

Министерство образования Украины
Государственная горная академия Украины

На правах рукописи

БАХТАЛА Наталья Стефановна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОХОДКИ ТРАНШЕЙ СКВАЖИННЫМИ
ЗАРЯДАМИ ВЫБРОСА
В МЯГКИХ И ПЛОТНЫХ ПОРОДАХ**

Специальность 05.15.03 – "Открытая разработка
месторождений полезных ископаемых"

Автореферат
диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Днепропетровск – 1995

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00778334 (W)

На правах рукописи

БАХТАЛА Наталья Стефановна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПРОХОДКИ ТРАНШЕЙ СКВАЖИННЫМИ
ЗАРЯДАМИ ВЫБРОСА
В МЯГКИХ И ПЛОТНЫХ ПОРОДАХ**

Специальность 05.15.03 – "Открытая разработка
месторождений полезных ископаемых"

Автореферат
диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Днепропетровск – 1995

АВ 32.903

Диссертация является рукописной работой.
Выполнена в Государственной горной академии Украины

Научный руководитель
профессор, доктор технических наук
Крысин Родэрик Симонович

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор

Савенко Руслан Георгиевич
кандидат технических наук, доцент


Панченко Валерий Васильевич

Ведущее предприятие - ПО "Кривбассвзрывпром"

Защита состоится "5 октября" 1995 г.
в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного
совета Д 03.06.01 в Государственной горной академии
Украины по адресу : 320027, г. Днепропетровск-27
проспект Карла Маркса, 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
академии.

Автореферат разослан "27 августа" 1995г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук  А.В. Зборовский

ЛНБ ім. В. Стефаники
АН України

АВ - 32.903

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Добыче полезных ископаемых открытым способом предшествуют большие объемы подготовительных работ, связанных с проведением капитальных и разрезных, водоулавливающих, водоотводящих и водоподводящих траншей, особенно велики объемы работ по сооружению траншей в мягких и плотных породах с площадью поперечного сечения от 30 до 1600м². Так, например, в Украине в Приднепровском бурогольном бассейне разведано и намечено к разработке крупное месторождение графита с мощностью вскрышных пород от 15 до 50м, значительны также объемы выемки пород вскрыши с мощностью от 5 до 40м при разработке месторождений полезных ископаемых и в странах СНГ. Вскрышные породы в основном сложены супесями, глинами, суглинками, известняками, относящимися к мягким и плотным породам.

Одним из методов, обеспечивающих интенсификацию проходки траншей, является взрыв на выброс. Технология проведения работ взрывом на выброс успешно используется для сооружения протяженных выемок при разведке месторождений (разведочные траншеи) и в мелиоративном строительстве. Благодаря своей автономности, взрыв на выброс пока остается единственно возможным способом образования траншей в малоосвоенных и труднодоступных районах.

Среди взрывных способов проходки траншей наиболее перспективными и высокомеханизированными являются скважинные заряды выброса, которые по сравнению с траншейными зарядами обеспечивают проведение более глубоких траншей в более прочных породах.

Проблема использования скважинных зарядов выброса тесно связана с проблемой их проектирования. Однако, до настоящего времени при проектировании скважинных зарядов выброса недостаточно обоснованы экономические и технические параметры БВР,

отсутствуют методы определения оптимальных параметров проходки траншей скважинными зарядами выброса. Поэтому задача разработки методов оптимизации параметров скважинных зарядов выброса, позволяющих снизить стоимость и сократить сроки взрывной проходки траншей, уменьшить трудоемкость разработки проекта буровзрывных работ, повысить его качество, представляет актуальную научную задачу.

Идея работы заключается в использовании гидродинамической теории идеальной несжимаемой жидкости для разработки метода оптимального проектирования траншей в мягких и плотных породах путем создания моделей, прогнозирующих размеры и форму сечения взрывных выемок в зависимости от параметров скважинных зарядов выброса и их расположения в массиве.

Целью работы является разработка метода оптимизации технологических параметров проходки траншей скважинными зарядами выброса в мягких и плотных породах.

Научные положения, сформулированные автором:

1. Критерий разрушения (предельная объемная деформация сдвига) возрастает при увеличении категории крепости, влажности и плотности пород по квадратичной зависимости, а масса заряда взрывчатого вещества зависит от критерия разрушения линейно, что позволяет рассчитать параметры заложения скважинных зарядов выброса, обеспечивающие создание траншей заданного поперечного сечения.

2. Оптимизация параметров заложения скважинных зарядов и технологических параметров проходки траншей в мягких и плотных породах достигается за счет использования критерия качества, выражающего оптимальное соотношение взрывного и проектного сечений траншей с учетом ее доработки после взрыва, что обеспечивает рост темпов проходки, минимальную стоимость работ, повыше-

ние качества и технического уровня проектирования.

Обоснованность и достоверность научных полсжений, выводов и рекомендаций подтверждена комплексом теоретических и экспериментальных исследований, использованием апробированных положений теории гидродинамики взрыва, методов математического и технико-экономического моделирования, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и натурных исследований размеров и формы сечений взрывной выемки (отклонение не превышает 10%), опытной эксплуатацией САПР БВР при проектировании проходки протяженных выемок скважинными зарядами выброса.

Научная новизна заключается в установлении закономерностей изменения критерия разрушения в виде предельной объемной деформации сдвига от типа, плотности и влажности породы, разработке на этой основе классификации пород по показателям разрушения и формы сечения взрывной выемки, установлении взаимосвязей с критерием разрушения параметров заряда и его расположения в массиве, разработке прогнозных зависимостей формы сечения взрывной выемки от параметров заложения скважинных зарядов выброса и типа породы, создании методов оптимизации параметров проходки траншей в мягких и плотных породах, образуемых взрывом на выброс скважинными зарядами при различных временных регламентах их проведения.

Практическая значимость работы:

- предложена совокупность новых инженерных методов расчета основных технологических параметров проходки траншей в мягких и плотных породах скважинными зарядами выброса и разработано математическое и программное обеспечение оптимизации этих параметров;

- разработана САПР БВР, включающая три подсистемы: информацион-

ную, моделирования и оптимизации, расчета и печати смет, которая позволяет с применением ЭВМ выбирать оптимальные варианты инженерно-технических решений при проектировании различных технологий проходки и полностью автоматизировать процесс проектирования.

Работа реализована в комплексе инженерных методов, алгоритмов и моделей (сведенных до машинных программ и переданных в ГОФАП), которые использованы проектно-исследовательским институтом "Средазгипроводхлопок" в Узбекистане при проектировании взрывной проходки ряда водосбросных коллекторов Каршинской оросительной системы и предложены для проектирования БВР при освоении нового графитного месторождения Днепробасса открытым способом.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах: республиканской конференции "Проблемы и перспективы применения энергии взрыва для разработки грунтов и горных пород", г. Киев, (1980 г.); республиканской конференции молодых ученых и специалистов "Совершенствование технологий взрывных работ в горных породах и грунтах", г. Тернополь, (1982 г.); Всесоюзном семинаре "Ведение взрывных работ в мелиоративном строительстве", г. Киев, (1984 г.); на научно-техническом Совете института "Средазгипроводхлопок", г. Ташкент, (1985 г.), Международном научном семинаре "Высокоэнергетическая обработка материалов", г. Днепропетровск, (1995 г.).

Публикации. Результаты выполненных исследований освещены в 10 опубликованных работах, из которых пять - это программные средства САПР БВР, переданные в ГОФАП.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения,

изложена на 312 страницах, имеет 35 рисунков, 22 таблицы и 107 источников использованной литературы, восемь приложений на 120 страницах, в которых содержатся исходный экспериментальный материал, акты приема САПР в опытную эксплуатацию, расчет ожидаемого экономического эффекта, заключение о внедрении в производство результатов научных разработок.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю д.т.н. Крысину Р.С. за постоянное внимание к ее работе и эффективное содействие, а также благодарность инженерам Кондратюку Ю.К. и Кобзарю Н.В., оказавшим большую помощь в проведении лабораторных и производственных экспериментов.

О С Н О В Н О Е С О Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы. Выполнен анализ литературы, обобщены результаты исследований в области использования взрыва на выброс при проходе открытых выемок. При этом особое внимание было уделено исследованиям, посвященным технологиям, использующим скважинные заряды выброса.

Основные научные положения, относящиеся к вопросам проведения траншей взрывом на выброс, разработанные в трудах отечественных и зарубежных ученых Лаврентьева М.А., Покровского Г.И., Власова О.Е., Черниговского А.А., Ильинского Н.Б., Родионова В.Н., Вовка А.А., Кравца В.Г., Крысина Р.С., Кузнецова В.М., Кутузова Б.Н., Лучко И.А. и ряда других ученых, могут быть успешно использованы при создании новых технологических схем производства и методов проектирования взрывов на выброс скважинными зарядами.

В настоящее время существует несколько методик для расчета зарядов выброса, в которых предлагается вычислять расход ВВ и объем проходческих работ, исходя из свойств ВВ и пород, глубины заложения зарядов, глубины скважин, показателя действия взрыва

и других факторов. Однако, для скважинных зарядов выброса выбор этих параметров, определяющих стоимость работ, недостаточно обоснован. В последнее время Кузнецовым В.М., Адушкиным В.В., Камаляном Р.З. и др. проводились исследования по выбросу грунта скважинными зарядами. Получены расчетные формулы для величины заряда в скважине. Однако, они не учитывают таких важных параметров, как длина скважинного заряда и расстояние между скважинами. Что же касается оптимизации параметров скважинных зарядов, то все предыдущие исследования относятся больше к зарядам рыхления, а не выброса.

Исходя из вышеизложенного и цели диссертационной работы, главными задачами исследования являются:

1. Установить расчетные зависимости, определяющие взаимосвязь параметров заложения с весовыми характеристиками системы скважинных зарядов выброса и форму сечения выемки выброса при взрыве системы скважинных зарядов в зависимости от параметров заложения и литотипа пород.
2. Разработать методическую и инструментальную базы для проведения динамических испытаний пород на сдвиг в условиях всестороннего сжатия и установить количественные значения критерия разрушения - предельной деформации сдвига.
3. Разработать классификацию пород по совокупности используемых физико-механических характеристик грунтов.
4. Разработать рациональную технологию проведения траншей скважинными зарядами выброса, применительно к ней разработать математические модели технологического процесса при различных критериях качества и эффективности и на их основе предложить методы расчета оптимальных параметров заложения скважинных зарядов выброса, обеспечивающих необходимое сочетание объемов пород, подлежащих разработке взрывом и механизмами.

5. На основе математических моделей разработать и внедрить систему автоматизированного проектирования траншей, сооружаемых взрывом скважинных зарядов выброса (САПР БВР).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗАЛОЖЕНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВЫБРОСА. В гидродинамическом приближении получена зависимость, связывающая параметры БВР с прочностными характеристиками пород и энергетическими характеристиками ВВ. Она учитывает влияние на ширину выемки (K) параметров заложения скважинных зарядов (ПЗСЗ): глубины скважины (h_c), ее диаметра (d), длины заряда (b) и расстояния между скважинами (a).

В предположении, что движение среды описывается уравнениями идеальной несжимаемой жидкости, для определения границы зоны разрушения введен дополнительный параметр - критерий разрушения. Одним из основных видов деформации в процессе воронкообразования является сдвиг, поэтому в качестве критерия разрушения принято, что разрушение среды происходит в каждой точке при достижении в ней критического значения максимальной деформации сдвига (δ^*).

Для одиночной скважины получено соотношение, связывающее параметры заложения одиночного скважинного заряда выброса, q, h, n, β .

$$q = K h^2 \frac{\left[n^2 + \left(1 + \frac{\beta}{2} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{n \left\{ 1 - \left[\frac{n^2 + \left(1 + \frac{\beta}{2} \right)^2}{n^2 + \left(1 - \frac{\beta}{2} \right)^2} \right]^{\frac{3}{2}} \right\}}, \quad (I)$$

где $q = Q/b$ - заряд ВВ, приходящийся на единицу длины скважины, Q - вес заряда ВВ в скважине, $h = h_c - b/2$ - Л.Н.С., $n = R/h$ - имеет смысл показателя выброса, $\beta = b/h$, $K = \frac{\pi^2 \bar{P} \delta^*}{2sc}$ коэффициент, зависящий от свойств грунта и ВВ, \bar{P} - среднее давление

продуктов детонации, S - доля полной энергии ВВ, соответствующая кинетической энергии грунта, c - удельная энергия ВВ.

Для серии скважин, расположенных в ряд, удаленных друг от друга на некоторое расстояние a , получено соотношение для определения величины заряда ВВ в скважине:

$$Q = \frac{K h^3 \beta}{n \left| \sum_{-k}^k (A_i - B_i) \right|}, \quad (2)$$

здесь

$$A_i = \frac{1}{\sqrt{(1-\alpha)^2 + n^2 + \left(1 + \frac{\beta}{Z}\right)^2}}; \quad B_i = \frac{1}{\sqrt{(1-\alpha)^2 + n^2 + \left(1 - \frac{\beta}{Z}\right)^2}} \quad (3)$$

где $\alpha = a/h$ - приведенное расстояние между скважинами, $2k+1$ - количество скважин в ряду. В отличие от существующих соотношений для расчета величины скважинного заряда, структура полученной зависимости в виде $Q = Kh^3 F(\alpha, \beta)$ учитывает не только показатель действия взрыва, но также относительное расстояние между скважинами, и приведенную длину заряда в скважине.

Проверка зависимости (2) достигалась в процессе проведения серий полигонных и опытно-промышленных взрывов на выброс скважинными зарядами. Все взрывы проводились по однорядной схеме с мгновенным взрыванием. В каждой серии выбор опытных участков проводился с учетом однородности литологического состава пород. В различных сериях физические и физико-механические характеристики пород отличались. Это обеспечило возможность проверки расчетной зависимости ПЗСЗ в различных условиях. Влажность пород при этом составляла 5 - 12%. Подготовка и проведение экспериментов осуществлялись по схеме многофакторных испытаний, когда все переменные, кроме одной, являются постоянными и оценивается влияние только изменяющегося фактора. Выборочные результаты экспериментов представлены в табл. I. В этой же таблице приве-

Таблица I.

Параметры заложения и результаты взрывов на выброс скважинными зарядами.

Параметры заложения скважинных зарядов				Показатель выброса, n		Полуширина выемки (м)		Глубина выемки (м)	
Глубина скважины (м)	Расстояние между скважинами (м)	Вес заряда в скважине (кг)	Диаметр скважины (мм)	Расчетный	Фактический	Расчетная	Фактическая	Расчетная	Фактическая

Взрывы в полигонах условиях (2 - 3 категория по СНиП)

1,20	0,33	1,80	60	3,70	3,90	2,87	2,93	1,49	1,50
1,20	1,20	1,80	60	2,25	2,48	1,69	1,78	0,98	1,14
1,16	0,60	1,80	60	2,87	2,89	2,30	2,12	1,42	1,43
0,96	0,60	1,80	60	3,20	3,18	1,92	1,96	1,15	1,11
1,32	0,60	1,80	60	2,50	2,45	2,40	2,45	1,43	1,57
1,15	0,60	1,35	60	2,25	2,18	2,14	2,04	1,24	1,13
1,35	0,60	2,03	60	2,60	2,53	2,47	2,44	1,49	1,46
1,22	0,60	2,03	80	3,40	3,33	2,79	2,71	1,60	1,61

Взрывы в суглинках (2 - 3 категория по СНиП)

4,40	2,60	238	350	2,22	2,19	6,72	6,65	3,87	3,70
4,20	3,70	213	350	1,83	1,95	5,43	5,79	2,91	3,50
4,00	3,40	213	350	2,04	2,13	5,65	5,90	3,16	3,50
3,90	3,80	213	350	2,00	2,12	5,34	5,65	2,96	3,30

Взрывы в мергелях и известняках (3 - 5 категория по СНиП)

6,30	1,70	365	350	2,50	2,44	10,50	10,25	6,26	5,60
7,00	1,40	409	350	2,75	2,58	12,75	12,00	7,81	7,20
6,80	1,50	409	350	2,46	2,29	11,57	10,75	6,78	5,10
6,90	1,50	418	350	2,60	2,33	11,70	10,50	7,05	4,15
7,40	1,30	435	350	2,73	2,24	13,38	11,00	8,16	4,00

Взрывы в тяжелых глинах (4 - 5 категория по СНиП)

20,90	13,00	33390	-	1,90	1,89	33,01	32,80	17,97	17,6
21,60	13,00	33390	-	1,86	1,96	33,49	35,40	18,16	20,0
21,80	13,00	33390	-	1,83	2,05	33,42	37,50	17,95	20,2
13,50	10,00	11298	-	1,96	2,00	21,95	22,40	12,09	13,7
8,90	5,00	3444	-	2,27	2,09	16,80	15,48	9,73	9,5
9,78	5,00	5040	-	2,52	2,53	20,40	20,45	10,50	11,9

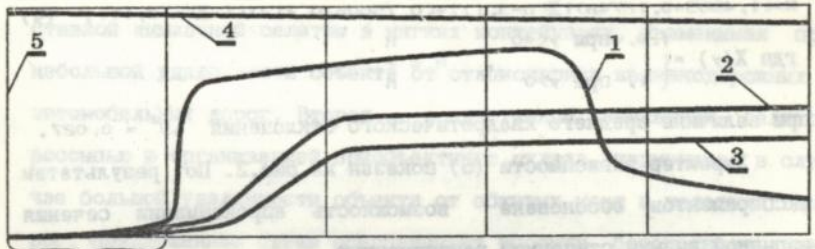
дены результаты опытно-промышленных взрывов, проводившихся в различных породах. Эти данные использованы для проверки зависимости (2) для скважин глубиной 5-20 м. Сравнение расчетных и фактических значений показателей выброса свидетельствует об их хорошем совпадении. При этом максимальное среднеквадратическое отклонение не превысило $\Delta S^2 \approx 0,07$.

Принятый критерий разрушения (δ^*), в отличие от известных, имеет конкретный физический смысл, что позволило определить его численные значения для различных пород в лабораторных условиях. Испытания пород на сдвиг проводились при трехосном сжатии, с наперед заданным боковым давлением, в динамике, что отвечает работе породы в природных условиях и дает наиболее надежные результаты определения их прочности и деформативных свойств.

Характерная осциллограмма деформации образца породы при трехосном сжатии в условиях динамического нагружения представлена на рис. I.

Установлено, что с увеличением прочности пород, их плотности и влажности соответствующие значения критической скорости деформации сдвига возрастают по квадратичной зависимости. Деформация сдвига больше для пород глинистого состава и более пластической консистенции. Показано, что зависимость энергетического фактора от значений критической скорости деформации сдвига имеет линейный характер.

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ВЬЕМКИ ОТ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ. Полигонные и промышленные эксперименты были использованы для исследования взаимосвязи параметров БВР с глубиной и формой взрывной выемки. Отношение глубины взрывной выемки к Л. Н. С. (\bar{H}) определяется кусочно-линейной зависимостью от показателя действия взрыва:



0,01 сек
Рис. 1. Характерная осциллограмма деформации образца породы
1 - датчик сопротивления образца; 2,3 - датчики линейной деформации; 4 - датчик давления; 5 - отметка времени.

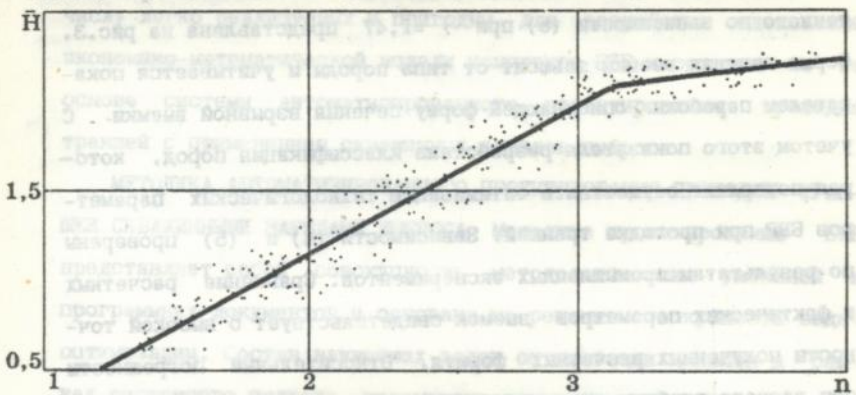


Рис. 2. Зависимость приведенной глубины выемки от показателя выброса

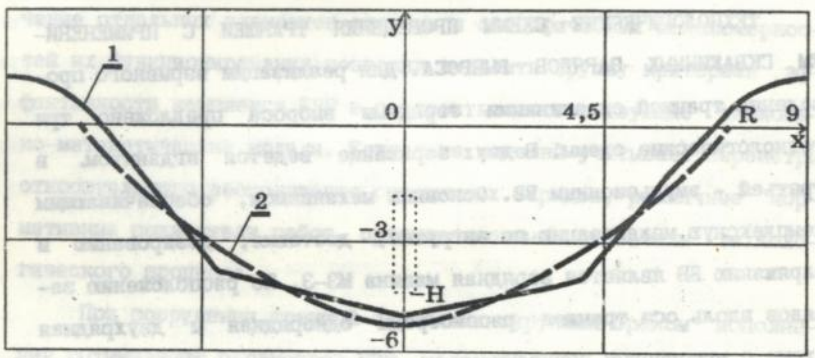


Рис. 3. Форма сечения взрывной выемки
1 - фактическое сечение взрывной выемки; 2 - расчетное сечение взрывной выемки

$$\bar{h} = (1,4905 + 0,1274n)(X(n-3,1)) + (0,7569n - 0,412)(1 - X(n-3,1)), \quad (4)$$

где $X(y) = \begin{cases} 0, & \text{при } y < 0 \\ 1, & \text{при } y > 0 \end{cases}, \quad \bar{h} = \frac{h}{h}$

при величине среднего квадратического отклонения $\Delta s^2 = 0,027$.

Характер зависимости (5) показан на рис.2. По результатам экспериментов обоснована возможность аппроксимации сечения взрывной выемки степенной зависимостью

$$y = \bar{h} h \left[\frac{x}{nh} \right]^{\gamma} - \bar{h} h. \quad (5)$$

Степень соответствия фактического сечения выемки и рассчитанного по зависимости (5) при $\gamma = 1,47$ представлена на рис.3. Форма сечения выемки зависит от типа породы и учитывается показателем параболы, описывающей форму сечения взрывной выемки. С учетом этого показателя разработана классификация пород, которая позволяет осуществить оптимизацию технологических параметров БВР при проходке траншей. Зависимости (4) и (5) проверены по результатам промышленных экспериментов. Сравнение расчетных и фактических параметров выемок свидетельствует о высокой точности полученных расчетных формул. Относительные погрешности при расчете глубины выемки составляют 1 - 9%, а при расчете площади поперечного сечения - 1-7%.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ТРАНШЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВЫБРОСА. Для реализации взрывного проведения траншей скважинными зарядами выброса предложено три технологические схемы. В двух заряжание ведется игданитом, в третьей - эмульсионным ВВ. Основным механизмом, обеспечивающим комплексную механизацию по загрузке, доставке, дозированию и заряданию ВВ является зарядная машина МЗ-3. По расположению зарядов вдоль оси траншеи рассмотрены однорядная и двухрядная схемы с мгновенным взрыванием.

По условию доставки ВВ предложены две схемы. Одна с до-

ставкой аммиачной селитры в мягких контейнерах, применимая при небольшой удаленности объекта от стационарных железнодорожных и автомобильных дорог. Вторая - с доставкой аммиачной селитры россыпью и организацией приобъектного склада, применимая в случае большой удаленности объекта от обжитых мест и железных дорог. Предложенные схемы обеспечивают высокую безопасность работ, производительность труда, механизацию работ с ВВ и создают минимальные условия для контакта рабочих с ВВ. Они относятся к числу легко реализуемых и пригодны для разработки адекватной экономико-математической модели комплекса БВР и создания на ее основе системы автоматизированного проектирования проходки траншей с применением скважинных зарядов выброса.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОХОДКИ ТРАНШЕЙ СКВАЖИННЫМИ ЗАРЯДАМИ ВЫБРОСА. Методика проектирования БВР представляет собой совокупность методологических указаний и программных документов и основана на решении совокупности задач оптимизации. Состав важнейших задач оптимизации выявлен в рамках системного подхода, рассматривающего комплекс БВР как совокупность взаимодействующих процессов, образующих систему. Изучение отдельных элементов системы и специфических закономерностей их функционирования позволил выделить группу критериев эффективности комплекса БВР и построить соответствующие экономико-математические модели. Каждая из моделей учитывает параметры относительного расположения скважинных зарядов, различные нормативные показатели работ, организационные показатели технологического процесса.

При сооружении траншей с регламентируемым сроком исполнения оптимизацию параметров БВР целесообразно осуществлять по стоимостному фактору. При оперативном проектировании БВР выбор оптимальных параметров необходимо производить по минимуму

удельной стоимости ($\min c_v$). Целевая функция соответствующей экономико-математической модели задается соотношением:

$$c_v = \frac{c}{\sqrt{v_b}}, \text{ руб./м}^3, \quad (6)$$

где c - стоимостные затраты на проведение БВР, руб., v_b - объем взрывной выемки, м^3 .

$$c = c_{\text{bur}} + c_{\text{zas}} + c_{\text{вв}} + c_{\text{ds}} + c_{\text{det}} + c_{\text{zar}}, \text{ руб.}, \quad (7)$$

где c_{bur} - стоимость бурения, руб.; c_{zas} - стоимость засыпки, руб.; $c_{\text{вв}}$ - стоимость ВВ, руб.; c_{ds} - стоимость детонирующего шнура, руб.; c_{det} - стоимость электродетонаторов, руб.; c_{zar} - стоимость заряжания, руб.

При перспективном проектировании БВР для выбора оптимальных параметров БВР используются приведенные затраты. Соответствующая целевая функция приведенных затрат имеет вид:

$$Z = \begin{cases} \sum_{t=1}^T (c_t + e_n K_t) (1 + e_{np})^{T-t}, & \text{при } T > 1 \\ c + \frac{e_n \theta K}{\Gamma}, & \text{при } T \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

где $T = E(x) / (\Gamma) + 1$, год; $E(x)$ - целая часть числа x ; e_p - срок строительства объекта, дн.; Γ - нормативное число рабочих дней в году; c - текущие затраты (при $T \leq 1$) - определяется формулой (7), руб.; c_t - текущие затраты по годам (при $T > 1$), руб.; e_n - годовой нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($e_n = 0,15$), e_{np} - нормативный коэффициент приведения ($e_{np} = 0,1$); K, K_t - капитальные вложения в производственные фонды, руб.

Если проходка траншеи осуществляется в экстренном порядке, предпочтительно рассчитывать оптимальные параметры БВР по критерию минимума срока строительства. Соответствующая целевая функция учитывает хронологическую согласованность отдельных технологических операций и имеет вид рекуррентного соотношения:

$$\theta_p = \theta_{p-1} + \left[U^V(j_p, i_p) - \theta_{p-1} \right] + \chi \left[U^V(j_p, i_p) - \theta_{p-1} \right] + \frac{1}{2} \frac{(j_{(p-1)}, i_{(p-1)})}{(j_p, i_p)}, \text{ дн.}, \quad (9)$$

где $U^V(j_p, i_p)$ - время подготовки взрыва в точке (j_p, i_p) ,
 $T_{(j_{(p-1)}, i_{(p-1)})}$ - время доработки на участке между точками $(j_{(p-1)}, i_{(p-1)}), (j_p, i_p)$.

Для экономико-математических моделей с целевыми функциями (6), (8), (9) предложено два критерия качества, предъявляемых к взрывной выемке. Они являются ограничениями-равенствами задач оптимизации. Первый из критериев требует касания взрывного и проектного сечений в бортах и преимущественно используется при строительстве мелиоративных выемок. Аналитическое выражение для критерия имеет вид:

$$n = \frac{mHy}{h} \left[\frac{2m (H_n - H) + b_n - c}{2m(\gamma - 1)} \right]^{\frac{1}{\gamma-1}}, \quad (10)$$

где m - коэффициент заложения откоса, H_n - проектная глубина выемки, b_n - проектная ширина по дну, c - расстояние между рядами скважин.

При взрывной проходке разрезных и барражных траншей, нагорных канав, водоподводящих и водоотводящих траншей требуемое качество работ обеспечивается достижением заданного коэффициента выброса (K_b^*). Этот критерий качества имеет вид:

$$h = \frac{K_b^* (mH_n + b_n H_n) (\gamma + 1)}{2n \left[H - \frac{1}{H^\gamma} (H_n - H)^{\frac{\gamma+1}{2}} \right] \chi(H - H_n)} \quad (11)$$

Кроме того, в задачах оптимизации учитываются ограничения на:

- показатель выброса $n \geq n_k$, (12)

- глубину скважины $h_c \leq h_{bur}$, (13)

- диаметр скважины $d \in P^d$,

где $R^1 = \left\{ d \mid d - \text{допустимый диаметр скважины} \right\}$, (14)

- длину заряда в скважине $b_1 \leq b \leq b_2$, (15)

- расстояние между скважинами $a_1 \leq a \leq a_2$, (16)

- вместимость скважины $\frac{\pi d^2}{4} \rho_{\text{вв}} = \frac{Q}{b}$ (17).

Если рассматриваются задачи оптимизации приведенных затрат или срока строительства, то дополнительно вводятся ограничения на типоразмеры применяемых механизмов:

- для зарядных машин $Q_{\text{мз}} \in R^{\text{мз}}$,

где $R^{\text{мз}} = \left\{ Q_{\text{мз}} \mid Q_{\text{мз}} - \text{возможная производительность зарядной машины} \right\}$, (18)

- для бульдозеров $P_b \in R^b$,

где $R^b = \left\{ P_b \mid P_b - \text{допустимая мощность бульдозера} \right\}$ (19)

- для экскаваторов $P_e \in R^e$,

где $R^e = \left\{ V_e \mid V_e - \text{допустимый объем ковша экскаватора} \right\}$ (20).

Каждая из целевых функций (6), (8), (9) рассмотрена с одним из критериев качества (10) или (11), что породило шесть независимых по смыслу задач оптимизации. В сочетании с ограничениями (12) - (20) каждая из задач оптимизации позволяет определить оптимальные в требуемом смысле параметры БВР. Изложенные экономико-математические модели явились основой для создания системы автоматизированного проектирования буро-взрывных работ (САПР БВР). Разработанная САПР включает три подсистемы: информационную, подсистему моделирования и оптимизации и подсистему ведения документации, расчета и печати смет. Разработка доведена до уровня программного обеспечения и передана ГОФАП.

Основной объем внедрения САПР в процессе опытной эксплуатации выполнен проектно-изыскательским институтом "Средазгипроводхлопок" при проектировании взрывных работ по трассе Главного водосбросного тракта (ГВСТ) второй очереди орошения и освоения

земель Каршинской степи. Время на составление этого проекта от подготовки исходных данных до выпуска смет составило 15 дней. При традиционном способе проектирования на такой объем затрачивается не менее полугода. Эффективность от внедрения САПР определяется в результате сравнения двух вариантов проектирования - традиционного и с применением САПР. Основные показатели экономической эффективности приводятся в табл. 2.

Таблица 2.

Основные показатели экономической эффективности

от внедрения САПР

Проектный объем взрывных работ 25 млн.м³

Наименование показателей	ед. изм.	Показатели	
		по объему	на 100 м ³
1. Годовой экономический эффект	руб.	9597513	36,12
2. Отражение экономической эффективности в плановых показателях.			
2.1. Оптимальная удельная стоимость БВР (по min C _y)	руб.		153
2.2. Снижение себестоимости взрывных работ	руб.	9556003	37,22 (22%)
2.3. Снижение стоимости материалов	руб.	4730690	18,43
2.4. Снижение затрат на капитальные вложения.	руб.	272176	1,06

Примечание: стоимостные показатели представлены в ценах 1984г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научная задача ведения горно-строительных работ скважинными зарядами выброса на основе разработки метода оптимизации технологических параметров проходки траншей в мягких и плотных породах и создания САПР БВР. Решение задачи имеет важное научное и практическое значение для рационального выполнения горно-строительных работ при открытой разработке месторождений полезных ископаемых и позволяет снизить стоимость работ, сократить сроки взрывной

проходки траншей и уменьшить трудоемкость проектных работ.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Установлено, что в процессе образования выемки выброса сдвиг является одним из основных видов деформации. Обосновано использование в качестве критерия разрушения критической скорости деформации сдвига. Установлены количественные значения критерия разрушения в зависимости от типа породы, ее физических и физико-механических свойств в условиях объемного динамического нагружения. С увеличением прочности породы, ее плотности и влажности соответствующие значения критической деформации сдвига возрастают по квадратичной зависимости. Масса заряда ВВ зависит линейно от критической скорости деформации сдвига. Результаты этих исследований использованы при разработке классификации пород по трудности разработки их механизмами и взрывом, явившейся основной частью нормативно-справочной информации САПР.

2. В гидродинамическом приближении получена аналитическая зависимость, связывающая параметры буровзрывных работ с прочностными характеристиками породы и весом заряда в скважине, которая дает хорошее совпадение с практикой и служит основой для прогнозирования формы и размеров сечения взрывной выемки. Это позволило осуществить математическое моделирование процесса взрывной проходки траншей скважинными зарядами выброса для поиска оптимальных технологических решений и способствовало созданию классификации пород по трудности разработки их механизмами и взрывом.

3. Предложена совокупность критериев эффективности и качества, позволяющих учесть разнообразие потребностей и условий проектирования проходки траншей для выбора оптимальных парамет-

ров БВР.

4. Разработаны практические рекомендации по решению задач оптимизации при проектировании параметров БВР, в частности:

- оптимизационную задачу минимизации удельной стоимости БВР, имеющую небольшую размерность, рекомендуется применять для оперативного поиска параметров заложения скважинных зарядов выброса с учетом имеющихся в наличии типоразмеров механизмов, используемых в технологическом процессе;

- математические модели минимизации приведенных затрат или срока строительства, имеющие большую размерность, наиболее целесообразно использовать при перспективном проектировании траншей, сооружаемых с применением взрыва скважинных зарядов выброса, что позволяет выбрать не только оптимальные параметры заложения скважинных зарядов выброса, но и типоразмеры используемых механизмов.

5. Разработана классификация пород, которая позволяет в процессе автоматизированного проектирования по наименованию породы выбрать нормативы для механизмов конкретной технологии, удельный расход для образования пионерной выемки и показатель формы сечения выемки для выполнения принятого критерия качества.

6. Создана система автоматизированного проектирования взрывной проходки траншей скважинными зарядами выброса, которая значительно (до 10 и более раз) сокращает сроки разработки проектов, повышает их качество, сокращает численность работников проектной организации.

7. Внедрение САПР в процессе опытной эксплуатации выполнено проектно-исследовательским институтом "Средазгипроводхлопок" при проектировании взрывных работ по трассе Главного водосбросного тракта второй очереди орошения и освоения земель Каршинской степи. Ожидаемый экономический эффект, достигнутый на ста-

дии рабочих чертежей, составляет 9,6 млн.руб., (в ценах 1984 г.), себестоимость взрывных работ снизилась на 22%. Разработаны предложения для проектирования БВР при освоении нового графитного меторождения Днепробасса открытым способом.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Крысин Р.С., Кондратюк В.К., Бахтала Н.С. Применение САПР строительства протяженных выемок взрывом// Горный журнал, 1983. -№2. -С. 44-46.

2. Крысин Р.С., Кондратюк В.К., Бахтала Н.С. Оптимизация параметров буровзрывных работ// Днепрпетр.горн.ин-т.-Днепропетровск,1982.-20с.Деп. в ЦЕНТИ Минводхоза//Строительство и эксплуатация водохозяйственных объектов.-№4,1982.-№86.

3. Крысин Р.С., Бахтала Н.С., Кобзарь Н.В. Исследования по установлению предельной деформации сдвига в различных грунтах// Тезисы докладов Всесоюзной школы передового опыта на тему "Ведение взрывных работ в мелиоративном строительстве".-М.: Препринт ВГПИ Союзоргтехводстрой,1984.-С.38-39.

4. Крысин Р.С., Бахтала Н.С.,Кондратюк В.К. Автоматизированная система проектирования взрывных работ// Там же.-С.13.

5. Крысин Р.С., Кондратюк В.К., Бахтала Н.С. Метод расчета скважинных зарядов выброса.-Днепрпетр.горн.ин-т.-Днепропетровск,1986.-14с.:Леп. в УкрНИИТИ 04.04.1986 г., №1015.-Ук.86.

6. Крысин Р.С., Бахтала Н.С., Мельничук Л.Н. Моделирование дискретного продольного профиля// ОФАП Минвуза СССР,№87039 от 12.03.1987.-54с.

7. Крысин Р.С., Бахтала Н.С., Мельничук Л.Н. Оптимизация буровзрывных работ// ОФАП Минвуза СССР,№ 87040 от 12.03.1987.-66с.

8. Крысин Р.С., Бахтала Н.С., Мельничук Л.Н. Расчет и печать смет на буровзрывные работы// ОФАП Минвуза СССР, №87041 от 12.03.1987.-62с.

9. Крысин Р.С., Бахтала Н.С., Мельничук Л.Н. Запись файла нормативно-справочной информации номк1 // ОФАП Минвуза СССР, №87042 от 12.03.1987.-118с.

10. Крысин Р.С., Бахтала Н.С., Мельничук Л.Н. Запись файла нормативно-справочной информации номк2 // ОФАП Минвуза СССР, №87043 от 12.03.1987.-132с.

В работах, написанных в соавторстве, участие соискателя

заключается: 1, 2, 4, 6-10 - в разработке алгоритмов оптимизации параметров БВР, разработке и отладке программ на ЭВМ в составе САПР БВР; 2 - в разработке экономико-математической модели БВР; 3 - в участии автора в проведении экспериментов по определению предельной деформации сдвига, обработке результатов; 5 - в решении гидродинамической задачи теории взрыва, выводе формулы расчета величины заряда в скважине, статистической обработке результатов.

Убахин

А Н Н О Т А Ц И Я

Бахтала Н.С. Оптимизация технологических параметров проходки траншей скважинными зарядами выброса в мягких и плотных породах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.03 "Открытая разработка месторождений полезных ископаемых", Государственная горная академия Украины, Днепропетровск, 1995.

Защищаются методы оптимизации технологических параметров проходки траншей скважинными зарядами выброса в мягких и плотных породах. Установлены расчетные зависимости, определяющие взаимосвязь параметров заложения с весовыми характеристиками системы скважинных зарядов выброса и форму сечения выемки выброса. Установлены закономерности изменения критерия разрушения (предельной объемной деформации сдвига) от типа породы, ее плотности и влажности, а также взаимосвязь параметров заряда с критерием разрушения. Разработана классификация пород по показателям разрушения и формы сечения взрывной выемки. Разработана технология проходки траншей скважинными зарядами выброса. Установлено, что оптимизация параметров заложения скважинных зарядов и технологических параметров проходки траншей достигается за счет использования различных критериев эффективности и качества, выражающих оптимальное соотношение взрывного и проектного сечения траншеи с учетом ее доработки после взрыва. Разработана САПР буровзрывных работ, которая принята в опытную эксплуатацию проектно-изыскательским институтом "Средазгипроводхлопок". Ожидаемый экономический эффект от внедрения САПР, достигнутый на стадии рабочих чертежей, составляет 9,6 млн.руб. (в ценах 1984г.). Опубликовано 10 печатных работ.

ANNOTATION

Bakhtala N.S. Optimization of the trench excavation technological parameters by deep-hole chargers outburst in soft and dense rock. Dissertation for a degree of candidate of technical science on the specialty 05.15.03 "Surface mining of mineral deposits", State Mining Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1995

Optimization methods of the trench excavation technological parameters by deep-hole chargers outburst in soft and dense rock are defended. Designed dependencies, which determine contour interval parameters relation with balance characteristics of the system and excavation section shape were established. The regularities in modifications of criterion of the destruction as maximum volumetrical fault deformation from the type of the rock, its density and humidity, and the relation of charge parameters and its desposition in the massif with destruction criterion were established. Rock classifying according to failure coefficients and excavation section shape was worked out. Technology of the trench excavation by the deep-hole charges outburst was worked out. It was established that optimization of deep-hole charge contour interval parameters and the trench excavation technological parameters is reached by using different figures of merit which express optimum correlation of blasting and designed trench section with regard for its finishing after blasting. Computer-aided design system (CADS) was put on experimental stream by the Research Institute "Sredasgiprovodhlopok". Economic efficiency of introduction CADS, reached on the stage of working drawing, is 9,6 mln rubles (in price of 1984). Ten works have been published.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БУРО-ВИБУХОВІ РОБОТИ, СВЕРДЛОВИННІ ЗАРЯДИ, ВИБУХ НА ВИКИД, ГІДРОДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ВИБУХУ, ГРАНИЧНА ДЕФОРМАЦІЯ ЗСУВУ, ТРАНШЕЯ, ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ.

454184

AB 32.903

AB 32.903