

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Институт Гидромеханики

На правах рукописи

КАМАЛЯН РУБЕН ЗАВЕНОВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВОВ
НА ВЫБРОС

Специальность 05.15.11 – Физические процессы
горного производства

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Краснодар, 1992



Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском и проектном институте по креплению скважин и буровым работам (ВНИИКРнефть)

Научный консультант:

член-корреспондент РАН

С.С. Григорян

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Кравец З.Г.

доктор технических наук

Черный Г.И.

доктор технических наук

Рыжов А.М.

Ведущая организация - межреспубликанское специализированное объединение "ВЕНД"

Защита состоится "25" 11 1992 г. в 13⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета Института гидромеханики АН Украины по адресу: 252057, г. Киев, ул. Желябова, 8/4.

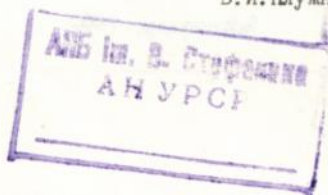
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Автореферат разослан "21" 10 1992 г.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направить по указанному адресу на имя ученого секретаря специализированного совета

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук,
ст. научный сотрудник

В. И. Плучник



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Повышение качества проектирования буровзрывных работ является одной из самых актуальных проблем во взрывном деле.

Осуществление практических задач промышленного, водохозяйственного, гражданского и дорожного строительства сопровождается широким вовлечением в сферу инженерной деятельности грунтовых масс, используемых в качестве оснований, вмещающей среды и т.д. Многолетняя практика показывает, что значительная интенсификация этих работ достигается в случае применения технологий, связанных с энергией взрыва.

Примеры и география эффективного применения энергии ВВ в прикладных целях могут быть значительно расширены, однако, несмотря на это прогнозы результатов как крупных, так и менее крупных промышленных взрывов носят довольно-таки приближенный характер. Априори ясно, что результат прогноза, в первую очередь, зависит от корректности принятой схемы процесса и точности, вытекающей из этой схемы, результатов расчета. Как известно, такой подход к прогнозу результатов принято называть проектированием производства буровзрывных работ (БВР).

Проектирование БВР требует определенного обобщения и более глубокого исследования тех или иных физических или физико-технических процессов. К одним из них относится и процесс воронкообразования при взрыве заглубленных зарядов. От соотношения геометрических параметров заряда и глубины его заложения, свойств ВВ и среды, знания процессов взаимодействия ВВ - среда и характера временного развития зависят качественные и количественные показатели прогноза БВР.

Пока что все эти вопросы решаются весьма приближенно. Основной расчетов служит накопленный опыт ведения взрывных работ, воплощенный в различные эмпирические формулы и правила. При все возрастающем требовании достижения максимальной эффективности использования энергии ВЗ, проблема усовершенствования существующих и разработка новых технологических схем, научно-обоснованных методов расчета параметров зарядов и взрывов на выброс является актуальной.

Цель работы. Разработка схем (моделей) расчета взрыва на выброс, определение форм выемок (воронок), установление оптимальных значений параметров для скважинных зарядов выброса, взаимодействующих зарядов и других проблем, являющихся важнейшими элементами проектирования БЗР.

Идея работы заключается в использовании возможности повышения эффективности прогнозирования результатов взрывов на выброс за счет повышения качества проектирования буровзрывных работ, достигаемое применением новых инженерных методов расчета параметров зарядов и взрывов на выброс.

Основные задачи работы. 1. Разработка схем расчета взрывов на выброс зарядами с осевой и центральной симметриями, методики определения формы воронки выброса, установление критериев подобия зарядов выброса с осевой симметрией.

2. Исследование механических эффектов взаимодействующих зарядов выброса, установление оптимального расстояния между зарядами с точки зрения их эффективного взаимодействия.

3. Исследование действия скважинных зарядов выброса в натуральных условиях, установление оптимальных параметров СЗВ, определение массы заряда.

4. Исследование сложных воронок (выемок), установление в натуральных условиях основных факторов, влияющих на закономерности

образования сложных воронок.

5. Практическая реализация взрывных технологий.

Методы исследований. Решение поставленных в работе задач осуществлено путем анализа и обобщения достижений теории и практики проектирования и ведения взрывных работ в грунтовых массивах различной категории крепости, аналитических исследований, лабораторных и натуральных экспериментов, опытно-промышленных и широкомасштабных промышленных испытаний.

Научная новизна. I. Впервые разработана схема расчета взрыва на выброс, учитывающая эффект отклонения движения частиц грунта от радиальной траектории, позволяющая повысить достоверность оценки прогноза взрыва.

2. Разработана методика определения формы истинной воронки выброса и характера действия заряда ВВ в зависимости от глубины его заложения.

3. Экспериментально подтвержден принцип подобия взрывов на выброс зарядами с осевой симметрией.

4. Изучено влияние формы свободной поверхности на эффективность действия взрыва заряда выброса.

5. Исследованы закономерности взаимодействия зарядов выброса при их одновременном и неодновременном взрывании, расположенных на оптимальном расстоянии друг от друга.

6. Получены качественные и количественные оценки действия скважинных зарядов выброса.

7. Исследованы и сформулированы закономерности образования сложных воронок.

На защиту выносятся решения актуальных проблем взрывного дела: расчет взрывов на выброс, методика определения форм истинных воронок выброса, метод оценки влияния формы свободной по-

верхности на процесс выброса грунта взрывом, методика расчета скважинных зарядов выброса в мягких грунтах и определения оптимального расстояния между взаимодействующими зарядами, механизм образования сложных воронок.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована большим объемом экспериментальных исследований в натуральных условиях, результатами промышленных внедрений, высокой прикладной экономической эффективностью рекомендаций работы.

Практическая ценность работы:

- разработаны инженерные методы расчета взрывов на выброс, определения формы выемок, установления критериев подобия взрывов на выброс, оценки влияния формы поверхности на эффект действия заряда выброса;

- разработана методика определения оптимального расстояния между взаимодействующими зарядами при их одновременном взрывании;

- разработана методика определения основных параметров взаимодействующих зарядов при их неодновременном подрыве;

- разработана методика определения оптимальных параметров и массы скважинных зарядов выброса.

Реализация результатов исследований в промышленности.

Основные практические рекомендации работы прошли опытно-промышленную проверку и были успешно внедрены на объектах гидромелиоративного строительства в регионах Средней Азии: строительство крупных каналов и коллекторов в Джизакской, Голодной, Каршинской и Бухарской степях, в Туркмении, на объектах гражданского и промышленного строительства в Узбекистане.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на нескольких конференциях, семинарах и совещаниях, в том числе на Всесоюзном семинаре по проблемам ведения взрывных

работ в мелиоративном строительстве (Киев, 1984 г.), на Республиканской конференции по перспективам внедрения взрывных работ в народное хозяйство (Киев, 1987 г.), на Всесоюзном совещании "Техника и методика прострелочно-взрывных работ в скважинах" (Дермونتovo, 1988 г.), на научном семинаре отдела механики природных процессов НИИ Механики МГУ (Москва, 1989 г.), на Республиканском семинаре по проблемам применения энергии взрыва в народном хозяйстве (Киев, 1990 г.), на Республиканской конференции "Проблемы геотехнологии и инженерной экологии" (Киев, 1992 г.), на заседании Ученого Совета НПО "Бурение" (Краснодар, 1992 г.).

Публикации. Основное содержание работы отражено в 42 публикациях и научно-технических отчетах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, 115 рисунков, 24 таблиц, списка использованной литературы из 185 наименований и приложения объемом 70 стр.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено современное состояние исследуемых вопросов: математических моделей подземного взрыва (камуфлетного и взрыва на выброс), определения формы воронок и критериев подобия взрывов на выброс, известных закономерностей действия скважинных зарядов и закономерностей образования сложных воронок.

Исследованиям камуфлетных взрывов, являющихся основой теории взрыва на выброс, посвящены работы А.С.Компанейца, С.С.Григоряна, В.Н.Родионова, А.Н.Ромашова, А.Ю.Ишлинского, Н.В.Зволинского, Е.И.Шемякина, А.А.Вовка, А.П.Сухотина, И.З.Степаненко, Н.С.Сана-саряна, В.П.Корявова, А.Ф.Новгородова, Г.М.Ляхова, В.М.Кузнецова, Э.Л.Кошелева, А.В.Михаляка, В.Н.Николаевского, А.Ч.Сагомоняна,

А.Л.Исакова и многих других.

Теоретическая постановка задачи о камуфлетном взрыве в грунте в общих чертах сводится к следующему. Принимается некоторая модель среды (т.е. задаются определяющие ее уравнения). Начальное состояние ($t \leq 0$) предполагается невозмущенным во всем пространстве. Имеется некоторая начальная полость соответствующей симметрии (сферической или цилиндрической), в которой при $t = +0$ возникает давление $P_0(0)$, убывающее при последующем расширении полости по адиабатическому закону. На поверхности полости задаются граничные условия, с помощью которых находят решения уравнений движения и неразрывности при $t > 0$, $r_0(t) < r < +\infty$, где $r_0(t)$ - радиус полости, являющейся также искомой функцией. Решение конструируется на основании некоторых предварительных представлений, причем разнообразие возможных ситуаций зависит от принятой модели среды и в конечном счете от конкретной цели исследования. В существующих публикациях расчет камуфлетного взрыва в грунте сводится, в основном, к описанию расширения взрывной полости и пластической области, включая определение их окончательного размера, определения распределения напряжений и скоростей частиц в зависимости от координаты и времени.

Проблема расчета взрыва на выброс издавна привлекала внимание исследователей. Накопленный большой экспериментальный материал по полевым и модельным опытам позволил установить основные черты процессов, происходящих при взрыве на выброс, знание которых является необходимым условием постановки задачи в рамках механики сплошной среды.

Большой вклад в решения проблем взрыва на выброс внесли исследования Г.И.Покровского, А.Н.Ханукаева, В.Н.Родионова, М.И.Докучаева, А.Н.Ромашова, А.П.Сухотина, В.В.Адушкина, А.А.Вовка,

В.Г.Кравца, Г.И.Черного, Л.Н.Марченко, И.А.Лучко, Н.Б.Ильинского, А.Г.Смирнова, В.М.Кузнецова, Э.Б.Поляка, Е.Н.Шера и многих других.

По сравнению с камуфлетными взрывами, результаты теоретических исследований взрывов на выброс выглядят скромнее, что обусловлено большей сложностью процессов, вызывающих значительные математические затруднения при их описании. Наибольшие успехи в исследовании взрывов на выброс достигнуты по схеме модели идеальной несжимаемой жидкости. Объясняется это, прежде всего, сравнительной простотой получаемых результатов. Задача значительно усложняется в случае применения упруго-пластической модели грунта и ее полное исследование оказывается возможным при использовании численных методов с помощью ЭВМ. Основные результаты численных расчетов взрывов на выброс содержатся в работах Г.Броуда, Дж.Черри, Р.Теруне, Дж.Нокса, П.Ф.Короткова и других. В них разработаны и применены численные методы, предназначенные для расчета динамических полей смещений, скоростей и напряжений при достаточно общих и сложных представлениях о свойствах среды. При этом зависимость между давлением и плотностью среды определяется из предварительных полевых и лабораторных исследований и вводится в расчет в числовом виде.

Одна из актуальных проблем взрывного дела – определение формы воронки (выемки) выброса. Данная задача является важнейшей составляющей проекта производства буровзрывных работ, так как, в конечном итоге, она характеризует технологическую эффективность взрывного метода.

В подходе к решению проблемы определения формы воронки (выемки) выброса также преобладает применение жидкостных моделей. Основные результаты этих исследований представлены в публикациях В.М.Кузнецова, Н.Б.Ильинского, П.А.Мартынюка, Э.Б.Поляка,

Е.Н.Шера, И.А.Лучко и других. Следует отметить, что формы реальных воронок, как видимых, так и истинных, отличаются, иногда значительно, от "теоретических". Это объясняется, в первую очередь, тем, что жидкостные модели не учитывают всего того разнообразия свойств среды и ВВ, влияющих на весь сложный процесс в целом и на форму воронки (выемки), в частности.

Один из центральных вопросов в теории взрыва на выброс грунта - вопрос подобия, суть которого заключается в следующем: если в данной породе для получения воронки размером R , объема V требуется сосредоточенный заряд массой Q , то какой потребуется заряд для получения воронки размером nR . Вопросу подобия посвящены исследования Г.И.Покровского, М.А.Садовского, А.Ф.Беляева, А.Н.Ромашова. Наиболее полное раскрытие данной проблемы, на наш взгляд, дано в работах А.Н.Ромашова, который, основываясь на механизме образования видимой воронки выброса, предложил, для установления связи между объемом воронки V и массой заряда Q , двучленную формулу вида

$$V = d K_n Q + b Q^{2.75}, \quad (1)$$

где K_n - показатель простреливаемости грунтов, d - коэффициент, показывающий долю участия взрывной полости в общем объеме воронки, b - объем истинного навала породы для одиночного заряда, разделенный на показатель рыхления, т.е. объем воронки выброса.

Аналогичная зависимость для заряда с цилиндрической симметрией имеет вид

$$S = a q + b q^{2/3}, \quad (2)$$

где S - поперечное сечение выемки, q - масса заряда на еди-

ницу длины, α - коэффициент, характеризующий показатель проницаемости грунта, β - соответствует объему выброшенного грунта при взрыве заряда единичной длины.

Так как вопросы подобия являются важным элементом при проектировании взрывов на выброс, нами была проведена экспериментальная проверка справедливости соотношений (1) и (2).

Из всех известных форм зарядов выброса наименее изучены закономерности действия скважинных зарядов (СЗВ). В имеющихся публикациях, как правило, приводятся данные по конечным результатам или рассматривается экономическая целесообразность в сравнении с сосредоточенными или горизонтальными цилиндрическими зарядами. Наиболее интересными исследованиями, по нашему мнению, являются работы В.М.Кузнецова и А.А.Адушкина с сотрудниками. Первая из них посвящена теоретическому определению массы скважинного заряда выброса, вторая - экспериментальному исследованию эффективности экскавационного действия скважинных зарядов.

Предлагаемая В.М.Кузнецовым формула имеет вид

$$Q = \frac{K h_0^2 n^2}{2^{3/2}} \left[\frac{1+k}{\sqrt{(1+k)^2+n^2}} - \frac{1-k}{\sqrt{(1-k)^2+n^2}} \right]^{-1} \cdot h, \quad (3)$$

где $K = 4\sqrt{2} \pi r c U_n / \epsilon \cdot \zeta$; ρ - плотность среды, c - некоторая постоянная с размерностью скорости, U_n - критическая скорость, характеризующая прочностные свойства грунта, ϵ - удельная энергия ВВ, ζ - КПД взрыва, h_0 - ЛНС, n - показатель выброса, $k = h/2h_0$ - отношение половины длины заряда к ЛНС.

Соотношение (3) получено с использованием гидродинамической модели взрыва на выброс и физически вполне обосновано. Однако практическое применение (3) вызывает серьезные затруднения, так как в него входит много величин, определяемых не из расчетной

модели, а чисто физическими и механическими процессами, сопровождающими взрыв. Поэтому для упрощения задачи целесообразно K определять экспериментально как некоторую интегральную характеристику, называемую удельным расходом 33 или пользоваться в первом приближении усредненными справочными данными. Но основная трудность заключается не в проблеме определения эмпирического коэффициента K , а в установлении геометрических размеров заряда и высоты забойки, что, вообще-то, значительно осложняет эффективное применение соотношения (3).

Сложные воронки (вьемки) отличаются от обычных, в первую очередь, наличием влупченной зоны грунта вдоль оси вьемки или в центре воронки. Причем сложные воронки образуются не только в результате подземных взрывов (химических или ядерных зарядов), но и при падении метеоритов на поверхность Земли и других планет. Эффект образования сложных воронок при взрывах на выброс известен сравнительно давно. Описанию и исследованию феномена посвящены работы Золоторева Н.Я., Зовка А.А., Бигдаша Л.З., Лучко И.А., Смирнова А.Г., Кравца З.Г., Андреева Ю.П., Мартынова Н.Р., Дж.Джонса, Нокса, Равсона Л., Ролли Д. и других. Однако, несмотря на это, данная проблема вот уже многие десятилетия продолжает быть в центре внимания многих исследователей. Такой интерес не случаен, так как именно благодаря подземным взрывам удается объяснить многие природные явления, связанные с землетрясениями и падением метеоритов на поверхность Земли.

Анализ проведенных исследований показал, что процесс образования сложных воронок связан, в первую очередь, с явлением разжижения грунтов. Имеются попытки разработать модели, в основном вероятностные, для прогнозирования возникновения разжижения грунтов при динамическом или циклическом воздействии на них. К сожалению сами авторы исследований отмечают слабость таких моде-

лей из-за отсутствия достаточно полной и достоверной информации по случаям разжижения грунтов, имевших место в результате землетрясений.

Нами, на основе большого объема полевого материала, установлен характер влияния влажности на основные параметры выемки (воронки) выброса. Показана взаимосвязь между волновыми процессами и явлением разжижения грунтов. Более подробно изложены результаты исследований, малоизвестных в нашей стране, зарубежных авторов механизма образования сложных воронок (кратеров).

Во второй главе представлен основной комплекс задач взрывного дела, связанных с проектированием производства БЗР: схема расчета взрывов на выброс; методика определения формы воронки (выемки) выброса; результаты экспериментальной проверки принципа подобия взрывов на выброс горизонтальными цилиндрическими зарядами; методика оценки влияния формы свободной поверхности на процесс выброса грунта взрывом; рассмотрен механизм образования трещин на кауцудетной стадии взрыва.

Схемы расчета взрыва на выброс разработаны с использованием модели радиального разлета частиц грунта от центра заряда и с учетом эффекта отклонения частиц от радиальной траектории.

В соответствии с моделью радиального разлета, предложенного в работе К.П. Станковича, на основе установления постадийного расхода энергии заряда при выбросе грунта, получено соотношение для определения скорости U_0 разлета частиц среды. Это соотношение для заряда с осевой симметрией имеет вид

$$U_0 = \left\{ \frac{2}{3} g h_0 \left[\frac{3 E_B \cos^2 \theta}{\pi h_0^3 g l \rho} - (1 + \nu) \right] \right\}^{1/2}, \quad (4)$$

и с центральной симметрией

$$v_0 = \left\{ \frac{g h_0}{2} \left[\frac{3 E_B \cos^3 \theta}{\pi h^4 \rho g} - (1 + \nu) \right] \right\}^{1/2},$$

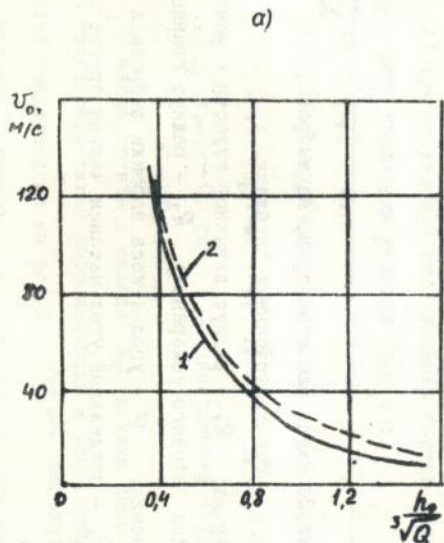
где E_B - полная энергия заряда ВВ, h_0 - глубина заложения заряда, ρ - плотность среды, ν - коэффициент трения между частицами грунта, g - ускорение силы тяжести.

Расчеты по формуле (4) в сопоставлении с экспериментальными представлены на рис.1.

Вторая схема разработана с учетом эффекта отклонения траектории разлета частиц грунта от радиальной на стадии газового ускорения, сущность которой заключается в следующем. Движение частиц грунта рассматривается в двух системах координат $УОХ$ и $УО_1Х_1$. На камуфлетной стадии - в системе координат $УОХ$, на стадии газового ускорения - в системе $УО_1Х_1$ (рис.2). Причем точка $О_1$ (точка пересечения образующих воронки) во второй системе координат является центром радиального разлета грунта на стадии газового ускорения. В результате расчета взрыва определяются: объем взрывной воронки; масса выброшенного грунта; масса грунта, оставшаяся в зоне уплотнения; радиус зоны уплотнения; объем грунта в навале и его профиль. Соотношения для определения объема, массы и зоны уплотнения имеют вид

$$M_0 = \frac{\pi}{3} h_0^3 \rho_0 \left[R_1 - R_2 + R_3 \operatorname{tg}^2 \theta_0 - R_4 (2 \cos \beta_0 + m \cos^2 \beta_0) + \right. \\ \left. + R_5 (2 \cos d_0 + l \cos^2 d_0) \right],$$

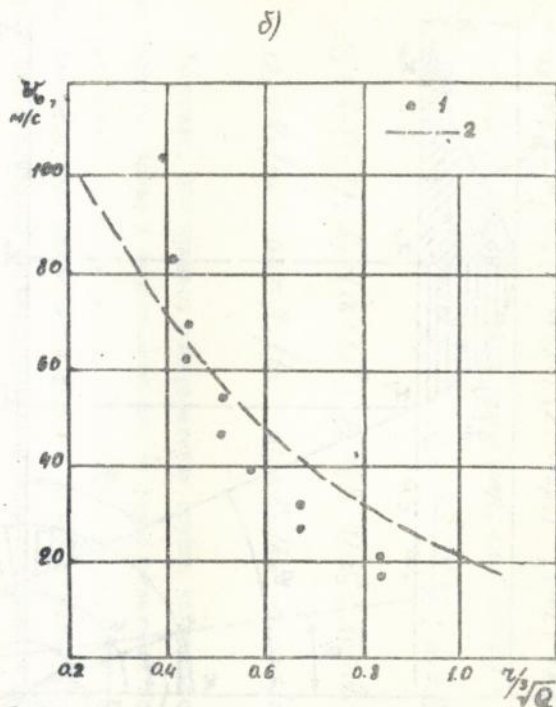
$$V_0 = \frac{\pi}{3} h_0^3 \left[(1 + w_1 \cos \varphi) (n^2 + n w_1 \sin \varphi + w_1^2 \sin^2 \varphi + \right. \\ \left. + w_1^3 (1 - \cos \varphi)^2 (2 + \cos \varphi) \right],$$



Зависимость максимальной скорости подъема грунта в эпицентре от глубины заложения заряда.

1- опытные данные, 2- расчетная кривая.

Рис. I.



Зависимость радиальной скорости подъема свободной поверхности от расстояния до эпицентра при взрыве заряда массой 1000 т.

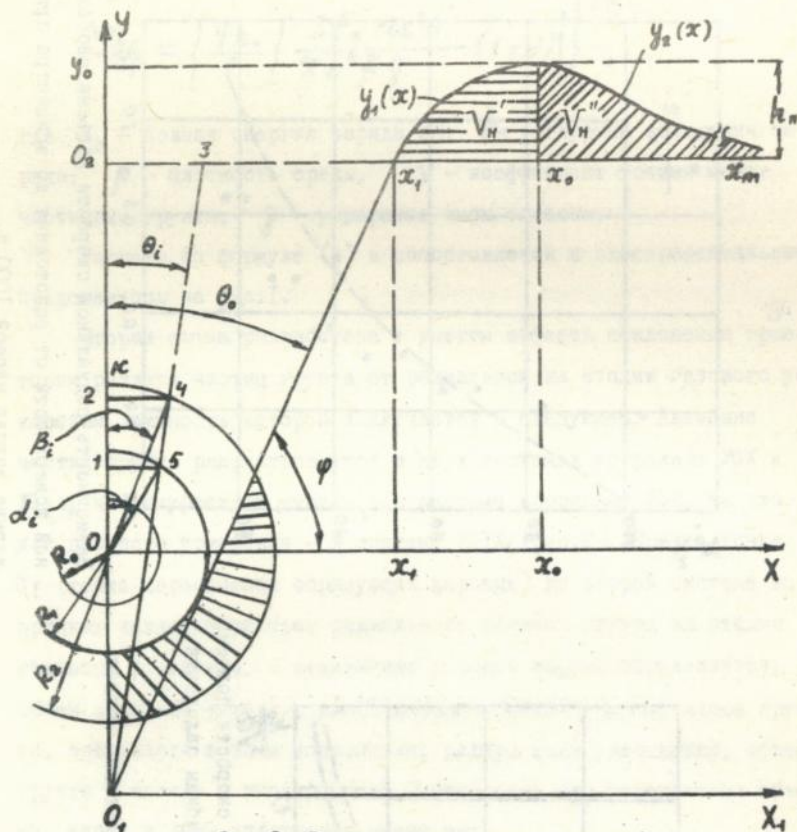


Рис.2. Схема расчета взрыва на выброс
сосредоточенными зарядами.

R_0 - радиус заряда; R_1 - радиус взрывной полости к моменту начала стадии газового ускорения; R_2 - радиус границы зоны уплотнения; φ - угол откоса воронки выброса к горизонту; θ_0 - предельный угол метания частиц грунта в системе координат X_0, X_1 .

$$\mathcal{M}_{3y} = \frac{\sqrt{\pi}}{3} h_0^3 \rho \left\{ \omega_1^3 (1 + \cos \beta_0)^2 (2 - \cos \beta_0) - [(\omega_2 \cos \beta_0 + \omega_1 \cos \varphi)(\omega_2^2 \sin \beta_0 + \omega_1 \omega_2 \sin \varphi \sin \beta_0 + \omega_1^2 \sin^2 \varphi) + \omega_1^3 (1 - \cos \varphi)^2 (2 + \cos \varphi)] \right\}, \quad R_0 = \frac{\omega_2^3 - \omega_0^3}{\omega_2^3 - \omega_1^3}; \quad R_1 = R_0 (m+2);$$

$$R_2 = R_0 (1+2); \quad R_3 = (a_1 + 1)^3; \quad R_4 = (R_0 - 1) \omega_2^3; \quad R_5 = R_0 \omega_1^3;$$

$$\omega_0 = R_0 / h_0; \quad \omega_1 = R_1 / h_0; \quad \omega_2 = R_2 / h_0; \quad a_1 = \omega / \cos \varphi$$

Учитывая, что процесс распределения грунта на местности носит характер ближе к вероятностному, то для определения объема и формы навала грунта в работе используется статистический метод. Для этой цели подбирается функция $y = f(x)$ таким образом, чтобы она достаточно удовлетворительно аппроксимировала форму навала и отвечала следующим требованиям:

1) ход кривой $y = f(x)$ должен качественно соответствовать маркшейдерской съемке навала;

2) при отсутствии стабилизации бортов взрывной воронки должны быть соблюдены условия (рис.2):

а) $y_1(x_1) = 0$,

б) $y_1(x_0) = y_2(x_0) = h_n$, где h_n - высота навала,

$$y_1'(x_0) = y_2'(x_0) = 0, \quad y_1''(x_0) = y_2''(x_0) < 0,$$

в) $y_2''(x_m) \sim 0$, где x_m - координата зоны сплошного навала;

3) масса грунта в навале M_n должна быть равной M_0 .

Результаты такой аппроксимации с использованием конкретных функций представлены на рис.3.

Решение задачи о форме истинной воронки выброса основано на возможности аппроксимации ее сечения с достаточной для практики

АН УРСР

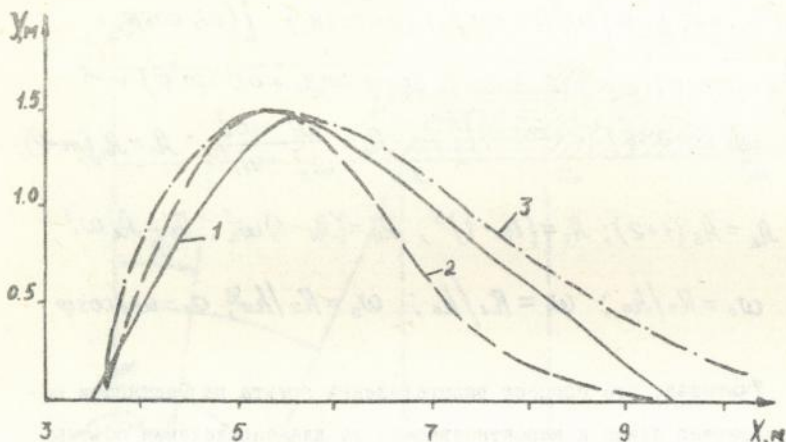


Рис.3. Расчетные и фактический профили навала грунта
(1 - фактический профиль, 2 - профиль по методу
"парабола-кривая Гаусса", 3 - кривая с двумя
произвольными параметрами).

точностью кривой второго порядка (рис.4).

Уравнение кривой имеет вид

$$r = p / (1 - e \cos \varphi), \quad (5)$$

где r - радиус-вектор, p - фокальный параметр, e - эксцентриситет.

Выражение (5) при $e < 1$ - уравнение эллипса, при $e = 1$ - параболы, а при $e > 1$ - гиперболы.

Окончательное соотношение имеет вид

$$e = (\sqrt{1+n^2-d}) / (1+d), \quad d = \left[\frac{3^5 K_n R f(n)}{4\pi} \right],$$

где $d = r_0/h_0$, $n = R_0/h_0$, r_0 - радиус взрывной полости, h_0 - глубина заложения заряда, R_0 - радиус воронки выброса, n - показатель действия взрыва, K_n - показатель проницаемости грунта, $f(n)$ - функция показателя выброса, k - рас-

ваемости грунта, $f(n)$ - функция показателя выброса, \bar{h} - расчетный удельный расход, \bar{f} - коэффициент, показывающий какая часть камуфлетной полости участвует в образовании истинного объема воронки выброса.

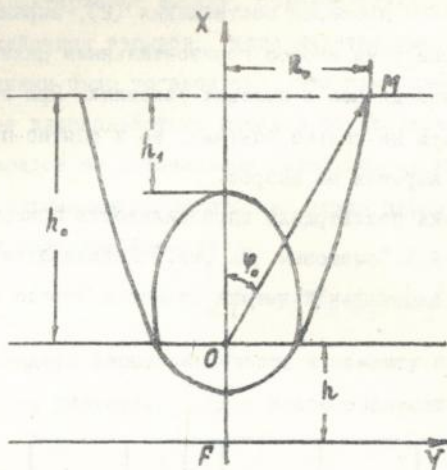


Рис. 4. Схема определения формы истинной воронки выброса.

В зависимости от соотношений между d и n сечение воронки будет иметь гиперболическую (близкую к треугольной), параболическую или эллиптическую форму. При $n = 0$ воронка выброса не образуется. В этом случае вводится параметр $\gamma = h_1/h_0$, характеризующий степень асимметрии взрывной полости (рис. 4).

Тогда

$$e = [1 - (\alpha + \gamma)] / [(\alpha - \gamma)], \quad (6)$$

Из (6) следует, что $0 \leq e \leq 1$, а при $\alpha + \gamma = 1$, $e = 0$, что соответствует взрыву полного камуфлета.

Объем истинной воронки определяется из соотношения

$$V = \frac{\pi}{3} h_0^3 (1+d)(n^2 + d \sqrt{1+n^2+d}). \quad (7)$$

Из (7) при $d \approx 0$ (плохо простреливаемые грунты) следует, что воронка имеет коническую форму.

Экспериментальная проверка соотношения (2), выражающего принцип подобия взрывов на выброс горизонтальными цилиндрическими зарядами, производилась в полевых условиях. При этом анализировались результаты не только опытных, но и опытно-промышленных и промышленных взрывов на выброс.

Эти исследования подтвердили справедливость принципа подобия, предложенного А.Н.Ромашовым. На рис.5 показана зависимость площади сечения горизонтальной выемки от массы заряда на единицу длины.

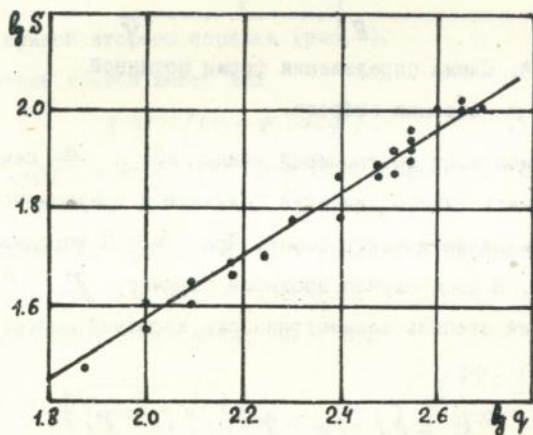


Рис.5. Зависимость площади сечения горизонтальной выемки от массы заряда на единицу длины.

Сплошная линия соответствует соотношению (2) с коэффициентами $\alpha = 0,02 \text{ м}^3/(\text{кг/м})$, $\beta = 1,59 \text{ м}^2/(\text{кг/м})^{2/3}$.

Третья глава посвящена исследованию взаимодействия зарядов выброса с осевой и центральной симметриями при их одновременном и разновременном взрывании. Под эффектом взаимодействия зарядов ВВ понимаются те изменения линейных параметров, объема и формы, которые характеризуют выемку, образовавшуюся в результате совместного действия взрывов. Экспериментальными и теоретическими исследованиями было установлено, что при одновременном взрывании, эффективное взаимодействие зарядов осуществляется в случае расположения зарядов на оптимальном расстоянии друг от друга. Для определения оптимального расстояния между зарядами с центральной симметрией получена формула

$$a = 2 [2,55 K_n Q / 4\pi]^{1/3},$$

где R_0 - радиус взрывной полости к моменту окончания симметричной стадии ее развития, Q - масса взаимодействующего заряда выброса.

Аналогичная формула для зарядов с осевой симметрией имеет вид

$$a = 2 [C(0,58 K_n + 0,3) q / \pi l_1]^{1/2},$$

где C - коэффициент, характеризующий долю использования взрывной полости в общем сечении выемки, q - масса заряда на единицу длины l_1 .

В случае неодновременного взрывания зарядов, расположенных на оптимальном расстоянии друг от друга, образуется выемка несимметричная по отношению к ее оси. Причем как показали результаты экспериментальных исследований, несимметричность выемки с увеличением времени замедления τ возрастает (рис.6).

При заданном τ максимальное время расширения взрывной полости t_1 , соответствующее времени ее симметричного развития,

для зарядов с центральной симметрией определяется из соотношения

$$t_1 = \frac{[(\sqrt[3]{2,55 K_n Q / 4\pi})^{5/2} - \tau_0^{5/2}](2\pi\rho)^{1/2}}{2,5 (\alpha E_0)^{1/2}},$$

где τ_0 - радиус зарядной полости, ρ - плотность среды, αE_0 - энергия оставшаяся в продуктах детонации после излучения ударной волны.

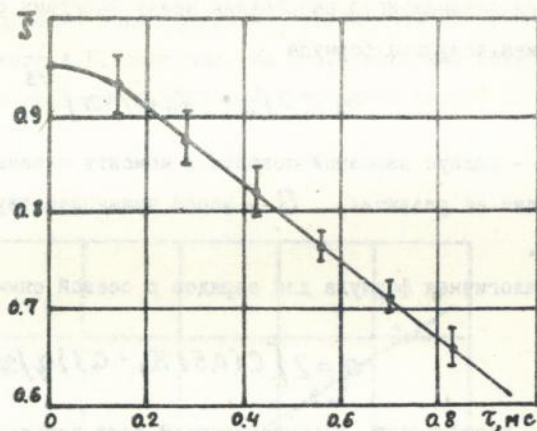


Рис. 6. Характер изменения несимметричности от времени задержки.

\bar{S} - отношение меньшего значения полусечения выемки S_2 к большему S_1 , т.е. $\bar{S} = S_2/S_1$.

Аналогичное соотношение для зарядов с осевой симметрией имеет вид

$$t_1 = \frac{C\rho(0,58K_n + 0,3)q - \pi\rho\tau_0^2 l_1}{4\alpha_* E_0 l_1}.$$

В четвертой главе представлены результаты исследований действия скважинных зарядов выброса (СЗВ), установлены критерии экскавационной эффективности зарядов указанной формы, получена расчетная формула для определения массы СЗВ

$$Q = \frac{2}{3} K \frac{\tau^3}{2^{3/2} n} \left[\frac{4}{\sqrt{16 + 9n^2}} - \frac{2}{\sqrt{4 + 9n^2}} \right]^{-1},$$

где K - расчетный удельный расход ВВ, n - показатель действия взрыва, τ - радиус воронки (выемки) выброса.

В пятой главе основное внимание уделено проблеме образования сложных воронок.

Экспериментальные работы показали, что образование сложных воронок (выемок) при взрывах связано, в первую очередь, с явлением разжижения грунтов. Лабораторными исследованиями было установлено, что основным фактором при этом выступает влажность.

Для выяснения характера влияния влажности на эффект взрыва в грунте были проведены многочисленные экспериментальные исследования в полевых, натуральных условиях. Суть исследований заключалась в установлении зависимостей основных параметров выемки выброса и расхода ВВ от влажности грунта, т.е. построения функций вида

$$S = S(Q, h, w), \quad H = H(Q, h, w), \quad B = B(Q, h, w), \\ q = Q/S = q(h, w),$$

где Q - расход ВВ на единицу длины выемки, кг/м; h - глубина зарядной траншеи, м; w - влажность грунта, %; S - площадь сечения выемки, м²; H и B - видимая глубина и ширина выемки, соответственно, м.

График зависимости $\bar{S} = f(\bar{w})$, ($\bar{S} = S/h^2$, $\bar{w} = w/w_0$, $w_0 = 12,2\%$ - минимальная влажность грунта в эксперименте), по-

казан на рис. 7, из которого следует, что с увеличением влажности грунтов площадь поперечного сечения выемки растет и достигает максимального значения при $W = 20 + 23\%$.

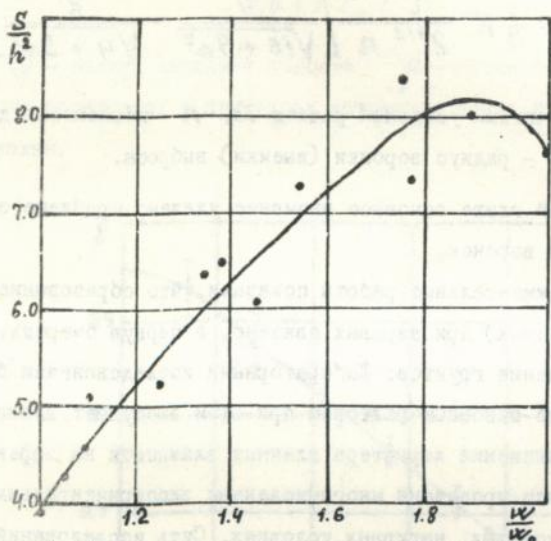


Рис. 7. Зависимость площади поперечного сечения выемки от влажности грунта.

Аналогичная закономерность, несмотря на значительный разброс точек, наблюдается и у зависимостей $H = f(\bar{W})$, $Z = f(\bar{W})$.

Справедливость данной закономерности вытекает из следующих соображений. Известно, что площадь поперечного сечения выемки может быть представлена в виде суммы

$$S = S_{\pi} + S_{B} ,$$

где S_{π} и S_{B} — составные части выемки, образованные соответственно за счет вытеснения (уплотнения) грунта и его выброса.

Анализ результатов показал, что в мягких грунтах изменение влажности приводит к изменению S_{π} и S_{B} , т.е. к увеличе-

нию радиуса взрывной полости на камуфлетной стадии и объема выбрасываемого грунта. Поскольку образование полости связано с вытеснением и объемным деформированием грунта, то затраты энергии взрыва на ее образование должны быть пропорциональны площади поперечного сечения заряда, т.е.

$$E_1 \sim \epsilon_* r_n^2,$$

где E_1 - часть энергии заряда ВЗ, которая расходуется на вытеснение грунта и образование полости, r_n - радиус взрывной полости, ϵ_* - удельная энергия объемного деформирования.

Счевидно, что в однородных грунтах при $E_1 = \text{const}$ и $h = \text{const}$ увеличить радиус взрывной полости r_n (соответственно и S_n) можно изменением свойств среды, т.е. уменьшением ϵ_* . Исследованиями А.З.Михалюка установлено, что ϵ_* с увеличением влажности грунтов уменьшается до некоторого минимального значения, затем начинает возрастать. Снижение величины ϵ_* при $E_1 = \text{const}$ равнозначно увеличению r_n . Для суглинков минимальные затраты энергии, необходимые для объемного деформирования грунта до заданной величины, наблюдаются при $W = 17,1 + 22,8\%$. В то же время, при взрывах на выброс в лессовидных суглинках минимальный фактический удельный расход ВЗ соответствует $W = 20 + 23\%$ (рис.8), из чего следует, что повышение эффективности взрыва происходит и за счет увеличения радиуса полости.

Интересно отметить, что аналогичная зависимость от влажности, согласно исследованиям С.С.Григоряна, имеет место и для механических показателей грунтов, ответственных за их сдвиговую деформируемость (условия пластичности, модуля сдвига и т.д.).

Дальнейшее увеличение влажности ухудшает результаты взрыва на выброс - возникают эффекты вспучивания и разжижения грунтов. Такая немонотонность влияния влажности на результат взрыва объяс-

няется следующим образом. Вначале с увеличением W возрастает необратимые деформации грунта при одновременном уменьшении затрат энергии (рис. 8).

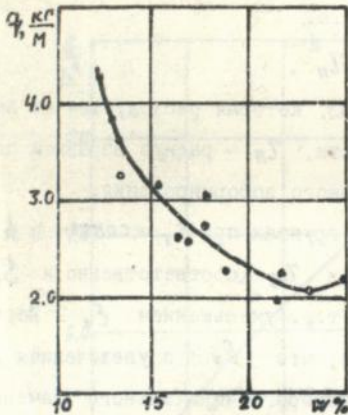


Рис. 8. Связь между удельным расходом ВВ и влажностью грунта.

Здесь влажность играет роль смазки между частицами грунта, облегчая их переукладку в процессе уплотнения и сдвига. Однако дальнейшее влагонасыщение приводит к существенному возрастанию упругой составляющей в общей деформации грунта. Необратимые деформации постепенно исчезают, а грунт приближается по свойствам к малосжимаемой среде, так как сжимаемость воды и минералов весьма мала, что приводит, в частности, и к падению эффективности взрыва на выброс.

Анализ результатов экспериментальных исследований сложных воронок, проведенных Г. Джонсом и другими, а также собственные исследования автора позволили раскрыть механизм образования сложных воронок. В результате взрыва заряда, благодаря возникновению интенсивных волновых процессов, образуется зона разжиженного грунта. Во время роста временной полости часть грунтовой массы в центре отскакивает вверх. В результате такой отдачи

дно полости приподнимается, образуя центральную структуру. В некоторых случаях этот процесс сопровождается проседанием бортов выемки (воронки). Подъем в центре сложного кратера достигает иногда значительной величины (рис.9).

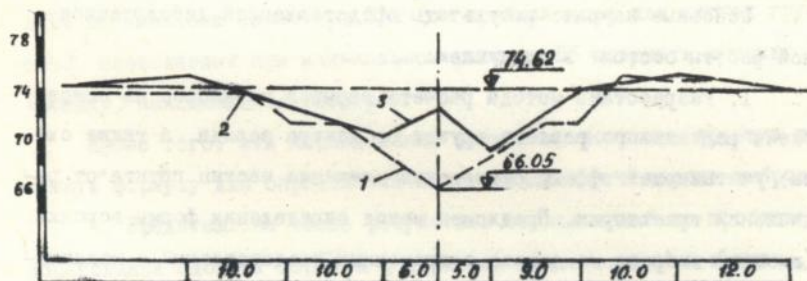


Рис.9. Результат маркшейдерской съемки сложной выемки
(Голодная степь, коллектор ЦК-4-1, ПК12+00):
1 - проектный контур, 2 - фактический профиль,
3 - центральный подъем.

Образование сложного кратера может быть сравнено с падением капли на водную поверхность. Сразу после того, как по поверхности воды ударяет капля, в центре удара вода поднимается вверх, тогда как дальше от центра образуется круговая рябь, "украшенная" разлетающимися в стороны брызгами. Однако, если поверхность воды через некоторое время становится гладкой, то разжиженная грунтовая масса в некоторый момент застывает и "отпечаток" взрыва сохраняется.

В шестой главе приведены примеры и результаты прикладного применения взрывных технологий в разработке и реализации которых непосредственное участие принимал автор настоящей работы. К ним относятся взрывные технологии по строительству протяженных вы-

мок, проходки горных выработок, уплотнения просадочных грунтов, повышения производительности водозаборных и нефтяных скважин, а также обсуждены критерии эффективности промышленного применения энергии взрыва.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Основные научные результаты представленной диссертационной работы состоят в следующем:

1. Разработаны методы расчета взрывов на выброс на основе схемы радиального разлета грунта от центра заряда, а также схемы, учитывающей эффект отклонения движения частиц грунта от радиальной траектории. Предложен метод определения формы воронки (выемки) выброса на основе современных представлений о механизме образования истинной и видимой воронок. Исследованы вопросы подобия взрывов на выброс горизонтальными цилиндрическими зарядами и подтверждена правомерность представления зависимостей основных параметров выемки выброса от массы заряда в виде двучленной формулы. Предложена методика оценки влияния формы свободной поверхности на полезную работу взрыва заряда выброса. Уточнен механизм образования трещин в породе на этапе развития взрывной полости.

2. Исследованы закономерности эффективного взаимодействия зарядов выброса с осевой и центральной симметриями при их одновременном взрывании. На основании этих исследований получена расчетная формула по определению оптимального расстояния между взаимодействующими зарядами. Экспериментально исследован характер взаимодействия зарядов с центральной симметрией при их неодновременном взрывании. С использованием математической модели грунта как идеальной несжимаемой жидкости решена задача по уста-

новлению зависимости между временем замедления и радиусом взрывной полости для зарядов осевой и центральной симметрий.

3. Приведены результаты экспериментальных исследований действия в природных условиях скважинных зарядов выброса различного диаметра и типов ВВ. Это позволило раскрыть механизм образования воронки выброса вертикальными цилиндрическими зарядами и установить оптимальные параметры СЗВ (по крайней мере для мягких грунтов), позволяющих при минимальном расходе ВВ получить воронку (выемку) максимальных размеров.

Кроме того, эти исследования позволили получить простую расчетную формулу для определения массы скважинного заряда выброса.

4. Представлены новые результаты исследований по проблеме образования сложных воронок в пористых водонасыщенных грунтах. Исследован, в природных условиях, характер влияния влажности грунтов на параметры выемки (воронки) выброса. Проанализированы результаты экспериментальных исследований других авторов, посвященных данной проблеме, позволивших установить общность механизма образования сложных воронок (кратеров) при взрыве ядерных и химических зарядов и ударе метеоритов по дневной поверхности Земли и других планет.

5. Изложены эффективные технологические схемы взрывов на выброс, взрывной проходки зарядных выработок, уплотнения просадочных грунтов энергией взрыва, повышения производительности водозаборных и нефтяных скважин, разрушения горных пород.

6. Полученные результаты и технологические схемы, содержащиеся в диссертационной работе, прошли успешную опытно-промышленную проверку на объектах гидромелиоративного, промышленного и гражданского строительства в районах Средней Азии.

Основные положения диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Камалян Р.З. Об одном эффекте, возникающем при взрыве на выброс // Материалы Всесоюзной научной конференции "Действие взрыва в грунтах и горных породах". - Киев, 1982. - С.208-214.

2. Об эффективности применения смеси ВВ со вспененным полистиролом при проведении взрывов на выброс / О.А.Арутюнов, Р.З.Камалян, А.Г.Пьянков, Э.С.Мирзаев, В.Д.Турегельдиев. // Там же. - С.231-236.

3. Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Малков В.С. Расчет действия взрыва заряда на выброс в грунте // Изв.АН Арм,ССР. Механика. - 1982. - №5. - С.38-54.

4. Арутюнов О.А., Григорян С.С., Камалян Р.З. О влиянии уровня грунтовых вод на процесс выброса грунта взрывом // Изв. АН Арм.ССР. Механика. - 1981. - №6. - С.48-59.

5. Арутюнов О.А., Григорян С.С., Камалян Р.З. О влиянии формы свободной поверхности на процесс выброса грунта взрывом // ФГВ. - 1983. - №3. - С.104-112.

6. Арутюнов О.А., Григорян С.С., Камалян Р.З. О влиянии влажности грунтов на параметры выемки выброса // ФГВ. - 1985. - №2. - С.139-142.

7. Арутюнов О.А., Григорян С.С., Камалян Р.З. Об эффективном взаимодействии сосредоточенных зарядов выброса // ФГВ. - 1985. - №4. - С.104-110.

8. Арутюнов О.А., Дискин В.Г., Камалян Р.З. О форме воронки выброса в грунтах // ФГВ. - 1986. - №3. - С.128-132.

9. Адушкин В.В., Камалян Р.З., Королев К.Д. О характере взаимодействия сосредоточенных зарядов выброса при их неодновременном взрывании // ФГВ. - 1989. - №6. - С.131-134.

10. Адушкин В.В., Камалян Р.З. Об оптимальных параметрах скважинных зарядов выброса // ФГВ.- 1992.- №4.
11. Арутюнов О.А., Арсланбекова М.У., Камалян Р.З. Строительство магистрального канала с помощью взрыва // Гидротехника и мелиорация.- 1980.- №6.- С.27-28.
12. Арутюнов О.А., Григорян С.С., Камалян Р.З. Расчет расположения зарядов ВВ с учетом вспучивания грунтов // Гидротехника и мелиорация.- 1981.- №3.- С.31-33.
13. Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Григорян С.С. Повышение эффективности строительства каналов взрывом на выброс // Гидротехника и мелиорация.- 1984.- №7.- С.24-27.
14. Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Сейфетдинов Р.И. Использование энергии взрыва для строительства крупных каналов // Гидротехника и мелиорация.- 1986.- №5.- С.12-15.
15. Камалян Р.З., Королев К.Д. О математическом моделировании и оптимизации геометрических параметров выпуска руды // ФТПРПИ.- 1990.- №3.- С.102-107.
16. Камалян Р.З. О действии скважинных зарядов выброса // ФТПРПИ.- 1990.- №4.- С.84-89.
17. Джемалинский В.К., Камалян Р.З., Конышев А.И. О некоторых особенностях гидравлического разрыва пласта // ФТПРПИ.- 1991.- №5.- С.114-120.
18. Камалян Р.З. Об одной схеме расчета взрыва на выброс в мягких грунтах // ФТПРПИ.- 1992.- №1.- С.50-55.
19. Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Пьянков А.Г. Энергия взрыва на строительстве гидромелиоративных объектов в Средней Азии // Труды ин-та / Средазгипроводхлопок.- 1980.- С.136-142.
20. Арутюнов О.А., Камалян Р.З., Хамраев Н.Р. Скважинные заряды выброса в гидромелиоративном строительстве // Труды ин-та / Средазгипроводхлопок.- 1984.- С.150-156.

21. Арутюнов О.А., Гузалов Г.И., Камалян Р.З. Особенности строительства магистральных каналов взрывами на выброс // Улучшение конструкций и методов расчета гидромелиоративных систем. - Ташкент, 1983. - С.144-152.

22. Дыскин В.Г., Камалян Р.З. Расчет механических эффектов подземного взрыва гидромелиоративного назначения // Обоснование параметров гидромелиоративных систем и сооружений в проектах орошения и освоения крупных земельных массивов. - Ташкент, 1984. - С.150-167.

23. Арутюнов О.А., Камалян Р.З. К расчету массы грунта, выбрасываемого при взрыве горизонтально удлиненного заряда // Совершенствование конструкций оросительных систем и методов исследований при их проектировании. - Ташкент, 1981. - С.135-141.

24. Камалян Р.З., Фердман Я.И. Восстановление производительности водозаборных скважин энергией взрыва // Изыскания, исследования, расчеты для оптимизации проектов гидромелиоративных комплексов. - Ташкент, 1988. - С.107-114.

25. Камалян Р.З. Об основных параметрах зарядов выброса и взрывных выемок гидромелиоративного назначения // Вопросы проектирования и обоснования проектных решений. - Ташкент, 1990. - С.144-148.

26. Возможность применения низкоплотных ЗЗ при взрывах на выброс / О.А.Арутюнов, Р.З.Камалян, А.Г.Пьянков, Э.С.Мирзаев, З.Д.Турегельдиев // Зодохозяйственное строительство. - Экспресс-информация. - М.: ЦБНТИ, 1980. - Вып.9. - С.9-13.

27. Эффективность уплотнения просадочных грунтов взрывом / О.А.Арутюнов, Б.И.Китаер, Р.З.Камалян, В.Н.Сальников, В.А.Свиридов // Строительство и архитектура Узбекистана. - 1979. - №5. - С.24-27.

28. Камалян Р.З., Тосунов Э.М. О воздействии на призабойную

зону пласта газами высокой энергии // Совершенствование техники и технологии промывки скважин. - Краснодар: ВНИИКРнефть, 1989. - С.169-174.

29. Камалян Р.З. К оценке времени захвата горной породой газов высокой энергии // Промывка скважин. - Краснодар: ВНИИКРнефть, 1989. - С.55-60.

30. Камалян Р.З., Тосунов З.М. К механизму трещинообразования в горной породе газами высокой энергии // Техника и методика прострелочно-взрывных работ в скважинах / Тезисы докладов Всесоюзного совещания г.Хаджиженск, 3-5 октября 1988. - Раменское: ВНИИПВзрывгеофизика, 1988. - С.40-41.

31. Камалян Р.З., Каратаева Г.А., Рябоконт С.А. Об эффективности гидроразрыва пласта с предварительным трещинообразованием // Новые материалы и жидкости для бурения скважин, вскрытия и гидроразрыва продуктивных пластов. - Краснодар: ВНИИКРнефть, 1990. - С.160-165.

32. Камалян Р.З. Об уплотнении просадочных грунтов энергией взрыва // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Технические науки. - 1991. - №3.

33. Бойко И.З., Джемалинский В.К., Камалян Р.З. Некоторые проблемы гидравлического разрыва пласта // Вопросы крепления и заканчивания скважин. - Краснодар: ВНИИКРнефть, 1991. - С.129-133.

34. Аракелян А.Г., Камалян Р.З., Рябоконт С.А. Опыт и перспективы применения гидроразрыва пласта на Ключевском месторождении // Нефтяное хозяйство. - 1989. - №11. - С.57-59.

35. Камалян Р.З. Об одной схеме расчета взрыва на выброс // Проблемы геотехнологии и инженерной экологии / Тезисы докладов конференции, 17-18 марта 1992 г. - Киев: Знание, 1992. - С.23-24.

36. Адушкин В.В., Камалян Р.З. Об оптимальных параметрах скважинных зарядов выброса // Там же. - С.36-37.

37. Камалян Р.З. О взаимодействии горизонтальных цилиндрических зарядов выброса // Там же. - С.44-45.

38. Камалян Р.З. К определению параметров вертикальных цилиндрических зарядов выброса // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Технические науки. - 1992. - №1.

STANDARD TIME

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

5720 S. UNIVERSITY AVENUE

CHICAGO, ILL.

PHYSICS DEPARTMENT

5720 S. UNIVERSITY AVENUE

PHYSICS DEPARTMENT

5720 S. UNIVERSITY AVENUE

CHICAGO, ILL.

462505

AB 25.880

1. Kuznetsov P. A. ...
2. Kuznetsov P. A. ...
3. Kuznetsov P. A. ...