

6
А-29

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

В. Г. ГОРДИЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ
СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ НА ЭЛЕМЕНТЫ
СКЛОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ
(методом моделирования на линейном механическом
ускорителе)

312 Открытая разработка и эксплуатация угольных,
рудных и нерудных месторождений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе 1968

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

В. Г. ГОРДИЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ
СЕЙСМОГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ НА ЭЛЕМЕНТЫ
СКЛОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ
(методом моделирования на линейном механическом
ускорителе)

312 Открытая разработка и эксплуатация угольных,
рудных и нерудных месторождений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе 1968

ВВЕДЕНИЕ

Перспективный план развития народного хозяйства СССР предусматривает увеличение выработки электроэнергии на гидростанциях страны в 4—5 раз при доведении установленной мощности до 100 млн. квт. Это составит около 20% технических гидроэнергоресурсов Советского Союза.

Большая часть гидроэлектростанций будет сооружена в горных районах союзных республик. Среди них Средняя Азия обладает концентрацией гидроэлектроэнергии в количестве 250 млрд квт ч/год; здесь только 13 наиболее крупных ГЭС на реках Чирчик, Нарын, Вахш и Пянж могут вырабатывать до 140 млрд квт ч/год.

Основным направлением технического прогресса в гидростроительстве является возведение дешевых станций с высоконапорными плотинами на скальных основаниях. Это направление получило развитие в СССР с 1960 года вводом в эксплуатацию Ладжанурской плотины высотой 67 метров; в настоящее время в стадии строительства находится несколько плотин, высота которых превышает 200 метров (Ингурская, Нурекская, Чиркейская, Токтогульская).

Строительство высоких плотин, особенно в сейсмически активных районах, требует удаления со склонов и основания большого объема горных пород, достигающего иногда до нескольких миллионов кубометров. Удаление такого объема горной массы в сравнительно короткий срок строительства без взрывных работ представляет известные трудности.

В то же время ведение взрывных работ в стесненных условиях сопряжено с необходимостью сохранения устойчивости элементов склонов горных ущелий. До последнего времени методические разработки и исследования в этой области основывались, главным образом, на общих теоретических положениях при весьма малом опыте взрывных работ на высоких крутых склонах.

Целью настоящей диссертационной работы явилось изуче-

ние качественных и количественных параметров устойчивости элементов склонов под действием взрыва.

Исходя из поставленной цели, определились следующие задачи:

1. Выбор и обоснование метода отдельного и совместного изучения действия сейсмических и гравитационных сил.

2. Исследование влияния угла наклона свободной поверхности склона на параметры взрыва при взрывании на склонах.

3. Установление закономерностей поведения отдельных элементов склона в процессе отработки склона при взрывании сосредоточенных зарядов.

4. Качественная и количественная оценка процесса перемещения отдельных отчлененных блоков горных пород при различной ориентировке структурных элементов и условиях взрывания и обоснование переноса этих параметров на натурные условия.

5. Исследование возможностей и условий применения инженерных методов обнаружения неустойчивых зон при ведении взрывных работ на склонах.

Экспериментальные исследования, включая монтаж и отладку линейного механического ускорителя, проведены в лабораториях «Моделирование взрыва» и «Сейсмика промышленных взрывов» Института физики и механики горных пород Академии наук Киргизской ССР в период 1962—67 г.г. Диссертация состоит из четырех глав (153 стр. текста), имеет 26 таблиц, иллюстрирована 51 рисунком, включает список литературы и приложение.

Глава I. Современное состояние исследования действия сейсмогравитационных сил при взрывных работах

Существующие представления о простом строителства плотин на скальных основаниях опровергнуты опытом работ. Объясняется это тем, что реальный скальный массив не является монолитной структурой, а представляет собой совокупность разновеликих блоков, образованных благодаря действию различных сил в длительный период геологической истории.

За последнее двадцатилетие значительное внимание уделяется изучению зон и поверхностей ослабления в горных массивах, в той или иной степени связанных с устойчивостью природных склонов или искусственных откосов (С. И. Попов, С. Л. Иофин, Г. Л. Фисенко, И. В. Попов, Ю. Н. Малюшицкий, В. В. Белоусов и др.).

В настоящее время методы изучения ослабленных зон и по-

верхностей в породах наиболее полно разработаны при изучении трещиноватости пород.

Крайне слабо разработана методика исследования ослабленных зон и поверхностей, возникающих в породах под влиянием практической деятельности человека, и поведение ослабленных массивов под действием статических и особенно динамических нагрузок.

Известные в литературе методы определения сейсмобезопасных зон при горизонтальном залегании свободной поверхности горных пород и склонах небольшой высоты имеют только общие решения, причем коэффициенты рабочих формул подбираются опытным путем для каждого участка работ. Более того, при ведении взрывных работ даже в пределах одного и того же участка эти коэффициенты в процессе работы изменяются в таких диапазонах, что для определения сейсмобезопасности высоких склонов их применение не представляется возможным.

Сложность проведения работ в горных условиях определяется тем, что район строительства обычно представлен крутыми склонами, часто с близкими берегами.

Породы склона сильно выветрелые и разбиты различно ориентированными системами трещин на отдельные блоки, положение которых на склоне часто определяется как потенциально неустойчивое. Так, в районе строительства Чиркейской ГЭС общий объем потенциально неустойчивых массивов и глыб по ориентировочным подсчетам составляет более 300 тыс. м³, а борта ущелья имеют склонность к обвалам. Общий объем потенциально неустойчивых массивов для района строительства основных сооружений Токтогульской ГЭС составляет 7200 тыс. м³.

Отработку склонов в горных районах ведут, как правило, обрушением с широким применением действия собственного веса горных пород. Технология работ на склонах представлена широким разнообразием технических средств при значительных трудностях их использования.

Процессы обрушения быстротечны и с определенной стадией предотвращения их применяемыми в настоящее время техническими средствами невозможно.

Натурные наблюдения за поведением элементов склонов, благодаря слабой изученности действующих процессов и сложной топографии, трудоемки и сложны как по методике постановки, так и по условиям их проведения.

Установлено также, что существующие руководства не отвечают требованиям практической деятельности строек и проектных организаций и в своих рекомендациях обходят вопро-

сы действия сил тяжести и их учет при проведении строительных работ. Это обстоятельство объясняется, главным образом, отсутствием метода изучения действия сил тяжести, малым объемом и значительной трудностью получения фактических материалов о поведении натуральных склонов под действием сил тяжести.

Естественно, что при наличии достаточно надежного и точного метода изучения действия сил тяжести представляется возможным исследовать большой круг практических вопросов, связанных с изучением поведения элементов склонов ущелий при проведении взрывных работ на них, установлением объемов и формы воронки при взрывании на сброс, объема обрушения горной массы обратно в воронку взрыва при различной крутизне склона и ряд подобных задач.

Глава II. Основы моделирования сейсмических и гравитационных явлений

Трудности проведения опытов на природных участках склонов, невозможность подбора для экспериментальных работ нескольких природных участков с равными породными и структурными условиями, большие сроки проведения натуральных экспериментов, требующих огромных капиталовложений, определили необходимость детального изучения возможности решения поставленных в работе задач методом моделирования.

Анализ известных методов моделирования действия внешних сил на массив горных пород позволяет выделить следующие три группы:

1. Моделирование методом эквивалентных материалов.
2. Моделирование действия взрыва в эквивалентных материалах.
3. Метод изучения действия взрыва при центробежном моделировании.

Моделирование методом эквивалентных материалов позволяет получить ответ на большой круг вопросов, но отличается некоторым субъективизмом при получении экспериментального материала.

Этот субъективизм находит отражение в предварительном накоплении опытных данных, оценке и анализе их, а также, как указывает автор метода Г. Н. Кузнецов, в известной интуиции исследователя, позволяющей в конечном итоге устанавливать комплекс тех главных факторов, которые определяют ход исследуемого процесса.

Изучение действия взрыва в эквивалентных материалах является наиболее простым методом моделирования, однако он позволяет лишь сопоставлять натурные и модельные взры-

вы. При моделировании этим методом внешнего проявления взрыва величина заряда подбирается эмпирически.

Метод изучения действия взрыва при центробежном моделировании позволяет воспроизвести действие объемных гравитационных и сейсмических сил. Однако, при изучении внешнего проявления действия взрыва, благодаря непараллельности силовых линий и действию сил Кориолиса, процессы перемещения горной массы, образования воронок и некоторые другие, в которых основное влияние оказывают сейсмогравитационные силы, при центробежном моделировании не воспроизводятся.

Таким образом, анализ методов моделирования действия взрыва на массив горных пород показывает, что решаемые этими методами задачи не входят в круг вопросов по изучению сейсмогравитационной устойчивости элементов склонов, так как при их применении или невозможно моделировать массу элементов склонов, или, при моделировании массы на центрифуге, параметры процесса перемещения элементов склона, благодаря конструктивным особенностям метода, искажены силами Кориолиса.

Для изучения поведения элементов склонов при раздельном или суммарном действии сейсмических и гравитационных сил в работе обоснован и принят метод моделирования на линейном механическом ускорителе.

Условия подобия при этом устанавливались исходя из следующих соображений.

Проявление деформаций любого массива горных пород или его модели может рассматриваться как суммарный результат деформаций, возникающих под действием напряжений и относительных перемещений многочисленных элементарных весьма малых объемов. Если напряжения, перемещения в пространстве, деформации и разрывы каждого элементарного объема модели будут подобны напряжениям, перемещениям, деформациям и разрывам сходственного элемента горного массива, модельный процесс в целом будет подобен изучаемому природному процессу.

Сущность метода заключалась в том, что модель геометрически подобную природной и изготовленную из натурального материала помещали в созданное на ускорителе гравитационное поле с повышенным значением ускорения силы тяжести.

Основное правило моделирования на ускорителе — для соблюдения подобия на модель должны действовать объемные силы, которые превосходили бы силу тяжести во столько раз, во сколько модель меньше природного объекта.

Линейный механический ускоритель, существующая мо-

дель которого была создана под руководством члена-корреспондента АН СССР А. А. Ильюшина, позволяет получать ускорения от 10 до 100 g. Поле ускорения на нем возникает и исчезает плавно, не давая динамических эффектов и существует достаточное время, необходимое для того, чтобы решать задачи, связанные с сейсмогравитационной устойчивостью склонов.

При моделировании подбор масштабов часто налагает большие ограничения на процесс моделирования, особенно в случаях, связанных с массой. Так как в обычном моделировании сила тяжести действует одинаково как на модель, так и на прототип, то гравитационная постоянная g не может быть уменьшена при изменении масштаба. Эти недостатки полностью устраняются при моделировании на линейном механическом ускорителе.

Эксперименты выполнены на копре. Испытуемые модели помещали в цилиндрический контейнер (диаметром 800 мм и высотой 445 мм), а затем сбрасывали с некоторой высоты h_1 и тормозили с постоянной силой на участке h_2 .

При этом время протекания процесса на ускорителе составляло $\frac{1}{N}$ от времени натурального процесса, а масса модельного заряда была в N^3 раз меньше действительного заряда. Коэффициент перегрузки N в то же время равнялся линейному масштабу моделирования.

Оценка точности и числа экспериментов в серии при моделировании на линейном механическом ускорителе выполнены методами математической статистики.

В процессе выполнения работ определились следующие преимущества метода моделирования на линейном механическом ускорителе по сравнению с другими методами и натурными экспериментами, выразившиеся в возможностях:

- а) моделирования действия сил тяжести;
- б) соответствия действующих силовых полей;
- в) при соблюдении комплекса критериев подобия, моделирования действия зарядов от нескольких грамм до нескольких десятков тонн ВВ;
- г) моделирования действия взрыва на тяжелые деформируемые объекты;
- д) многократной повторяемости условий опыта, что зачастую трудно или невозможно добиться в случае проведения эксперимента в натуре.

В работе кроме метода моделирования на линейном механическом ускорителе применены: метод научного обобщения,

аналитические исследования, метод натурального эксперимента, метод статистической обработки результатов исследований.

Глава III. Исследование основных физических факторов, определяющих поведение элементов склонов при действии на них взрывов

В главе методом моделирования на линейном механическом ускорителе установлены некоторые закономерности поведения элементов склонов под действием взрывов, при взрывании на природных склонах определена природа действующих на склон сил, показана возможность переноса основных величин из модели в натуре.

Исследования на линейном механическом ускорителе

Методика исследования. При моделировании на линейном механическом ускорителе структурных, породных и топографических параметров склонов и силовых физических полей соблюдены геометрические, кинематические и динамические условия подобия, а также термодинамический критерий подобия, состоящий из критериев Фруда, Коши, Эйлера и теплового подобия. Из условий соблюдения этих критериев вытекало, что при моделировании действия сейсмических и гравитационных сил исследования необходимо проводить на моделях из природного материала и установках, способных изменять значения силы тяжести.

Для моделирования приняты схемы наиболее характерные как по расположению заряд ВВ в массиве, его весу, так и форме и размерам блоков пород, слагающих склон.

Особое внимание уделялось вопросам получения некоторых количественных закономерностей поведения элементов склонов на моделях и возможности передачи этих величин на натурные условия, характерные для района строительства основных сооружений Токтогульской ГЭС, а также для участков строительства в горных районах железных и шоссейных дорог, при работе в глубоких карьерах.

В целях обеспечения соответствия результатов эксперимента с натурой модель удовлетворяла, исходя из задач моделирования, следующим условиям:

- а) при изучении параметров перемещения и моделировании в суглинистых грунтах модель была обратимой для следующих опытов;
- б) масштаб моделирования выбирался достаточно крупным для обеспечения наблюдений с необходимой степенью точности;
- в) физико-механические свойства материала модели в ус-

Аналогичное увеличение перемещений по горизонтали замечено при меньших зарядах ВВ и блоках соответственно меньших объемов. Величина перемещений блоков увеличивается также при возрастании величины зарядов.

При расположении эпицентра взрыва за исследуемым блоком, последний под действием взрыва перемещался по криволинейной траектории от эпицентра, как в условиях стационара (1 g), так и на ускорителе (25, 50 и 65 g).

Аналогичное поведение наблюдалось и в случае размещения эпицентра взрыва выше отчлененного блока. Однако здесь значительно уменьшилась вертикальная составляющая траектории, а большая часть блоков перемещалась с тенденцией вращения.

Серия опытов была проведена в условиях, когда взрывы отсутствовали, а на блоки действовали лишь моделируемые гравитационные силы (контейнер с моделью сбрасывали с определенной высоты). При этом блоки не перемещались и продолжали находиться в устойчивом положении.

Анализ опытных данных показал, что при взрывании на склонах устойчивость и поведение отдельных отчлененных блоков зависит не только от свойств и структурных особенностей пород, слагающих склон, но и от целого ряда других факторов: формы отдельного отчлененного блока, его размеров, расположения в пространстве и т. д.

Рассмотрим влияние некоторых из упомянутых факторов.

Влияние формы отдельного отчлененного блока на параметры устойчивости блока при взрывании на склонах были изучены на моделях нескольких видов. Наиболее устойчиво при взрывании на склонах ведут себя блоки, имеющие отношение высоты к ширине менее $1/2$. Блоки, в которых $H \geq 3L$ опрокидывались при перемещении по горизонтали на расстояние, равное 20—30% его ширины.

Существенное влияние на устойчивость блоков и поведение их при взрывании на склонах оказывали углы наклона и характер поверхностей опорных граней блоков.

Анализ большого экспериментального материала позволил установить предельные углы опорных граней для блоков из известняков района строительства Токтогульской ГЭС при взрывании на склонах (табл. 1).

В случае расположения опорной грани блока под углом при взрывании на склоне помимо перемещения блока по горизонтали имеет место скольжение его по поверхности опорной грани. Такое скольжение является важной характеристикой устойчивости отдельных отчлененных блоков, у которых опорная грань наклонена под некоторым углом к горизонту в сто-

Таблица 1

Предельные углы опорных граней в зависимости от характера поверхности

Породы	Углы опорных граней в зависимости от характера поверхности, град.			
	неровные, шероховатые	ровные, шероховатые	неровные, гладкие	ровные, гладкие
Известняки	22—25	21—22	18—20	14—17

рону свободной поверхности. Величина скольжения зависит от угла наклона опорной грани, скорости перемещения блока, размера блока, величины перемещения, коэффициента трения блока по опорной грани.

Исследование природы сейсмогравитационных сил в натуральных условиях

Для объяснения природы действующих на поверхность склона сил была высказана гипотеза о том, что в рассматриваемом случае на поверхности склона принимают участие как внутренние силы (силы упругости) горных пород, так и внешние силы (силы тяжести). С целью определения доли участия каждой силы испытанию подвергнуты два критерия подобия — критерий Коши и критерий Фруда.

Исходя из положений теории подобия, при обработке результатов наблюдений масштабной величиной принято количество ВВ, т. е. величина заряда q . За эталонную величину заряда принят заряд в 1 кг; с этой величиной сравнивали все исследуемые взрывы.

В работе использованы пересчитанные масштабные коэффициенты физических величин в зависимости от масштабов зарядов.

Аналізу подвергнуты записи вертикальных и горизонтальных перемещений грунта, зарегистрированные с помощью сейсмической аппаратуры (сейсмоприемники ВЭГИК и ВБП-3, осциллограф Н—700, гальванометры ГБ—3). Работы производили на склоне с углом наклона 50° .

Сопоставление записей сейсмограмм натуральных взрывов с соответствующими материалами моделирования на линейном механическом ускорителе показало идентичность параметров движения грунта при проведении взрывных работ в аналогичных условиях.

При количественной обработке результатов установлены зависимости смещений по вертикальной и горизонтальной составляющим от расстояний. Построение зависимости этих

величин от расстояния в безразмерных координатах (замеренные величины умножались на масштабные коэффициенты) позволяет определить закон изменения исследуемого параметра в функции от расстояния и выяснить возможность его моделирования. Признаком моделируемости является группировка опытных точек при взрывах разных зарядов вокруг одной кривой.

Рассматривая эти результаты совместно с данными, полученными на линейном механическом ускорителе можно утверждать, что смещения грунта удовлетворительно моделируются по Фруду. Следовательно в нескальных грунтах и в трещиноватых массивах, состоящих из отдельных отчлененных блоков, в ближней зоне взрыва на сброс основное влияние на образование сейсмических волн на дневной горизонтальной и наклонной поверхности оказывают силы тяжести.

Исследование возможностей использования данных моделирования в натуральных условиях

В существующих способах расчета устойчивости склонов при взрывании основными факторами считают количество ВВ в заряде и эпицентральное расстояние до изучаемого элемента склона; физические же свойства пород определены коэффициентами, которые даже в пределах одного участка изменяются, отражая этим колебания свойств пород на участке.

Анализ результатов натуральных исследований, модельных работ на линейном механическом ускорителе, материалов опытных взрывов, отчетных и литературных данных позволяет выделить ряд факторов, поддающихся учету и влияющих на устойчивость склонов при ведении взрывных работ (табл. 2). В основу такого выделения положен вывод, что на сейсмогравитационную устойчивость элементов склонов влияют несколько групп факторов. При этом правомерность передачи результатов моделирования на природные объекты подтверждена критериями подобия.

При анализе силовых полей в расчетах приняты установленные исследованиями взаимодействия полей между собой и характер их внешнего проявления. Показано, что на устойчивость элементов склонов решающее влияние оказывают сейсмогравитационные силы. Внешнее проявление этих сил сводится к перемещениям отдельных отчлененных блоков в пространстве. Поэтому основной прогнозной величиной принят один из показателей внешнего проявления сейсмогравитационных сил: величина перемещения отдельного отчлененного блока под действием этих сил.

Таблица 2

Показатели факторов, влияющих на сейсмогравитационную устойчивость склонов

Фактор	Представляющий показатель	Обозначение	Размерность
Энергия сил, вызывающих неустойчивость элементов склона при взрывании	Энергия сейсмогравитационных воздействий на элементы склонов	\mathcal{E}_0	ML^2T^{-2}
Литология пород склона и их физико-механические свойства	Угол сдвига и объемный вес пород	ψ γ	нет $ML^{-2}T^{-2}$
Геометрическая форма профиля	Коэффициент прогиба	β	нет
Гравитационные силы (обрушения)	Ускорение силы тяжести и средняя высота отдельного отчлененного блока	g h	LT^{-2} L
Условия залегания пород	Угол наклона слоев в сторону долины	δ	нет
Трещиноватость пород	Коэффициент трещиноватости	η	нет
Топографический параметр долины	Величина угла склона	α	нет
Состояние контактов	Степень неровности контактов	D	нет
Внешнее проявление взрыва	Перемещения отдельных отчлененных блоков по горизонтали	l	L

Анализом размерностей по методу Релея определена связь между прогнозной величиной перемещения отдельных отчлененных блоков по горизонтали l и представляющими показателями в виде степенного уравнения (обозначения взяты из табл. 2), принятого в качестве исходного.

$$l = \mathcal{E}_0^k \psi^l \gamma^m \beta^n g^p h^q \delta^d \eta^e \alpha^f D^j \quad (81)$$

Решая уравнение (81) получили безразмерные критерии, имеющие суть критериев сейсмогравитационного подобия

$$K_1 = \frac{\mathcal{E}_0}{h^2 \gamma}; \quad K_2 = \psi; \quad K_3 = \beta; \quad K_4 = \delta; \\ K_5 = \eta; \quad K_6 = \alpha; \quad K_7 = D \quad (86)$$

Приведем некоторые пояснения к критериям. K_1 — критерий динамического подобия. Это универсальный критерий, представляющий собой отношение энергий факторов, способствующих сейсмогравитационному разрушению

склонах, к потенциальной энергии факторов, которые противодействуют разрушению. Этот критерий сводится к критериям Фруда и Ньютона.

K_5 — универсальный критерий трещиноватости. При сложном многослойном структурном строении массива склона имеет вид

$$K_5 = \frac{\eta_1 m_1 + \eta_2 m_2 + \dots + \eta_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (87)$$

где m_1, m_2, \dots, m_n — мощность слоев.

K_6 — критерий топографического параметра долины; выражается величиной угла склона.

Критерии K_1, K_5, K_6 являются определяющими для сейсмогравитационной устойчивости отдельных элементов склона, поскольку они отражают начальные условия. Совпадение этих критериев, обычно, достаточно для выявления подобия. Остальные критерии — специальные, совпадение которых на модели и природном объекте повышает точность моделирования на линейном механическом ускорителе.

Уравнение (81) в результате приведения к критериям подобия будет иметь следующий вид:

$$l = h \cdot F(K_1, K_2, \dots, K_7) \quad (88)$$

Обозначим индексом m критерии и параметры модели, индексом o — природного объекта:

$$l_m = h_m \cdot F_m(K_1^m, K_2^m, \dots, K_7^m) \quad (89)$$

$$l_o = h_o \cdot F_o(K_1^o, K_2^o, \dots, K_7^o) \quad (90)$$

Если у природного объекта и модели $K_1^m = K_1^o; K_2^m = K_2^o$

$K_3^m = K_3^o; K_4^m = K_4^o; K_5^m = K_5^o; K_6^m = K_6^o; K_7^m = K_7^o$,

то можно сделать допущение, что и их функции имеют одинаковый вид (в пределах качественно одинаковой группы явлений, например: «Обрушение склонов скального каньона»). У подобных явлений при равенстве критериев это означает и равенство функций. Тогда из (89) и (90):

$$\frac{l_o}{l_m} = \frac{h_o}{h_m}, \quad l_o = \frac{h_o}{h_m} l_m \quad (91)$$

Это уравнение справедливо при условии равенства критериев подобия. Его можно принять за критериальное уравнение связи между природным объектом и моделью, а дробь

$\frac{h_o}{h_m}$ — масштабным коэффициентом моделирования.

Характеристики, представленные в виде безразмерных коэффициентов, автоматически становятся критериями подобия. Они фактически являются предварительными условиями, ограничивающими рассматриваемое явление. Количество таких безразмерных коэффициентов можно сколько угодно увеличить, что существенно повышает точность эксперимента, но одновременно и усложняет процесс моделирования.

В заключение необходимо отметить, что такой же вид критерия K_1 (динамического подобия) получен Л. И. Седовым для «точечного» взрыва заряда внутри массива пород.

Глава IV. Некоторые принципы построения инженерных методов по предсказанию неустойчивых участков на склонах при ведении на них взрывных работ

Отработка склонов с целью сооружения в каньонах высоких бетонных плотин, железных и автомобильных дорог, изучение поведения бортов глубоких карьеров требуют наличия достаточно точной и надежной информации о поведении элементов склонов для выбора и оценки метода укрепления или определения необходимости его обрушения.

Сложные зависимости между различными типами ослабленных зон и поверхностей затрудняют применение расчетных методов определения поведения элементов склонов, уменьшают их достоверность, и надежность. Расчетные схемы рассматривают геологическую среду неподвижной, неизменной, в то время как в действительности она находится в постоянном движении и развитии.

В силу больших размеров природных склонов исследования трещиноватости массива или участков пород с меньшей прочностью производят путем изучения обнажений, исследования керна; при этом, как правило, объем изученных участков значительно меньше объема природного склона. Следует заметить, что до настоящего времени не существует научно обоснованных требований детальности освещения ослабленных площадей, обеспечивающих наперед заданную близость эмпирических и природных распределений. В этом заложена причина возможных ошибок, возникающих из отождествления этих распределений.

Применяемые статистические оценки приближения эмпирических распределений к какому-либо закону (нормальному, логарифмически-нормальному и т. д.) по существу являются процедурой аппроксимации эмпирических распределений аналитическими выражениями и не решают поставленной проблемы.

В диссертации математическими методами дано освещение

закон распределения ослабленных зон в природных массивах. Показано, что равномерное изучение является единственной системой изучения, в которой математическое ожидание концентраций ослаблений приближается к истинному. Следовательно, изучение массива склона геологическими методами с последующей обработкой данных математическими методами позволяет получить осредненные значения концентраций ослабления и их математическое ожидание, однако они не могут быть руководящими при определении устойчивости склона. Поэтому появилась необходимость создания метода натурального изучения поведения отдельных элементов склонов.

Проведение натуральных наблюдений за устойчивостью элементов склонов ставит целью установление условий и характера поведения горных пород в отчлененных массивных блоках при действии на них динамических нагрузок при взрывах.

Полученные закономерности перемещений блоков при взрывах на склонах в зависимости от различных факторов определяют, в свою очередь, возможность создания инженерных методов предсказания неустойчивых участков в элементах склона. Зная характер перемещения отдельных отчлененных блоков при различном расположении эпицентров взрывов на склонах относительно блоков и используя методику изучения ближней зоны взрыва сейсмическими методами, можно проводить регулярные инструментальные наблюдения за состоянием склонов.

В качестве основного метода изучения действия сейсмогравитационных сил на элементы склона рекомендован метод сейсмического профилирования. Метод предусматривает установку в профиль на близких эпицентральных расстояниях выпускаемых отечественной промышленностью сейсмоприемников ВБП-3 и ВИБ-У и на более удаленных — ВИБ-А и ВЭГИК с записью сигналов на осциллографах типа Н-700, ПОБ-12, ПОБ-14. Регулировку сейсмоприемников, установленных на склонах, можно осуществлять дистанционно в соответствии с методикой научно-исследовательского сектора Гидропроекта. Полученные в результате систематических инструментальных наблюдений сейсмограммы позволяют отличить упругие колебания от перемещения блоков в целом. Увеличение этих перемещений при взрывных работах будет свидетельствовать о неустойчивости элементов склона, что позволит исключить возникновение аварийных ситуаций в процессе строительства.

Приведены рекомендации по наблюдению за поведением отдельных блоков, положение которых по геологическим дан-

ным определено как потенциально неустойчивое, а сами блоки расположены непосредственно в районе строительства.

за поведением элементов склонов сейсмическими методами.

Второй разновидностью наблюдений за поведением элементов склонов являются профильные наблюдения сейсмическими методами. В отличие от метода наблюдения за отдельными отчлененными массивами при наблюдении на профиле ставят задачу обнаружения подвижных элементов склонов по определенному профилю, шаг между точками наблюдения которого выбирают исходя из линейных размеров наблюдаемых элементов (методика предусматривает наличие на возможном потенциально неустойчивом элементе хотя бы одной точки наблюдения). Профильными наблюдениями можно обнаружить подвижный элемент меньших размеров внутри границ определенного геологами потенциально неустойчивого массива и определить поведение всех элементов склонов по определенному профилю.

Общие выводы и рекомендации

1. Намечаемые к выполнению в ближайшие годы огромные объемы гидротехнического и дорожного строительства в горных районах настоятельно требуют постановки комплексных исследований поведения элементов склонов под действием статических и особенно динамических нагрузок.

2. Наряду с бесспорными успехами, достигнутыми в области теории взрыва и практики ведения буровзрывных работ, сегодня наметилось значительное отставание в области разработки методов обеспечения устойчивости и методов обрушения склонов горных ущелий.

3. Разработанный на основе теории физического подобия новый метод моделирования на линейном механическом ускорителе позволяет:

а) воспроизводить на модели отдельно и совместно действия сейсмических и гравитационных сил на труднодоступные или вообще недоступные для непосредственного исследования элементы склона;

б) получать при наличии структурных и топографических данных предварительную (до взрыва) оценку поведения элементов склонов при производстве на склонах взрывных работ;

в) соблюдать подобие в моделях и в натуре одноименных физических параметров основных дифференциальных уравнений связи.

4. Проведенные исследования показали, что:

а) поведение горных пород на крутых склонах при дей-

ствии взрывных нагрузок принципиально отличается от такового при горизонтальном залегании свободной поверхности;

б) отдельные отчлененные блоки ведут себя различно при различном расположении эпицентра взрыва:

при расположении эпицентра выше или за блоком, последние перемещаются по криволинейным траекториям от эпицентра;

при расположении эпицентра взрыва на склоне ниже блока под воздействием взрывов блоки перемещаются в сторону эпицентров;

в) величина перемещения отдельных блоков и элементов склонов определяется весом взрываемого заряда, расположением его эпицентра относительно опорной грани блока, степенью крутизны склона, характером связи и углом наклона опорной грани блока.

5. Исследование влияния угла наклона склона на внешнее проявление взрыва в несвязных (суглинистых) грунтах показало, что изменение объема воронки выброса при изменении крутизны склона проявляется весьма значительно даже при взрывании одного и того же заряда.

Объем обрушения горной массы обратно в воронку взрыва с возрастанием крутизны склона резко уменьшается.

6. Предложен ряд новых методических разработок:

а) методика моделирования действия сейсмогравитационных сил на линейном механическом ускорителе;

б) методика натурных наблюдений за поведением элементов склонов и потенциально неустойчивых массивов (методика сейсмического профилирования).

7. Методика сейсмического профилирования может найти широкое применение в практике гидротехнического строительства в скальных ущельях, при строительстве в горных районах железных и шоссейных дорог и при работах в глубоких карьерах.

Критерии поведения отдельных отчлененных блоков при расположении эпицентра взрыва ниже блока являются хорошей основой для наблюдений за состоянием бортов карьеров.

8. Определение в склоне элементов, пришедших в движение под действием взрывов, позволяет своевременно предотвращать обвал и вытекающие отсюда возможные аварийные ситуации.

9. Основной задачей дальнейших исследований является постановка работ методом сейсмического профилирования на природных склонах, определение закона распределения ослабленных зон математическими методами и дальнейшее со-

вершенствование метода моделирования на линейном механическом ускорителе.

Материалы диссертации докладывались на научной сессии Академии наук Киргизской ССР, посвященной 40-летию Киргизской ССР и Компартии Киргизии, в октябре 1966 года, на технических совещаниях Управления Нарынгидроэнергострой, в проектно-изыскательском и научно-исследовательском Институте Гидропроект им. С. Я. Жука, на ученых советах Института физики и механики горных пород АН Кирг. ССР.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в статьях:

1. Гордиенко В. Г. Моделирование сейсмического действия взрыва сосредоточенных зарядов на элементы склона при наличии наклонной обнаженной поверхности. Сб. Разрушение горных пород взрывом. Изд-во «Илим», Фрунзе (в печати).

2. Гордиенко В. Г. К оценке влияния гравитационных сил на сейсмоустойчивость склонов. Сб. Разрушение горных пород взрывом. Изд-во «Илим», Фрунзе (в печати).

3. Гордиенко В. Г. Изучение на линейном механическом ускорителе поведения элементов склонов под действием гравитационных сил и взрывных работ при отработке врезки плотины в районе строительства Токтогульской ГЭС. Материалы научной сессии, посвященной 40-летию Киргизской ССР и Компартии Киргизии, Фрунзе, 1966 г.

4. Гордиенко В. Г. Поведение элементов склонов под действием сейсмогравитационных сил при отработке врезки плотины Токтогульской ГЭС. Информационный листок № 99 (430) ИНТИ Кирг. ССР, Фрунзе, 1967 г.