

6
А-29

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

Ю. Я. САВЕЛЬЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ВЗРЫВОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ
НАД ПУСТОТАМИ

312. Открытая разработка и эксплуатация угольных, рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых

Автореферат
диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ФРУНЗЕ 1968

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

ОТДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи.

Ю. Я. САВЕЛЬЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ВЗРЫВОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ
НАД ПУСТОТАМИ

312. Открытая разработка и эксплуатация угольных, рудных и
нерудных месторождений полезных ископаемых

Автореферат

диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ФРУНЗЕ 1968

Введение

В пятилетнем плане развития народного хозяйства страны на 1966—1970 гг. большое значение придается росту горнодобывающей промышленности. Уже в 1965 г. на долю открытого способа разработки пришлось 65% от общей добычи руд цветных металлов, а к 1970 г. открытый способ будет обеспечивать 70% добычи. В перспективе удельный вес открытых горных работ значительно возрастет, а объем горной массы, отбитой с помощью буровзрывных работ, составит несколько млрд·м³.

Увеличение добычи руд будет в основном обеспечиваться за счет расширения действующих предприятий. Рост мощности горнорудных предприятий приводит к увеличению одновременно взрывааемых зарядов ВВ, веса которых уже к настоящему времени достигают 300 т и больше.

Как правило, промплощадки и жилые поселки действующих предприятий расположены на незначительном удалении от мест производства взрывных работ. В этих условиях интенсивность сейсмических колебаний при взрывах может достигать величин, опасных для зданий и сооружений. Это приводит к ограничению весов зарядов ВВ, что, в свою очередь, вызывает увеличение числа взрывов. Последнее осложняет технологию отработки месторождений и нередко является причиной простоев карьерно-транспортного оборудования.

Эффективным средством снижения сейсмического действия взрыва является коротко-замедленное взрывание и также инженерные методы защиты охраняемых объектов, как экранирование и щелеобразование, с помощью которых достигается снижение сейсмического эффекта взрыва в 2—3 раза.

Значительное снижение сейсмических колебаний было отмечено при проведении инструментальных наблюдений исследователями за прохождением сейсмических волн через трещины, сбросы, разломы, выемки, отработанные шахтные поля.

Уменьшение сейсмического действия взрыва в этом случае происходит в 4—6 раз. На ряде предприятий страны действующие карьеры производят выемку полезных ископаемых, оставленных в потолочинах, целиках, бортах камер. К числу таких предприятий относятся Лениногорское, Зыряновское, Норильское, Хайдарканское и другие.

При знании законов распространения сейсмических волн в таких горно-геологических условиях, отработанные выработки могли бы служить надежной защитой от сейсмического действия взрыва. На одном из крупнейших ртутных месторождений — Хайдарканском, промышленные площадки шахт расположены на расстоянии 50—300 м от мест производства взрывов, а отработанные подземным способом камеры имеют объемы от 1000 м³ до 30000 м³. К тому же специфика месторождения (наличие пустот, отработанных камер разломов и т. д.); требует более детального расчета допустимого веса заряда ВВ и безопасного расстояния.

При этом расположение мест взрыва, камер, охраняемых сооружений может быть самым разнообразным. Это и определило цель настоящей работы: исследование сейсмичности промышленных взрывов при ведении горных работ над пустотами.

В соответствии с поставленной целью в работе предусматривалось решение следующих задач:

1. Исследование сейсмического действия взрыва в сплошном массиве (известняках, сланцах, джаспероидах).

2. Исследование сейсмического действия взрыва во фланг полости.

3. Исследование сейсмического действия взрыва за полостью.

4. Разработка расчетных методов и рекомендаций по безопасному ведению взрывных работ.

5. Промышленная проверка полученных результатов исследований.

Исследования проводились с использованием серийной отечественной сейсмоаппаратуры на карьерах «Южное поле» и «Восточное поле» Хайдарканского месторождения коллективом отдела «Разрушение горных пород взрывом» Института физики и механики пород АН Киргизской ССР с 1963 по 1968 г.г.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов и рекомендаций, изложенных на 158 страницах машинописного текста с 19 таблицами и включает 42 рисунка, список использованной литературы и приложения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ
ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Горные породы являются сложными твердыми телами, для которых характерен многокомпонентный состав. Действие взрыва в горных породах связано с наличием специфических особенностей — не стационарным распространением поля напряжений, отличием механических констант среды в статике и динамике, быстротечностью общего процесса, появлением в среде нарушений сплошности до окончательного завершения процесса. Переходя к рассмотрению задач динамики волн, распространяющихся в неоднородных средах, следует заметить, что они тесно связаны с теорией линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами и различными специфическими функциями.

Особенности распространения сейсмических волн в функции $v=v(z)$ изучались в работах Глазовского В. М., Цепелева Н. В., Барриман З. Н., Бортфельда Р. и др., большинство из которых обобщено Л. М. Бреховских. Из теоретических исследований прохождения импульсов через слои следует отметить работы Петрашень Г. И., Епальского В. Н., Воронина Ю. А., Резниченко Ю. В., Чекина Б. С. и др., в которых обсуждаются вопросы постановки и решения задач по экранированию и способам построения теоретических сейсмограмм. Изменение фронта сейсмических волн плоскими, сферическими, цилиндрическими границами раздела рассмотрено в работах Буддырева В. С., Гельчиного Б. Я., Яворской И. И. и др.

Модельные исследования, позволяющие качественно изучать динамические характеристики сейсмических волн, проводились на установке для трехмерного моделирования на твердо-жидких и жидких моделях и на установке для двухмерного моделирования на твердых моделях. В этой области следует отметить работы Ивакина Б. Н., Пархоменко И. С., Файзулина И. С., Епинатьевой В. М. и др. В результате анализа литературных источников и исследований на моделях дается обоснование физической модели выработки как полости с плоскими, цилиндрическими или сферическими границами раздела с акустической жесткостью, отличной от основного массива.

Для простейшего случая модели выработки как полости с плоскими границами раздела в диссертации, используя метод Ляхова Г. М. и Поляковой Н. И., дано решение задачи об из-

менении фронта волны за полостью (рис. 1). Полученные уравнения изменения давления за полостью могут служить для качественной оценки действия взрыва и приближенных расчетов, поскольку при получении их был использован ряд допущений: среда упругая, фронт волны плоский, условия на фронте волны сводятся к непрерывности одной из функций при пе-

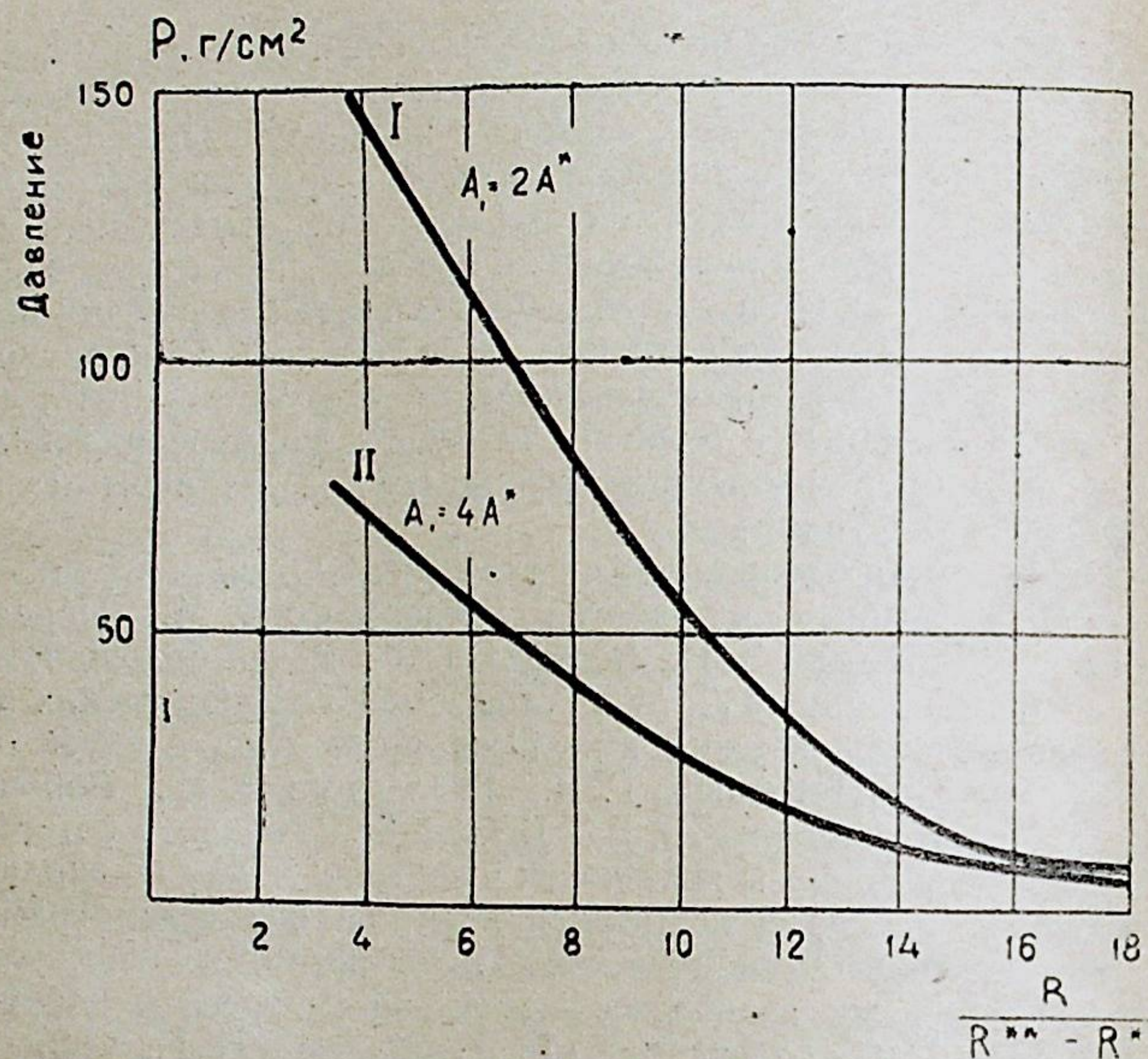


Рис. 1. Изменение давления P на фронте волны за полостью.

R — расстояние от взрыва до точки наблюдения, м.
 R^* — расстояние от взрыва до ближней границы полости, м.
 R^{**} — расстояние от взрыва до дальней границы полости, м.

реходе через фронт и т. д. Из рассмотрения выпали случаи многократно отраженных волн, случаи наложения различных типов волн.

Таким образом, из анализа исследований особенностей рас-

пространения сейсмических волн в неоднородных горных породах можно сделать следующие выводы:

1. Физические процессы, возникающие при распространении сейсмических волн в слоистых средах, более характерны для вопросов сейсмологии и сейсморазведки, а для изучения сейсмического действия взрыва в районах горных выработок могут быть использованы лишь как качественные предпосылки для анализа возникающих явлений и обоснования физической модели полости.

2. При прохождении фронта сейсмических волн через преграду с плоскими, цилиндрическими или сферическими границами раздела наблюдаются области дифракции и интерференции волн. Полость оказывает заметное влияние при длине волны, соизмеримой с размером полости.

3. Наиболее общей физической моделью полости при ее взаимодействии с сейсмическими волнами является модель с плоскими, цилиндрическими или сферическими границами раздела с акустической жесткостью, отличной от основного массива.

Математическое решение задачи об изменении фронта сейсмических волн при принятой модели полости довольно сложно и не позволяет учитывать все многообразие возникающих здесь процессов, поэтому изучение вопросов распространения сейсмических волн в окрестностях полости горных выработок более целесообразно осуществлять также экспериментально.

Следовательно, исследование сейсмичности промышленных взрывов при ведении горных работ над пустотами возможно тщательной постановкой экспериментальных работ.

ГЛАВА II

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ВЕДЕНИИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Ведение буровзрывных работ в непосредственной близости от инженерных сооружений связано с необходимостью особо тщательного подбора и расчета параметров взрывных работ, величин зарядов, методов и способов выполнения массовых взрывов. Это налагает известные ограничения на производство массовых взрывов, так как в данном случае методы ведения взрывных работ должны всецело подчиняться условиям сейсмически безопасных расстояний, безопасного разлета кусков породы и ударного действия воздушной волны. К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал по изучению параметров распространения сейсмовзрывных волн в различных горно-геологических условиях.

В отечественной практике экспериментальные исследования амплитуды смещения грунта в функции от расстояния для однородного массива горных пород впервые были проведены Садовским М. А. Изменению амплитуд сейсмических колебаний в зависимости от эпицентрального расстояния посвящен ряд работ Медведева С. В., Кириллова Ф. А. Наиболее общая формула для расчета амплитуд смещений грунта была предложена Д. Д. Баркан.

В заграничной практике в этом направлении проводили исследования Тонен и Уинде, Роквелл, Кренделл, Моррис, Тайман и др. Общим, помимо громоздкости предлагаемых авторами формул и малой их практической пригодности, является то, что данные зависимости не учитывают большого количества факторов, существенных в конкретной горно-геологической обстановке, поэтому критерием оценки сейсмического действия взрыва при охране различных объектов амплитуда смещения использована быть не может.

В процессе дальнейших экспериментальных работ было установлено, что между величиной скорости колебаний и разрушением существует прямая связь, между тем для амплитуд и ускорений такой связи не наблюдалось. Скорость, как критерий оценки действия взрыва на охраняемые сооружения, в настоящее время используется в исследованиях Медведева С. В., Лямзиной Г. А., Ромашева А. Н. (ИФЗ); Цейтлина Я. И., Ершова М. А., (ПЭУ Союзвзрывпром); Кузнецова Г. В., Миронова П. С., Сисина А. Г. (УНИИпромедь); Зуркова П. Э., Богацкого В. Ф. (Магнитогорской ГМИ) и многих других.

Несмотря на многообразие формул, предложенных в работах различных авторов, в общем виде зависимость изменения скорости смещения в функции приведенной величины заряда

$\rho = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}$ или приведенного расстояния $1/\rho = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}}$ может быть выражена как:

$$U = K \left[\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right]^n$$

где K — коэффициент пропорциональности;

Q — вес заряда ВВ, кг;

R — расстояние до объекта, м;

n — Показатель степени затухания сеймовзрывных волн.

Скорость смещения грунта зависит от свойств грунта, в ча-

стности, от плотности и скорости распространения упругих волн и, в некоторой степени, от типа и свойств ВВ.

Помимо этого, как показали дальнейшие исследования, скорость смещения грунта зависит от технологии ведения взрывных работ, при этом значение « K » колеблется в довольно широких пределах — 60—600.

Совершенно очевидно, что для получения достоверных данных о сейсмическом действии взрыва в конкретных горно-геологических условиях необходимо проведение инструментальных наблюдений по уточнению величин « K » и « n ». В исследованиях зарубежных ученых Э. Роквелла, Лангефорса, Устерберга, Килстрема, А. Эдварса, Г. Нортвуда и др. скорость смещения, как критерий оценки сейсмического действия взрыва, находит все более широкое признание. Ввиду этого, в наших исследованиях при изучении сейсмического действия взрыва в сложных средах основным критерием оценки принята скорость смещения частиц грунта в функции приведенной величины заряда ρ или приведенного расстояния $1/\rho$.

Помимо смещения и скорости распространения сейсмических волн большое значение при оценке сейсмического действия взрыва имеет изучение периодов и частот колебаний грунта, вызванных взрывом, но влияние периодов и частот на охраняемые объекты находится в стадии изучения и надо полагать, что дальнейшие работы в этой области дадут соответствующие ответы по данным вопросам. Скорость смещения сейсмических волн изменяется в зависимости от расположения источника возбуждения. Скорость смещения сейсмических колебаний бывает иногда достаточно высокой, способной вызвать существенные повреждения охраняемых объектов.

Для достижения ритмичной работы горного комплекса используют технологические и инженерные методы снижения сейсмического действия взрыва. Не рассматривая технологические методы управления сейсмическим действием взрыва, которые довольно хорошо изложены в работах Зуркова П. Э., Богацкого В. А., Кузнецова Г. В., Миронова П. С., Сисина А. Г., Сафонова Л. В., Цейтлина Я. И., Ершова И. А. и др., обратим внимание на защитные мероприятия, обеспечивающие снижение сейсмического эффекта, в частности, на применение инженерных антисейсмических мероприятий таких, как экранизация, щелеобразование, учет геотехнической обстановки и рельефа местности.

Как установлено исследованиями Авершина С. Г., Баранова Е. Г., Мосинец В. Н., использование экранирующей преграды, акустическое сопротивление которой ниже сопротивления основной среды в 2—4 раза, позволяет снизить скорость

массового смещения в 2—3 раза, а энергию волны в 5—7 раз. Наиболее благоприятные условия сейсмической защиты инженерных сооружений от действия взрыва, очевидно, будут наблюдаться в том случае, когда в качестве экрана служит не среда с отличной от основной породы акустической жесткостью, а полая щель достаточной ширины.

Расчеты показывают, что действие экрана в наибольшей мере проявляется на расстояниях свыше 10—15 м, тогда как защитное значение щели благоприятно сказывается на самых близких расстояниях. С повышением расстояний до 35—40 м метод взрывания с экраном становится конкурентно-способным с методом щелеобразования. Несмотря на достоинство вышеречисленных методов, каждый из них требует дополнительных затрат, значительно усложняет технологию ведения взрывных работ и не всегда дает желаемые результаты, в то время как учет геотехнической обстановки и геологической структуры во многом снижает вредное действие взрыва.

Исследованиями Раутман Т. Г. отмечено, что при распространении сейсмических волн вдоль геологических структур затухание плотности энергии пропорционально 4 степени от расстояния, а при распространении вкрест структур, плотность энергии убывает с расстоянием в степени 5,5.

Еще большее уменьшение скорости колебания наблюдается при прохождении сейсмических волн через зоны нарушения сплошности в массиве горных пород, такие как выемки карьеров, отработанные шахтные поля.

Согласно исследованиям Кузнецова Г. В., Нелюбова Ю. Н., в этом случае снижение скорости колебаний происходит в 3,5—7 раз. Сколько-нибудь полных исследований, связанных с изучением влияния полостей горных выработок нет, между тем при знании законов распространения сейсмических волн в районах горных выработок последние могут служить надежным средством управления сейсмическим действием взрыва. С целью перенесения результатов исследований на более общие случаи чрезвычайно важен выбор обоснованных критериев подобия, наиболее полно отражающих всю сложность физических процессов. При исследовании сейсмического действия взрыва в сплошных средах на основании многолетних наблюдений принимается величина

$$\rho = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \text{ или } 1/\rho = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} (\text{кг}^{1/3} \cdot \text{м}^{-1}; \text{м} \cdot \text{кг}^{-1/3})$$

При распространении сейсмических волн в области горных выработок отмечается сложная картина изменения фронта вол-

ны как за полостью, так и по флангам ее. Исследование сейсмического действия взрыва только в функции ρ или $1/\rho$ недостаточно, так как полностью не охватывает все многообразие процессов, а позволяет лишь констатировать факт общего изменения фронта волны.

Согласно принятой модели полости горных выработок, на распространение сейсмических волн существенное влияние оказывают:

- 1) геометрические размеры выработки — l_1 — поперечный, l_2 — продольный размеры полости;
- 2) расстояние от источника возбуждения — R ;
- 3) длина волны, возбуждаемая взрывом — λ ;
- 4) интенсивность источника, зависящая от веса заряда — Q ;
- 5) акустическая жесткость сред — $C_p \cdot \rho$

Если выразить расстояние от источника возбуждения до пункта регистрации через $r_1 = \frac{l_1}{R}$ — во фланг полости и через

$r_2 = \frac{l_2}{R}$ — за полостью, а длину волны как произведение скорости распространения продольных волн — C_p на длительность положительной фазы колебания — $C_p \cdot t_n$, то при исследовании во фланг полости за основной параметр движения может быть принято отношение:

$$\lambda_1 = \frac{C_p t_n}{r_1 \cdot \sqrt[3]{Q}} \quad (2)$$

а за полостью

$$\lambda_2 = \frac{C_p \cdot t_n}{r_2 \cdot \sqrt[3]{Q}} \quad (3)$$

где λ_1 и λ_2 — приведенная длина полуволны ($\text{м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$). Так как скорость распространения продольных волн во многом зависит от нарушенности среды (трещиноватость, сбросы, выработки и т. д.), то введением в параметры λ_1 и λ_2 скорости продольных волн C_p в какой-то степени учитывается и плотностная характеристика сред. Таким образом, избранный параметр наиболее полно отвечает требованиям для принятой модели горных выработок.

В результате анализа параметров сейсмических волн при ведении взрывных работ в различных условиях можно сделать следующие выводы:

1. К настоящему времени распространение сейсмических волн наиболее полно изучено в сплошных средах, но широкий

диапазон изменения коэффициента «К» в конкретных горно-геологических условиях требует больших экспериментальных исследований.

2. Основным критерием оценки при изучении сейсмического действия взрыва является скорость смещения грунта, а критерием подобия при сейсмическом действии взрыва в сплошном массиве — приведенная величина заряда ρ или же приведенное расстояние.

3. В настоящее время практика ведения взрывных работ располагает методами управления сейсмическим действием взрыва, одним из которых является использование отработанных горных выработок.

4. Влияние полостей горных выработок на распространение сейсмических волн достаточно полно не изучено, чем и объясняется необходимость постановки широких экспериментальных исследований в этом направлении, при этом за основной критерий подобия принята приведенная длина полуволны (2, 3).

ГЛАВА III

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕЙСМИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

Сейсмические колебания, вызываемые взрывом, являются нерегулярными и для полноценной характеристики их возможного воздействия на сооружения целесообразно проводить спектральный анализ колебаний. Однако, помимо самого спектрального разложения, значительные сложности возникают при последующем синтезе механического действия на сооружения отдельных спектральных составляющих. Поэтому для обобщенной характеристики волн можно пользоваться максимальными значениями амплитуд сейсмических колебаний на поверхности земли. При этом участок осциллограммы вблизи максимальной амплитуды рассматривается как модулированная синусоида. Такая постановка задачи позволяет смягчить начальные условия и получать данные, близкие к реальным.

Обобщение инструментальных наблюдений с использованием метода подобия, предложенного М. А. Садовским, позволяет для данного горного предприятия производить прогнозирование сейсмического эффекта мощных взрывов на основании данных, полученных при измерении зарядов малого веса. Вследствие этого, на первом этапе исследований необходимо проведение экспериментов по изучению условий распространения сейсмических волн в зависимости от приведенного веса

заряда. Вес заряда составлял 1; 10; 100 кг. Эпицентральное расстояние и протяженность профилей зависели от веса заряда и подчинялись схеме геометрического профилирования. Расстановка приборов на время проведения экспериментов оставалась постоянной, равной $\rho = 0,2; 0,1; 0,05; 0,03$. Однако, в некоторых случаях в целях уточнения и детализации делались отступления от этой схемы и приборы расставлялись чаще.

Общее количество опытов определялось из условия получения коэффициента вариации не более 10—15%. Для исследования сейсмического действия взрыва при ведении взрывных работ в массиве, нарушенном пустотами, за основу методики принимается расстояние от полости до места установки приборов, изменяемой функцией служит безразмерное расстояние от полости до взрыва, выраженное через отношение расстояния до взрыва к ширине полости. Схема расстановки приборов на профилях показана на рис. 2. За полостью расстановка датчиков

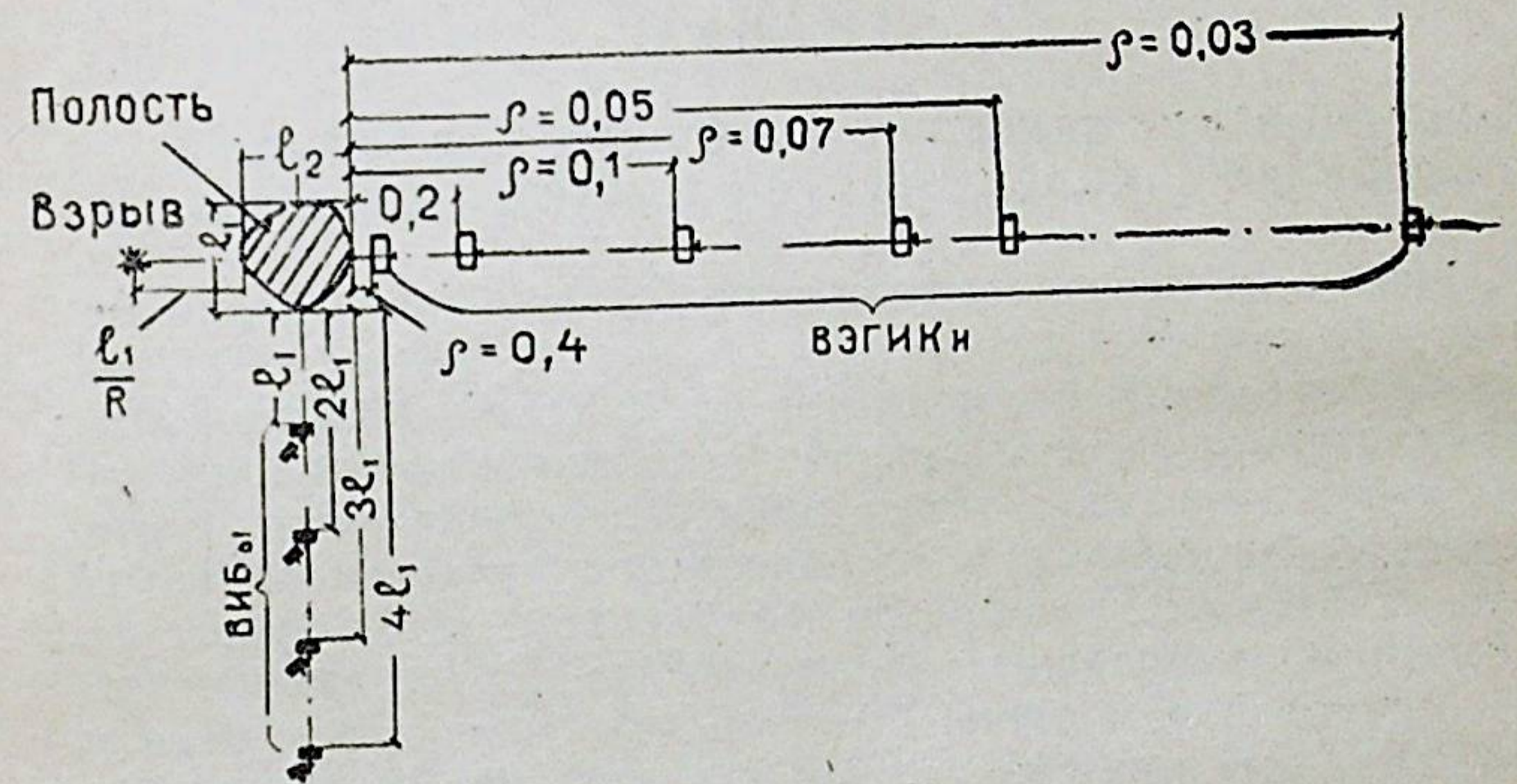


Рис. 2. Схема расстановки сейсμοприемников.

захватывала большой диапазон — от $2,5 l_1$ до $30 l_1$ ($\rho = 0,4 \div 0,03$). Приближая или удаляя источник возбуждения к полости, создавали условия экранизации колебаний или дифракции их. Широкая область, захватываемая расстановкой приборов (по флангам до $4 l_1$, за полостью $2,5 l_1 - 30 l_1$), меняющееся место расположения взрывов ($\frac{l_1}{R} = 1,15 \div 5$) позволило с достаточной точностью установить влияние полостей на распространение сейсмических волн.

Во время промышленных взрывов приборы располагались по прямолинейным профилям на расстояниях $1/\rho = 18 \div 106$ от

взрыва и ориентировались для записи радиальной составляющей колебаний.

Во всех случаях при обработке результатов наблюдений предусматривалось использование методов математической статистики.

В качестве сейсмоприемников использовались сейсмографы «ВИБ», «ВБП», «ВЭГИК». Для регистрации применялись осциллографы Н-102, Н-700. Постоянные приборов обеспечивали запись скорости колебаний. В работе приведены параметры приборов, амплитудно-частотные характеристики, методы тарировки аппаратуры и обработки осциллограмм. При использовании данной аппаратуры предельная погрешность измерения составляла 20,6%, вероятная погрешность результата не превышала $\pm 5\%$. Экспериментальные исследования проводились в промышленных условиях Хайдарканского ртутного месторождения.

ГЛАВА IV

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА В УСЛОВИЯХ ХАЙДАРКАНСКОГО РТУТНОГО КОМБИНАТА

Первый этап исследований по изучению сейсмики промышленных взрывов был проведен в сланцах и наносах Хайдарканского ртутного месторождения на участке «Южное поле». Динамика работ и специфика месторождения требовали уточнения и детализации, а также проверки выдвигаемых гипотетических предположений при изменившейся горно-геологической ситуации. Помимо этого, для сохранности инженерных сооружений, промышленных площадок, зданий экспериментальные исследования должны были опережать развитие горных работ, поэтому второй этап работ был проведен на карьере «Восточное поле», геологическая структура которого аналогична месторождению «Южное поле». Верхние горизонты месторождения представлены наносами, глинистыми сланцами, мощность которых колеблется от 0 до 90 м. Массив рудоносных пород, представленный известняками и джаспероидами, изрезан выработками старых горных работ. Коэффициенты крепости руд и пород по проф. Протодьяконову М. М. составляют 6—17, объемный вес 2,6—2,8 т/м³, скорость распространения продольных волн в образце 4200—5400 м/сек. Обводненность месторождения незначительная. К настоящему времени основные запасы руды отработаны подземным способом. В работе приведены физико-механические характеристики пород и основные параметры подземных камер.

При обработке результатов исследований, приведенных в сланцах и наносах «Южного поля», была получена зависимость скорости смещения частиц среды U , которая выражается формулой

$$U = 200 \left[\frac{Q}{R} \right]^{1,75} \quad (4)$$

При изучении сейсмического действия взрыва в известняках и джаспероидах были получены следующие зависимости:

а) для радиальной составляющей — U_x

$$U_x = 270 \left[\frac{Q}{R} \right]^{1,92} \quad (5)$$

б) для вертикальной составляющей —

$$U_z = 200 \left[\frac{Q}{R} \right]^{1,92} \quad (5a)$$

Величина вектора скорости составляет

$$\bar{U} = (1,53 \pm 0,2) U_x \quad (6)$$

Величина коэффициента $K=200$ для сланцев и наносов «Южного поля» и $K=270$ для известняков и джаспероидов больше всего согласуется с исследованиями С. В. Медведева. Значения показателя n , равные для сланцев и наносов $n=1,75$, а для известняков и джаспероидов $n=1,92$, отображают суммарное действие сейсмических волн.

В ходе дальнейших исследований целесообразно получение более полных представлений о характере волн, возбуждаемых взрывом, но для решения поставленной задачи охраны инженерных сооружений с достаточной точностью можно вычислять допустимые веса зарядов и безопасные расстояния по формулам 4—5.

Следующим этапом работ предусматривалось изучение влияния пустот горных выработок (отработанные камеры, шахтные поля и т. д.) на распространение сейсмозрывных волн. Поскольку расположение всевозможных сооружений относительно мест производства взрывов и имеющихся пустот может быть самым разнообразным, то ставилось решение двух вопросов: изучение затухания сейсмозрывных волн во фланг полости и за полостью.

В качестве основного критерия подобия при изучении затухания сейсмозрывных волн был принят параметр

$$\lambda = \frac{C_p t_n}{r_1^3 \sqrt{Q}}$$

Исследованиями установлена следующая зависимость изменения скорости массового смещения U в функции приведенной полуволны во фланг полости:

$$U = 0,0008 \lambda_1^{4,9} \cdot e^{-0,3 \lambda_1} \quad (7)$$

Полученная зависимость довольно сложна для оперативных вычислений, поэтому функцию изменения скорости смещения разбили на две кусочно-линейные. До расстояний, равных $20 \lambda_1$, изменение скорости в первом приближении аппроксимируется как:

$$U = 0,24 \lambda_1^{-1,73}$$

а в интервале — $20 \div 50 \lambda_1$

$$U = -0,625 \lambda_1 + 3,95 \quad (9)$$

Из анализа зависимости видно, что в промежутке от 8 до $20 \lambda_1$ с радиусом $r_1 = 0,5 \div 0,25$ наблюдается резкое возрастание скорости колебаний, а с $20 \lambda_1$ до $50 \lambda_1$ плавное уменьшение, после $r_1 < 0,2$ — следует зона установившихся скоростей смещений.

Установлено, что возрастание скоростей смещений при исследовании сейсмического действия взрыва во фланг полости можно ожидать в зоне $20 \lambda_1$ за счет наложения фазы растяжения продольной волны и вторично отраженной поперечной волны, а в зоне от $20 \lambda_1$ до $40 \lambda_1$ — за счет наложения отраженных поперечных волн (коническая волна), в зоне с радиусом $r_1 < 0,2$ установившиеся колебания объясняются расхождением волнового пакета с расстоянием и суперпозицией продольных и поперечных волн, изменяющихся во времени. Данные выводы не расходятся и с теоретическими представлениями о структуре волнового поля при действии волны с включением, имеющим цилиндрическую форму.

Поскольку во фланг полости действуют в основном растягивающие напряжения, вызывающие максимальное увеличение скорости смещений, то при производстве взрывных работ к расчету допустимого веса заряда при охране сооружения, расположенного во фланге полости, следует подходить особо осторожно.

При исследовании сейсмического действия взрыва за полостью основным критерием подобия служил параметр

$$\lambda_2 = \frac{C_p t_n}{r_2^3 \sqrt{Q}}$$

Полученная зависимость хорошо описывается формулой вида

$$U = 79,43 \cdot \lambda_2^{-1,65} \quad (10)$$

Из анализа зависимости находим, что при $150 \lambda_2$ или же при расположении взрыва $r_2 = 1 \div 0,05$ происходит интенсивное уменьшение скорости смещения, на — $150 \div 350 \lambda_2$ или же при $r_2 = 0,05 \div 0,025$ снижение скорости происходит менее интенсивно, а после — $350 \lambda_2$ или же при $r_2 < 0,025$ скорость смещения минимальна.

Помимо этого, за полостью наблюдается зона интерференции, образуемая предположительно доминирующей волной и волной Рэлея, на расстояниях от 46 м до 156 м или же при $\rho = 0,01 \div 0,07$ с расположением взрывов перед выработкой на расстояниях 5—20 м или через $r_2 = 1 \div 0,25$. Погрешность замеренной зоны интерференции относительно вычисленной составляет +23%. Такие длительные участки интерференции наблюдаются при сильной плотностной и скоростной дифференциациях среды. Сложный характер интерференции может наблюдаться при многослойности разреза, сложной форме границы раздела сред, наличии тектонических нарушений, большом числе кратных волн. Именно это было свойственно при проведении натуральных исследований за полостью выработки. Следовательно, при ведении взрывных работ в районе полостей возможна довольно протяженная зона интерференции.

Другой особенностью распространения сейсмических волн за полостью выработки является резкое снижение скорости смещения на расстояниях до $150 \lambda_2$. Такое снижение скорости колебаний вполне объяснимо, если обратиться к принятой модели полости.

Действительно, при сильном отличии акустических жесткостей полости выработки и основного массива от границы раздела отражается большое количество энергии сейсмических волн, а энергия, проходящая за полость, практически равна нулю. Из рис. 1 видно, что при отличии акустических жесткостей в четыре раза давление уменьшится тоже почти в четыре раза, т. е. между соотношением акустических жесткостей и давлением существует определенная пропорциональность.

Наиболее резкое уменьшение давления наблюдается до $\frac{R}{R^{**} - R^*} = 11$, т. е., в областях, пограничных с полостью выработки.

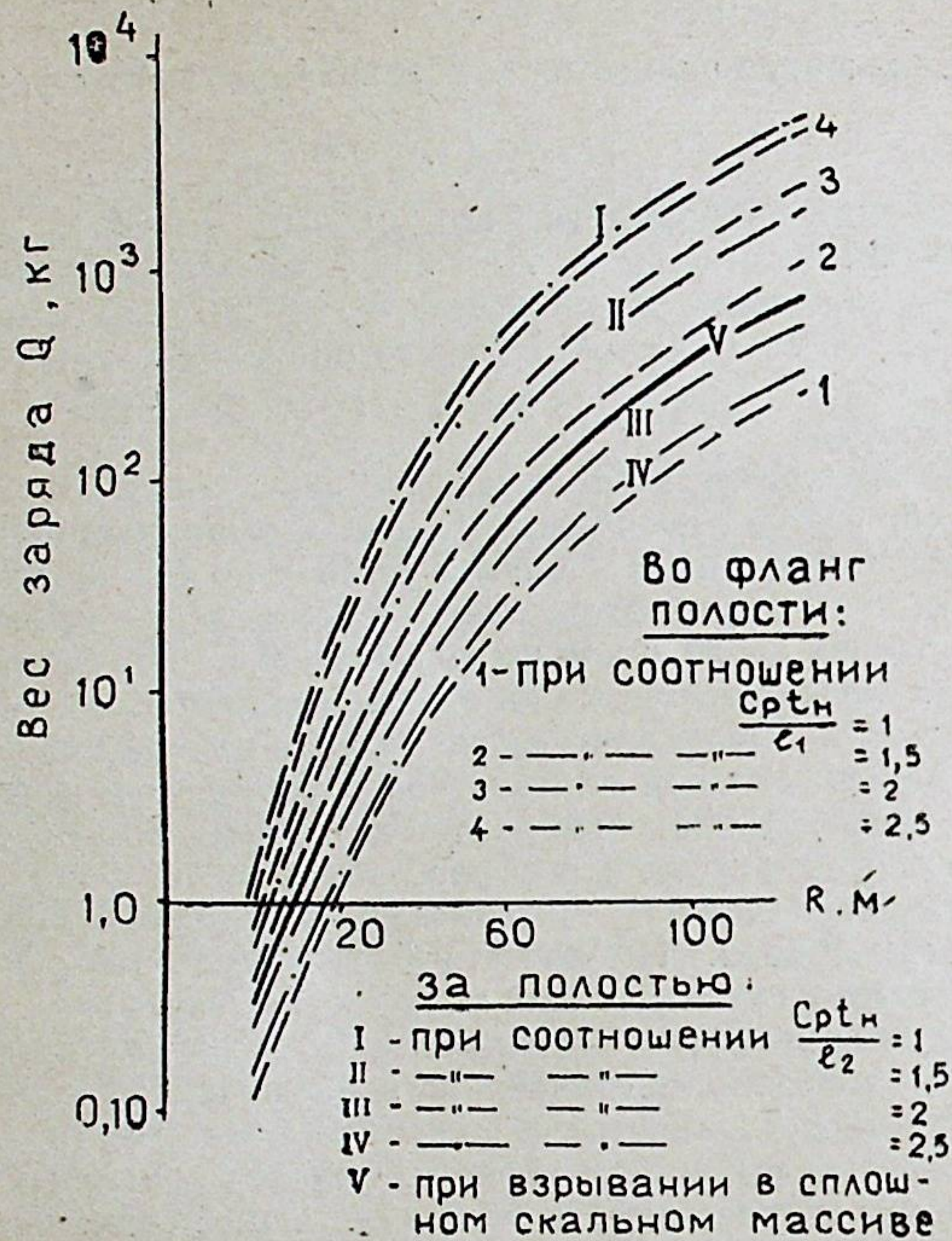


Рис. 3. Диаграмма по определению одновременно взрывающегося заряда ВВ при различных условиях ведения взрывных работ.

При $\frac{R}{R^{**}-R^*} > 11$ происходит плавное уменьшение давления, а при $\frac{R}{R^{**}-R^*} \geq 18$ давление носит установившийся характер. При исследовании сейсмического действия взрыва за полостью выработки в естественных условиях результаты исследований отличаются от теоретических, полученных при упрощении процесса в определенных граничных условиях.

Уменьшение скорости колебаний при расстояниях 150÷350 м связано с поглощением энергии сейсмических волн на неоднородностях массива и геометрическим расхождением. На рис. 3 приведена диаграмма по определению одновременно взрывающегося заряда ВВ в зависимости от расстояния, вычисленная по формулам (5, 8, 10).

Из диаграммы видно, что наиболее благоприятные условия для защиты инженерных сооружений находятся при соотношении длины полуволны к продольному размеру полости $\frac{C_p t_n}{l_2} = 1 \div 1,5$ (кривые II-I) и к поперечному размеру полости $\frac{C_p t_n}{l_1} = 2 \div 2,5$ (кривые 3-4). В этом случае вес заряда ВВ может быть увеличен от 3 до 10 раз по сравнению со взрыванием в сплошном массиве (кривая V). При $\frac{C_p t_n}{l_2} = 2$ и $\frac{C_p t_n}{l_1} = 1,5$ полость не оказывает влияние на снижение сейсмического действия взрыва, а при $\frac{C_p t_n}{l_2} = 2,5$ и $\frac{C_p t_n}{l_1} = 1$ расчет допустимых весов зарядов следует производить с особой осторожностью.

Результаты экспериментальных исследований и промышленной проверки рекомендаций приняты за основу проектирования взрывных работ в различных горно-геологических условиях Хайдарканского комбината.

Как упоминалось выше, карьер «Южное поле» находится в непосредственной близости от поселка Хайдаркан. По проекту института «Гипроникель» санитарная зона от карьера принимается 200 м. В радиусе указанной зоны подлежат сносу все жилые, хозяйственные и промышленные сооружения.

Рекомендации, выданные Хайдарканскому комбинату на основании экспериментальных исследований, позволили в каждом конкретном случае определять радиусы опасных зон, а на основании этого — обеспечивать сохранность объектов. В таблице 1 приведена фактическая стоимость сохраненных промышленных объектов и жилых домов, подлежащих сносу. Срок существования карьера с учетом развития и затухания работ составит 7 лет, таким образом, экономия при внедрении результатов работы: «Исследование сейсмоики промышленных взрывов» при ведении горных работ над пустотами» составит более 130.000 рублей в год.

Таблица 1
Стоимость сохраненных промышленных объектов
и жилых домов

Производственные объекты:		
№№ п. п.	Наименование объектов	Стоимость, руб.
Производственные объекты		
1.	Центральная компрессорная	121 708
2.	Главная подстанция	9 033
3.	Склады техснаба	16 131
4.	Механические мастерские	23 090
5.	Автогараж	204 400
6.	Бытовой комбинат	97 152
7.	Газовая котельная	234 490
8.	Копер и здание подъемной шахты № 11	9 370
9.	То же шахты № 12	6 435
10.	Главный вентилятор	96 878
	Всего:	818 687
	Жилые дома:	96 664
	Итого:	915 351

Общие выводы и рекомендации

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие общие выводы.

1. Увеличение добычи полезных ископаемых открытым способом будет в основном обеспечиваться за счет расширения действующих предприятий. Существующие промплощадки и жилые поселки, как правило, расположены на незначительном удалении от мест производства взрывных работ, поэтому изучению сейсмического действия взрыва должно уделяться все большее и большее внимание.

2. Имеющиеся в настоящее время экспериментально-теоретические исследования качественных и количественных зависимостей сейсмического действия взрыва как в сплошных средах, так и в массивах, нарушенных пустотами, не могут быть признаны исчерпывающими, т. к. многообразие возникающих волновых процессов не поддается сколько-нибудь законченному математическому расчету, а экспериментальные исследования сейсмичности промышленных взрывов в различных условиях не имеют однозначного решения.

3. Наиболее общей физической моделью пустоты, описывающей состояние среды при сейсмическом действии взрыва, является модель полости с плоскими, цилиндрическими или сферическими границами раздела и акустической жесткостью, отличной от основного массива; основным критерием оценки действия взрыва на охраняемые объекты является скорость колебаний; основным параметром подобия при изучении сейсмического действия взрыва в районах пустот является приведенная

длина полуволны $\lambda_1 = \frac{C_p t_n}{r_1 \sqrt{Q}}$ во фланг полости и $\lambda_2 = \frac{C_p t_n}{r_2 \sqrt{Q}}$

— за полостью.

4. В результате проведенных исследований в работе установлен ряд новых качественных зависимостей, характеризующих особенности сейсмического действия взрыва в различных горно-геологических условиях Хайдарканского комбината:

а) количественно установлено изменение скорости смещения частиц среды в функции приведенного веса заряда для сланцев, наносов, известняков и джаспероидов «Южного поля»;

б) количественно установлен закон изменения скорости смещения в функции λ_1 и λ_2 во фланг полости и за полостью;

в) установлены наиболее благоприятные условия ведения взрывных работ при прохождении сейсмических волн через пустоту;

г) выявлены и объяснены зоны возмущений вокруг пустот при сейсмическом действии взрыва;

за полостью:

1) зона быстрого затухания скорости смещения с радиусом $r_2 = 1-0,05$;

2) зона плавного уменьшения скорости смещения ($r_2 = 0,05-0,025$);

3) зона установившихся колебаний $r_2 < 0,025$;

во фланг полости:

1) зона быстро нарастающих колебаний с $r_1 = 0,5-0,25$;

2) зона плавного уменьшения скорости смещений при $r_1 = 0,25-0,2$;

3) зона установившихся колебаний $r_1 < 0,20$.

5. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработаны, экспериментально проверены и рекомендованные в производство ряд новых методов управления сейсмическим действием взрыва, исходящих из физических основ распространения сейсмических волн и качественных показателей взрывных работ:

а) методика расчета безопасной скорости смещения в различных горно-геологических условиях Хайдарканского комбината;

б) методика управления сейсмическим действием взрыва при наличии охраняемых объектов на флангах полости и за полостью.

Величина одновременно взрываемого ВВ, как показали расчеты, в этом случае может быть увеличена минимально втрое по отношению к обычной методике производства работ.

6. Практическое применение разработанных методов управления сейсмическим действием взрыва дает возможность к сохранению инженерных сооружений, промплощадок, жилых зданий, к сокращению простоев карьерно-транспортного оборудования. Внедрение результатов исследований позволило только по Хайдарканскому ртутному комбинату получить экономию в 915 351 рублей.

7. В процессе выполнения исследований разработано и рекомендуется для внедрения в практику научных работ ряд методических предложений, способствующих более глубокому проникновению в природу исследуемых процессов и явлений:

а) методика оценки сейсмического действия взрыва в различных горно-геологических условиях;

б) методика оценки сейсмического действия взрыва в массиве, нарушенном пустотами;

в) дополнена и углублена классификация методов управления сейсмическим действием взрыва.

8. Основной задачей дальнейших исследований является совершенствование методики наблюдения напряженного состояния вокруг полости выработки под действием сейсмических волн, методики и расшифровки осциллограмм по частотному спектру, дифференциация волнового пакета сейсмических колебаний с целью более полного представления о причинах возникновения интерференции за полостью и ее возможного действия на охраняемые сооружения.

Основные положения диссертации опубликованы в статьях:

1. Мосинец В. Н., Савельев Ю. Я., Токаев А. К. Исследование сейсмически безопасных методов ведения взрывных работ при обработке месторождений вблизи инженерных сооружений. Сб. статей «Технология буровзрывных работ» «Илим», 1967 г.

2. Савельев Ю. Я. Опыт ведения промышленных взрывов в условиях «Южного поля» Хайдарканского месторождения при работе над пустотами. Кирг. ИНТИ № 20 (453), 1968 г.

3. Мосинец В. Н., Савельев Ю. Я. О распространении сейсмических волн в области горных выработок. Известия АН Кирг. ССР № 2, «Илим», 1968 г.

4. Савельев Ю. Я., Муратов Д. И. Сейсмика взрывов при ведении работ в районе горных выработок. Сб. статей «Буровзрывные работы», «Илим», в печати.

5. Муратов Д. И., Савельев Ю. Я. Исследование сохранности скального основания после взрывных работ методом прозвучивания. Сб. статей «Буровзрывные работы», «Илим», в печати.

и доложены на совещаниях и конференциях:

1. Научно-техническое совещание по сейсмике промышленных взрывов в г. Свердловске, 1966 г.

2. Юбилейная научная конференция молодых ученых Киргизии, 1968 г., г. Фрунзе.