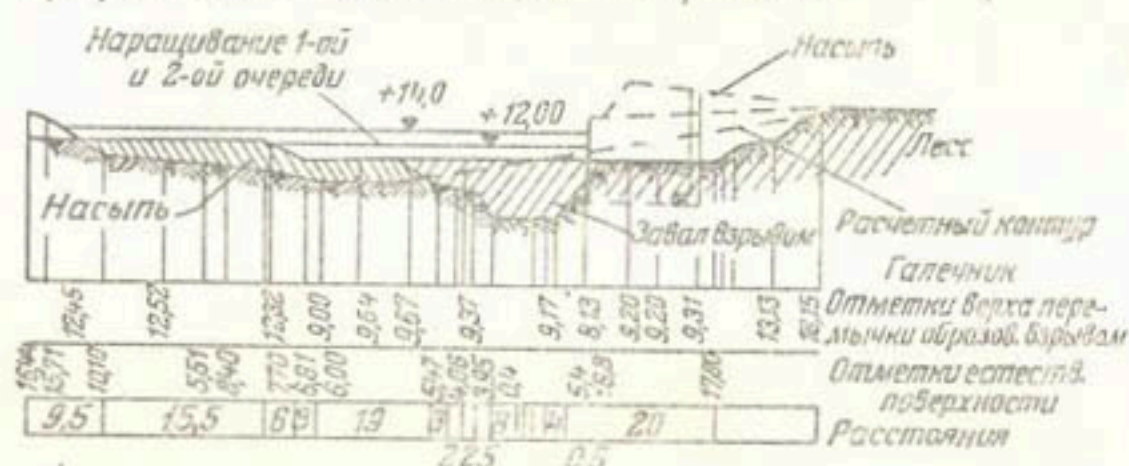
Наблюдения за состоянием тела перемычек, образованных взрывом, производились на верховой перемычке.

Вскоре после обрушения на гребне перемычки были уста-

а) Поперечный профиль верховой перемычки



б) Продольный профиль верховой перемычки



в) Продольный профиль низовой перемычки

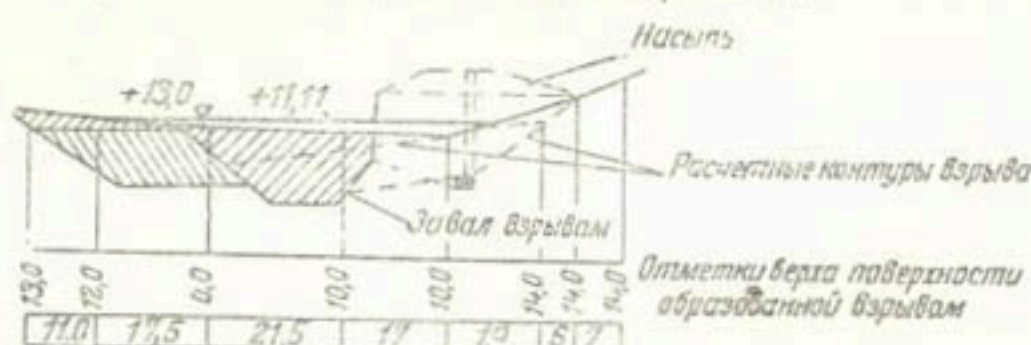


Рис. 44. Профили перемычек плотины ГЭС № 3, образованные взрывом

новлены реперы, осадка которых за первые 10 дней составила около 0,30 м, причем она не сопровождалась трещинами.

В наиболее высоком месте перемычек осадки характеризовались следующими величинами, приведенными в табл. 8.

Таблица 8

	Осадки в см	
	Верховая перемычка	Низовая перемычка
С 20/IX по 30/IX—1947 г.	5—10	2—4
30/IX по 20/X	5—10	8—10
20/X по 20/XI	7—11	10—16
20/XI—1947 г. по 8/IX 1948 г.	23—27	22—28
	Не наблюдалось	2—15

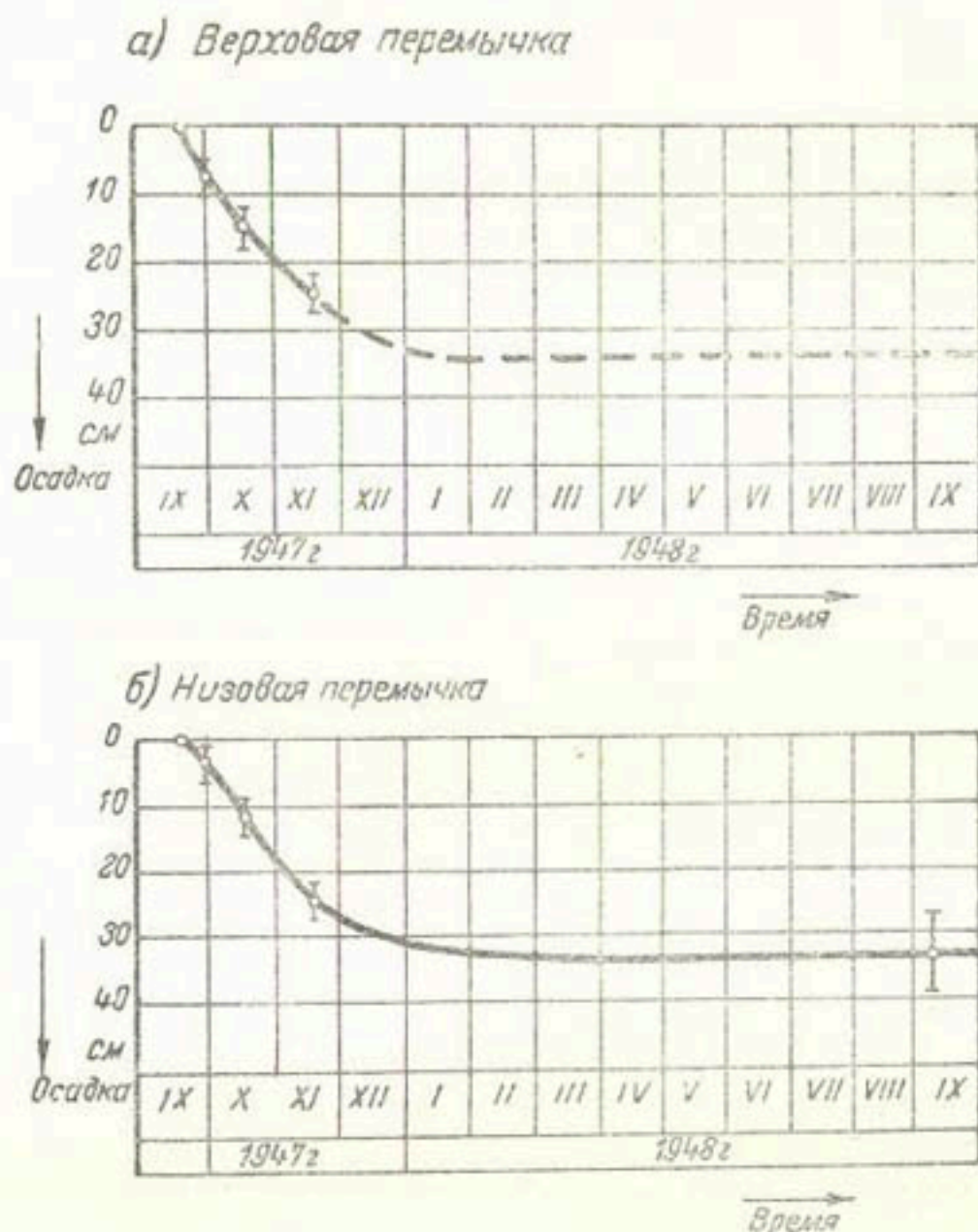


Рис. 45. Графики осадки верховой и низовой перемычек ГЭС № 3

Относительная осадка за весь период составила 3—4%.

Данные об осадке верховой и низовой перемычек ГЭС № 3 иллюстрируются на графиках рис. 45, где показано, что осадка низовой перемычки за год стабилизировалась. Грунт в теле плотины оказался не очень уплотненным, что впрочем не повлияло на работу перемычек. Надо иметь в виду также, что осадка могла отчасти произойти за счет деформации основания перемычек. Этот вопрос в данном случае не был полностью изучен.

Плотность и влажность грунта были проверены в шурфах, заложенных спустя 1 месяц после взрыва, и показавших данные, приведенные в главе VII.

Шурфы были расположены на низовом откосе вблизи уреза воды.

Плотность грунта в теле перемычек близка к плотности естественного лёсса. Надежность полученной взрывом перемычки превзошла ожидания.

4. Нарращивание набросной плотины

В декабре 1947 г. на строительстве водохранилища был произведен массовый взрыв «на сброс» с целью наращивания существующей плотины.

Плотина сооружалась у входа в ущелье горной реки. Материалом кладки служил рваный камень и щебень, добываемый в карьерах ущелья.

Водохранилище предназначено для создания запаса воды в неполивной период (во время паводков) и последующего регулярного расходования ее для поливов хлопчатника. Полезные пропуски воды осуществляются через железобетонную трубу, проходящую под плотиной.

Для предотвращения фильтрации воды через плотину на ее напорном откосе укладывается бетонный экран.

Это водохранилище имеет большое значение для водоснабжения прилегающих районов.

В течение шести лет, начиная с 1941 г. (начало строительства), при применении буровзрывных работ взорвано 400 000 м³ горной массы. За этот же период в тело плотины уложено 150 тыс. м³ камня и образовано водохранилище емкостью 18 млн. м³.

Отсутствие механизации наиболее трудоемких работ во время войны препятствовало правильной разработке карьеров и вынуждало каждый раз переходить на более отдаленные от плотины карьеры.

В результате такой разработки большая часть взорванной горной массы (250 000 м³) оказалась потерянной на склонах ущелья и не могла быть использована, так как на спуск ее требовалось большое количество рабочей силы, нужда в которой и без того была весьма большая.

Укладка 150 тыс. м³ камня в тело плотины в течение 6 лет была выполнена в основном силами колхозников.

Для доведения емкости водохранилища до 100 млн. м³ необходимо было в дополнение к существующей плотине добыть и уложить еще 220 тыс. м³ камня.

Чтобы ускорить окончание строительства водохранилища, было решено провести массовый взрыв «на сброс» для наращивания тела плотины и получения разрыхленного камня в непосредственной близости от плотины.

Согласно техническому заданию ставилась задача уложить в тело плотины максимально возможный объем камня.

Условия производства массового взрыва заключались в следующем:

- 1) завал камня взрывом «на сброс» в тело существующей плотины с регулирующей трубой был первым опытом на строительстве в СССР; аналогичных взрывов не производилось и за границей;

2) единственным участком взрыва был правый склон ущелья в непосредственной близости от оси плотины;

3) массив участка взрыва был представлен весьма неблагоприятным рельефом для производства завала, а именно:

а) выпуклость массива в сторону сброса, образовавшаяся в результате разработки карьеров, неизбежно приводила к развалу значительного объема камня по сторонам за пределы плотины;

б) наличие обратного склона препятствовало соблюдению основного условия сброса ($w=1 \div 1,2 H$), а меньшее соотношение

$\left(\frac{w}{H}\right)$ ухудшало эффект сброса;

в) малая крутизна склона не обеспечивала большого объема завала.

4) Производство опытного взрыва в меньшем масштабе из-за отсутствия аналогичных (или близких к ним) условий рельефа не представлялось возможным.

При определении количества зарядов по фронту принималось во внимание возможное заложение двух и более зарядов, обеспечивающих при взрывах на завал лучшие результаты.

Однако в проектируемых условиях заложение двух зарядов (даже сближенных), несмотря на увеличение расхода ВВ, значительно увеличивало объем сброса в тело плотины. Если при одном заряде карьеры препятствовали сосредоточенному сбросу, то при двух зарядах сопротивление в сторону карьеров еще больше уменьшилось и, следовательно, увеличивался разброс породы по сторонам за пределы плотины. Поэтому для осуществления массового взрыва был предусмотрен единственно возможный вариант с заложением в центре массива одного основного заряда.

В предварительных вариантах разрабатывался вопрос подработки выпуклости до пределов образования вогнутости в сторону сброса, при которой была бы достигнута сосредоточенность и большая дальность броска. Однако образованию этой вогнутости препятствовали, с одной стороны, разрушенность массива в глубину ранее проводившимися взрывами в карьерах и, с другой, — невозможность удаления основного заряда в глубь массива в связи с близостью обратного склона.

Для подработки выпуклости до возможных пределов и образования кумулятивной вогнутости проектом было предусмотрено заложение трех вспомогательных зарядов.

Основной заряд размещался по принципу равных сопротивлений с таким расчетом, чтобы развал породы за пределы плотины по обеим сторонам был примерно одинаковым, объем породы, сброшенной в тело плотины, в этом случае был бы максимальным. Чтобы уменьшить объем завала в сторону экрана, заряд по проекту был смещен от оси плотины на 6 м в сторону

нижнего бьефа. В процессе проходки выработок заряд оказался смещенным не на 6 м, а на 10 м.

Взрываемые породы были представлены трещиноватыми порфиритами.

Таблица 9

Наименование зарядов	№ зарядов	Высота над зарядом H в м	Линия наименьшего сопротивл. w в м	$\frac{w}{H}$		Расстояние между зарядами a в м	$m = \frac{a}{w}$	Вес заряда в кг
		фактич.	фактич.	по проект.	фактич.	фактич.	фактич.	
Основной	—	60	42,0	0,78	0,70	—	—	400 000
Вспомогательный	1	—	—	0,67	—	—	—	5 000
То же	2	—	—	0,52	—	16,0	1,0	4 000
"	3	—	—	0,67	—	10,5	0,9	12 000

Вспомогательные заряды взрывались в первую очередь за 4 сек. до взрыва основного заряда. Общий взорванный объем составил 333 138 м³.

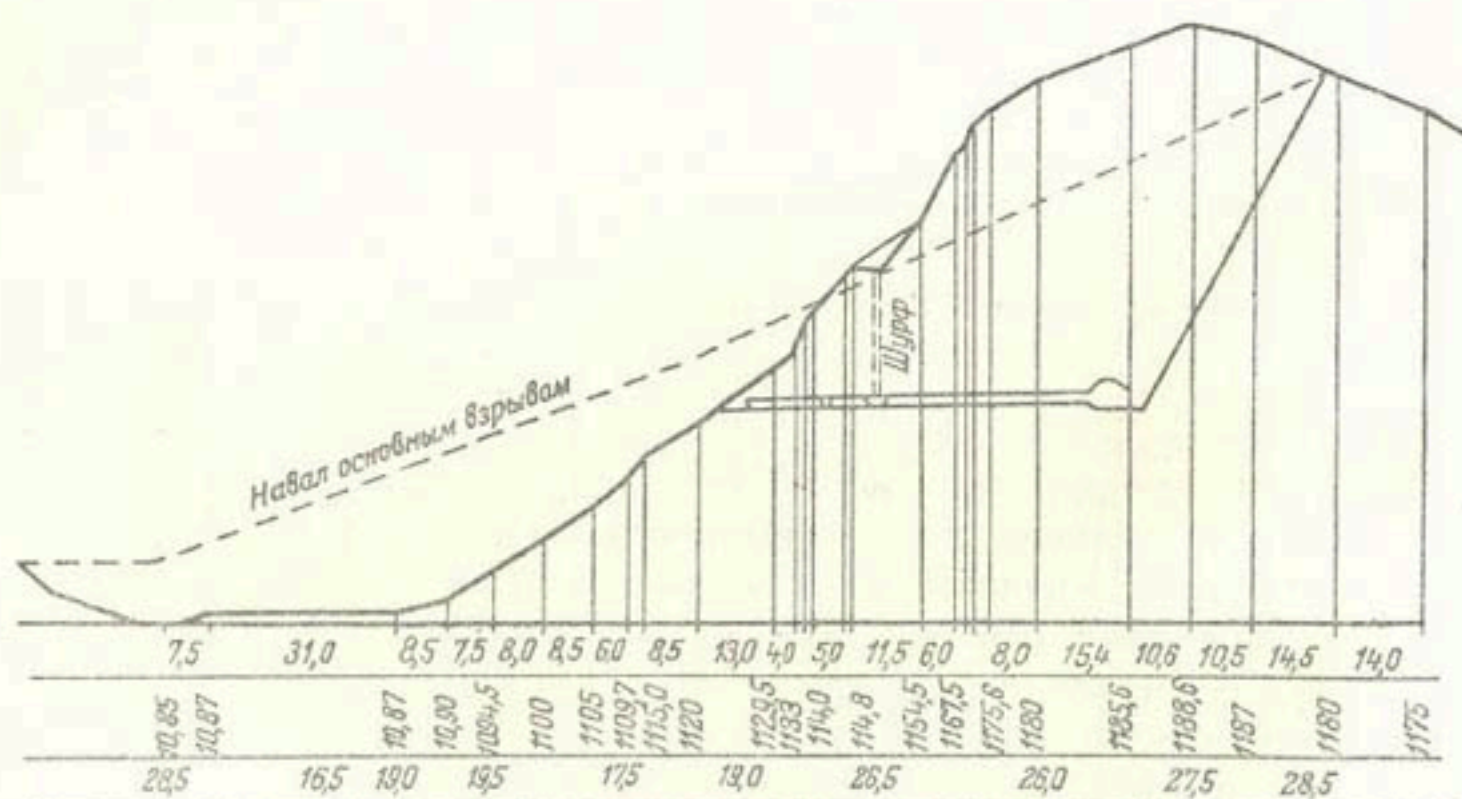


Рис. 46. Развал породы взрывом на плотине водохранилища

Благодаря произведенному взрыву в большей степени была уменьшена потребность в рабочей силе, транспорте и механиз-

мах. Стоимость работ по укладке камня в тело плотины по сравнению с ручной укладкой уменьшена на 700 000 руб.

Развал взорванной породы показан на рис. 46.

Перед производством взрыва за 6 лет строительства водохранилище имело емкость только 18 млн. м^3 воды. После производства работ взрывным способом емкость водохранилища достигла 50 млн. м^3 .

5. Сооружение плотины на овраге

Устройство земляной плотины на овраге в 1948 г. явилось наиболее ответственным случаем применения массового направленного взрыва в гидротехническом строительстве.

Плотина была построена в лёссовых грунтах для предотвращения стихийного бедствия — затопления города и ряда колхозов паводковыми водами реки.

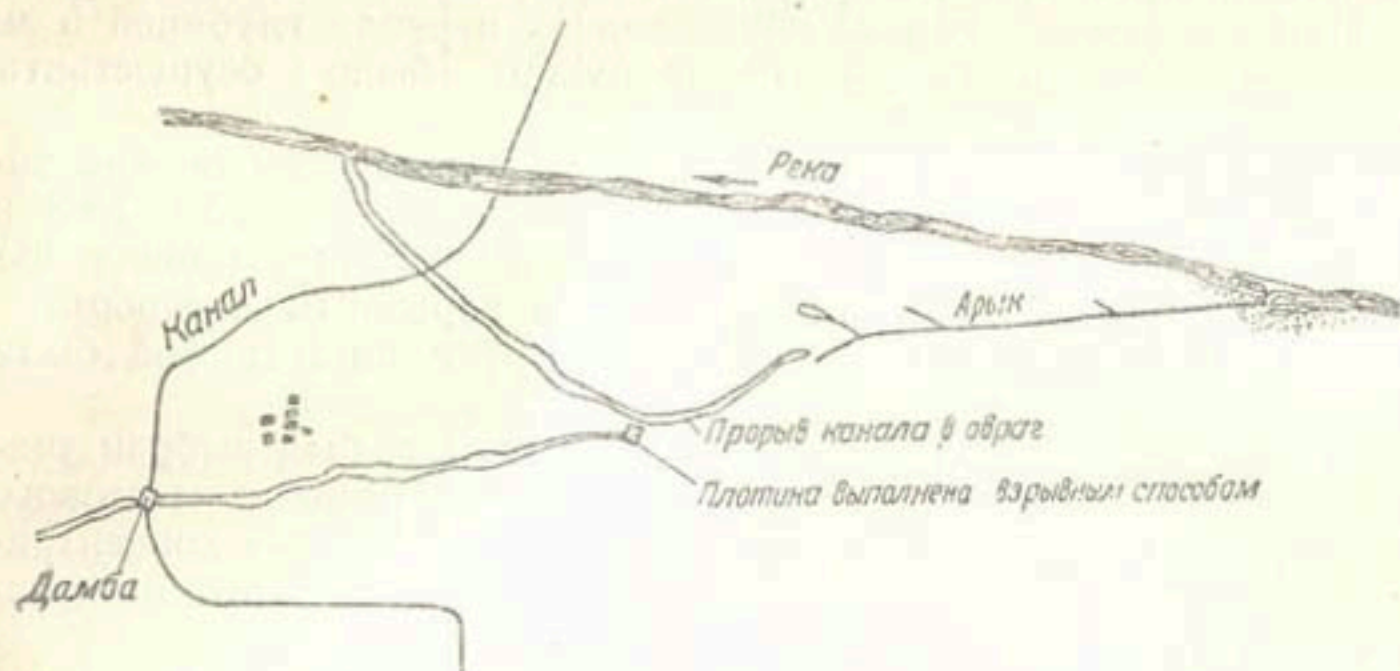


Рис. 47. Схематическая карта района аварии на овраге

Весна 1948 г. характеризовалась для этой реки исключительными по своим размерам и продолжительности паводками, дошедшими 13 мая до $215 \text{ м}^3/\text{сек}$, тогда как с 1911 по 1947 г. максимальный паводок достигал всего лишь $137 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Одновременно с увеличением расходов реки значительная часть воды до $50 \text{ м}^3/\text{сек}$ врывалась через один арык, который не имел регулирующего головного сооружения, кроме отбойной шпоры, через которую ввиду осадки происходил перелив воды (рис. 47).

Такой значительный расход воды, проходившей по арыку, производил на своем пути значительный размыв его берегов, а в нескольких метрах ниже головы оврага в каньоне глубиной до 25 м произвел обрушение правого берега, преградившего дальнейшее прохождение воды по его руслу.

Накопившаяся вода у места обрушения берега, поднявшись до уровня перемычки в голове оврага, разрушила ее, и весь расход воды арыка устремился по оврагу, имевшему в нижней своей части земляную дамбу с трубой диаметром 0,6 м, которая не могла обеспечить пропуска всей воды.

Несмотря на принятые меры по наращиванию дамбы и устройству трех прорезей для сброса воды по каналу, у дамбы оврага образовалось водохранилище объемом до 12 млн. м³. Запас высоты дамбы оставался всего 0,88 м.

Между тем паводок на реке продолжался, и разрушение дамбы могло вызвать значительные бедствия.

Противоаварийные работы распространились на большой фронт, начиная от водоприемных сооружений на реке и кончая защитной дамбой на пересечении каналом оврага.

Одной из главнейших мер предотвращения катастрофы было перекрытие входа в овраг. Никаких искусственных сооружений для этой цели не имелось, причем в створе прорыва из арыка в сторону оврага образовался перепад глубиной 5 м.

Перекрытие входа в овраг нужно было осуществить исключительно быстро.

Имевшийся опыт по применению массовых взрывов для заграждения водных потоков на строительствах ГЭС № 1, № 3 и на строительстве канала подсказывал единственно правильное решение—постройку плотины на овраге взрывным способом.

Для осуществления работ по борьбе с катастрофой были привлечены специалисты взрывного дела.

В начале оврага, вблизи от места прорыва, был выбран участок для заграждения водного потока при помощи массового взрыва. Берег имел здесь вогнутость, позволяющую концентрировать силу действия зарядов к центру будущей плотины и гарантировать надежность перекрытия (рис. 48).

Ширина перекрываемого русла по дну составляла 20 м при высоте берегов от 13 до 40 м.

Для создания плотины в 1 ряд заложено 11 шурфов глубиной от 5,5 до 13,5 м, в камеры которых были помещены заряды весом от 400 до 6 400 кг.

Расчетные и фактические данные по расположению и определению величины зарядов имели показатели, принятые на основе полученного опыта на предыдущих массовых взрывах, произведенных на заграждении водных потоков:

H —высота обрушаемого массива в м	7—16
w —л. н. с. в м	5,5—13,5
$\frac{w}{H}$	0,8—0,84
k —расчетный коэффициент	1,37
n —показатель выброса (горна) . .	1,25
C —вес зарядов в кг	200—640
a —расстояние между зарядами в м	6—16

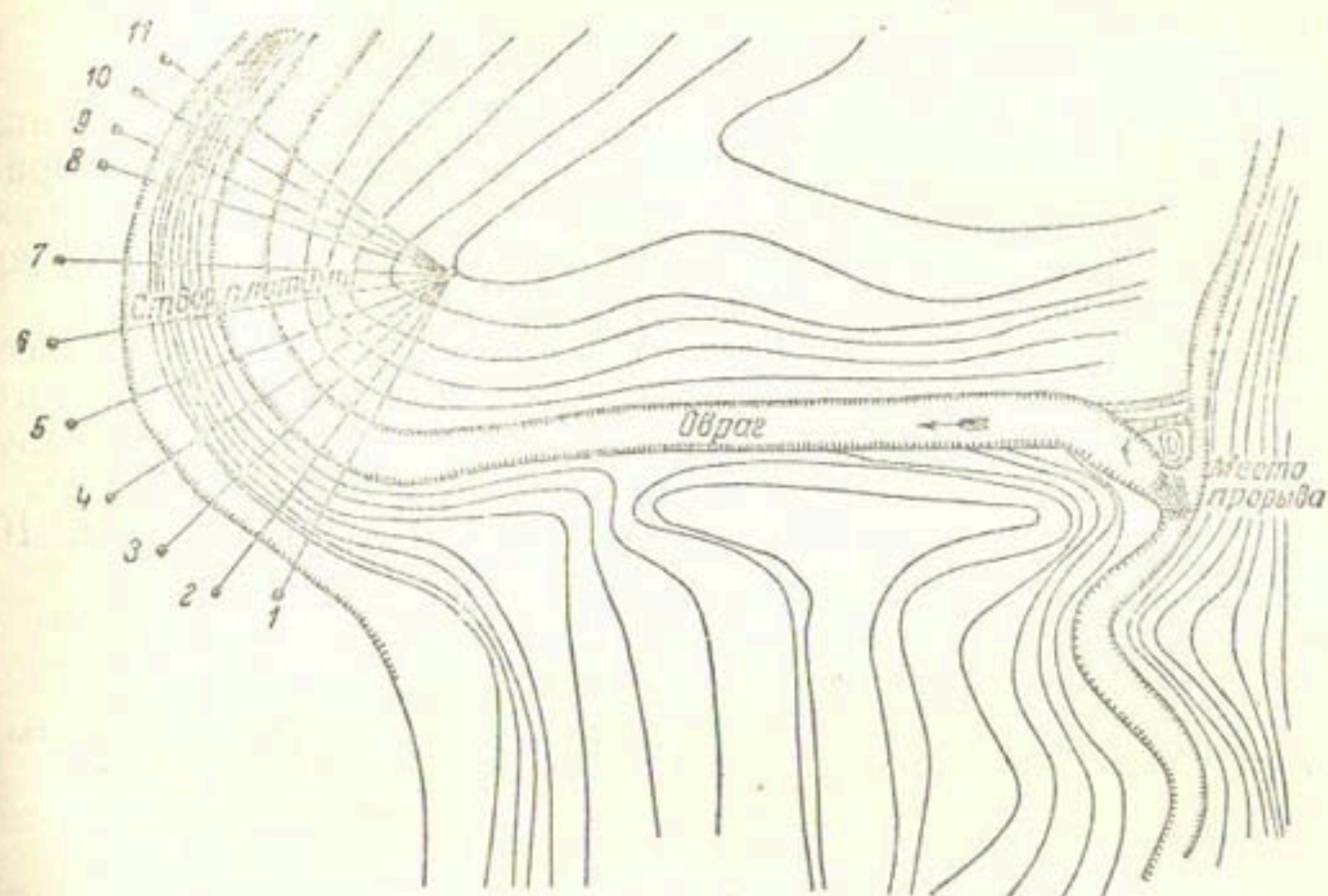


Рис. 48. Схематический план расположения плотины на овраге

Общий вес зарядов составил 50 т.

Все подготовительные работы, включая проектирование, проходку подготовительных выработок, зарядку и монтаж электровзрывных сетей, заняли 4 дня (с 13/V по 17/V 1948 г.).

17 мая 1948 г. был произведен массовый взрыв, закрывший дальнейший вход воды в овраг, и надвигающаяся катастрофа была предотвращена.

Результаты взрыва признаны отличными.

Созданная при помощи массового взрыва плотина имела следующие размеры (рис. 49):



Рис. 49. Продольный и поперечный разрезы плотины, образованной взрывом в овраге

Высота	13,50 м
Ширина гребня	8,0 "
Ширина по основанию	120,0 "
Объем плотины	16 000 м ³

Продольный уклон гребня получился близким к нулю.

6. Перемычка на реке

В октябре 1948 г. на строительстве головного сооружения одной гидроэлектростанции был произведен взрыв с целью образования перемычки для направления реки в новое искусственное русло, а затем через водосброс. Под прикрытием перемычки должна строиться постоянная земляная плотина.

В геологическом отношении участок работ представлял собой отложения надпойменной террасы: суглинки темносерого цвета, заполненные щебнем и плохо окатанной галькой и валунами.

Расположение зарядов характеризуется данными табл. 10.

Таблица 10

№ зарядов	Высота местности над зарядами H в м	л.н.с. w в м	$\frac{w}{H}$	Расстояние между зарядами a	$m = \frac{a}{w}$	Вес заряда в кг
1	21,0	13,5	0,64	14,2	1,05	2 600
2	21,0	13,5	0,64			2 600

В результате взрыва обрушенной породы река была преграждена и вода направлена в новое русло.

Взрывом было выброшено 10 400 м³ грунта. Результаты взрыва показаны на рис. 50 и 51.

Х. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ НАПРАВЛЕННОГО ВЗРЫВА ДЛЯ ВЫБРОСА ГРУНТА В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

1. Определение количества рядов зарядов

Опыт работ по сооружению перемычек взрывным способом показал, что, в зависимости от рельефа берегов, сооружение перемычек может производиться как путем заложения одного, так и двух, а в некоторых случаях и трех рядов зарядов.

Однорядное расположение зарядов, как правило, применяется при более отвесных (крутых) берегах, имеющих угол откоса не менее 65°, позволяющих линию наименьшего сопротивления зарядов (л.н.с.) w по отношению к горизонту направить под углом не более 25°. При более пологих берегах обрушаемый и сбрасываемый объем грунта будет уменьшаться, а л. н. с., направленная к горизонту под углом более 25°, вместо сосредоточенного броска породы даст излишний ее разброс.

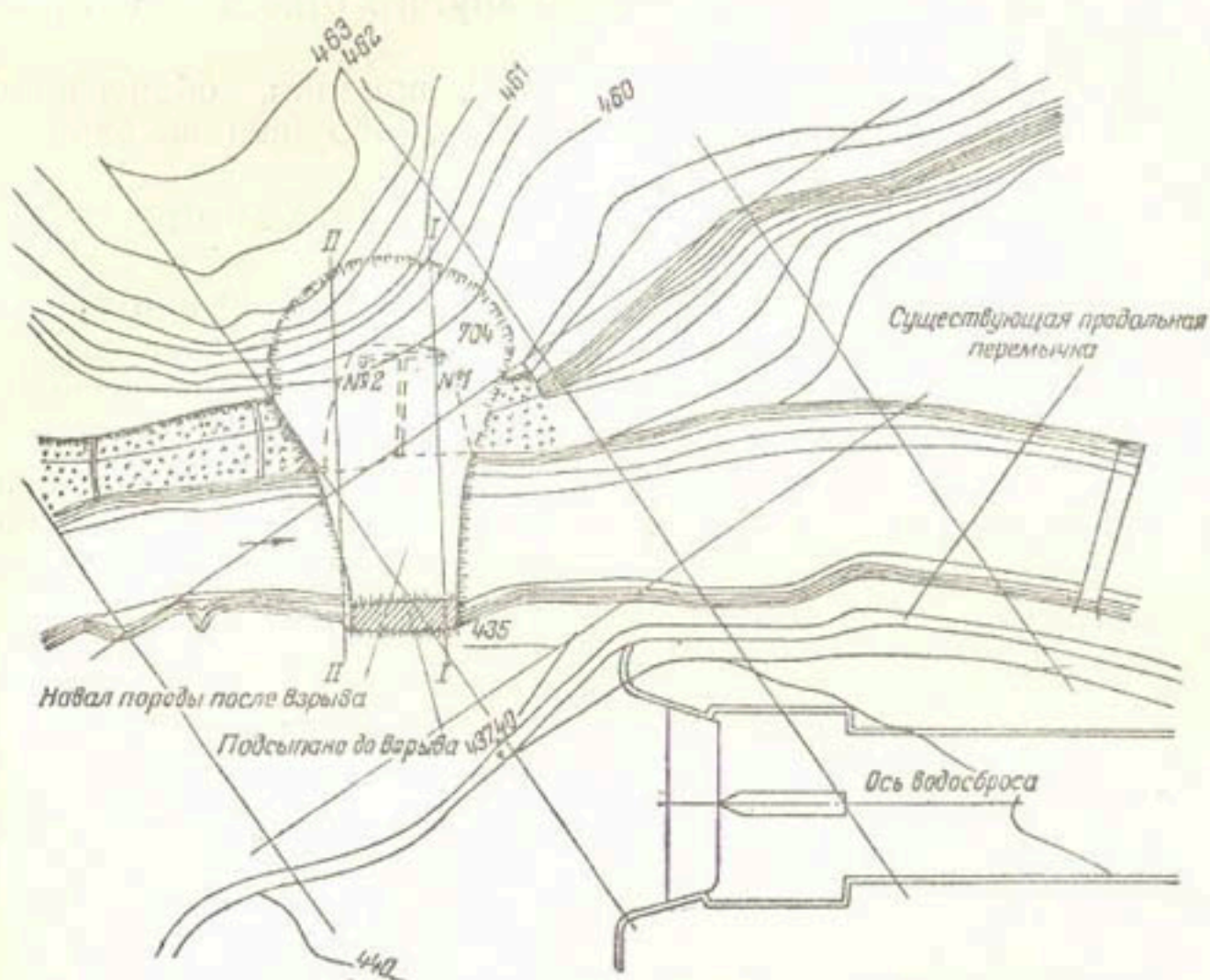


Рис. 50. План участка работ с указанием расположения зарядов на строительстве перемычки

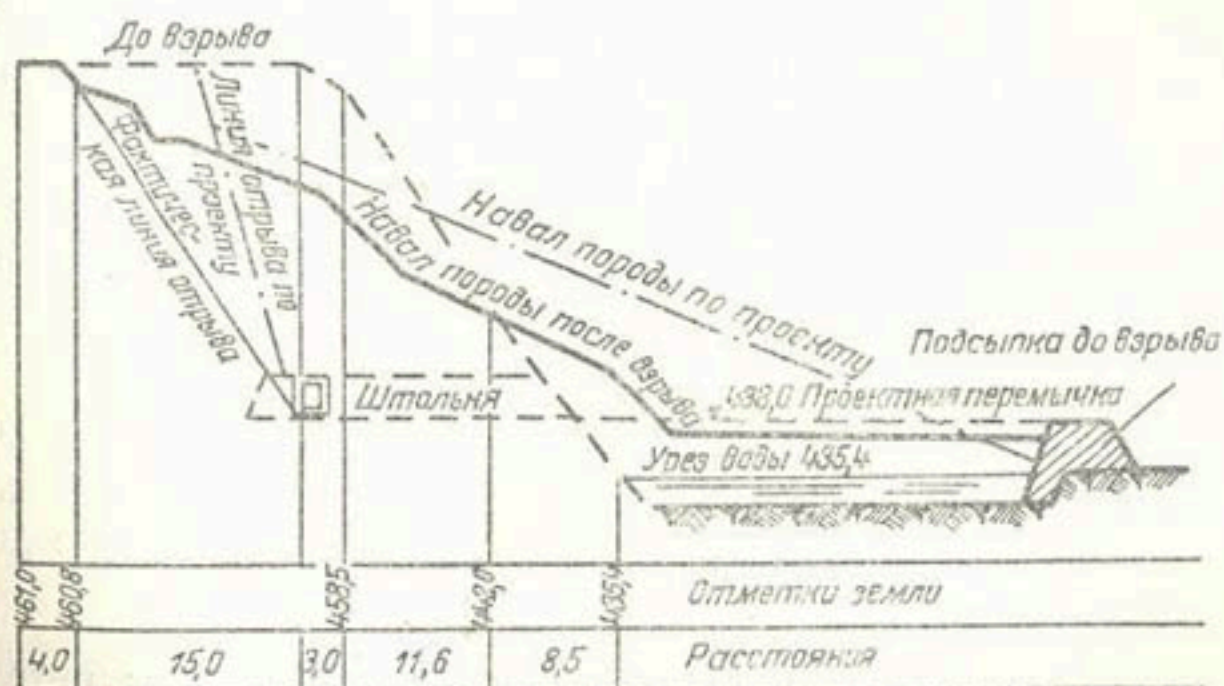


Рис. 51. Продольный профиль перемычки

Двухрядное расположение зарядов может применяться в трех случаях:

а) при необходимости создания крутого откоса до взрыва основного второго ряда зарядов;

б) при необходимости заполнения воронки, образованной взрывом зарядов первого ряда, породой, обрушенной зарядами второго ряда;

в) для пополнения перемычки дополнительным объемом породы.

Трехрядное расположение зарядов применяется при крутизне обрушаемого берега менее 65° , причем третий ряд зарядов ввиду его значительной отдаленности от берега в основном выполняет функцию б, указанную для двухрядного взрывания.

Эти случаи расположения зарядов являются характерными для работ уже проведенных, однако не исключена возможность, что могут встретиться и другие условия, которые потребуют соответствующего нового расположения зарядов.

2. Удаление зарядов от груди забоя

Удаление зарядов от груди забоя во взрывном деле характеризуется отношением л.н.с. к высоте обрушаемого массива $\frac{w}{H}$,

При показателе выброса $n=1,25$ относительная величина $\frac{w}{H}$ применялась равной от 0,8 до 0,95.

Несмотря на то, что применяемое соотношение $\frac{w}{H}=0,8$ до 0,95 полностью себя оправдало при произведенных взрывах на сооружении плотин и перемычек, к удалению зарядов от груди забоя (берега) ввиду особой важности данного вопроса в каждом случае следует подходить особо, исходя из поставленных задач.

При достаточном для перекрытия русла объеме обрушаемой породы создание насыпей может быть выполнено зарядами рыхления при $\frac{w}{H}$ от 0,5 до 0,8.

Однако обычно необходимо $\frac{w}{H}$ принимать равным от 0,8 до 1,2, имея в виду, что чем больше принята величина показателя выброса при определении веса заряда, тем больше должна быть принята величина $\frac{w}{H}$, и наоборот.

Во избежание получения вместо сброса породы в тело перемычки выброса ее вверх, $\frac{w}{H}$ свыше 1,0 следует принимать лишь при показателе выброса n более 1,25.

При усиленных зарядах с показателем выброса n более 1,0 зарядов с $\frac{w}{H}$ менее 0,8 следует избегать, так как в этом случае увеличенный заряд бросает на значительное расстояние лишь нижнюю часть породы, а верхняя часть ее обрушается на месте.

3. Определение расстояний между зарядами

Определение расстояний между зарядами производится на основании «Правил технического ведения взрывных работ» треста Союзвзрывпром в зависимости от принятого показателя выброса по табл. 11.

Таблица 11

Показатель выброса n	1,0	1,5	2	При зарядах рыхления
Расстояние между зарядами a	$1,0 w$	$1,25 w$	$1,5 w$	От $0,8 w$ до $1,0 w$

w —длина наименьшего сопротивления

4. Расположение зарядов по высоте

Расположение зарядов по высоте в каждом отдельном случае должно определяться исходя из технического задания в зависимости от степени возможного нарушения берегов ниже отметки гребня сооружаемой перемычки.

Практически при массовых взрывах, произведенных на строительстве канала ГЭС № 1, для сооружения перемычек из лёссовых грунтов заряды закладывались на отметке гребня сооружаемых перемычек или выше их. При производстве взрывов на строительстве ГЭС № 3 заряды для сооружения перемычек закладывались значительно ниже отметок сооружаемых перемычек—на отметках горизонтов воды перекрываемого русла. При этом весь грунт, сбрасываемый в тело перемычек, предварительно увлажнялся до 20%, что способствовало смыканию трещин при действии взрыва.

Не рекомендуется закладывать заряды ниже отметки горизонта воды в перекрываемом русле, так как в этом случае пришлось бы встретиться с грунтовыми водами, затрудняющими процесс зарядки.

5. Определение величин зарядов

Определение величины зарядов при сооружении перемычек производится по формуле (28).

При взрывах, проводимых в лёссовых грунтах и суглинках при сооружении перемычек, коэффициент k принимался равным от 1,3 до 1,5 кг/м³.

Определение показателя выброса n имеет при подсчете величины зарядов решающее значение и влияет на величину заряда, от него зависит дальность броска, количество сброшенной с берега в сооружение породы. Чем больше принятое значение показателя выброса, тем больше дальность отброса породы и процент сброса породы с обрушаемого берега.

В практике строительства перемычек, ввиду небольшой ширины перекрываемых русел, показатель выброса, как правило, принимался равным $n=1,25$.

Исключение представляет лишь завал понура на ГЭС № 1, где показатель выброса n для второго ряда зарядов принимался равным 1,5—1,75, что и дало возможность получить наибольшую дальность броска породы.

Не исключена возможность, что в отдельных случаях потребуются применение показателя выброса выше применявшегося до настоящего времени.

При определении величин зарядов второго и третьего рядов, предназначенных для компенсирования грунта, выброшенного предыдущими рядами зарядов, показатель выброса может быть принят равным единице.

6. Очередность взрывания зарядов

Очередность взрывания зарядов в каждом отдельном случае должна определяться в зависимости от поставленных задач.

В практике проведенных работ, как правило, применялся следующий порядок взрывания.

1. При одновременном (в один день) сооружении двух перемычек (верховой и низовой) первоначально взрывались заряды верховой перемычки и после спада воды взрывались заряды на низовой перемычке.

Такая очередность создания перемычек была обусловлена опасением возможного разрушения низовой перемычки водяным тараном, образуемым при падении породы в преграждаемое русло.

2. При двухрядном и трехрядном расположении зарядов ряды зарядов взрывались ряд за рядом через 2—5 сек., начиная от ряда, расположенного ближе к груди забоя. Этот порядок взрывания вызывается тем, что при одновременном взрывании первые ряды зарядов будут своим действием понижать эффективность действия зарядов последующих рядов, препятствуя полету породы в нужном направлении.

В том случае, если 2-й и 3-й ряд зарядов предназначены для компенсации грунта, выброшенного предыдущими рядами, они могут взрываться одновременно с первым рядом.

7. Определение объемов обрушаемой и сбрасываемой в тело перемычки породы

Определение взорванного объема производится с учетом формы обрушения в поперечном сечении в виде трапеции, причем за тыльную сторону трапеции принимается радиус действия заряда, подсчитываемый по формуле:

$$R = w \sqrt{1 + n^2}, \quad (82)$$

где n — показатель выброса;
 R — радиус действия заряда в м;
 w — л.н.с. в м.

Процент сброса породы к обрушаемому объему зависит, главным образом, от принятого показателя горна, а также от контура и геологического строения берегов. При проектировании, процент сброса породы с показателем выброса $n=1,25$ принимался в размере 50% от общего объема обрушаемой породы.

Данные о фактически уложенных объемах грунта по отношению к обрушаемому объему ($V : V_1$) приводятся в табл. 12.

Таблица 12

Наименование объектов	$V : V_1$
Канал	0,5
ГЭС № 1, низовая перемычка	0,62
Понур ГЭС № 1	0,55
Перемычка на реке	0,32
ГЭС № 3, низовая перемычка	0,62
ГЭС № 3, верховая перемычка	0,5
Плотина на овраге	0,7

V — фактически сброшенный объем в тело перемычек;
 V_1 — фактически обрушенный объем.

8. Определение высот перемычек

Из анализа практических данных, полученных при сооружении перемычек, видно, что между высотами перемычек и л. н. с., а также между шириной перемычек и л. н. с. можно установить некоторую зависимость; соответствующие данные приведены в табл. 13.

Наименование объектов	$h : w$				$L : w$			
	при однократн. взрывании	При двухкратном взрывании			при однократн. взрывании	При двухкратном взрывании		
		по отношению к л.н.с. второго разряда	по отношению к сумме л.н.с. первого и второго разряда	средние данные		по отношению к л.н.с. второго разряда	по отношению к сумме л.н.с. первого и второго разряда	средние данные
ГЭС № 3								
Верховая перемычка	0,58	—	—	—	2,8	—	—	—
Низовая перемычка	0,73	—	—	—	3,2	—	—	—
Перекрытие оврага	0,92	—	—	—	3,1	—	—	—
Канал, верховая перемычка	—	0,82	0,56	0,68	—	3,4	2,2	2,8
ГЭС № 1								
Низовая перемычка	—	0,76	0,50	0,68	—	3,7	2,6	3,1
Верховая перемычка	—	0,69	0,41	0,55	—	3,4	2,1	2,8
Завал понура	—	0,85	0,52	0,68	—	4,3	2,6	3,4
Перемычки на реке	0,62	—	—	—	2,1	—	—	—
Средние данные по всем объектам	0,64	0,78	0,5	0,64	2,7	3,7	2,4	3,0

h —высота перемычки;

L —расстояние от центра заряда до наиболее удаленной точки перекрытия по направлению л.н.с. в м.

Из табл. 13 видно, что имеются некоторые отклонения от средних данных, объясняемые следующими причинами:

а) увеличенным показателем выброса n (от 1,5 до 1,75), принятым при определении величин зарядов при завале понура на ГЭС № 1, вместо принимаемого в среднем 1,25;

б) использованием

при сооружении перемычек вогнутого рельефа местности, позволяющего концентрировать направление броска породы в тело низовой перемычки ГЭС № 3 и особенно на перекрытии оврага.

Исходя из зависимости n и L по отношению к л. н. с. и показателя выброса $n=1,25$, ориентировочное определение высоты можно производить по данным, указанным в табл. 13.

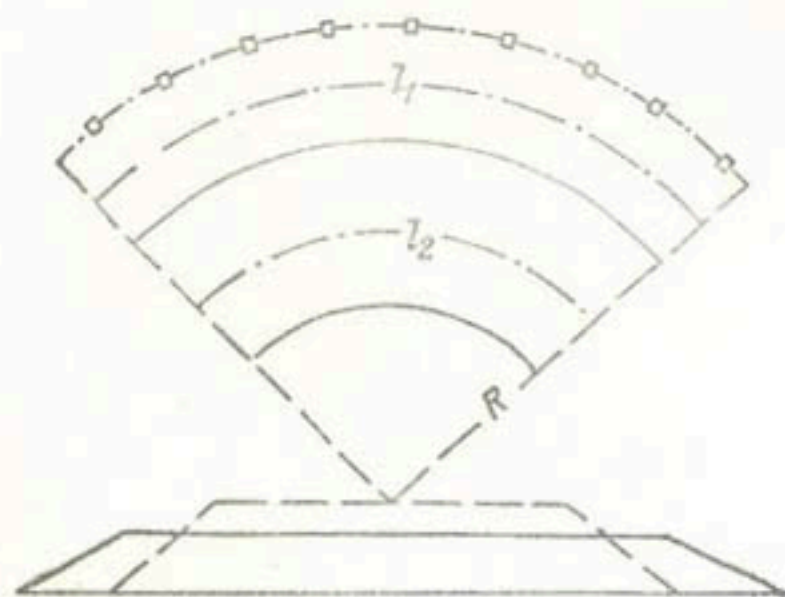


Рис. 52. Расчетная схема учета влияния вогнутости берега на высоту перемычки

9. Влияние вогнутости обрушаемого берега на высоту перемычки

Изучение опыта постройки перемычек взрывным способом убеждает в том, что вогнутость берега позволяет получить более высокие перемычки за счет концентрации потока сбрасываемой породы.

Влияние вогнутости берега может учитываться на основании соотношения длины кривой берега к длине кривой, проходящей по оси перемычки $\frac{l_1}{l_2}$ (см. рис. 52).

XI. ПРОИЗВОДСТВО ВЗРЫВА «НА ВЫБРОС» ГРУНТА В ТЕЛО ЗЕМЛЯНОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ

1. Общие условия

Земляные работы взрывом «на выброс» или «сброс» с целью укладки грунта в плотины и перемычки должны выполняться по разработанным проектам с учетом ряда условий и в соответствии с «Правилами технического ведения взрывных работ, производимых на дневной поверхности¹». О произведенных взрывах должны составляться технические отчеты.

Для взрывных работ следует пользоваться только взрывчатыми веществами (ВВ) и средствами взрывания (СВ), допущенными к применению правилами безопасности².

В отдельных случаях, по согласованию с технической инспекцией и с разрешения организации, ведущей взрывные работы, допускаются к применению и непромышленные сорта ВВ (а также отходы ВВ). Применение непромышленных сортов и отходов ВВ производится на основе специальных инструкций или указаний.

Для размещения зарядов внутри взрываемого грунта служат камеры, пройденные из шурфов или штолен, а также используются котловые скважины.

Перед заряджением камер и котловых скважин следует проверить, отвечает ли их расположение и размеры — глубина и сечение — заданным проектом.

В остальном при производстве работ взрывным способом следует учитывать условия, изложенные в указанных выше «Правилах».

При производстве взрывных работ с целью укладки грунта в тело плотин, дамб или перемычек в основном применяется метод

¹ Стройиздат Наркомстроя, 1945.

² См. Правила безопасности при ведении взрывных работ на дневной поверхности, Стройиздат, 1946.

камерных зарядов. В отдельных случаях могут применяться и котловые скважины.

Для размещения камерных зарядов во взрываемом грунте проходятся шурфы или штольни, из которых проходятся необходимые камеры.

Заряды располагаются в 1 или 2 и даже 3 ряда параллельно берегу реки (лога) при большом распластанном профиле сооружения и по дуге—в случае сжатого профиля сооружения.

При работах взрывным способом следует иметь в виду, что эффективное действие зарядов при однорядном расположении их достигается при удалении зарядов от откоса берега на $0,9 h$ (где h — глубина заложения зарядов).

При отсутствии дугообразного очертания берега реки (лога) нужное очертание ему может быть придано вспомогательными взрывами. Производство таких взрывов можно осуществлять как до взрывания основных зарядов, так и одновременно с ними, однако взрыв основных зарядов должен производиться с отставанием на 2—6 сек.

Расчет зарядов производится по формуле (28). Величина удельного расхода $BV k$ зависит от свойств BV и взрываеваемой породы и принимается согласно табл. 14.

При наличии в грунтах верхнего промерзшего слоя вес заряда увеличивается на 10—20%. При этом, чем больше h по сравнению с толщиной промерзшего слоя, тем меньше процент увеличения заряда.

Данные табл. 14 могут быть объединены приближенной зависимостью. Основой для установления такой зависимости является следующее.

Скорости, сообщаемые при взрыве, должны быть тем больше, чем меньше плотность среды. При этом радиус разрушений и соответствующие размеры воронок увеличатся. Это приведет к уменьшению коэффициента k . Кроме этого, уменьшение плотности среды обычно связано с уменьшением взаимного контакта частиц и со снижением прочности. Это также приводит к уменьшению k . Таким образом, как правило, при уменьшении плотности и объемного веса γ должен также уменьшаться коэффициент k .

График, приведенный на рис. 53, построенный по данным табл. 14, подтверждает правильность такого допущения. Эмпирическая кривая, объединяющая на этом графике экспериментальные точки, может быть выражена формулой:

$$k = 0,4 + \left(\frac{\gamma}{2100} \right)^2. \quad (83)$$

Здесь k и γ выражены в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Формула (83) может служить для вычисления коэффициента k , когда имеющийся грунт не входит в соответствующую таблицу.

Расстояние от груди забоя выбирается в зависимости от соотношения $\frac{w}{H} = 0,9 : 1,0$ с учетом обеспечения взрывом требуемых размеров плотины, перемычки или дамбы.

В случае недостаточного объема взрываваемой породы для сооружаемого объекта иногда целесообразно произвести заблаговременное наращивание берега по высоте.

За л. н. с. (w) заряда принимается расстояние от намеченного центра заряда до обнаженной поверхности по нормали.

При однорядном расположении зарядов показатель горна n обычно принимается равным от 1,0 до 2,0 в зависимости от требуемой дальности выброса породы и от расположения заря-

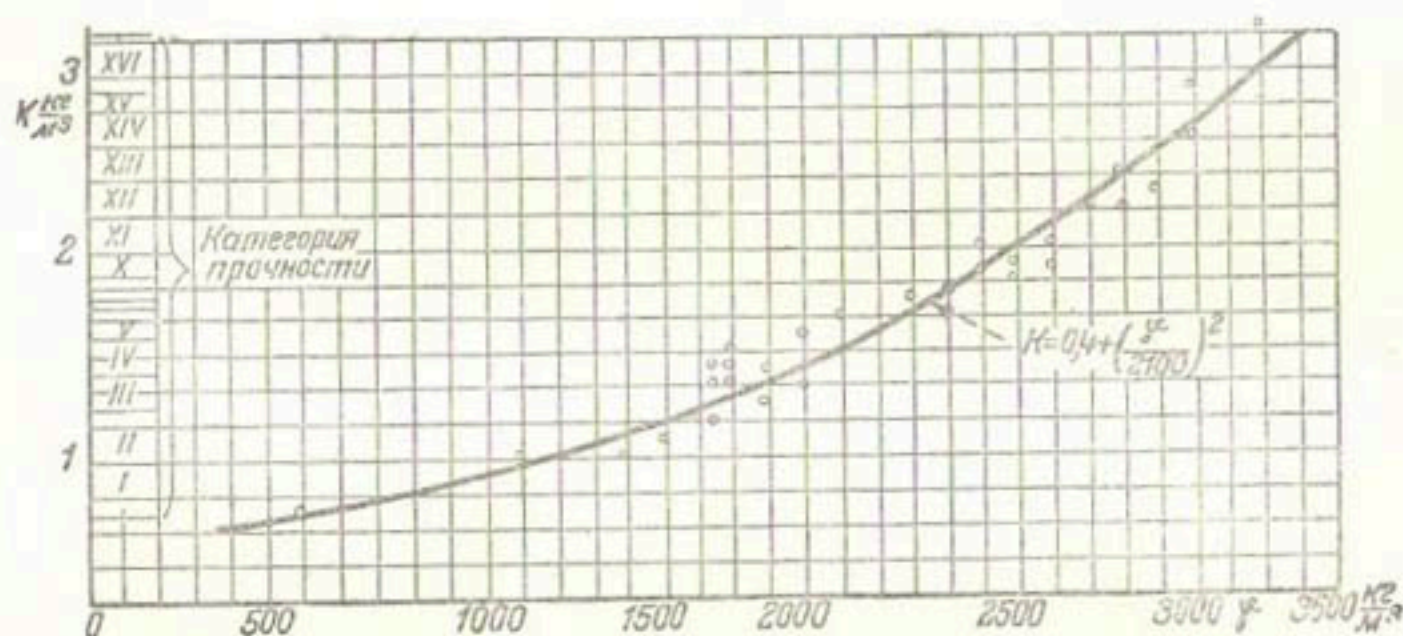


Рис. 53. График зависимости коэффициента k от объемного веса и категории прочности грунта

дов в высотном отношении над гребнем сооружаемой плотины или перемычки.

Расстояния между зарядами a в зависимости от выбранных значений n и w принимаются в следующих пределах:

$$\begin{aligned} \text{при } n &= 1,0, & a &= 0,90 \, w, \\ & n = 1,5, & a &= 1,25 \, w, \\ & n = 2,0, & a &= 1,5 \, w. \end{aligned}$$

При расположении зарядов в 2 ряда заряды должны быть расположены один против другого. При расположении трех рядов заряды 2-го ряда располагаются в промежутках между зарядами крайних рядов. Для зарядов, последующих за первым от откоса рядом, значение n принимается на 0,5 больше и для зарядов третьего ряда n — на 0,5 больше зарядов второго ряда.

При расположении зарядов в несколько рядов, когда центры зарядов находятся значительно ниже гребня сооружаемой плотины, показатель горна заднего ряда не должен превышать $n=1,5$.

Средний объемный вес грунта γ и соответствующие значения коэффициента k для заряда нормального выброса

Категория грунта	№ грунта	Наименование грунта	Средний объемный вес грунта в есте- ственном со- стоянии γ в кг/м ³	Числовое значение k в кг/м ³
	2	3	4	5
I	1	Песок	1 500	0,80
	2	Супесок	1 600	0,90
	3	Растительный грунт	1 200	0,80
	4	Торф	600	0,50
II	1	Легкий и лёссовидный суглинок	1 600	0,90
	2	Влажный, рыхлый лёсс, мягкий солончак и сланец	1 600	0,90
	3	Гравий мелкий и средний до 15 мм	1 700	1,0
	4	Плотный растительный грунт с корнями и травой	1 400	0,85
	5	Торф и растительный грунт с корнями диаметром до 30 мм	1 100	0,80
	6	Песок и растительный грунт, смешанный со щебнем, галькой и щепой	1 650	0,90
	7	Насыпной слежавшийся грунт с примесью щебня или гальки	1 750	1,0
	8	Супесок с примесью щебня, гальки и строительного мусора	1 900	1,1
III	1	Жирная мягкая глина, в том числе юрская и моренная	1 800	1,2—1,3
	2	Тяжелый суглинок	1 750	1,2—1,3
	3	Гравий крупный, галька и щебень крупностью от 15 до 40 мм	1 750	1,2
	4	Сухой лёсс и лёсс естественной влажности, смешанный с гравием или галькой	1 800	1,2—1,3
	5	Растительная земля или торф с корнями диаметром более 30 мм	1 400	0,9—1,0
	6	Суглинок, смешанный со щебнем или галькой и строительным мусором	1 900	1,1—1,3
IV	1	Тяжелая домовая глина, в том числе твердая юрская и мягкая карбоновая	1 950	1,2—1,5
	2	Жирная глина и тяжелый суглинок с примесью щебня, гальки и строительного мусора и булыг весом до 25 кг с содержанием булыг до 10%	1 950	
	3	Моренная глина с валунами весом до 50 кг при наличии валунов до 10% по объему	2 000	
	4	Сланцевая глина	2 000	
	5	Крупная галька размером до 90 мм чистая или с примесью булыг весом до 10 кг.	1 950	

Категория грунта	№ грунта	Наименование грунта	Средний объемный вес грунта в есте- ственном со- стоянии γ и кг/м ³	Числовое значение k в кг/м ³
1	2	3	4	5
IV	1	Плотный отвердевший лёсс и отвердевший солончак	1 800	1,4—1,6
	2	Цементировавшийся строительный мусор	1 850	
	3	Металлургические неветрившиеся шлаки	1 500	
	4	Мергель мягкий и опоки	1 900	
	5	Дресва	1 800	
	6	Морена с валунами до 50 кг, при наличии их более 10% и до 30% по объему	2 100	
V	7	Трепел и мягкие меловые породы	1 550	1,4—1,6
	8	Твердая карбоновая глина	1 950	
	9	Конгломерат слабо цементированный	1 900—2 000	
	12	Сланцы разные, некрепкие	2 000	
	13	Гипс	2 200	
VI	1	Туф и пемза	1 100	1,6—1,65
	2	Известняк мягкий, пористый, сильно трещиноватый и ракушечник	1 200	
	3	Мел плотный	2 600	
	4	Антрацит	1 500	
	5	Сланцы средней крепости	2 700	
	6	Мергель средней плотности	2 300	
VII	1	Конгломерат с галькой из осадочных пород на известковом цементе	2 200	1,6—1,7
	2	Песчаник глинистый, выветренный, сильно трещиноватый	2 000	
	3	Сланец глинистый крепкий	2 800	
	4	Мергель крепкий	2 500	
VIII	1	Гранит дресвяный	2 300	1,65—1,75
	2	Известняки мергелистые	2 300	
	3	Песчаник глинистый	2 200	
	4	Сланцы слюдяные и глинистые	2 300	
	5	Ангидрид	2 900	
IX	1	Гранит, гнейс, сиенит, мягкие сильно выветренные	2 500	1,75—1,85
	2	Змеевик сталькованный	2 400	
	3	Известняк плотный	2 500	
	4	Конгломерат с галькой из осадочных пород на кремнистом цементе	2 500	

Категория грунта	№ грунта	Наименование грунта	Средний объемный вес грунта в есте- ственном со- стоянии γ в кг/м ³	Числовое значение k в кг/м ³
1	2	3	4	5
X	1	Доломит	2 700	1,80—2,0
	2	Известняк крепкий	2 700	
	3	Мрамор	2 700	
	4	Песчаник плотный на известковом цемен- те	2 600	
	5	Сланец песчаный крепкий	2 600	
XI	1	Гранит крупнозернистый	2 800	1,85—2,20
	2	Доломит весьма крепкий	2 900	
	3	Змеевик	2 600	
	4	Конгломерат с галькой из изверженных пород на известковом цементе	2 800	
	5	Песчаник крепкий на кварцевом цементе	2 700	
	6	Сиенит крупнозернистый	2 700	
XII	1	Андезит и базальт со следами выветри- вания	2 700	1,90—2,40
	2	Гнейс	2 600	
	3	Известняк весьма крепкий	2 900	
	4	Конгломерат с галькой изверженных по- род на кремнистом цементе	2 900	
	5	Трахит	2 600	
XIII	1	Гранит среднезернистый	3 100	2,0 —2,60
	2	Гнейс крепкий	2 800	
	3	Диабаз	2 700	
	4	Порфирит	2 700	
	5	Трахит крепкий	2 800	
	6	Сиенит среднезернистый	2 800	
XIV	1	Гранит мелкозернистый весьма крепкий	3 300	2,10—2,80
	2	Гранит-гнейс	2 900	
	3	Диорит	2 900	
	4	Известняк высшей крепости	3 100	
	5	Порфирит крепкий	2 700	
XV	1	Андезит, базальт, роговик крепкий	3 100	2,20—2,90
	2	Диабаз, диорит высшей крепости	2 900	
	3	Габбро и кварцит крепкие	2 800	
XVI	1	Базальт лабрадорский и оливиновый	3 300	2,30—3,25
	2	Габбро-диабаз, кварцит и порфирит исклю- чительно крепкие	3 300	

При значительных расходах воды в реке для уменьшения этого расхода в момент основного взрыва рекомендуется там, где это возможно, выше сооружаемой плотины или перемычки перекрыть реку взрывным способом хотя бы на несколько десятков секунд.

При многорядном расположении зарядов и взрывании их последовательно друг за другом шурфы должны быть расположены так, чтобы взрыв зарядов одного ряда не мог разрушить устья шурфов следующего ряда. Ряды взрывают последовательно один за другим с интервалом от 2 до 6 сек.

Насыпь плотины или перемычки заданного профиля из грунта можно получить взрывами зарядов, расположенных в берегах реки или лога таким образом, чтобы при взрыве могла образоваться воронка, по объему превосходящая на 30—50% объем плотины или перемычки.

Для окончательного решения вопроса о величинах и расположении зарядов перед большими взрывными работами рекомендуется проводить опытные взрывы в уменьшенном объеме и в условиях, аналогичных проектируемому взрыву.

2. Метод камерных зарядов

Объемы зарядных камер, требующиеся для помещения зарядов, рассчитываются с учетом объема ВВ и тары, плотности ВВ и объема крепежного и изолирующего материала (толь, доски, мешковина и пр.).

Расчет производится по формуле:

$$V_c = k_v \frac{C_{вз}}{\rho_{вв}}, \quad (84)$$

где V_c — объем требуемой зарядной камеры в м^3 ;
 k_v — коэффициент, который колеблется в пределах 1,1—1,9 и определяется в каждом отдельном случае с учетом действительных объемов крепежного материала, тары и изоляции;
 $C_{вз}$ — вес заряда;
 $\rho_{вв}$ — плотность ВВ.

Камерам должна придаваться форма, возможно близкая к кубической. При весе заряда, превышающем 20 т, камере может придаваться форма прямоугольного параллелепипеда, крестовая, Т-образная и др. В этих случаях форма камеры должна быть проверена по коэффициенту сосредоточенности заряда:

$$k_{сз} = \frac{0,62 \sqrt[3]{V_c}}{R_n}, \quad (85)$$

где V_c — потребный объем камеры в м^3 ;

R_n — расстояние от центра заряда до наиболее удаленной точки в м .

Избранная форма зарядной камеры и линейные размеры последней считаются приемлемыми, если значение коэффициента k_{ca} не менее 0,41.

При наличии в опасной зоне ответственных зданий и сооружений количество ВВ, которое может быть взорвано в один прием без ущерба для этих сооружений, определяется при помощи табл. 15.

3. Метод котловых скважин

Метод котловых скважин состоит во взрывании сосредоточенных зарядов, размещаемых в котлах, образуемых прострелкой скважин.

Котловые скважины применяются в случаях, если сопротивление по подошве уступа настолько велико, что заряд, помещенный в нижней части скважины, не в состоянии преодолеть это сопротивление.

Скважины простреливаются на уровне подошвы уступа или ниже его и в полученные котлы помещаются заряды, достаточные для преодоления сопротивления по подошве уступа.

Когда котловые скважины применяются во влажных грунтах, обязательно применение негигроскопических ВВ, например, тола.

Расположение котловых скважин и расчет зарядов производятся так же, как и при камерных зарядах.

Скважины, подлежащие простреливанию, должны быть пробурены ниже красной отметки (подошвы уступа или траншеи). Длина перебура, число прострелов, величина заряда и забойки для каждого простреливания должны определяться опытным путем. По результатам опытных работ составляется рабочая инструкция по простреливанию скважин для данного объекта.

При прострельных работах заряды помещаются в скважине патронами и россыпью; взрывание этих зарядов производится патронами-боевиками.

Простреливание скважин может производиться огневым способом, электровзрыванием и детонирующим шнуром.

При простреливании огневым способом длина воспламеняющей трубки должна быть не менее глубины простреливаемой скважины и во всяком случае не менее 1 м. После каждого прострела скважина замеряется и при необходимости очищается.

При заряджении котла боевики должны быть опущены в него после засыпки первой половины заряда.

В случаях, когда требуется большее дробление грунта по всей высоте уступа, в скважину поверх котла помещается дополнительный заряд (колонковый). При этом необходимо, что-

бы суммарный заряд не превышал расчетной величины заряда выброса.

4. Организационные и другие указания по проведению работ при методе камерных зарядов

Места расположения зарядов намечаются на местности при помощи инструментальной съемки и проверяются руководителем взрывных работ.

При взрывании «на выброс» грунта в тело плотины или перемычки ось сооружения разбивается и закрепляется на местности. Соответствие положения оси на местности проекту фиксируется специальным актом с обязательным участием представителей проектной и строительной организаций.

По окончании проходки фактическое расположение шурфов и котловых скважин фиксируется на чертежах на основе инструментальной съемки независимо от наличия или отсутствия отклонений от проекта.

Если взрывной участок для ускорения заряжения разделяется на отдельные секции (группы), то непосредственное руководство зарядкой камер в каждой секции и ответственность за эту работу возлагается на специально выделенных начальников секций.

При проведении эпизодических взрывов начальники секций до начала заряжания должны лично проверить размер и готовность зарядных камер и принять их по акту.

В случае, если будет обнаружено, что объем зарядных камер меньше проектного, должны быть немедленно приняты меры для доведения объемов их до проектных путем увеличения длины камер.

Взрывнику перед заряжением должна быть вручена схема расположения ВВ и боевиков в камере.

Допуск в охраняемую зону производится по специальным пропускам, выдаваемым руководителем взрывных работ или с его разрешения.

Пути для доставки ВВ к шурфам от склада должны быть подготовлены заблаговременно так, чтобы по возможности избежать встречных движений.

В случае организации на месте работ склада кратковременного хранения взрывных материалов назначается заведующий этим складом для руководства отгрузкой и ведения учета этих материалов.

На поверхности у устья шурфов устраиваются специальные площадки для размещения ВВ, предназначенных к заряжению.

На каждой площадке возле шурфов должно быть достаточное количество брезентов или толя для укрытия ВВ на случай дождя.

Если для заряжания через шурф должно быть пропущено до 5 т ВВ, то все потребное количество его должно быть уложено на площадке до начала заряжания. При потребности же более 5 т ВВ первые 5 т укладываются на площадке до начала заряжания, а последующие доставляются к шурфам в процессе заряжания.

Спуск в шурфы взрывников и подсобных рабочих должен производиться при помощи воротков, оборудованных тормозами (в резерве следует иметь при шурфе веревочную лестницу), а при неглубоких шурфах (до 5 м) — по веревочным или деревянным лестницам.

При наличии в шурфе зумпфа последний должен быть перекрыт прочным деревянным настилом на уровне подошвы камеры.

Дно шурфа (или настил над зумпфом) перед началом заряжания должно быть устлано толем.

Возле каждого шурфа устанавливается табличка с указанием номера заряда и веса его, а при нескольких сортах ВВ — веса каждого сорта ВВ в заряде.

Для подачи ВВ в камеры могут быть использованы следующие способы:

1) при зарядании камер через шурфы укупоренными ВВ спуск ВВ производится при помощи воротков или на веревках;

2) при зарядании камер через шурфы насыпью спуск ВВ производится в мешках, в специальных ящиках-лотках или в бадьях. При весе заряда более 3 т — через специально установленные по всей высоте шурфа трубы сечением 0,2×0,2 м или через брезентовые рукава. В верхнюю часть трубы вставляется воронка, а под трубой устанавливается приемный наклонный (в сторону камеры) лоток. Для ликвидации в трубе пробок из ВВ через трубу до начала заряжания должна быть пропущена веревка с узлами;

3) при зарядании камер через штольни подачу ВВ (в зависимости от веса заряда, сечения штольни и удобства работ) производят носилками, тачками, салазками или «живым конвейером».

Если заряд состоит из нескольких видов ВВ, то ВВ с наибольшей скоростью детонации должны быть помещены в центре заряда (камеры).

Тара, освобождающаяся от ВВ, должна тщательно очищаться от остатков ВВ и убираться на заранее отведенные места за пределы возможного выброса породы от взрыва.

Если в шурфах находятся электромоторы для насосов, то перед опусканием в зарядные камеры боевиков с электродетонаторами электромоторы и подводящие провода должны быть удалены.

Если в данном шурфе невозможно обойтись без непрерывного откачивания воды и центробежные насосы нельзя заменить какими-либо другими, электровзрывание заряда этого шурфа не допускается.

Боевики должны иметь жесткую оболочку в виде деревянного ящика или железной банки с отверстием, окаймленным тупыми краями, для пропуска детонирующего шнура или проводов электродетонаторов.

При электровзрывании в качестве инициаторов в центре боевика помещается один или два электродетонатора с прикрепленными к ним изоляционной лентой 5—6 капсюлями-детонаторами.

При бескапсюльном взрывании детонирующим шнуром таким инициатором является сложенный в несколько раз конец детонирующего шнура с завязанными узлами.

К проводам электродетонатора внутри боевика должны быть прикреплены планки, предохраняющие провода от выдергивания из боевика.

К каждому готовому боевику прикрепляется ярлык (бирка), на котором указывается номер боевика, номер заряда, для которого предназначен боевик, а при электровзрывании — и омическое сопротивление электродетонатора с концевиками в боевике.

Количество боевиков, размещаемых в камере, должно быть не менее двух. Боевики вносятся в камеры в готовом виде и помещаются в центре заряда.

Контрольные проверки боевиков и электровзрывных сетей должны производиться согласно специальной инструкции.

Провода от боевиков и детонирующий шнур выводятся на поверхность в закрытых деревянных желобах, трубах и т. п.

Провода и детонирующий шнур от боевиков до желобов должны быть обернуты несколькими слоями пергаментной бумаги.

По окончании заряжания камеры должны быть закрыты плотными деревянными щитами или досками, укрепляемыми распорками в противоположную стену шурфа или штрека. Закрывание камер и последующая забойка выработок производятся только с разрешения технического руководителя взрывных работ.

Забойка шурфов и штолен производится по всей длине, причем первые 2—3 м от заряда — песком или землей, на остальном же протяжении — породой, вынутой при проходке выработок.

Забойка шурфов выполняется свободным сбрасыванием забоечного материала в шурфы; забойка штолен и других горизонтальных выработок — плотной укладкой забоечного материала вручную.

Радиусы опасных зон для людей и механизмов при взрывании камерных зарядов «на выброс» определяются в зависимости от $л$, $н$, $с$, $ш$ и показателя взрыва n по табл. 15.

Минная станция должна находиться в безопасной зоне или помещаться в укрытии, устройство которого должно гарантировать безопасное пребывание в нем людей.

После подведения к минной станции проводов от источника тока у минной станции выставляется охрана.

Значение радиусов опасных зон при производстве взрывов на выброс (в м)

Величина л. п. с. w	Для людей					Величина л. п. с. w	Для механизмов				
	Значение показателей действия взрыва n						Значение показателей действия взрыва n				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1,5	200	300	350	400	400	1,5	100	150	250	300	300
2,0	200	400	500	600	600	2,0	100	200	350	400	400
4,0	300	500	700	800	800	4,0	150	250	500	550	550
6,0	300	600	800	1 000	1 000	6,0	150	350	550	650	650
8,0	400	600	800	1 000	1 000	8,0	200	300	600	700	700
10,0	500	700	900	1 000	1 000	10,0	250	400	600	700	700
12,0	500	700	900	1 200	1 200	12,0	250	400	700	800	800
15,0	600	800	1 000	1 200	1 200	15,0	300	400	700	800	800
20,0	700	800	1 200	1 500	1 500	20,0	350	400	800	1 000	1 000
25,0	800	1 000	1 500	1 800	1 800	25,0	400	500	900	1 000	1 000
30,0	800	1 000	1 700	2 000	2 000	30,0	400	500	1 000	1 200	1 200

Примечание. Таблица составлена с учетом практических данных, заимствованных из технических отчетов о произведенных в разное время Союзвзрывником массовых взрывах.

В помещение минной станции допускается только начальник минной станции и лица по его указанию.

Боевой рубильник минной станции должен быть закрыт специальной крышкой, запирающейся на замок, ключ от которого должен находиться только у начальника минной станции.

При одновременном взрывании большого количества ВВ (более 100 т) должна быть учтена газоопасность взрыва.

К разрешению вопроса о величине зоны газоопасности должны быть привлечены специалисты.

Взрывание камерных зарядов должно производиться в дневное время для возможности наблюдения момента взрыва и осмотра результатов взрыва до наступления темноты.

Ликвидация невзорвавшихся зарядов должна производиться согласно специальной инструкции.

ХII. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

В результате применения массовых взрывов для заграждения водных потоков достигается следующий производственный и экономический эффект: сокращаются сроки строительства, повышается производительность труда, высвобождается квалифицированная рабочая сила и механизмы.

Не говоря о сроках сокращения строительства самих перемычек, сооружаемых взрывным способом, по сравнению с други-

ми методами их возведения, необходимо сказать, что для заграждения водных потоков взрывами не требуется продолжительного маловодного периода, который необходим при всех прочих методах, а потому при применении взрывов сроки строительства плотин и объектов в целом сокращаются иногда на полный сезон.

В ряде случаев при применении взрывного метода строительство может быть проведено без предварительного устройства временных водоотводных каналов, без сооружения временных дамб и перемычек и различных подготовительных работ. В некоторых условиях можно путем взрыва перегораживать весьма быстрые и глубокие реки, если они текут между достаточно крутыми берегами. Такой прием, в частности, может оказаться незаменимым в аварийных случаях. Водосброс может быть осуществлен при помощи сборного сифонного водослива из металлических труб.

Практически за счет применения массовых взрывов на заграждениях водных потоков сроки строительства сокращены:

- а) по каналу — на 5 месяцев
- б) . ГЭС № 1 — „ 3 месяца
- в) . ГЭС № 3 — „ 10 месяцев
- г) . водохранилищу — „ 3 года

За счет сокращения срока строительства на указанных объектах наше народное хозяйство получило свыше 100 млн. квт-ч дополнительной энергии.

Применение массовых взрывов при сооружении перемычек приводит к сокращению потребной рабочей силы в десятки и даже сотни раз и сопровождается соответствующим повышением производительности труда.

Данные, иллюстрирующие это положение, приведены в табл. 16.

Таблица 16

Наименование объектов	Потребная рабочая сила в чел.-днях		Сокращение рабочей силы
	при обычных способах	при массовых взрывах	
Канал	15 000	180	В 84 раза
ГЭС № 1			
Верховая перемычка . . .	25 000	300	„ 83 „
Низовая перемычка . . .	20 000	310	„ 70 „
ГЭС № 3			
Верховая перемычка . . .	30 000	270	„ 110 „
Низовая перемычка . . .	25 000	540	„ 50 „
Водоохранилище	160 000	1 100	„ 145 „

Эти данные не учитывают еще того, что при взрывном методе сооружения перемычек глубина обводных каналов уменьшается, или, в отдельных случаях, надобность в них отпадает совершенно.

При постройке плотин и перемычек взрывным способом надобность в квалифицированной рабочей силе для отбойки и удаления породы и для обслуживания механизмов водоотлива отпадает.

Применение массовых взрывов для устройства гидротехнических насыпей ведет к значительному сокращению трудоемких работ. Совершенно отпадает потребность в экскаваторах, автосамосвалах, транспортерах и других тяжелых механизмах.

Затраты строительных материалов, а главное, транспортных средств для их перевозки сокращаются почти полностью.

Только на одной ГЭС № 3 от применения массовых взрывов на заграждении водного потока получена экономия в 1,1 млн. руб. Эта сумма складывается из экономии на перемычке в сумме 400 тыс. руб. и за счет удешевления комплекса сооружения узла — 700 тыс. руб.

Экономия около 1 млн. руб. получена также на строительстве ГЭС № 1, до 1 млн. рублей на постройке водохранилища.

ВЫВОДЫ

На основании теоретических исследований и данных о практическом использовании направленного выброса грунта массовыми взрывами можно сделать следующие выводы.

1. Путем соответствующего расположения зарядов у откоса грунта или вблизи воронки, создаваемой предварительно взрывом вспомогательного заряда, возможно обеспечить управление направлением и дальностью выброса грунта при взрыве.

2. Это управление основано на том, что энергия взрыва передается преимущественно той части массива грунта, которая расположена вблизи линии наименьшего сопротивления и может рассматриваться как своеобразная форма кумуляции, имеющая существенное практическое значение при направленном выбросе грунта взрывом.

3. Такой способ управления действием взрыва в грунте основан на общих свойствах движения плотных сред под действием взрыва и может считаться основным приемом для получения направленного выброса при взрыве.

4. Если направленный выброс применяется в достаточно больших масштабах и падающие массы грунта имеют сравнительно большие скорости, то они уплотняются при падении в такой мере, что могут удовлетворить требованиям, предъявляемым к грунтам, укладываемым в земляные плотины.

5. Практическое использование направленного выброса грунта массовыми взрывами, основанное на изложенных теоретических предпосылках, показывает, что этот способ коренным образом изменяет весь характер строительства гидротехнических и иных земляных сооружений, сокращая сроки работ и почти совсем избавляя от применения сложных механизмов.

6. На основании полученных результатов следует признать необходимым всемерное расширение применения этого способа для строительства различных земляных сооружений, особенно при осуществлении постановления ЦК ВКП(б) и Совета Министров СССР «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и во-

доемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР». Метод возведения гидротехнических насыпей направленными взрывами может найти также применение на великих стройках коммунизма—Куйбышевской и Сталинградской ГЭС, Главного Туркменского канала, Каховской гидростанции, Южно-Украинского и Северо-Крымского каналов.

7. На основании имеющегося опыта предотвращения катастрофы при паводке на одной реке можно считать, что направленный выброс грунта взрывом является незаменимым приемом при ликвидации подобных аварий на гидротехнических сооружениях.

8. Учитывая значение направленного выброса грунта в гидротехническом строительстве, сложность явлений, происходящих при этом, многообразие технических требований и местных геологических и топографических условий, следует считать, что затронутая здесь проблема пока изучена еще недостаточно. Поэтому необходимо в дальнейшем широко развернуть работы по исследованию многих нерешенных вопросов и в особенности вопросов об уплотнении грунта, о коэффициенте фильтрации, об осадке и других деформациях земляных гидротехнических сооружений, построенных с применением направленного взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Абелев, Строительные свойства лёссовидных грунтов, Сборник ВИОС № 5, 1935.
2. Н. Г. Арзиманов, Подводное взрывание с направленным выбросом, Речиздат, 1947.
3. С. Н. Блинов, Возведение земляных плотин в зимних условиях, Гидротехника и мелиорация № 1, 1949.
4. Водгёо, Инструкция по проектированию, возведению и эксплуатации насыпных земляных плотин, Стройиздат, 1944.
5. М. М. Гришин, Гидротехнические сооружения, Стройиздат, 1947.
6. В. С. Истомина и С. И. Федоров, Ускоренные и упрощенные способы исследования грунтов для гидротехнических сооружений, Стройиздат, 1945.
7. С. В. Клопов, О сооружении регулирующих плотин на горных реках методом завала, Известия АН СССР, № 10, 1949.
8. М. Н. Косачев, О расчетных элементах камерных зарядов при массовых обрушениях, Промстройиздат, 1948.
9. М. Н. Косачев, Применение массовых взрывов на выброс, Бюро технической информации, 1948.
10. М. Н. Косачев, Сооружение перемычек способом массовых взрывов «Механизация трудоемких и тяжелых работ» № 10, 1950.
11. А. А. Ничипорович и В. С. Истомина, Проектирование и постройка укатанных земляных плотин, Стройиздат, 1936.
12. Основы взрывного дноуглубления (Справочная книга), Речиздат, 1948.
13. Г. И. Покровский, Направленное действие взрыва, Воениздат, 1942.
14. Г. И. Покровский, О распределении скоростей при направленном взрыве, Доклад АН СССР, 1945.
15. Г. И. Покровский, Основы расчета зарядов, Воениздат, 1945.
16. Г. И. Покровский и И. С. Федоров, Исследование удара и взрыва в деформируемых средах, ч. III, Изд. ВИА, 1940.
17. Н. А. Саверин, Плотины малых гидроэлектростанций, Госэнергоиздат, 1949.
18. Союзвзрывпром, Правила безопасности при ведении взрывных работ на дневной поверхности, Стройиздат, 1946.
19. Союзвзрывпром, Правила технического ведения взрывных работ, производимых на дневной поверхности, Стройиздат, 1945.
20. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений, ВНИИГ, Стройиздат, 1941.
21. Технические условия и нормы проектирования гидросооружений, Госэнергоиздат, 1949.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
I. Введение	4
II. Основы техники направленного взрыва в грунтах	5
III. О влиянии полости при направленном выбросе грунта взрывом	6
1. Действие взрыва одиночного сосредоточенного заряда на грунты и горные породы	—
2. Полость в грунте или горной породе, находящаяся вне заря- да, как средство управления энергией взрыва	10
3. Определение критической скорости c_k для различных сред	13
4. Экспериментальная проверка основных положений теории	14
IV. Практические приемы расчета основных величин, характе- ризующих направленный взрыв в грунте	19
V. Расчет времени отставания взрыва основного заряда по от- ношению к взрыву вспомогательного заряда	30
VI. Направленное действие взрыва, обусловленное наличием выемки на поверхности грунта	34
VII. Об уплотнении при падении масс грунта, брошенных взры- вом	43
1. Теоретические соображения	—
2. Исследование плотности грунта насыпей, образованных взры- вом	47
VIII. Основные положения по проектированию и возведению зем- ляных гидротехнических сооружений взрывным способом	61
1. Область применения взрывного способа производства работ при возведении гидротехнических сооружений	—
2. Основные особенности и достоинства взрывного способа производства работ	64
3. Типы гидросооружений, изыскания и проектирование соору- жений, возводимых взрывным способом	—
4. Возведение земляных гидротехнических сооружений взрыв- ным способом	70
5. Дренажные устройства	71
6. Поперечный профиль земляной плотины	72
7. О расчете фильтрации через плотины, построенные при по- моши направленного взрыва	76

IX. Практическое применение направленных массовых взрывов	78
1. Перемычка на арыке	—
2. Перемычки плотины ГЭС № 1	80
3. Перемычки ГЭС № 3	83
4. Нарращивание набросной плотины	88
5. Сооружение плотины на овраге	91
6. Перемычка на реке	94
X. Основные положения по проектированию направленного взрыва для выброса грунта в гидротехнические сооружения	94
1. Определение количества рядов зарядов	—
2. Удаление зарядов от груди забоя	96
3. Определение расстояний между зарядами	97
4. Расположение 3 рядов по высоте	—
5. Определение величин зарядов	—
6. Очередность взрывания зарядов	98
7. Определение объемов обрушаемой и сбрасываемой в тело перемычки породы	99
8. Определение высот перемычек	—
9. Влияние вогнутости обрушаемого берега на высоту перемычки	101
XI. Производство взрыва „на выброс“ грунта в тело земляного гидротехнического сооружения	101
1. Общие условия	—
2. Метод камерных зарядов	107
3. Метод котловых скважин	108
4. Организационные и другие указания по проведению работ при методе камерных зарядов	109
XII. Техничко-экономические показатели	112
Выводы	115
Литература	117