

2000-712

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.235

На правах рукописи

ЭМИЛЬБЕКОВ БАЙКАЛБЕК ЭМИЛЬБЕКОВИЧ

**ОЦЕНКА МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРИ
ВЗРЫВАХ НА ВЫБРОС**

Специальность 01.02.07 – «Механика сыпучих тел,
грунтов и горных пород

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

БИШКЕК 2000

Работа выполнена в Институте физики и механики горных пород
Национальной Академии Наук Кыргызской Республики

Научные руководители: академик, доктор технических наук
Айтматов Ильгиз Торокулович
профессор, доктор технических наук
Баранов Евгений Герасимович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
Манжиков Батыр Цебекович
кандидат технических наук
Савинков Василий Дмитриевич

Ведущая организация: Кыргызский горно-металлургический
институт.

Защита диссертации состоится 7 июля 2000г. в 13 часов на
заседании диссертационного совета Д 05.00.105 при Институте
физики и механики горных пород НАН Кыргызской Республики по
адресу: 720815, г.Бишкек, ул.Медерова, 98, факс: (+996-312)
54-11-17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
физики и механики горных пород НАН Кыргызской Республики.

Автореферат разослан «27» мая 2000г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд.техн.наук, с.н.с.

НИКОЛЬСКАЯ О.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы. Центральным вопросом теории и практики взрыва на выброс является расчет величины заряда, обеспечивающего получение воронки заданных размеров. Необходимость осуществления крупных проектов значительно повысило требования к точности прогноза механического действия крупных зарядов ВВ и выявило несостоятельность существующих методов расчета, разработанных применительно к взрывам относительно малого масштаба. Размеры полученных сооружений оказались заметно меньше проектных.

Обнаруженный масштабный эффект связан с необходимостью учета собственного веса выбрасываемого грунта и затрат энергии на его перемещение в поле силы тяжести. Включение в число определяющих параметров ускорения силы тяжести и, соответственно, отказ от геометрического подобия сильно усложняет построение эмпирических расчетных формул. На этом этапе особое значение приобретают лабораторные исследования, так как изучение отдельных сторон весьма сложного процесса взрыва на выброс и разработка обоснованных физических представлений позволяет полнее использовать имеющийся разрозненный фактический материал по крупным взрывам для экстраполяции расчетных зависимостей.

В связи с этим, модельное исследование влияния поля силы тяжести на процесс образования и параметры воронки при взрыве на выброс, экспериментально устанавливающее вид и выявляющее особенности такой экстраполяции, является важной и актуальной научной задачей. Имеющийся в ИМГП НАН КР линейно-механический ускоритель МУ-12 конструкции член-корр. РАН А.А.Ильмина, позволяющий получать постоянно действующее на модель ускорение в диапазоне от 5g до 100g в течение времени, достаточном для изучения процесса выброса при взрыве микрочарядов ВВ, представляет собой почти идеальный инструмент для проведения такого исследования.

Цель работы состоит в развитии физически обоснованного подхода к прогнозированию масштабного эффекта крупных взрывов учетом экспериментально выявленных особенностей влияния силы тяжести на процесс выброса.

Идея работы заключается в использовании ЛМУ для определения количественных и качественных закономерностей влияния перегрузок на развитие и результаты взрыва на выброс и их учете при прогнозе параметров крупномасштабных взрывов.

Задачи проводимых исследований включают :

- развитие методики центробежного моделирования взрыва на выброс на ЛМУ для решения модельных задач;
- установление закономерностей влияния перегрузок на параметры воронок одиночных сосредоточенных зарядов;
- определение особенностей влияния перегрузок на параметры протяженных выемок при взрыве на выброс;
- выявление механизма влияния перегрузок на процесс образования воронки;
- разработку уточненной модели взрыва на выброс с учетом особенностей влияния силы тяжести;
- усовершенствование методики инженерного расчета взрыва на выброс.

Методы исследований. Для достижения поставленной цели применен комплекс современных методов исследования, включающий анализ и обобщение литературных данных по механическому действию подземного взрыва, лабораторное изучение процесса выброса с использованием ЛМУ, статистический анализ и обобщение результатов исследований.

Основные научные положения, выдвигаемые на защиту :

1. Экспериментально полученные закономерности влияния перегрузок на параметры воронок и протяженных выемок :
 - изменения параметров при увеличении величины перегрузки N описываются степенной функцией $N^{-\alpha}$, где α зависит от условий проведения взрыва (ЛНС, свойств среды, ВВ и формы заряда);
 - вид функций показателя действия взрыва и оптимальные параметры заложения заряда определяются свойствами среды и ВВ и слабо зависят от величины перегрузок.
2. Расчетная зависимость размеров воронок от параметров заложения заряда и масштаба взрыва, установленная на основе модельного изучения закономерностей взрыва на выброс и отражающая взаимосвязь величины функции показателя действия взрыва и степени влияния перегрузок.
3. Экспериментально выявленные особенности влияния перегрузок на процесс развития взрыва на выброс, обусловленные образованием истинной воронки выброса.
4. Уточненная модель взрыва на выброс, отличающаяся от известных учетом выявленной стадии формирования истинной воронки.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована комплексностью проведенных экспериментально-аналитических исследований, большим объемом экспериментальных данных с хорошей воспроизводимостью и сходимостью с натурными данными.

Научная новизна работы заключается в следующем :

- впервые исследовано влияние перегрузок на характеристики протяженных выемок при взрывах на выброс;
- установлена двухфакторная зависимость конечных размеров воронок от параметров заложения заряда и величины перегрузки;
- получено уточненное описание механизма влияния поля силы тяжести на процесс развития взрыва на выброс и впервые выявлена промежуточная стадия формирования воронки;
- разработана модель взрыва на выброс, учитывающая выявленную стадию формирования истинной воронки.

Личный вклад автора состоит в развитии и усовершенствовании методики физического моделирования на ЛМУ, определении зависимостей размеров воронок от величины перегрузки, установлении механизма влияния перегрузок на процесс выброса, обоснованном усовершенствовании схематизации взрыва на выброс, разработке методики прогноза параметров воронок с ростом масштаба взрыва.

Практическая ценность. Установленная уточненная схематизация взрыва на выброс может служить методологической основой для осуществления прогноза параметров воронок при численных расчетах, обработке экспериментальных данных и моделировании. Предложенные рекомендации к инженерной методике расчета взрыва на выброс позволяют на стадии проектирования более обоснованно подходить к оценке масштабного эффекта.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и получили одобрение на Ученом совете ИЖМП НАН КР в 1980-1995 гг.; научно-техническом совещании "Использование энергии взрыва в народном хозяйстве", Батуми, 1981 г.; I Всесоюзном семинаре "Проблемы разработки полезных ископаемых в условиях высокогорья", Фрунзе, 1987 г.; IX Всесоюзной конференции по механике горных пород, Бишкек, 1989 г.; Международной конференции "Горная наука в условиях рыночной экономики", Бишкек, 1995 г.; Международной научной конференции "Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства", Бишкек, 1999 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы десять печатных

работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, изложенных на 247 стр. машинописного текста, содержит 33 рис., 12 таблиц, список литературы из 201 наименования.

Автор выражает глубокую признательность научным руководителям, академику И.Т.Айтматову и профессору Е.Г.Баранову за внимание и советы при работе над диссертацией; к.т.н. С.Б.Барсаназеву за помощь и поддержку при проведении экспериментов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении показаны актуальность и практическое значение оценки масштабного эффекта при взрывах на выброс.

Первая глава диссертации посвящена обзору современных представлений о механическом действии и масштабном эффекте крупных взрывов. Описан механизм взрыва на выброс, приведен анализ существующих подходов к оценке масштабного эффекта, рассмотрены основные результаты изучения влияния силы тяжести на процесс выброса при лабораторных исследованиях и численных расчетах.

Элементы взрывных процессов в грунтах и скальных породах с успехом изучались в теоретических и экспериментальных работах М.А.Лаврентьева, М.А.Садовского, Я.Б.Зельдовича, Л.И.Седова, Н.В.Мельникова, Е.И.Шемакина, В.В.Адушкина, Л.В.Альтшулера, Е.Г.Баранова, В.А.Бороникова, Ю.С.Вахрамеева, А.А.Вонка, С.С.Григоряна, А.Д.Ильинского, Н.В.Зволинского, А.С.Компанейца, П.Ф.Короткова, В.П.Корявова, Э.А.Кожалева, В.М.Кузнецова, Е.Е.Ловецкого, И.А.Лучко, Г.М.Ляхова, А.В.Михалюка, В.Н.Мосинца, В.Н.Николаевского, Г.И.Покровского, Х.А.Рахматулина, В.Н.Родионова, А.Н.Ромашова, К.П.Станковича, Г.И.Черного, Е.Н.Шера и многих других.

Согласно современной схематизации взрыва на выброс, влияние силы тяжести существенно на стадии газового ускорения и лишь в том случае, если величина литостатического давления грунта над зарядом $p_{лг}$ сравнима с давлением газообразных продуктов детонации в расширяющейся полости, что приводит к уменьшению энергии, переданной ВВ среде. Влияние баллистического разлета разрушенного грунта на размеры воронок мало, поскольку весь грунт, приведенный в движение, выбрасывается за пределы воронки.

Для учета собственного веса грунта в общепринятую расчетную формулу обычно вводят поправку на масштаб взрыва B , что придает

ей необходимую универсальность. Большинство исследователей (А.Ф.Беляев, Г.И.Покровский, В.Н.Родионов, В.В.Адушкин и др.) экстраполяцию осуществляют с учетом требований теории подобия и расчетную формулу записывают в виде

$$Q = B W^3 f(n)(a + bW). \quad (1)$$

При малых масштабах ($a \gg bW$) она соответствует зависимости, отражающей принцип геометрического подобия ($Q \sim W^3$), при крупных взрывах ($a \ll bW$) $Q \sim W^4$ (существенна только сила тяжести).

Статистический анализ результатов экспериментальных взрывов, проведенных в США, приводит к зависимости $Q \sim W^{3.4}$. Экспериментальные взрывы на сброс в гранитах описываются показателем степени 4,0, а взрывы в глинах - 3,3. Лабораторные опыты на установках (ЛМУ, центрифуга, самолет на вираже), позволяющих варьировать величину перегрузки $N = g/g_0$, где g - ускорение, создаваемое установкой, g_0 - ускорение свободного падения, 9,8 м/с², показали, что линейные размеры воронок L существенно уменьшаются с ростом перегрузок $L \sim N^n$, ($0,08 < n < 0,18$), или, после преобразования, $Q \sim W^m$, ($3,2 < m < 3,6$). Зависимости подобного вида могут быть получены из анализа размерностей при конструировании одного определяющего безразмерного критерия подобия из нескольких, путем их перемножения и извлечения корней (Н.С.Сахе, Р.С.Уэстине и др.).

А.А.Шабал, А.Н.Ромашов при описании взрывов на выброс отказались от принципа геометрического подобия, полагая, что в процессе выброса основная роль принадлежит полю силы тяжести. Зависимость $Q \sim W^4$ с ростом масштаба взрыва перестает выполняться из-за того, что проявляют себя "нарушители подобия" (показатель преломляемости, атмосферное давление, вязкость и др.), действие которых сводится к увеличению размеров воронок, что объясняет опытные зависимости $Q \sim W^m$.

Существование различных точек зрения на роль силы тяжести в процессе взрыва на выброс свидетельствует не только о сложности протекающих процессов, часть из которых подчиняется принципу геометрического подобия, а в других важную роль играет собственный вес, но и об отсутствии единства в качественном описании взрыва на выброс. Отсюда, в частности, следует, что некоторые стороны явления отсутствуют в общепринятой схематизации, которая не объясняет имеющиеся современные факты.

В заключение главы определены цель и задачи исследований.

Во второй главе изложены физические основы подобия взрывных процессов, конструктивные особенности линейно-механического ускорителя и методика исследований. ЛМУ, реализуя принцип падающего ящика, выгодно отличается от центрифуг тем, что отсутствуют ускорения Карнолиса и, вследствие этого, имеется возможность изучения взрывов на выброс.

Зависимости, справедливые для широкого класса подобных явлений одной физической природы, устанавливаются при постановке экспериментов и обработке результатов в безразмерном критериальном виде, причем оптимальным является изучение двухфакторной зависимости. Показано, что возможность получения различных перегрузок на ЛМУ позволяет проводить модельные исследования, направленные на выявление общих закономерностей и особенностей влияния силы тяжести на процесс развития взрыва на выброс. При этом, вследствие многообразия природных сред, в модели может быть допущена большая степень абстракции и отображены лишь самые характерные параметры и стороны процесса. Наиболее общей формой постановки модельной задачи является исследование двухфакторной зависимости размеров воронок от основных параметров заряда и величины перегрузки

$$L/Q^{1/3} = f(Q/W^3, N). \quad (2)$$

При этом первый критерий подобия отражает требование теории подобия необходимости наличия геометрического подобия между сравниваемыми взрывами, а второй - влияние масштабного эффекта.

Основное правило моделирования процессов, в которых существенна роль силы тяжести, состоит в том, что на геометрически подобную модель из материала природы воздействует перегрузка, величина которой численно равна масштабу моделирования. Хорошее соответствие, полученное при моделировании натуральных взрывов как на ЛМУ, так и на центрифугах (E.S.Gaffney, R.M.Schmidt, C.H.Sergano), не оставляет сомнений в том, что результаты любого взрыва, проведенного под перегрузкой, могут быть перенесены на натуральный взрыв, проводимый в той же среде и с использованием того же ВВ, у которого вес заряда и глубина его заложения соответственно равны $Q_1 = Q_2 N^3$, $W_1 = W_2 N$.

Согласно теории подобия, если взрыв проводится под перегрузкой, то эффект воздействия перегрузки ($N=g/g_0$) неотличим от масштабного эффекта ($N=W/W_0$). Поэтому физический смысл величины

перегрузки $N=g/g_0$ состоит в том, что в случае геометрического подобия параметров заложения она может трактоваться как отношение масштабов $N=W/W_0$ сравниваемых взрывов. Если на неизменную модель воздействуют все возрастающие перегрузки, то любые зафиксированные изменения в скоростях разлета, форме и размерах воронки, навала и т.д. будут иметь место и при увеличении масштаба взрыва, когда у сравниваемых взрывов пространственные параметры (форма зарядов, ЛНС и т.д.) геометрически подобны. Поэтому безразмерная величина перегрузки однозначно определяет влияние как поля силы тяжести, так и масштаба взрыва.

Второй критерий связан с переносимостью результатов взрывов на другие среды. Допустим, что существует автомодельность взрыва на выброс, в пользу которой свидетельствуют относительно близкие выражения для функций показателя действия взрыва, получаемые при взрывах на выброс в различных средах. Согласно теории подобия, к автомодельным относятся двучленные формулы, получаемые из одного определяющего критерия подобия. Автомодельной является расчетная формула М.М.Борескова и подобные ей. Тогда определяющими процесс взрыва параметрами являются вес заряда, глубина его заложения и удельный расход ВВ, который интегрально содержит в себе учет свойств среды и ВВ. Из этих определяющих параметров может быть составлен только один критерий Q/W^3 .

Для выявления качественной картины влияния перегрузок конструкция ускорителя была усовершенствована добавлением смотрового окна. Взрыв производился непосредственно на стальной наковальне цилиндрической формы диаметром 30 мм, жестко укрепленной на массивной упорной балке. Основание наковальни находится в одной плоскости с листовым оргстеклом. Вся конструкция закреплена в контейнере ЛМУ, в передней части которого вырезано окно размером 250*500 мм, через которое производится скоростная киносъемка.

Справедливость положения об эквивалентности взрыва у жесткой стенки и заряда удвоенного веса в свободном объеме подтверждена экспериментально (В.Н.Родионов, А.Н.Романов, А.П.Сухотин и др.). Киносъемка взрыва в центральном поперечном сечении позволяет оценить размеры промежуточной воронки на всех стадиях развития взрыва. Сопоставление кинограмм взрывов, проведенных при различных перегрузках, приводит к ясной качественной картине механизма влияния перегрузок.

В третьей главе приведены результаты исследований влияния перегрузок на параметры воронок и протяженных выемок и уточненный механизм выброса, выявленный скоростной киносъемкой.

В качестве среды использованы сухой и увлажненный глицерином (2,5% по весу) кварцевый песок, имеющий преимущественный размер 0,2 мм и плотность 1,55 г/см³.

Установлено, что воздействие перегрузок существенно уменьшает размеры воронок. В качестве типичного примера получаемых результатов, на рис. 1 показаны зависимости объемов воронок от ЛНС при различных перегрузках, полученные при взрывах сосредоточенных зарядов весом 0,6 г во влажном песке.

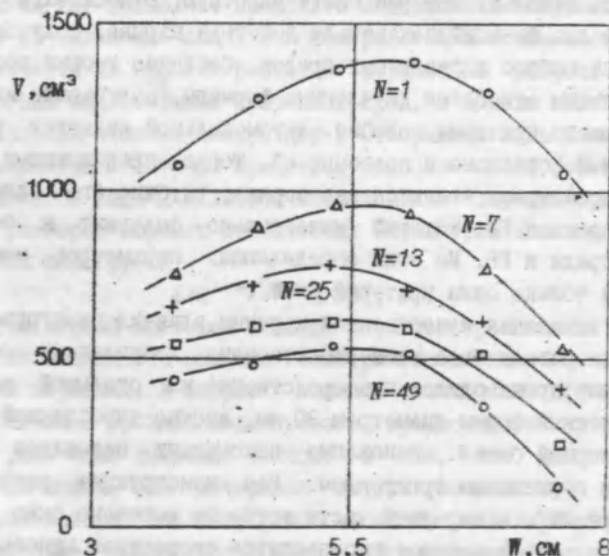


Рис. 1. Зависимости объема воронки во влажном песке от заглубления заряда весом 0,6 г при различных перегрузках.

Зависимости объемов от величины перегрузки при фиксированных параметрах заложения ($Q/W^3 = const$) имеют вид гладких кривых, которые описываются степенной функцией $V(N) = V_0 N^{-\alpha}$, где α зависит от ЛНС. Наименее подвержены влиянию силы тяжести взрывы с небольшими заглублениями ($\alpha=0,2$), взрывы с оптимальной глубиной заложения ($1,7 < \alpha < 3$) описываются показателем степени $\alpha=0,25$, наиболее

сильно уменьшаются размеры воронок зарядов, заглубленных больше оптимального.

Уменьшение показателей выброса (безразмерного радиуса) с ростом перегрузок, в пределах разброса данных, для всех исследованных ЛНС может быть описано единой зависимостью

$$n = n_0 N^{-0,075} \quad (3)$$

Емесе с тем, при всех исследованных перегрузках функция показателя действия взрыва описывается по М.М. Борескову, а зависимость максимальной эпицентральной скорости выброса от приведенной глубины заложения заряда получена в виде

$$v_{max} = 8,5(Q^{1/3}/W)^{2,7} \quad (4)$$

Для количественной оценки влияния перегрузок надо так изменять параметры заложения заряда, чтобы получались воронки требуемых размеров. Поскольку вид показателя действия взрыва не зависит от величины перегрузки, можно говорить, что, в связи с влиянием собственного веса грунта, при увеличении перегрузок (или масштаба взрыва) увеличивается удельный расход ВВ. Поправка, найденная методом наименьших квадратов по отношениям средних удельных расходов k при различных перегрузках, $B = k(N)/k = N^{0,17}$.

Поправка B должна совместить друг с другом кривые на рис. 1. Установлено, что независимость оптимальных параметров заложения заряда от величины перегрузки нарушает подобие и наилучшее согласование получается при $B=N^{0,2}$. Эта поправка позволяет получать воронку требуемых размеров при различных перегрузках. Степенной вид поправки показывает, что безразмерная величина перегрузки действительно играет роль относительного масштаба. Важны не абсолютные величины, а их отношения. Близкие изменения в размерах происходят при сопоставлении воронок, полученных при перегрузках 1:7 и 7:49.

На рис. 2 приведены параметры воронок в сухом песке при взрывах сосредоточенных зарядов весом 0,3 г. Установлено, что максимальные эпицентральные скорости выброса практически совпадают с полученными для влажного песка

$$v_{max} = 8,8(Q^{1/3}/W)^{2,6} \quad (5)$$

Функция показателя действия взрыва найдена в виде $f(n) = n^{2,3}$ (сла-

бее функции М.М.Борескова) и независима от действующей перегрузки. Воронки максимальных размеров с ростом перегрузок уменьшаются следующим образом: $V=V_0 N^{-0,36}$, $n=n_0 N^{-0,11}$, $H=H_0 N^{-0,2}$, т.е. воронки в сухом песке более чувствительны к величине перегрузки. Однако оценка поправки по удельному расходу ВВ дает $B=N^{0,19}$, а оценка по объемам приводит к $B=N^{0,23}$, что практически совпадает с результатами взрывов во влажном песке. Для наглядности приведенные параметры воронок показаны на рис.2 стрелками, а крестиками обозначены приведенные размеры оптимальных воронок.

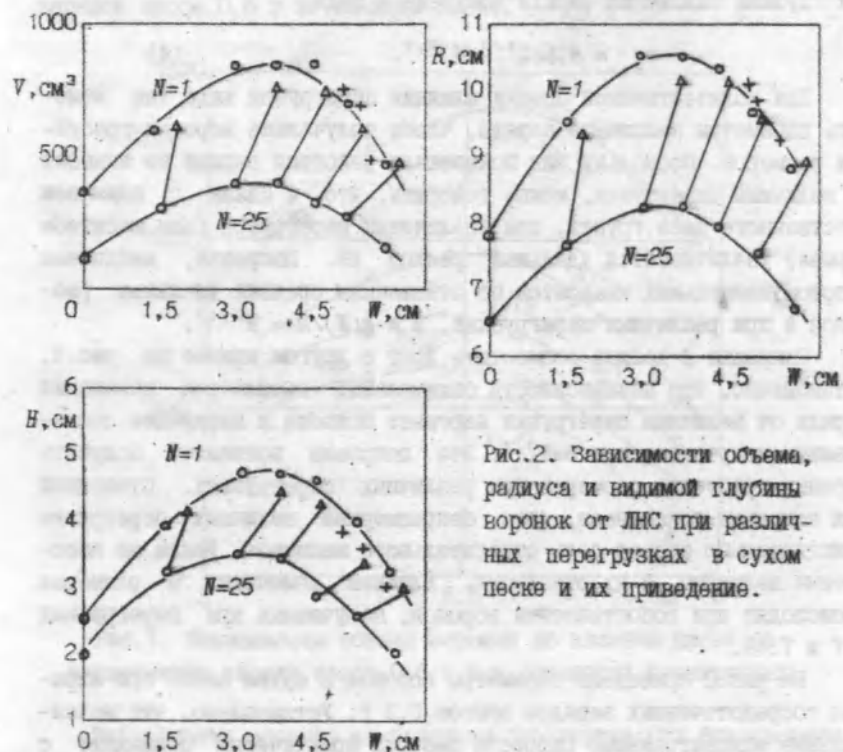


Рис.2. Зависимости объема, радиуса и видимой глубины воронок от ЛНС при различных перегрузках в сухом песке и их приведение.

Близкие результаты с аналогичными выводами получены для скважинных зарядов и для зарядов выброса, создающих протяженные выемки (однородные, сближенные и цилиндрические горизонтальные).

Обнаружено, что линейные размеры выемок при увеличении перегрузок становятся меньше растворов воронок одиночных зарядов.

Простым геометрическим наложением можно показать, что отношения объемов $V_{расд}/V_{од} = 2n/(n+1)$ и при $n > 1$ ширина выемки должна быть больше раствора воронок, что обычно и наблюдается. Обнаруженный эффект обусловлен влиянием перегрузок и должен иметь место при крупных натуральных взрывах.

Зависимость ширины протяженной выемки от величины перегрузки найдена в виде $n=N^{-0,12}$. Установлена поправка $B=N^{0,2}$. Несмотря на более сильное уменьшение размеров выемки, величина поправки не отличается от полученной при взрывах одиночных зарядов. Формально это объясняется более слабой зависимостью $f(n)$ для ЦЗ по сравнению с одиночным зарядом. Обобщение полученных результатов указывает, что существует взаимосвязь между величиной $f(n)$ и степенью уменьшения воронок. Чем больше величина функции показателя выброса, тем слабее влияние перегрузок.

Далее изложен качественный механизм влияния перегрузок на процесс выброса. Методика обработки кинограмм сводится к построению последовательных смещений реперов (контрастно окрашенных частиц среды), контуров промежуточной воронки и внешней поверхности купола. При графическом дифференцировании возникают большие ошибки, поэтому влияние силы тяжести выявлялось сопоставлением контуров в фиксированные моменты времени. Практически идентичные начальные скорости выброса при взрывах в сухом и влажном песке позволяют проводить их непосредственное сопоставление.

На рис.3 приведены профили промежуточных воронок в различные моменты времени при глубине заложения 4,5 см заряда весом 0,3 г. Промежуточные воронки под перегрузкой оказались близкими между собой и обозначены сплошной линией, а в сухом песке в стационаре - пунктиром.

Вплоть до 12,5 мсек профили промежуточных воронок практически одинаковы - на этом этапе развития взрыва влияние перегрузок незначительно. К этому моменту времени во влажном песке стенки купола в средней части пронизаны радиальными трещинами, но периферийная часть купола, прилегающая к полупространству массива, еще сохраняет сплошность. В сухом песке заметных по кинограммам трещин не обнаружено.

В последующие 10-15 мсек прилегающий к массиву купол и часть массива ниже свободной поверхности пронизываются радиальными трещинами отрыва, по которым и происходит последовательный выброс

разрушенного купола. Из-за развития трещин, вдоль которых сцепление равно нулю, движущиеся части купола теряют связь друг с другом, а периферийные части - с массивом. С этого момента во влажном песке существенным становится только поле силы тяжести. Влияние перегрузок начинает проявлять себя именно в этот промежуток времени.

Разница в размерах промежуточной воронки к моменту $t=18$ мсек (воронки в сухом песке в стационаре больше) означает, что в этот промежуток времени начали проявлять себя силы сопротивления выбросу: сцепление во влажном песке и поле силы тяжести в сухом песке под перегрузкой. Профили воронок во влажном песке практически одинаковы, несмотря на то, что один взрыв проведен в стационаре, а другой под перегрузкой.

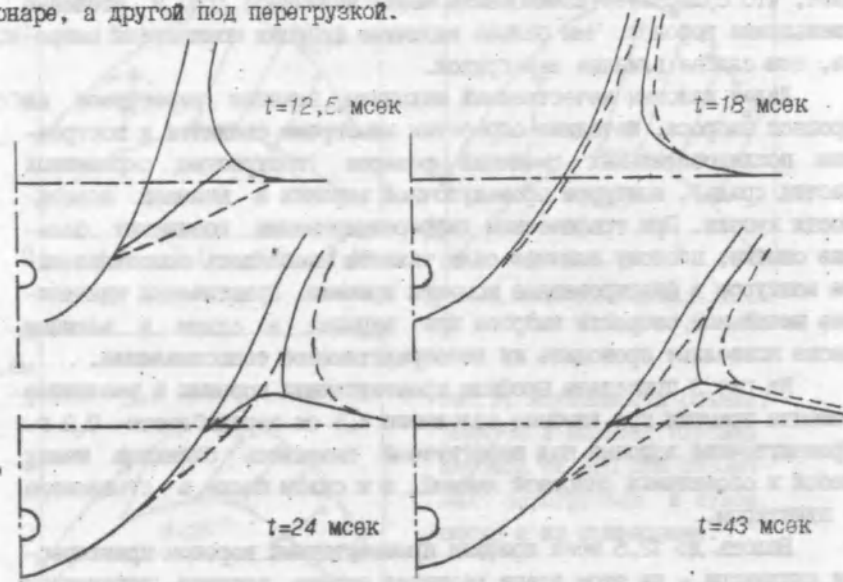


Рис.3. Контуры промежуточной воронки в различные моменты времени. Пунктир - стационар, сплошная - перегрузка.

В момент $t=24$ мсек во влажном песке под перегрузкой практически сформирована промежуточная воронка выброса. Купол представляет собой рой разлетающихся частиц, которые уже пересекли гребень конечного навала (показан там же). Приведение на одном ри-

сунке промежуточной воронки и конечного профиля показывает области, которые охвачены движением. Близок к завершению процесс формирования истинной воронки в сухом песке под перегрузкой. Однако процесс развития выброса у взрывов в стационаре продолжается.

Далее представлены профили воронок в сухом песке в момент $t=43$ мсек. Воронка под перегрузкой почти сформирована, ее размеры заметно меньше, чем при взрыве в стационаре, что связано только с влиянием силы тяжести. Процесс формирования промежуточных воронок в стационаре практически заканчивается к 90 мсек.

Разлет грунта в виде разрушенной, но компактной массы и процесс формирования бортов видимой воронки зависит от величины перегрузки. Под перегрузкой процесс выброса и образования воронки убыстрен, причем во многом из-за того, что периферийные части купола не могут преодолеть влияния перегрузок и быть выброшенными, и при $N=25$ заканчивается примерно к 90 мсек. При взрывах в стационаре в этот момент времени грунт еще продолжает свое движение, основная часть которого оседает в виде навала к 200 мсек.

Борта получающейся промежуточной истинной воронки выброса во влажном песке пронизаны системой трещин, по одной из которых (обычно верхней) может произойти оползание части разрушенного борта в воронку. Отметим также, что трансформация формы истинной воронки выброса в нижней части (камуфлетная полость) начинается в процесса выброса и, вероятно, связана с разгрузкой среды.

Аналогичные результаты получены и для других ЛНС, незначительно отличаясь временем достижения характерных этапов выброса.

Существенно важными являются два момента. Во-первых, объемы периферийных частей купола превосходят объем промежуточной воронки, получаемой на стадии газового ускорения. Во-вторых, эти периферийные слои находятся ниже свободной поверхности и для их выброса надо совершать работу против силы тяжести. Поэтому влияние силы тяжести на этой стадии существенно при любом масштабе взрыва, а обнаруженная взаимосвязь между величиной функции показателя выброса и степенью влияния перегрузок обусловлена тем, что они определяются условиями на одной и той же границе воронки.

Четвертая глава посвящена анализу и обобщению полученных результатов, аналитическим оценкам и усовершенствованию имеющейся методики инженерного расчета взрывов на выброс.

Из анализа доступных данных по взрывам на выброс показано,

что выявленные особенности действительно имеют место. Так, степенной характер уменьшения размеров воронок и протяженных выемок обнаруживается при проведении систематических опытных взрывов промышленного ("Советипроводхоз") и полигонного (М.К.Терметчиков) масштабов. Обнаруженный на ЛМУ эффект более сильного уменьшения протяженных выемок действительно наблюдался у крупных однорядных взрывов ("Biggy" и T-2). Ширина выемок у этих взрывов оказалась меньше размеров воронок соответствующих одиночных зарядов выброса, проведенных в том же масштабе. Отмечается, что поскольку этот результат не согласовывался с общепринятой точкой зрения, то он был объяснен усложнением геологических условий.

При крупных взрывах влияние силы тяжести может проявиться на стадии газового ускорения. Ввиду отсутствия надежных натуральных данных, для оценки верхней границы применимости полученных результатов использованы взрывы на сброс, проведенные в вакуумной камере ИС АН СССР (В.В.Адушкин, Л.М.Перник), когда заряды с идентичными параметрами заложения взрывались на склонах различной крутизны. Критерии подобия были выбраны так, чтобы моделировались взрывы, проводимые на глубинах порядка десятков метров. Установлено, что с ростом угла склона размеры воронок значительно увеличиваются, однако начальные скорости выброса остаются неизменными. Из соответствия качественной картины выброса следует, что и количественные закономерности, полученные на ЛМУ, справедливы в указанном диапазоне.

В следующем параграфе рассмотрены характерные особенности расчетных формул, получаемых при априорном задании масштабного эффекта. Показано, что обработка опытных данных в таких координатах приводит к более сильной функции показателя действия взрыва. Подчеркивается, что задача оценки масштабного эффекта во многом была бы решена, если бы имела надежная (опытная) зависимость $f(\eta)$ для крупных взрывов в какой-либо среде.

Далее приведены аналитические оценки масштабного эффекта по предлагаемой модели выброса, включающей обнаруженную стадию формирования истинной воронки. Полагается, что выброс происходит прямолинейно вдоль радиусов, исходящих из центра заряда. Стадии передачи энергии ВВ среде исключены из рассмотрения заданием начального распределения скоростей $v_0 = A(Q^{1/3}/W) \cos^m \theta$, где θ - угол от вертикали, а коэффициенты A и m известны из опыта. Отра-

ничались двумя случаями взрывов с характерными размерами камуфлетных полостей: в скальной породе ($r \approx W$) и мягком грунте (показатель простираемости $60 \pm 110 \text{ м}^3/\text{т}$ и $r/\sin \theta \approx W/2 \cos \theta$), что упрощает выкладки. Уравнение сохранения энергии на границе будущей воронки разрешалось относительно веса заряда Q , а затраты энергии оценивались по параметру, играющему роль удельного расхода ВВ.

Если работа выброса производится только против силы тяжести, то расчетная зависимость для веса заряда

$$Q = k(g/A^2)^{3/2} W^{3+3/2m} (1+n^2)^{1.5} \quad (6)$$

Функция показателя выброса получилась слабее функции М.М.Борескова, а удельный расход ВВ имеет величину $0,5 \div 0,7 \text{ кг/м}^3$. Для выполнения ожидаемого соотношения $Q \sim W^4$ нужно, чтобы в процессе передачи энергии ВВ среде распределение скоростей в поднимающемся куполе описывалось степенью $m=1,5$. Такая степень имеет место при изотропном распределении энергии ВВ в среде. Более высокие значения эмпирического коэффициента m связаны со стадией газового ускорения. Поэтому сам процесс передачи энергии ВВ среде таков, что предельное соотношение $Q \sim W^4$ невыполнимо, а начальное распределение скоростей является весьма сильным нарушителем подобия.

Аналогично рассмотрена и работа против сил сцепления. Считается, что формирование воронки происходит путем сдвига вдоль поверхности отрыва купола от массива грунта, а сила трения мала по сравнению со сцеплением τ_* . На этой стадии происходит последовательный выброс конических слоев купола. При этом выбрасываемый слой испытывает влияние как вышележащего, так и нижележащего слоев. Поэтому элементарный акт работы при транспортировке элемента массы вдоль образующей конуса за пределы воронки

$$\delta A = \tau_* \cdot d(\delta S) \cdot (W-h)/\cos \theta, \quad (7)$$

где δS - элемент поверхности конуса, $\delta S = 2\pi R dl$, $dl = dr/\cos \theta$, $R = h \operatorname{tg} \theta$, а работа по выносу всего конусного слоя получается интегрированием в пределах от 0 до W . После приравнивания этой работы кинетической энергии слоя, получаем зависимость

$$Q = 2,8(3\tau_*/\rho A^2)^{3/2} W^3 ((1+n^2)/2)^{3/2} ((2n^2+1)/3n)^{3/2m} \quad (8)$$

В этом случае выполняется принцип геометрического подобия ($Q \sim W^3$), функция показателя действия взрыва сильнее функции М.М. Борескова, а параметр, играющий роль удельного расхода, возрастает с ростом прочности и для влажного песка со сцеплением 10^3 Па имеет величину $0,4 \text{ кг/м}^3$. Плотность среды оказалась в знаменателе, поскольку она прямо связана с кинетической энергией среды.

Аналогично, если преобладающим механизмом в процессе формирования воронки является отрыв, то удельный расход имеет величину около $0,1 \text{ кг/м}^3$.

Совместное влияние затрат энергии с учетом трения и дилатации качественно объясняет закономерности взрывов на выброс. Вместе с тем асимптотика представляется очевидной. При возрастании масштаба взрыва существенна только сила тяжести и здесь важную роль играет обнаруженный "нарушитель подобия". Тогда для скальных пород имеем $Q \sim W^{3,8}$, что весьма близко к полученным значениям в опытных взрывах на оброс в гранитах. В глине и лессе соответственно $Q \sim W^{3,7}$ и $Q \sim W^{3,5}$, но показатель степени должен уменьшиться, приближаясь к экспериментальным, ввиду значительного вклада котловой полости в объем воронки, а в глинах, кроме того, должно произойти дополнительное уменьшение показателя степени из-за влияния сцепления. Нам известна только одна работа, в которой изучались распределения скоростей периферийных частей купола (В. Гарнов, Д.А. Харин, 1968), результаты которой ($v \sim L^{-5,6}$, $m = 5,6$, где L - приведенное гипоцентральное расстояние) находятся в хорошем соответствии с опытами на ЛМУ и данными крупномасштабных взрывов в мягких грунтах.

Предложены рекомендации к методике расчета крупных взрывов на выброс. Желательно:

- удельный расход ВВ определять взрывами с ЛНС $2 \pm 3 \text{ м}$;
- определять функцию показателя действия взрыва (по трем "точкам"), поскольку она зависит от свойств грунта и ВВ и может значительно отличаться от функции М.М. Борескова;
- включить в расчетную формулу поправку на масштабный эффект $V = (W/W_0)^{0,3}$, где W - ЛНС проектируемого взрыва, W_0 - глубина заложения "эталонного" взрыва, проведенного в данной среде (данные промышленных взрывов, проведенных в сходных условиях, или взрывы, проводимые для определения удельного расхода ВВ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача, заключающаяся в развитии физически обоснованного подхода к прогнозированию масштабного эффекта крупных взрывов разработкой модели взрыва на выброс, учитывающей экспериментально выявленные особенности влияния силы тяжести на процесс выброса.

Основные научные, методические и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. Впервые исследовано влияние перегрузок на параметры протяженных выемок и обнаружено уменьшение размеров выемок по сравнению с воронками соответствующих одиночных зарядов.

2. Экспериментально подтверждено влияние силы тяжести на процесс образования воронки при рывках на выброс. При этом изменения параметров воронок при увеличении величины перегрузки N описываются степенной функцией $N^{-\alpha}$, где α зависит от условий проведения взрыва (ЛНС, свойства среды, ВВ и формы заряда).

3. Вид функций показателя действия взрыва, оптимальные параметры заложения заряда и максимальные скорости определяются свойствами среды и ВВ и слабо зависят от величины перегрузок.

4. Установлен общий вид единой двухпараметрической зависимости размеров воронки от параметров заложения заряда и величины перегрузки, отражающей взаимосвязь величины функции показателя выброса и степени влияния перегрузки.

5. Впервые экспериментально выявлена стадия формирования истинной воронки, которая протекает между стадиями газового ускорения и баллистического разлета.

6. Разработана усовершенствованная схема взрыва на выброс, включающая стадию формирования истинной воронки.

7. Определены границы применимости полученных количественных результатов и предложены рекомендации к методике инженерного расчета взрывов на выброс, учитывающие масштабный эффект и влияние силы тяжести.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Барсанов С.Б., Эмильбеков Б.Э., Расихин К.А. Моделирование взрывов с использованием искусственно создаваемой силы тяжести // Направленные взрывы на склонах. - Фрунзе: Илим, 1980, с.45-51.

2. Барсанаев С.Б., Эмильбеков Б.Э. Методы изучения действия крупномасштабных взрывов //Тезисы докладов научно-технического совещания "Использование энергии взрыва в народном хозяйстве".-Тбилиси: Мецниераба, 1981, с.121-123.
3. Барсанаев С.Б., Распикин К.А., Эмильбеков Б.Э. Влияние силы тяжести на параметры воронки выброса //Взрывные работы в грунтах и горных породах.-Киев: Наукова думка, 1984, с.67-74.
4. Барсанаев С.Б., Эмильбеков Б.Э. К вопросу о влиянии силы тяжести при взрывании удлиненных горизонтальных зарядов выброса //Действие взрыва зарядов в грунтах и горных породах.-Фрунзе: Илим, 1984, с.3-7.
5. Барсанаев С.Б., Эмильбеков Б.Э. Прогнозирование параметров крупномасштабных взрывов на выброс в грунтах // 1-й Всесоюзный семинар "Проблемы разработки полезных ископаемых в условиях высокогорья" Тезисы докладов. -Фрунзе: ФПИ, 1987, с.79-80.
6. Барсанаев С.Б., Эмильбеков Б.Э. Методические основы прогнозирования параметров крупномасштабных взрывов //Деформирование и разрушение горных пород (Материалы IX Всесоюзной конференции по механике горных пород).-Фрунзе: Илим, 1990, с.23-34.
7. Айтматов И.Т., Эмильбеков Б.Э. О влиянии силы тяжести при взрывах на выброс //Сб.статей научного семинара кафедры механики КТУ. вып.1.- Бишкек: КТУ, 2000, с.35-46.
8. Айтматов И.Т., Эмильбеков Б.Э. О схематизации взрыва на выброс//Сб.статей научного семинара кафедры механики КТУ. вып.1.- Бишкек: КТУ, 2000, с.46-54.
9. Эмильбеков Б.Э. О масштабном эффекте скважинных зарядов выброса//Материалы научной конференции "Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства", посвященной 45-летию организации Фрунзенского политехнического института - Кыргызского технического университета им.И.Раззакова.-Бишкек: Кырг.техн.ун-т, 1999, с.119-124
10. Эмильбеков Б.Э. Особенности влияния силы тяжести на протяженные выемки зарядов выброса //Материалы научной конференции "Технологии и перспективы современного инженерного образования, науки и производства", посвященной 45-летию организации Фрунзенского политехнического института - Кыргызского технического университета им.И.Раззакова.-Бишкек: Кырг.техн.ун-т, 1999, с.275-280

Эмильбеков Байкалбек Эмильбекович
Оценка масштабного эффекта при взрывах на выброс
Аннотация

С помощью линейно-механического ускорителя конструкции член-корр. РАН А.А.Ильшина исследованы закономерности и особенности влияния перегрузок (поля силы тяжести) на процесс развития взрыва на выброс и конечные размеры воронок и протяженных выемок. Разработана уточненная схематизация взрыва на выброс, включающая выявленную стадию формирования истинной воронки, на которой существенно влияние силы тяжести при взрывах любого масштаба. Предложены рекомендации к инженерной методике расчета.

Эмильбеков Байкалбек Эмильбекович
Жардыруудан кийинки ыргытандылардын масштабдык
натыйжалуулугун баалоо
Аннотация

Россия Илимдер Академиясынын мүчө-корреспонденти А.А.Ильшин конструкцияларан багытуу-механикалык ындамдаткычтын жардамы менен ашыкча жүктөлүүнүн (оордук күч талаасынын) жарылуунун энүгүү процессине, ыргытандыларга жана пайда болгон воронка (омолган жер) өлчөмү менен чункурдун узундугуна тийгизген таасиринин законченемдүүлүктөрү, өзгөчөлүктөрү изилденген. Ыргытандыларды пайда кылуу үчүн жүргүзүлгөн жардырууларда ар кандай масштабдуу оордук күчтөрүнүн таасири маанилүү (олуттуу) болгон, чыныгы воронканын түзүлүү стадиясын ичине камтыган, жардыруу такталган схемалары иштелип чыгылган. Инженердик эсептөө методикасы катары пайдаланууга сунуш кылынат.

Baikalbek E. Emilbekov
Estimation of explosion cratering scaling effect
SUMMARY

Using the linear-mechanical accelerator constructed by corresponding member of Russian Academy of Sciences A.A.Iljushin, regularities and peculiarities of gravity influence on explosion cratering formation and finish sizes of craters and longed depression have been investigated. Accurated scheme of explosion cratering, including discovered stage of true crater formation, during which great means the gravitational fields in any yield of explosion, have been developed. The recommendations to engineering technique of calculation have been presented.

2. Введение 1.1. Целью настоящего исследования является изучение влияния различных факторов на процесс формирования структуры и свойств полимерных систем. В частности, рассматриваются вопросы влияния температуры, концентрации реагентов и времени реакции на кинетику и термодинамику процесса. Для этого были проведены экспериментальные исследования с использованием методов спектроскопии и дифракции. Результаты экспериментов показывают, что при повышении температуры скорость реакции увеличивается, что приводит к изменению структуры полимерной цепи. Кроме того, концентрация реагентов оказывает значительное влияние на конечные свойства получаемых систем. В частности, при увеличении концентрации наблюдается увеличение молекулярной массы и изменение степени разветвленности. Эти данные имеют важное значение для оптимизации технологических процессов синтеза полимеров. В заключение следует отметить, что полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что процесс формирования структуры и свойств полимерных систем является сложным и многофакторным. Для достижения оптимальных характеристик необходимо тщательное изучение влияния различных факторов и подбор оптимальных условий синтеза.



20



Подписано к печати 22.05.2000г. Печать офсетная. Бумага
офсетная. Тираж 100 экз. Заказ 235. Объем 1 п.л.
720044, г.Бишкек, КТУ, ул.Сухомлинова, 20.
ИЦ "Текник", т.42-14-55