

6
А 40

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

Горный инженер Н. И. Лемеш

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА
СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

(на примере Николаевского карьера)

Специальность № 05. 312 «Открытая разработка и
эксплуатация угольных, рудных и нерудных месторождений»

Автореферат
диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе 1970

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

Горный инженер Н.И. ЛЕМЕШ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА
СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ
(на примере Николаевского карьера)

Специальность № 05.312 "Открытая разработка и
эксплуатация угольных, рудных и нерудных месторождений"

А в т о р е ф е р а т
диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе
1970

В В Е Д Е Н И Е

В решении задач, поставленных государственным планом перед горнодобывающей промышленностью, большая ответственность выпадает на долю трудоемких и дорогостоящих буровзрывных работ, которые, как это отмечалось в документах многих совещаний и конференций, все еще не удовлетворяют требованиям современного высокоинтенсивного производства. Одним из основных направлений совершенствования буровзрывных работ признано развитие методов активного управления энергией взрыва (многорядное короткозамедленное взрывание, различные конструкции зарядов, отбойка в зажиме и т.д.), эффективность использования которых во многом зависит от правильности выбора параметров отбойки. Известно, что имеющиеся методики определения параметров буровзрывных работ не полностью отвечают всё возрастающим требованиям производства. Поэтому не случайно в документах ряда совещаний и конференций отмечается актуальность исследований по вопросу определения технических параметров взрыва. Указанное обстоятельство и предопределило направление диссертационной работы, которая посвящена вопросу изучения технических параметров взрыва скважинных зарядов в скальных породах. В результате анализа современного состояния теории и методов расчета основных параметров взрыва была предпринята попытка дальнейшего усовершенствования методов определения параметров буровзрывных работ, что достиглось теоретическим путем с последующей экспериментальной проверкой и анализом полученных результатов. В основу диссертации были положены исследования, выполненные автором в лаборатории взрывных работ ВНИИцветмета. Экспериментальные работы проводились на Николаевской карьере Восточно-Казахстанского медно-цинкового комбината, на котором и было осуществлено внедрение всех основных результатов исследования.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по главам и заключения, изложенных на 168 страницах машинописного текста, и содержит 78 рисунков, 14 таблиц, список использованной литературы и приложения.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате анализа современного состояния теории действия взрыва показывается, что закономерности детонации ВВ удовлетворительно описываются основными соотношениями гидродинамической теории детонации, а закономерности расширения продуктов детонации (ПД) могут быть описаны в форме Эйлера шести дифференциальными уравнениями газовой динамики, решение которых полностью определяет все параметры движения ПД в зарядной камере. Движение твердой среды при взрыве может быть также описано системой указанных уравнений. Однако уравнение состояния горных пород при взрыве, которое должно замыкать эту систему, пока не совсем ясно. В частности, здесь еще недостаточно изучена зависимость характера деформаций и прочности пород от скорости деформирования, но уже признано, что эту зависимость необходимо учитывать в расчетах. Не разработаны достаточно надежные методы для прямого определения прочностных свойств пород в массиве, хотя уже известно, что различие в прочности массива и образца может быть весьма большим (до 200 раз). Экспериментальное изучение взрыва со времени его использования привело в настоящее время к формированию экспериментальной основы теории действия взрыва-энергетическому закону подобия, познание которого имеет большое научное и практическое значение.

Анализ литературы по методам определения технических параметров взрыва позволил выделить три основных направления:

1. Чисто эмпирические методы, основанные на результатах статистического анализа массовых взрывов, производственного эксперимента. При достаточном числе наблюдений формулы надежны и точны, но в условиях, одинаковых с экспериментальными, физической сущности процесса разрушения пород взрывом не объясняют. Изучение закономерностей связано со значительными затратами труда, времени и денежных средств, а также не всегда удобно в условиях высокоинтенсивного производства.

2. Расчеты, основанные на различных теоретических представлениях о действии взрыва, учитывающих сопротивление горных пород разрушению. Эти методы с тех или иных позиций дают объяснение физической сущности процесса разрушения горных пород, некоторые из них имеют большое познавательное значение, однако, из-

за недостаточной изученности поведения и состояния массива горных пород при динамических нагрузках взрывом имеют невысокую точность и потому не находят широкого применения.

3. Методы расчета, основанные на пропорциональности разрушающего действия взрыва весу или потенциальной энергии заряда, т.е. на закономерностях, вытекающих из энергетического закона подобия. Эти методы хотя недостаточно ясно, но в основном верно отражают суть закономерностей при взрыве, просты в использовании и потому находят наибольшее применение на практике. Их недостатки-ограниченные возможности и сравнительно невысокая точность. Накопление большого количества формул здесь по существу не устранило недостатков расчета, а только показало, что его возможности в значительной степени уже исчерпаны.

В результате анализа литературы показана необходимость дальнейшего совершенствования методов определения параметров буровзрывных работ и предложен новый метод, основанный на пропорциональности разрушения, дробления, сдвига и т.д. значительных объемов (V) или масс (M) среды только той части энергии или импульса взрыва, которая передается породе. Известно, что методов для оценки количества передаваемой среде энергии (E) пока не разработано, но передаваемые породе импульсы взрыва (J) в принципе могут быть найдены. Поэтому при разработке методики расчета в диссертации используется пропорциональность разрушения значительных масс среды величине J . Качество взрывов в этом случае будет определяться величиной условной скорости $v_m = J/M$, характеризующей энергонасыщенность взрываемого массива. В работе показывается, что удельный расход переданной среде энергии $q = E/V$ и выход дробленого продукта прямо пропорциональны величине v_m . При изменении параметров взрыва в технически разумных пределах относительное распределение переданной среде энергии в массиве остается примерно одинаковым. Поэтому в одних и тех же породах для постоянства качества взрывов необходимо и достаточно соблюдать условие $v_m = \text{const}$, а численное значение v_m будет определяться только требованиями к качеству взрыва. В породах различной взрываемости заданное качество взрывов будет достигаться при

различных значениях v_m . Задача расчетов будет заключаться в отыскании для каждого значения исследуемого параметра такой величины заряда, при которой переданный породе импульс взрыва будет максимальным. Это позволит достичь заданного качества взрывов ($v_m = \text{const}$) в максимальном объеме пород или получить максимальное дробление ($v_m = \text{max}$) в заданном объеме пород.

Рациональными будут те параметры, которые обеспечат разработку 1 м^3 горной массы с наименьшими затратами труда и денежных средств. Для реализации предложенной методики необходимо определить импульсы взрыва в функции параметров буровзрывных работ.

Таким образом, цель настоящих исследований заключалась в разработке и экспериментальной проверке предложенного метода определения параметров буровзрывных работ. В соответствии с намеченной целью определились следующие задачи исследований:

1. Изучение закономерностей расширения продуктов детонации в удлиненной зарядной камере.
2. Определение импульсов взрыва, передаваемых стенкам зарядной камеры.
3. Изучение влияния на эффективность действия взрыва длины заряда, забойки, ЛСП, диаметра скважин, свойств материала забойки и взрывчатых веществ, интервала замедлений.
4. Экспериментальная проверка методики расчета параметров буровзрывных работ.
5. Разработка практических рекомендаций производству и их внедрение.

ГЛАВА II. ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Опираясь на известные факты, в работе полагается, что при взрыве скважинного заряда в скальных породах радиальное расширение ПД за время их эффективного действия незначительно по сравнению с расширением в направлении оси заряда за счет выталкивания забойки. В такой постановке задача по изучению движения ПД сводится к описанию их одномерного расширения при метании забойки, т.е. к так называемой задаче Лагранжа.

Эта задача впервые была рассмотрена докт. физ.-мат. наук К.П.Станюковичем, а применительно к взрывным работам - докт. техн. наук Ф.А.Баумом, докт. физ.-мат. наук С.С.Григорянцем и канд. физ.-мат. наук Н.С.Санасаряном, которые полагали, что метаемое тело оказывает только инерционное сопротивление выталкиванию. В развитие известных работ в диссертации рассмотрено решение задачи Лагранжа для случая, когда метаемое тело (забойка) переменной массы оказывает сопротивление выталкиванию за счет сил инерции и внутреннего трения, что соответствует свойствам реальных забойных материалов (породная мелочь, щебень, песок и др.). При вычислении импульсов взрыва время эффективного действия его сил обычно полагается равным времени, по достижении которого давление в зарядной камере снижается до величины, близкой или равной величине критического сопротивления пород разрушению. Известно, что надежных методов для оценки прочностных свойств пород в массиве (сопротивления сжатию, отрыву и т.д.) при динамическом нагружении взрывом не имеется и фактические значения критических характеристик пород остаются нам неизвестными. Поэтому, в отличие от известных работ, время эффективного действия взрыва предложено принимать равным времени от начала детонации заряда до начала видимого разрушения и сдвижения пород в направлении ЛСП (t_c). Численные значения t_c могут быть определены инструментально. В работе показывается, что t_c пропорционально ЛСП (W):

$$t_c = k_1 W \quad (2-1)$$

где k_1 - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств пород в массиве.

Сущность выполненных в диссертации решений задачи Лагранжа заключается в следующем. Пусть начало координат находится на верхнем торце заряда, а ось x совпадает с осью скважины и направлена вверх. Введем условные обозначения:

$$\bar{x} = \frac{x}{a}, \quad \bar{\tau} = \frac{t}{a}, \quad \bar{v} = \frac{v}{c_n}, \quad \bar{c} = \frac{c}{c_n}, \quad \bar{p} = \frac{p}{p_n}$$

где x, t, v, c, p - текущие значения координаты, м; времени, сек; скорости движения газов, м/сек; скорости звука в газах, м/сек; давления, н/м²;

$\bar{x}, \bar{\tau}, \bar{v}, \bar{c}, \bar{p}$ - то же в безразмерном виде;

c_n и p_n - скорость звука, м/сек и давление, н/м² в пределах взрыва до начала их расширения;

d - диаметр скважины, м.
Тогда для нашего случая система дифференциальных уравнений газовой динамики примет вид:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} (\bar{v} \pm \bar{c}) + (\bar{v} \pm \bar{c}) \frac{\partial}{\partial \bar{x}} (\bar{v} \pm \bar{c}) = 0 \quad (2-2)$$

Особым решением системы (2-2) является:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= (\bar{v} - \bar{c})\tau + F_1(\bar{v}) \\ \bar{v} + \bar{c} &= \text{const} \end{aligned} \quad (2-3)$$

а общим решением будет:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= (\bar{v} - \bar{c})\tau + F_1(\bar{v} - \bar{c}) \\ \bar{x} &= (\bar{v} + \bar{c})\tau + F_2(\bar{v} + \bar{c}), \end{aligned} \quad (2-4)$$

где $F_1(\bar{v})$, $F_2(\bar{v} - \bar{c})$, $F_2(\bar{v} + \bar{c})$ - произвольные функции соответственно от \bar{v} , $\bar{v} - \bar{c}$, $\bar{v} + \bar{c}$.

Если в момент $\tau=0$ к стенкам скважины и к торцу забойки одновременно будет приложено давление продуктов взрыва, то последняя придет в движение. В результате от торца забойки по газам пойдет первая волна разрежения, которая будет описываться особым решением (2-3) уравнений газовой динамики. В момент прихода этой волны ко дну скважины возникнет вторая, отраженная волна разрежения, в результате отражения последней от торца забойки возникнет третья, отраженная волна разрежения и т.д.

Поскольку вторая и все последующие волны разрежения распространяются по возмущенному газу, то они будут описываться общим решением (2-4) уравнений газовой динамики. Исходя из начальных условий, в работе показывается, что в системе уравнений (2-3)

$\text{const} = 1$, $F_1(\bar{v})$ определяется из граничных условий на торце забойки, которые описываются, исходя из равновесия действующих на нее сил. $F_1(\bar{v} - \bar{c})$ и $F_2(\bar{v} - \bar{c})$ находятся из граничных условий в месте возникновения волны (дно скважины для второй волны, торец забойки для третьей волны и т.д.).

В работе показывается, что волновые явления в продуктах детонации необходимо учитывать при: $H > 2l < 60a$, где H - длина заряда; l - длина забойки. При $H < 2l > 60a$ задача может быть решена до вылета забойки в квазистационарном приближении, т.е. без

учета волновых явлений, а после вылета забойки решение задачи может быть продолжено с учетом волновых явлений аналогично известному решению для взрыва без забойки.

В результате вычислений, которые подробно изложены в диссертации, определены все параметры движения продуктов детонации в скважине [скорость движения газов (\bar{v}), скорость звука в газах (\bar{c}), скорость распространения заданного состояния газов в отрицательном ($\bar{v} - \bar{c}$) и положительном ($\bar{v} + \bar{c}$) направлениях, закономерности движения фронта волны разрежения и изменения давления в функции координаты и времени]. Расчетные формулы имеют вид:

А. Волновое расширение ПД ($H > 2l < 60a$).

I. Первая волна разрежения:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{1}{2K} (2\tau + \Delta - y), \quad \bar{c} = \frac{1}{2K} (2K - 2\tau + y - \Delta), \\ \bar{v} - \bar{c} &= \frac{1}{K} (2\tau + \Delta - K - y), \\ \bar{v} + \bar{c} &= 1, \quad \tau = -\bar{x}, \quad \bar{p}_1 = (\bar{c})^3, \end{aligned} \quad (2-5)$$

где Δ и K - параметры уравнения, описывающего $F_1(\bar{v})$ из (2-3).

При безразмерной длине забойки $\bar{l} = l/a = 10, 20, 30$ $\Delta = 100, 300, 1300$; $K = 160, 700, 2480$;

$$y = \sqrt{(\Delta - K + 2\tau)^2 + K(2\Delta - K - 4\bar{x})}$$

2. Вторая волна разрежения:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{1}{2K} (u - y), \quad \bar{c} = \frac{1}{2K} [2(K - \Delta - 2\tau) + u + y], \\ \bar{v} - \bar{c} &= \frac{1}{K} (2\tau + \Delta - K - y), \quad \bar{v} + \bar{c} = \frac{1}{K} (K - \Delta - 2\tau + u), \\ \tau &= \bar{x} + 2\bar{H}, \quad \bar{p}_2 = (\bar{c})^3, \end{aligned} \quad (2-6)$$

где $u = \sqrt{(\Delta - K + 2\tau)^2 + K(2\Delta - K + 8\bar{H} + 4\bar{x})}$

Б. Квазистационарное расширение ПД ($H < 2l > 60a$).

I. Закономерность изменения давления в скважине до вылета забойки:

$$\bar{p} = \left(\frac{\bar{H}}{\bar{H} + \bar{x}} \right)^3 \quad (2-7)$$

где \bar{x} - координата нижнего торца забойки
Связь между \bar{x} и τ описывается уравнением:

$$\tau = \sqrt{\frac{75\rho}{7\rho_0 b}} \left[\sqrt{\bar{x}(\bar{l} - \bar{x})} + l \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \sqrt{\frac{\bar{l} - \bar{x}}{\bar{x}}} \right) \right] \quad (2-8)$$

где ρ и ρ_0 - плотность забойки и ВВ, кг/м³;
 δ - параметр, зависящий от длины забойки (при $\bar{l}=30$,
 40, 50, 60, 70 $\delta=0,485; 0,164; 0,051; 0,00363$).

2. Параметры движения ПД после вылета забойки.

а. Первая волна разрежения

$$\bar{v} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{H}}{\bar{L}} + \frac{\bar{x}-\bar{l}}{\tau-\tau_0} \right), \quad \bar{c} = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{H}}{\bar{L}} - \frac{\bar{x}-\bar{l}}{\tau-\tau_0} \right), \quad (2-9)$$

$$\bar{v} + \bar{c} = \frac{\bar{H}}{\bar{L}}, \quad \bar{v} - \bar{c} = \frac{\bar{x}-\bar{l}}{\tau-\tau_0}$$

$$\tau = \frac{\bar{L}}{\bar{H}} (\bar{l} - \bar{x}) + \tau_0, \quad \bar{p}_1 = (\bar{c})^2$$

где \bar{L} - безразмерная длина скважины;

τ_0 - время вылета забойки.

б. Вторая волна разрежения

$$\bar{v} = \frac{\bar{x} + \bar{H}}{\tau - \tau_0}, \quad \bar{c} = \frac{\bar{L}}{\tau - \tau_0}, \quad \bar{v} - \bar{c} = \frac{\bar{x} - \bar{l}}{\tau - \tau_0}, \quad (2-10)$$

$$\bar{v} + \bar{c} = \frac{\bar{x} - \bar{l} + 2\bar{L}}{\tau - \tau_0}, \quad \tau = \frac{\bar{L}}{\bar{H}} (\bar{x} - \bar{l} + 2\bar{L}) + \tau_0, \quad \bar{p}_2 = (\bar{c})^2$$

Это позволило определить передаваемые породе удельные (\bar{I}) и полные (\bar{J}) импульсы взрыва при различных параметрах буровзрывных работ. Расчеты производились по формулам:

$$\bar{I} = \int_{\tau_n}^{\tau_1} \bar{p}(\bar{x}, \tau) d\tau, \quad \bar{J} = \int_{-\bar{H}\tau_n}^{\bar{l}\tau_1} \bar{p}(\bar{x}, \tau) d\tau d\bar{x}, \quad (2-11)$$

где τ_n - время начала воздействия ПД на стенки скважины;

τ_1 - время начала сдвижения пород в направлении ЛСП.

ГЛАВА III. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА

В этой главе, исходя из предложенного метода расчета и найденных решений, изучается зависимость эффективности действия взрыва от его параметров. Для примера на рис. 1, 2, 3 представлены результаты расчета давления, удельных и полных импульсов взрыва при различной длине заряда и забойки в скважине постоянной глубины ($L = 18$ м, $a = 0,2$ м). Независимая переменная характеризуется здесь величиной соотношения между длиной забойки и заряда (m) или относительной длиной заряда ($H, \%$). Расчеты выполнялись для взрывов каждого заряда при различных ЛСП, которые задавались временем эффективного действия взрыва в безразмерной форме: $\tau_c = \kappa_c \bar{W} = 62,5; 125; 250$ и т.д., что соот-

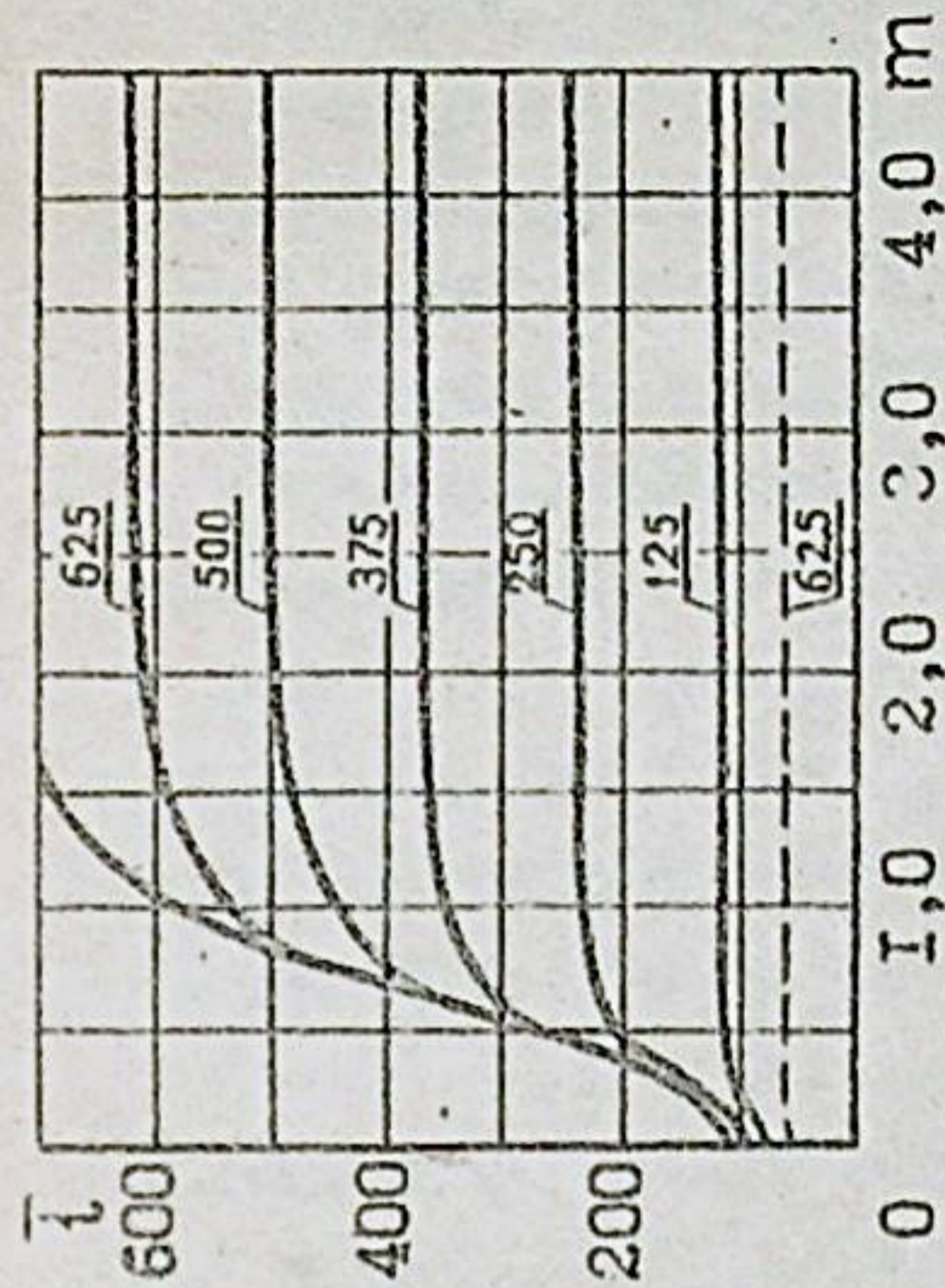


Рис. 2. Зависимость удельных импульсов взрыва от m при различных $\tau_c = 62,5; 125; 250$ и т.д.

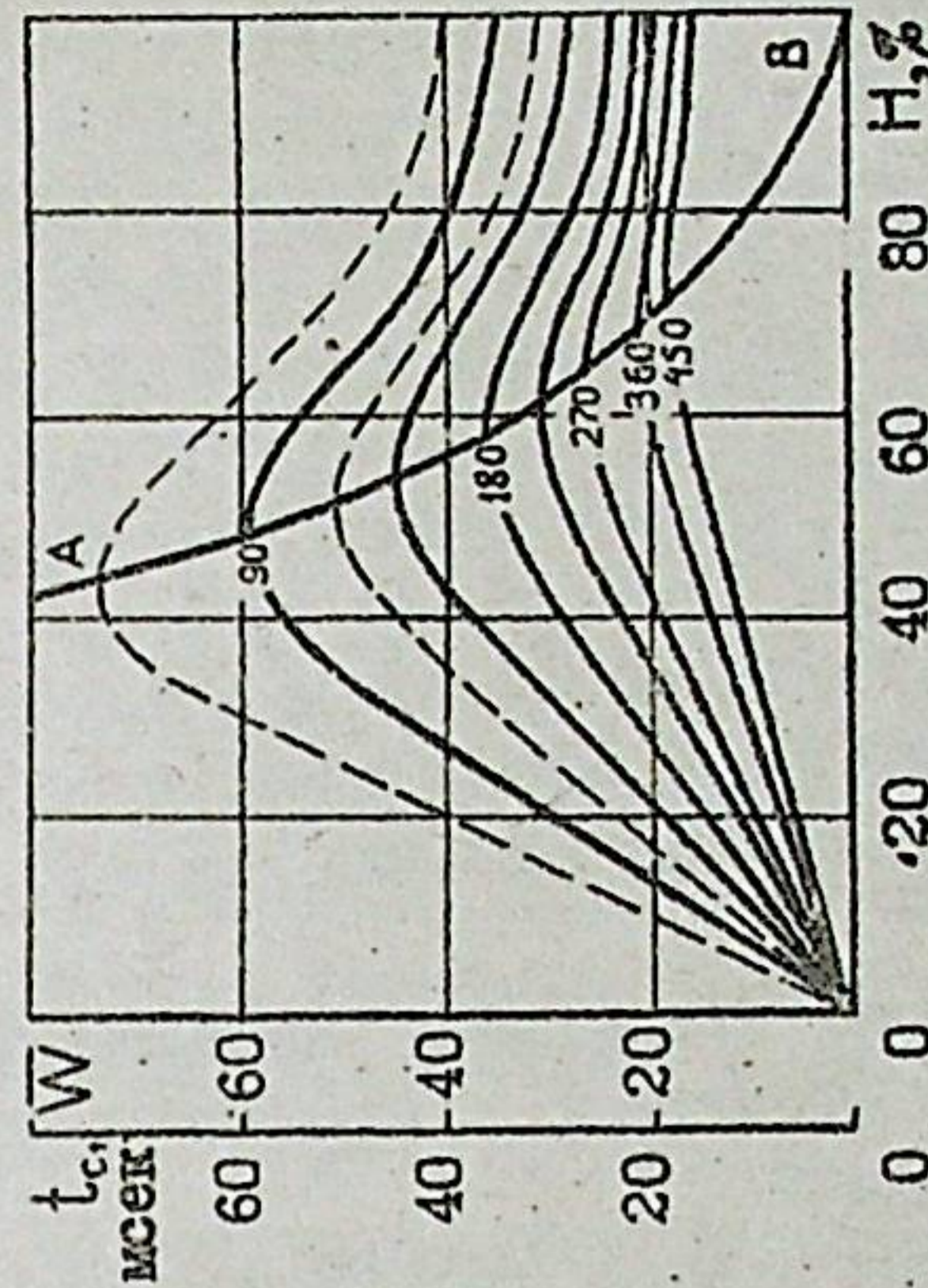


Рис. 4. Зависимость ЛСП (τ_c) от длины заряда при $V_m = 90, 180, 270$ и т.д. м/сек.

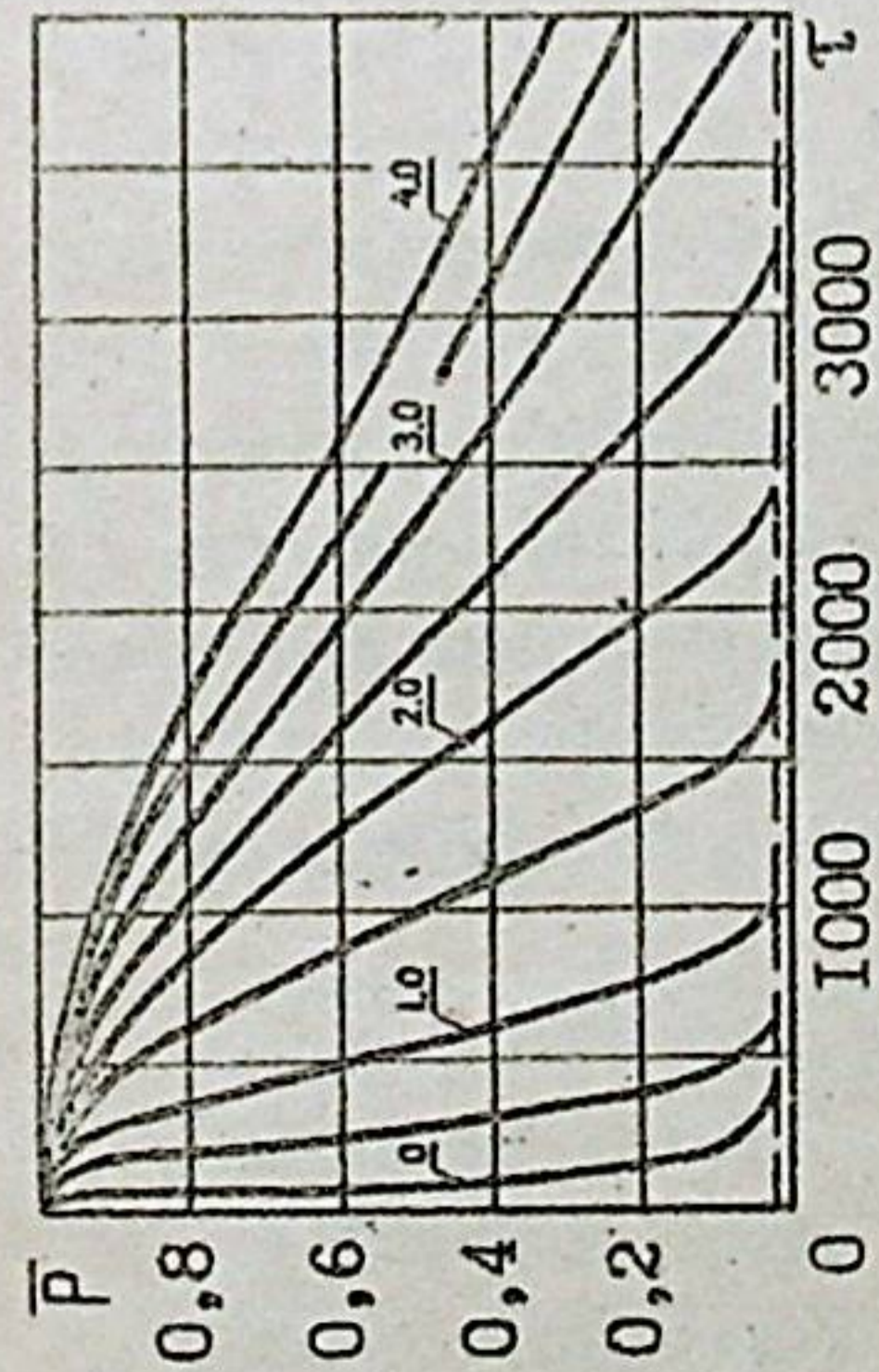


Рис. 1. Закономерности изменения давления продуктов взрыва во времени при $m = 0; 0,5; 1,0$ и т.д.

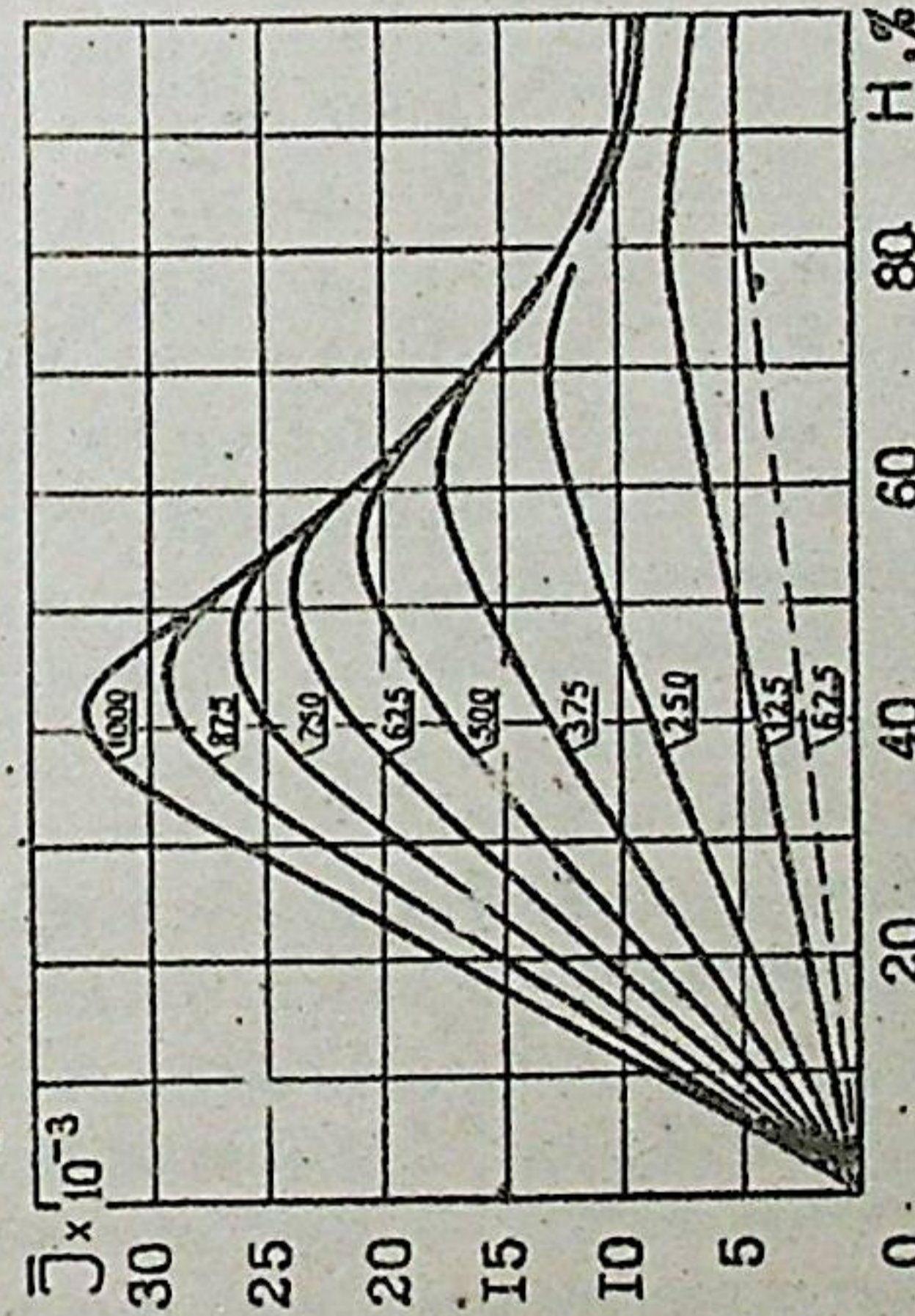


Рис. 3. Зависимость полных импульсов взрыва за различные моменты времени ($\tau_c = 62,5; 125; 250$ и т.д.) от длины заряда H .

ветствует 5, 10, 20 и т.д. мсек. Из рис. I видно, что по мере увеличения m , т.е. удлинения забойки, интенсивность спада давления в скважине во времени уменьшается. За счет этого удельные импульсы взрыва увеличиваются (рис. 2), но до определенных пределов, зависящих от τ_c или ЛСП. Для каждой ЛСП (τ_c) существует такой заряд, при котором передаваемый породе полный импульс взрыва максимален (рис. 3). Этот заряд является рациональным, так как он обеспечивает в заданном объеме наилучшее дробление пород ($v_m = v_{m_{max}}$). Заданное действие взрыва, например качество дробления, в максимальном объеме возможно только при рациональных значениях длины заряда (рис. 4, кривая АВ). С увеличением длины заряда сверх рациональной разрушающее действие взрыва уменьшается, что может быть объяснено возрастанием потерь энергии взрыва через устье скважины, за счет более интенсивного выброса забойки.

Расчеты, аналогичные приведенным, были выполнены при изучении других параметров буровзрывных работ. В результате установлено следующее.

Забойка скважин способствует существенному уменьшению интенсивности спада давления газов в скважине, что приводит к значительному увеличению удельных и полных импульсов, т.е. разрушающего действия взрыва. Влияние забойки менее заметно при заниженных ЛСП (малых τ_c) и завышенных зарядах ВВ. Роль забойки при взрыве возрастает по мере увеличения времени начала сдвига пород (ЛСП). Увеличение плотности и внутреннего трения материала забойки способствует увеличению разрушающего действия взрыва. Характер этих зависимостей таков, что для забойки выгоднее использовать материалы, обладающие большим внутренним трением и большим объемом весом. Известные сыпучие материалы (сухой песок, щебень, шлак и др.) могут вполне обеспечить эффективное ведение взрывных работ на карьерах.

С увеличением диаметра заряда рациональная его длина уменьшается, а полные импульсы взрыва увеличиваются. Однако удельные импульсы, как при взрыве с забойкой, так и без нее, особенно по мере возрастания ЛСП (τ_c), уменьшаются, что может быть объяснено возрастанием потерь энергии взрыва через устье скважины за счет более интенсивного спада давления газов. Поэтому заряды

больших диаметров преодолевают относительно меньшие ЛСП, а для постоянства качества дробления требуется увеличение удельного расхода ВВ. В случае же отбойки легко взрываемых пород, зарядами несколько меньшими рациональных с забойкой до устья скважины, соотношение $W/a = \cos \alpha$ оказывается достаточно справедливым.

Расчеты показывают, что с увеличением теплоты взрыва ВВ (q_0) для постоянства качества дробления пород удельный расход потенциальной энергии ВВ должен несколько уменьшаться (при зарядах заниженной длины), оставаться постоянным (при зарядах рациональной длины) и несколько увеличиваться (при зарядах завышенной длины или взрыве без забойки). Влияние плотности заряжания ВВ (γ_0), в первых двух случаях аналогично q_0 , а в последнем остается аналогичным влиянию q_0 при рациональной длине заряда. Однако все найденные зависимости в пределах характеристик δ_0 и q_0

для ВВ промышленного ассортимента проявляются слабо. Поэтому расчет параметров буровзрывных работ при переходе на ВВ с другими δ_0 и q_0 можно производить из условия постоянства удельного расхода потенциальной энергии ВВ, которое должно обеспечивать с достаточной для практики точностью постоянство качества взрывов.

Согласно нашим представлениям рациональный интервал короткозамедленного взрывания должен быть равен времени начала сдвига массива пород в направлении ЛСП. За это время процесс деформации пород в зоне отрыва завершается их разрушением, что приводит к образованию новых и развитию существующих свободных поверхностей в виде системы трещин, а массив приобретает определенную по величине и направлению скорость. Расчетная формула вытекает из основных соотношений энергетического закона подобия и имеет вид (2-1), где k_1 может быть определено инструментально или путем подбора рационального замедления при заданной ЛСП.

ГЛАВА IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА

Основная цель экспериментальных исследований заключалась в получении данных для оценки справедливости предложенной методики расчета параметров буровзрывных работ.

Из найденных решений задачи Лагранжа следует, что параметры

движения продуктов детонации определяются их начальным состоянием, параметрами буровзрывных работ и являются функцией только координаты и времени. Поэтому для оценки справедливости найденных решений необходимо и достаточно изучить кинематические закономерности истечения газов и выброса забойки из скважин, а также кинематические закономерности сдвижения пород. Справедливость предложенной методики расчета в целом может быть оценена на примере изучения отдельных параметров буровзрывных работ. Экспериментальные исследования проводились на Николаевском карьере Восточно-Казахстанского медно-химического комбината. Анализ показал, что состояние буровзрывных работ на этом предприятии к началу исследований было неудовлетворительным. Поэтому, исходя из первоочередных потребностей производства, было намечено изучить взаимосвязь между качеством взрывов и длиной забойки, зарядом, ЛСП, интервалом замедления, взрывчатыми свойствами ВВ в обводненных забоях.

Сущность методики экспериментальных работ заключалась в том, что при изменении одного параметра все остальные параметры и условия взрывов оставались постоянными. Экспериментальные работы проводились при высоте уступа 15 м, диаметре скважин 0,2 м. Для регистрации смещений в зоне разрушений использовались скоростные кино съемочные камеры СКС-1М, а скорости сдвижения (вертикальная составляющая) в зоне остаточных и упругих деформаций регистрировались с помощью электродинамических сейсмографов ВЭП-Ш и ВЭГИК, которые размещались по прямолинейным профилям на расстоянии 10 ± 300 м от очага взрыва. Качество дробления пород оценивалось линейным и фотолинейным методами, а другие параметры — путем непосредственных измерений. При планировании экспериментов и обработке их результатов использовались методы математической статистики.

По данным кино съемки при взрыве без забойки скорость свободного движения в скважине фронта продуктов детонации зерногранулата 80/20 постоянна и равна 2410 ± 361 м/сек, что подтверждает результаты аналитических расчетов, согласно которым $v_f = v + c = \text{const} = 2500$ м/сек. Максимальные смещения газового фронта под устьем скважины (\bar{x}) хорошо аппроксимируются зависимостью:

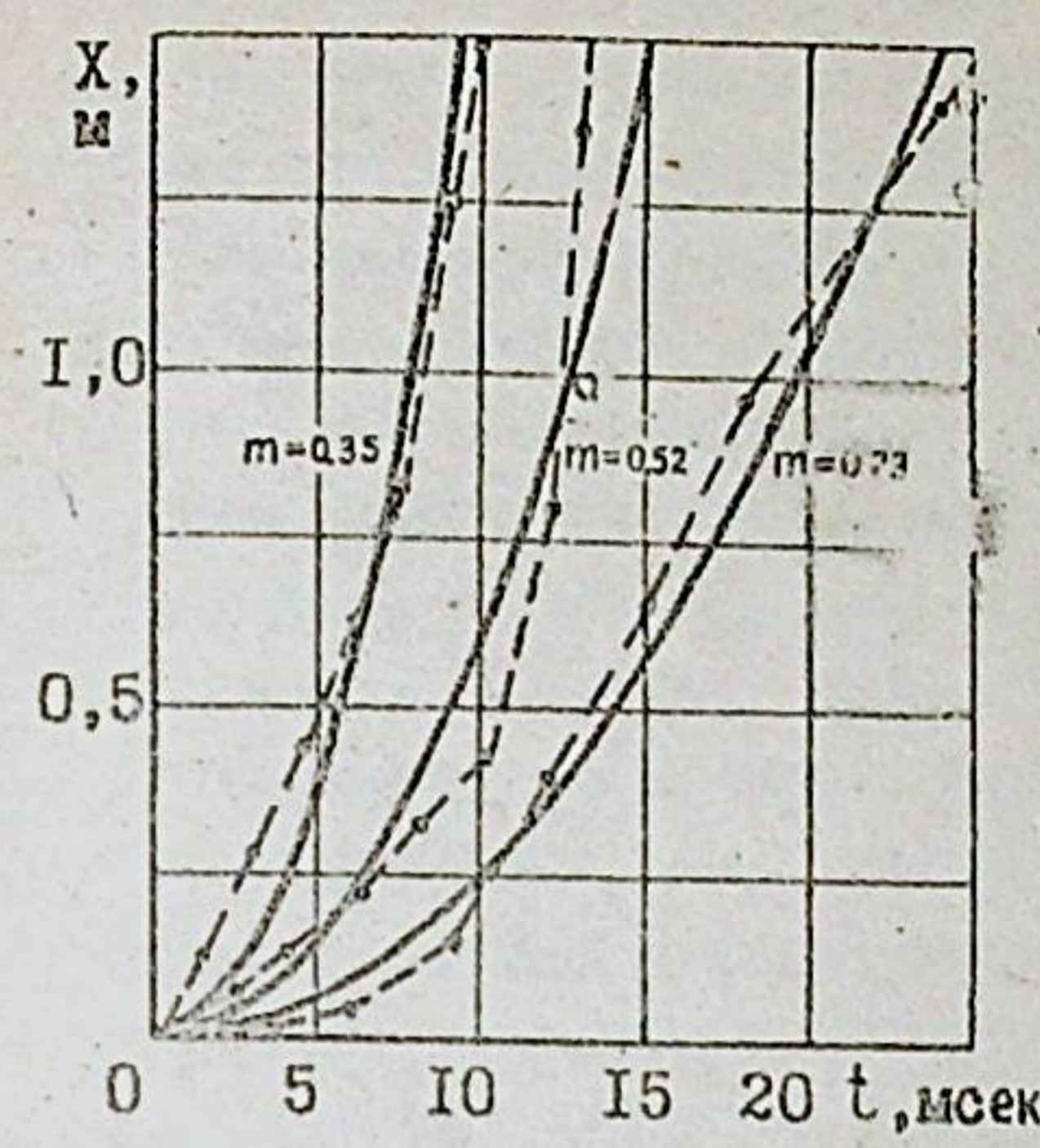


Рис. 5. Закономерности движения забойки в скважинах

$\bar{x} = 2,64 \ln(t+1)$, м, (4-1)
 где t — время от момента начала выброса газа из устья скважины, мсек. Движение забойки внутри скважины при различных $m = l/N$ происходит по закономерностям, представленным на рис. 5 (пунктирные линии). Там же сплошными линиями нанесены зависимости, рассчитанные для условий опыта, исходя из полученных решений задачи Лагранжа. Статистическая оценка близости теоретических кривых к эмпирическим показывает, что различие между ними незначительно. Движение забойки внутри шпуров изучалось докт. техн. наук Э.О. Миндели, канд.

техн. наук П.А. Денчуком и В.М. Александровым. В диссертации показывается, что данные этих экспериментов также хорошо подтверждают результаты аналитических расчетов. Было изучено влияние на закономерность выброса забойки из скважин типа пород (диабазовые порфириды — $f = 12$, туфы кислого состава — $f = 8$ и кварцевые альбитофиры — $f = 5$, где f — коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протсдыконова), ЛСП и соотношения между длиной забойки и зарядом (m). В качестве интегрального критерия для оценки изменений в движении забойки использовалось время от момента ее сдвижения до вылета из скважины. В результате статистической обработки измерений установлено, что время вылета забойки при взрыве в различных породах одинаково и не зависит от ЛСП с изменением последней в пределах 5,4–16,9 м. Влияние же соотношения m оказалось весьма интенсивным, что видно из рис. 6. Данные эксперимента хорошо описываются уравнением:

$$t_0 = 6,5(e^{m^2} - 1) \text{ , мсек} \quad (4-2)$$

Закономерность движения забойки над устьем скважины может быть описана формулой:

$$\bar{x} = 1,47 \ln(\bar{t} + 1) \text{ ,} \quad (4-3)$$

где $\bar{x} = x/l$; $\bar{t} = t/t_0$
 (здесь x , м; t , мсек).

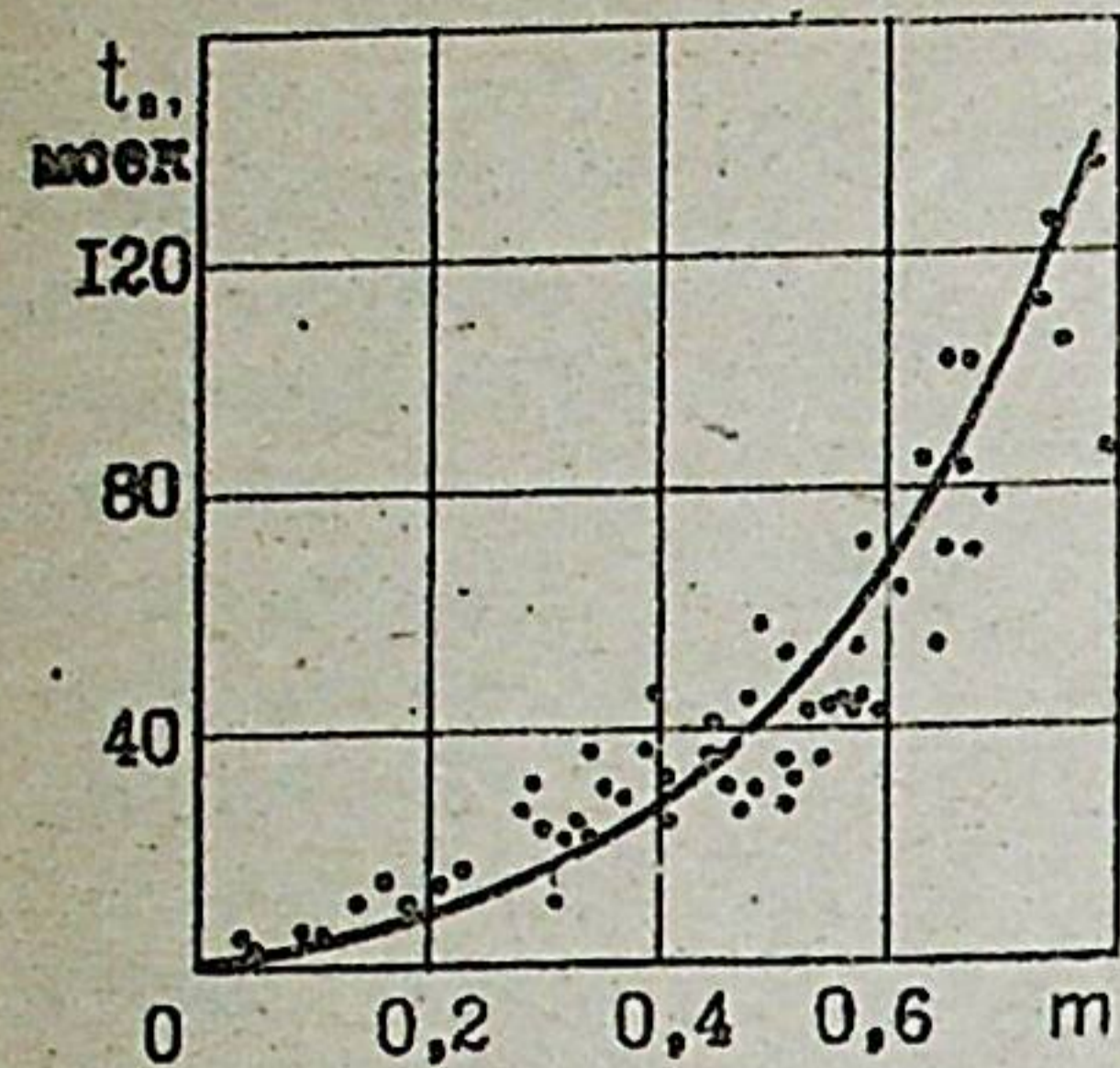


Рис. 6. Зависимость времени вылета забойки от величины m

появлением и расширением новых трещин на откосе уступа. Формирование отдельных кусков породы происходит в первую очередь по трещинам, которые были хорошо видны до начала сдвижения уступа. Многочисленными измерениями установлено, что начальный этап сдвижения пород в зоне разрушений хорошо описывается уравнением:

$$x = v_c(t - t_c), \quad (4-4)$$

где x — текущие смещения пород, м;
 t — текущее время от начала детонации заряда ВВ, сек;
 v_c — скорость начала сдвижения пород, м/сек;
 t_c — время начала сдвижения пород, сек.

Аналогично предыдущему было изучено влияние на параметры закономерности сдвижения пород (t_c и v_c) расстояния до заряда, типа пород и соотношения между длиной забойки и заряда (m). В результате установлено, что время начала сдвижения пород (t_c , мсек) является линейной функцией расстояния до заряда (W , м):

$$t_c = 4,0W. \quad (4-5)$$

По характеру эта зависимость хорошо согласуется с основным содержанием энергетического закона подобия при взрыве и подтверждает приемлемость зависимости (2-1) для аналитических расчетов. Коэффициент k_4 из (2-1) принимает различные значения в зависи-

Анализ кинематических закономерностей сдвижения пород показывает, что после детонации заряда довольно длительное время никаких видимых изменений с массивом пород не происходит и его свободная поверхность находится в состоянии покоя, а затем сдвигается с начальной скоростью $v_c = v_{max}$ и движется без дополнительного разгона как свободно брошенное тело. Начало сдвижения пород характеризуется началом интенсивного расширения ранее видимых, а также

появлением и расширением новых трещин на откосе уступа. Формирование отдельных кусков породы происходит в первую очередь по трещинам, которые были хорошо видны до начала сдвижения уступа. Многочисленными измерениями установлено, что начальный этап сдвижения пород в зоне разрушений хорошо описывается уравнением:

$$x = v_c(t - t_c), \quad (4-4)$$

где x — текущие смещения пород, м;
 t — текущее время от начала детонации заряда ВВ, сек;
 v_c — скорость начала сдвижения пород, м/сек;
 t_c — время начала сдвижения пород, сек.

Аналогично предыдущему было изучено влияние на параметры закономерности сдвижения пород (t_c и v_c) расстояния до заряда, типа пород и соотношения между длиной забойки и заряда (m). В результате установлено, что время начала сдвижения пород (t_c , мсек) является линейной функцией расстояния до заряда (W , м):

$$t_c = 4,0W. \quad (4-5)$$

По характеру эта зависимость хорошо согласуется с основным содержанием энергетического закона подобия при взрыве и подтверждает приемлемость зависимости (2-1) для аналитических расчетов. Коэффициент k_4 из (2-1) принимает различные значения в зависи-

мости от типа пород. В работе показано, что время начала сдвижения пород при взрыве на дневную поверхность зависит также от величины m . Скорость начала сдвижения пород зависит от расстояния до заряда, свойств пород и энергонасыщенности массива. Замерами установлено, что на Николаевском карьере параметры начала сдвижения уступов в породах взрываемых весьма легко, легко, средне и трудно равны соответственно $t_c = 33,7; 27,2; 25,1$ и $20,2$ мсек; $v_c = 4,3; 6,5; 8,3; 12,1$ м/сек; $k_4 = 5,2; 4,4; 4,0; 3,3$ мсек/м.

Качество отбойки пород в зависимости от длины забойки, заряда, интервала замедлений и свойств ВВ изучалось на массовых вариантах. Роль забойки при взрыве уточнялась путем взрывания одиночных скважинных зарядов постоянного веса на одну (дневную) поверхность.

В результате наблюдений установлено, что при диаметре скважин $0,2$ м зависимость выхода фракций размером $\geq 0,5$ м ($n_{0,5}^+$) от величины соотношения между длиной забойки и заряда (m) может быть описана уравнением:

$$n_{0,5}^+ = \sqrt[3]{501550 - 1340500m + 107400m^2}. \quad (4-6)$$

Лучшее качество дробления пород достигается при $m = 0,5-0,75$ (рис. 7), т.е. относительной длине заряда в 57-67%. Эксперименты с одиночными скважинами показали, что при рациональном m разрушения на поверхности пород (количество и длина трещин) максимальны, а затраты энергии на сдвижение (по данным кино и сейсмоэтрии) минимальны. По данным наблюдений величина предельной ЛСП для зарядов $H = 49, 58, 66, 74\%$ равна соответственно 30,5; 32,6; 35,5; 32,2 диаметрам скважины, т.е. максимальна при $H = 58-66\%$. Факт существования

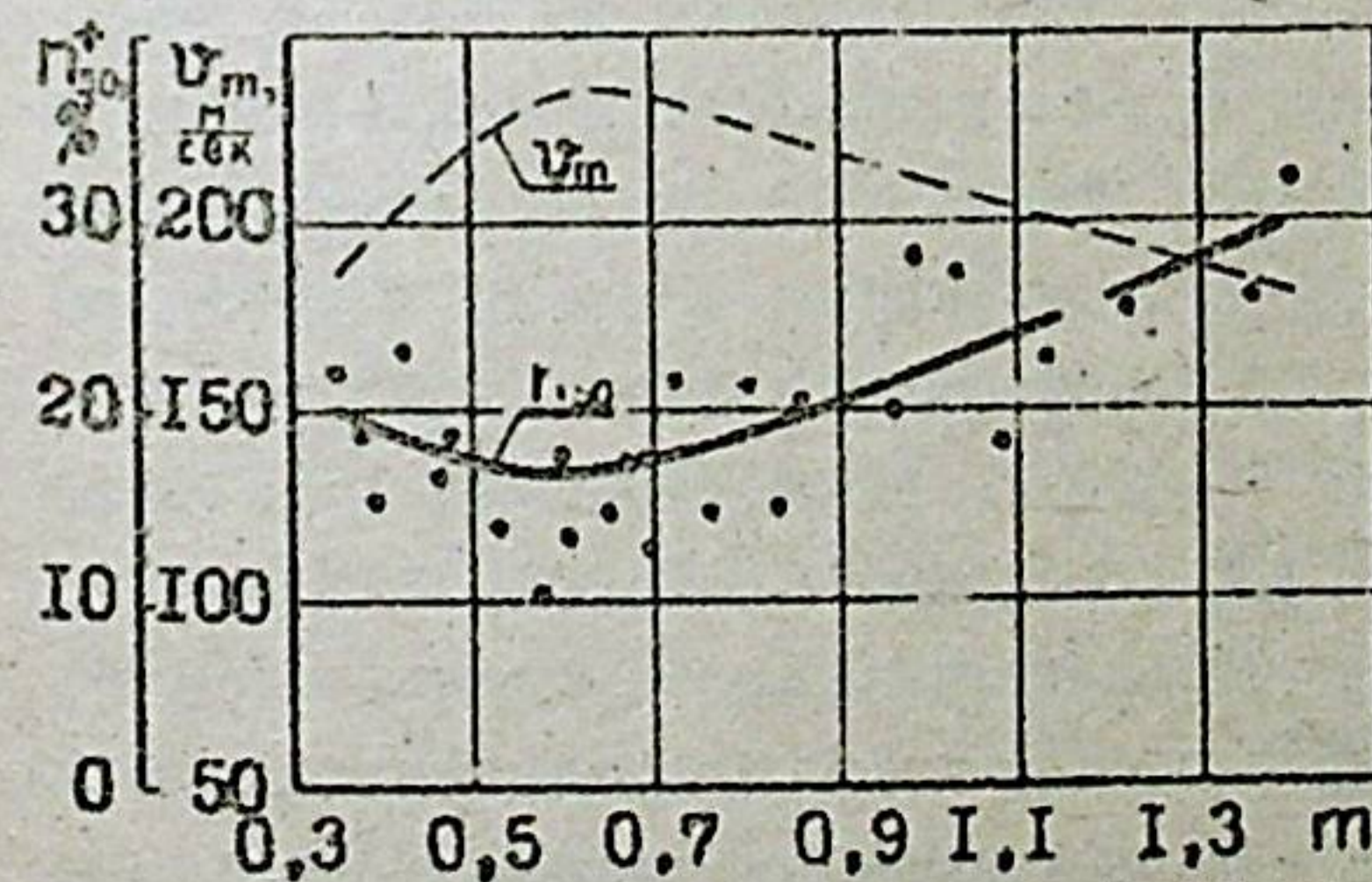


Рис. 7. Зависимость выхода фракций размером $\geq 0,5$ ($n_{0,5}^+$) и характеристической удельной энергонасыщенности пород (v_m) от величины m .

рациональной длины забойки и заряда подтверждает данные аналитических расчетов, согласно которым при $m = 0,5-0,75$ удельный расход переданной энергии максимален (рис. 7). Исходя из результатов эксперимента, в работе также показано, что роль за-

бойки при взрыве заключается не только в замирании продуктов детонации в скважине, но и в одновременном заглублении их (с учетом фактора времени) относительно устья скважины. Это в целом увеличивает количество переданной среде энергии, которая в случае взрыва одиночного заряда на дневную поверхность распределяется на большие объемы породы.

Широкие статистические исследования массовых взрывов на Николаевском карьере позволили установить зависимости выхода фракций размером $\geq 0,5$ м от величины v_m , а также значения предельных (по условию проработки почвы уступа) $v_{m, \text{пред}}$ для всех основных категорий пород в карьере. Были найдены величины предельных ЛСП, которые для пород взрываемых весьма легко, легко, средне и трудно оказались равными соответственно $\bar{W} = 45, 42, 40$ и 35 .

Результаты исследований качества дробления пород в зависимости от величины интервала замедления показаны на рис. 8, из которого видно, что лучшее качество дробления пород получается при взрывании с интервалом замедления, равным времени начала сдвига пород в направлении ЛСП. Качество новалообразования в этом случае хорошее. Наилучшие результаты порядного взрывания в части заоткоски уступов были достигнуты при увеличении интервала замедлений по последнему, а при числа рядов ≥ 5

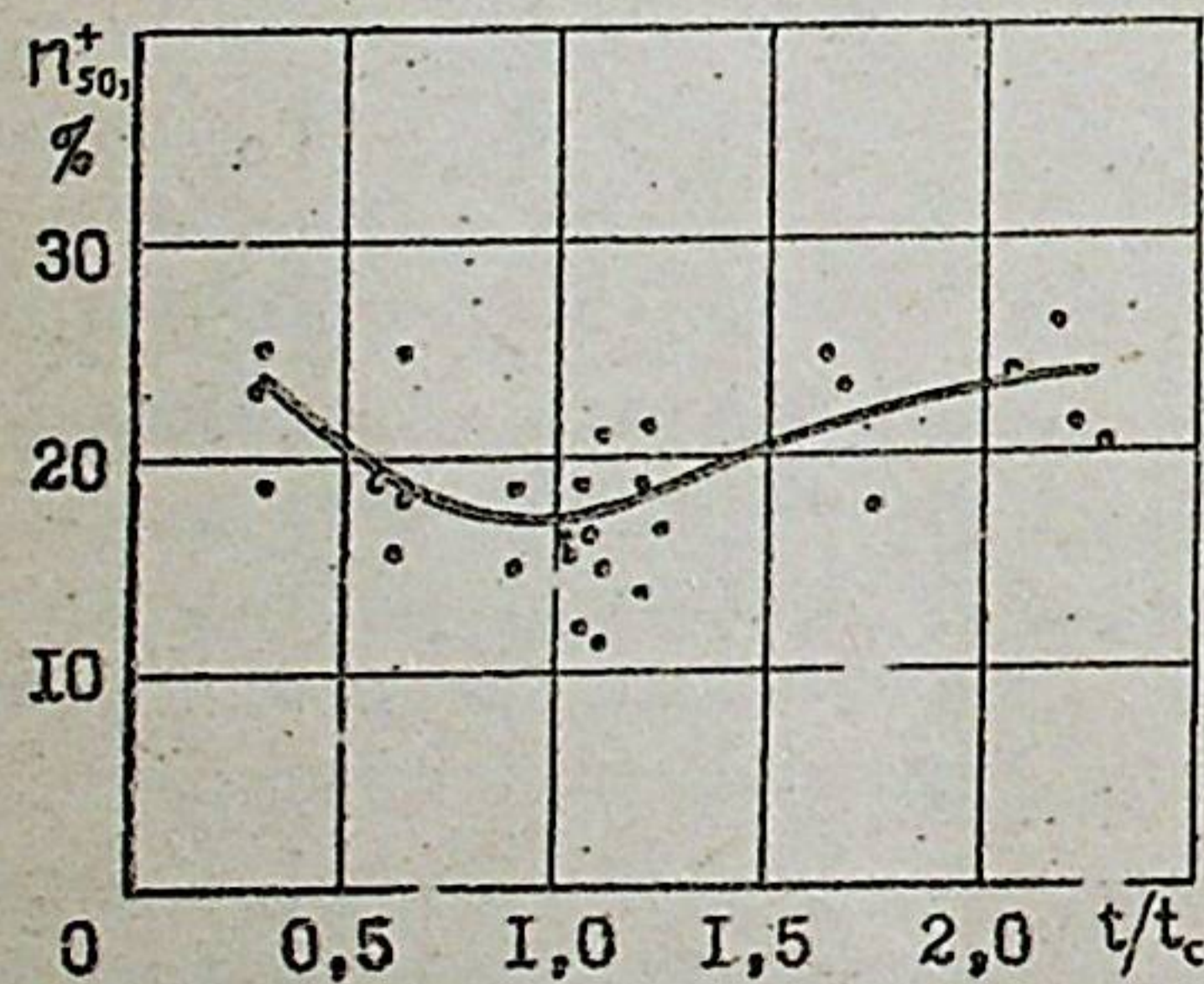


Рис. 8. Зависимость выхода фракций размером $\geq 0,5$ м от величины интервала замедления.

и предпоследнему ряду до $1,5 + 2,0 t_c$ с одновременным уменьшением заряда в скважинах последнего ряда на 10-15%. Такой способ взрывания позволяет полностью исключить набросы пород на верхнюю площадку уступа и поднять угол его откоса с 68° до $75,6^\circ$.

Испытания новых ВВ-алюмоаммотола-2, граммонала-45А и штатных-зерногранулата 30/70, алюмотола проводились в сильно обводненных забоях по параметрам, рассчитанным из условия

постоянства удельного расхода потенциальной энергии ВВ. Результаты испытаний подтвердили выводы аналитических расчетов о том, что это условие приемлемо для пересчета параметров сетки скважин при переходе на новое ВВ, а также показали, что новые ВВ эффективнее штатных и могут быть рекомендованы к широкому применению на карьере в обводненных забоях.

Таким образом, результаты изучения кинематических закономерностей истечения газов и выброса забойки из скважин, а также сдвига пород в целом позволяют заключить, что при динамическом нагружении взрывом скальные породы вне зависимости от их свойств в массиве и величин ЛСП оказывают достаточно большое сопротивление разрушению, которое происходит с определенной задержкой во времени, при относительно малых деформациях и, по всей видимости, хрупко. Это подтверждается внешним осмотром вновь образованных откосов уступов, на которых довольно часто видны следы или остатки стенок от ранее взорванных скважин. Поэтому задача по изучению движения продуктов детонации может быть сведена к описанию их одномерного расширения при метании забойки, т.е. к так называемой задаче Лагранжа. Согласие же расчетных законов движения забойки с экспериментальными подтверждает правильность выполненных решений, а согласие аналитических исследований параметров буровзрывных работ с экспериментальными является хорошим доказательством справедливости разработанной методики в целом.

ГЛАВА У. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО

В этой главе описывается порядок и приводятся формулы для расчета импульсов взрыва, которые затем табулируются для широкого диапазона параметров.

Расчеты по определению рациональных параметров буровзрывных работ рекомендуется вести в следующей последовательности. Сначала должно отыскиваться общее решение задачи-область рациональных значений параметров (рис. 4, кривая АВ), которые обеспечивают для достижения заданных действий взрыва минимальные удельные расходы денежных средств на буровзрывные работы. Затем находится частное решение, которое заключается в отыскании

из этой области параметров, удовлетворяющих исходным условиям задачи—обычно минимуму удельных затрат на буровзрывные работы, выкавацию и транспорт, т.е. $\Sigma C = \min$. Для условий Николаевского карьера выявлено, что с возрастанием ЛСП $\Sigma C = f(w)$ монотонно уменьшается. Однако при $W = W_n$, $\Sigma C = f(w)$ терпит разрыв за счет увеличения затрат по всем статьям на 15-20% в связи с ликвидацией завывшений почвы уступа.

В диссертации показано, что при современном состоянии горных работ на карьерах параметры отбойки могут быть выбраны из условия качественной проработки почвы уступа. Для расчета параметров буровзрывных работ по вскрышным породам разработана номограмма (рис.9), которая может быть использована на карьерах с высотой уступа 15 м (порядок пользования номограммой показан стрелками А-В-С). При вычислении t_c рекомендуется пользоваться данными таблицы, разработанной на основании результатов выполненных исследований и обобщения передового опыта буровзрывных работ на карьерах.

Порядок вычисления расчетов: по данным таблицы принимается рабочая ЛСП и вычисляется t_c , а затем из номограммы находится рациональная длина заряда (H в % от L). Длина забойки принимается равной длине недозаряда, интервал замедления между очередными—величине t_c , длина перебура $-(10 + 15)$ м, коэффициент сближения скважин при порядной схеме взрывания $m = 0,8 + I, I = 1, 0$, величина предельной ЛСП $-\bar{W}_n = (1, I + 1, 25) \bar{W}$. Приведенные в таблице рекомендации по ЛСП разработаны для ВВ с $\gamma = 0,9$ г/см³ и $q = 1000$ ккал/кг. В работе показывается, что на практике для ВВ с другими значениями γ и q вполне достаточно скорректировать только сетку скважин, оставляя другие параметры постоянными. Пересчет W может быть произведен из условия постоянства удельного расхода потенциальной энергии заряда.

Исходя из результатов выполненных исследований, разработаны также методики промышленных испытаний, технико-экономической оценки и выбора эффективных ВВ. В основу разработок положена относительная оценка сравниваемых ВВ при дроблении пород до заданной кусковатости, что достигается в результате расчета параметров буровзрывных работ из условия постоянства удельного расхода потенциальной энергии ВВ (с учетом фактической работоспособности по данным испытаний, опыта применения ВВ и т.д.)

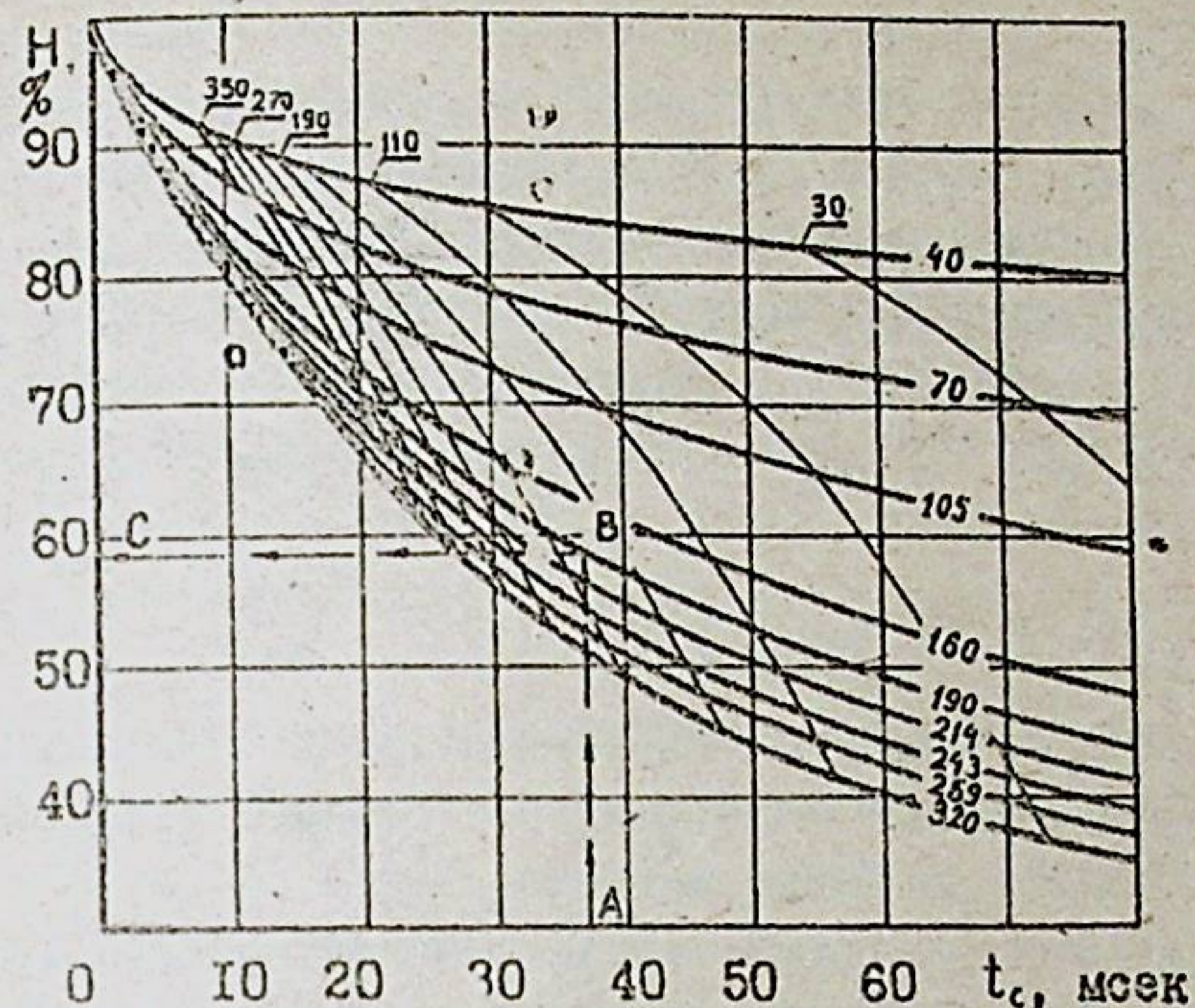


Рис.9. Номограмма для определения рациональных параметров буровзрывных работ (40, 70, 105 и т.д. диаметры бурового долота, 30, 70, 110 и т.д. эквивалентные уровни, т.е. $v_m = \text{const}$).

Таблица

Рекомендуемые значения коэффициента k , из формулы (2-1) и рациональной (по условию проработки почвы уступа) ЛСП

Характеристика взрываемости пород	Категории пород		$k, \text{ мсек/м}$	$\bar{W}_{\min} - \bar{W}_{\max}$
	А	Б		
Очень легко взрываемые	I	УI-УП	5,0	40-45
Легковзрываемые	II	У-У	4,5	35-40
Средне взрываемые	III	III	4,0	30-35
Трудновзрываемые	IV	II	3,5	25-30
Очень трудно взрываемые	V	I	3,0	20-25

Примечание: А—по взрываемости; Б—по шкале проф. М.М. Протодыконова.

Методика определения рациональных параметров буровзрывных работ в целом была апробирована в условиях Николаевского карьера, где по этой методике были разработаны, испытаны и внедрены рациональные значения сетки и глубины скважин, величины зарядов, забойки, интервалов замедления для всех четырех категорий взрываемости пород. Был осуществлен также выбор эффективных ВВ для сильно обводненных забоев. Экономический эффект от внедрения рациональных параметров буровзрывных работ на карьере составил 175 тыс. рублей в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования параметров взрыва скважинных зарядов в скальных породах позволяют сделать следующие основные выводы:

1. При современном состоянии теории и практики взрывного дела представляется перспективным развитие предложенного в работе нового метода расчета параметров буровзрывных работ, основанного на пропорциональности разрушения значительных объемов среды только той части импульса (энергии) взрыва, которая передается породе.

2. Передаваемые породе импульсы взрыва в функции параметров буровзрывных работ могут быть определены в результате решения задачи Лагранжа. Найденные в работе решения этой задачи [уравнения (2-5)-(2-II)] полностью описывают все параметры процесса расширения продуктов детонации в скважине при метании забойки из сыпучих материалов.

3. Отличительные особенности выполненных решений заключаются в следующем:

а. В известных решениях для забойки используется модель идеальной жидкости или абсолютно твердого тела и учитывается только инерционное сопротивление выталкиванию ее из скважины. В представленной работе полагается, что забойка-сыпучее тело, диспергирующее по мере вылета из скважины, и учитывается сопротивление ее выталкиванию за счет сил инерции, а также внутреннего трения.

б. Время эффективного действия взрыва обычно полагается равным времени, по достижении которого давление газов в скважи-

не снижается до величины близкой или равной предельному сопротивлению горных пород разрушению. Последнее обычно принимается по данным лабораторных испытаний образцов пород. В диссертации полагается, что время эффективного действия взрыва равно времени от начала детонации заряда до начала видимого сдвижения пород в направлении ЛСП. Последнее зависит от расстояния до заряда, физико-механических свойств среды и может быть определено инструментально для массива пород.

в. В развитие известных методов расчета параметров буровзрывных работ, основанных на пропорциональности разрушающего действия взрыва весу (потенциальной энергии) заряда в диссертации полагается, что разрушение значительных объемов среды прямо пропорционально только той части импульса (энергии) взрыва, которая передается породе за время его эффективного действия. Качество взрывов, характеризуется величиной $v_m = J/M$. Заданное качество взрывов в одних и тех же породах достигается при $v_m = const$, а в породах различной взрываемости при $v_m \neq const$. Количественно связь v_m с результатами взрыва в различных породах может быть выявлена экспериментальным путем.

4. Указанные выше особенности расчетов позволили получить качественно новые результаты в решении задачи Лагранжа и определении передаваемых породе импульсов взрыва, а разработанная методика в целом-качественно новые результаты в определении параметров буровзрывных работ. Так аналитически выявлено, что для каждого параметра существует область его рациональных значений, в которой заданное действие взрыва достигается в максимальном объеме пород, т.е. при наибольшей эффективности буровзрывных работ. В частности, область рациональных значений длины заряда описывается кривой АВ (рис.4).

5. Найденные экспериментально кинематические закономерности истечения продуктов детонации и выброса забойки из скважин, а также кинематические закономерности сдвижения пород подтверждают приемлемость теоретических предпосылок и справедливость найденных решений по расчету импульсов взрыва.

6. Данные экспериментальных исследований влияния длины заряда, забойки, ЛСП, интервала замедления и взрывчатых свойств ВВ на качество массовых взрывов, а также известные из литературы эмпирические зависимости качества взрывов от других параметров

отбойки в целом подтверждают приемлемость разработанной методики расчета параметров буровзрывных работ.

7. По разработанной методике были определены, успешно испытаны и внедрены рациональные параметры буровзрывных работ для всех категорий пород на Николаевском карьере. Годовой объем внедрения по вскрыше составил 4 млн. м³, что дало 175 тыс. руб./год фактической экономии. К настоящему времени по этим параметрам отбито около 16 млн. м³ горной массы.

8. Разработанная методика может быть использована для определения рациональных параметров буровзрывных работ на других карьерах. Расчеты по этой методике позволяют отыскать параметры, обеспечивающие наименьшие затраты денежных средств на выемку 1 м³ горной массы. Выбор параметров может быть произведен из условий качественного дробления пород и качественной проработки почвы уступа. Для расчетов в последнем случае рекомендуется использовать разработанную номограмму.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Техничко-экономическая оценка и выбор взрывчатых веществ. Горный журнал, 1967, № 5. Соавторы: Б.В. Поздняков, А.К. Бахтин, А.П. Калашников.

2. Экспериментальное исследование взрывного действия удлиненных зарядов ВВ. Горный журнал, 1968, № 4. Соавторы: Б.В. Поздняков, Ю.В. Нелюбов.

3. Промышленные испытания водостойчивого металлизированного граммаля 45А. Горный журнал, 1968, № 12. Соавторы: В.С. Гаврилов, Р.Д. Коростылев, Б.В. Поздняков, Н.Ф. Осипцев.

4. Влияние диаметра взрывных скважин на качество дробления горной массы. Сб. "Взрывное дело", № 66/23, М., "Недра", 1969. Соавторы: П.В. Белов, А.П. Калашников.

5. Определение импульсов взрыва удлиненных зарядов. Горное дело. Сб. трудов ВНИИцветмета № 20. М., "Недра", 1970. Соавтор Б.В. Поздняков.

Результаты работы докладывались на Всесоюзной конференции по проблеме "Поточная технология разработки скальных пород и руд открытым способом" (г. Свердловск, 1968). Основные положения

работы обсуждены и получили положительную оценку на НТС ВНИИцветмета, семинаре отдела физики и механики разрушения горных пород взрывом (Институт физики и механики горных пород АН КиргССР) производственно-техническом совещании Восточно-Казахстанского медно-химического комбината.