

6
А-11

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

Горный инженер Нелюбов Ю. В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ
КОРОТКОЗАМЕДЛЕННЫХ ВЗРЫВАХ НА
ЗЫРЯНОВСКОМ КАРЬЕРЕ

Автореферат диссертации
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Фрунзе 1965

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ И МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

На правах рукописи

Горный инженер Нелюбов Ю. В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ
КОРОТКОЗАМЕДЛЕННЫХ ВЗРЫВАХ НА
ЗЫРЯНОВСКОМ КАРЬЕРЕ

Автореферат диссертации
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель — начальник
лаборатории взрывных работ
ВНИИЦВЕТМЕТа кандидат техниче-
ских наук *Б. В. ПОЗДНЯКОВ*

Фрунзе 1965

В принятом на XXII съезде КПСС плане развития народного хозяйства страны большое значение придается развитию горнодобывающей промышленности. Преобладающее распространение получит открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых, как наиболее прогрессивный, позволяющий применять мощные средства комплексной механизации и автоматизации. Уже в текущем году на долю открытого способа разработки приходится 65% от общей добычи руд цветных металлов. В перспективе удельный вес открытого способа разработки при добыче руд цветных металлов значительно возрастет, а объем горной массы, разрабатываемой с помощью буровзрывных работ, составит несколько млрд м³.

Увеличение добычи руд будет в основном обеспечиваться за счет расширения действующих предприятий. Рост мощности горнорудных предприятий приводит к увеличению весов зарядов взрывчатых веществ (ВВ). Уже в настоящее время веса зарядов ВВ в карьерах достигают 300 и более тонн.

Как правило, промплощадки и жилые поселки действующих предприятий расположены на незначительном удалении от мест производства взрывных работ. В этих условиях интенсивность сейсмических колебаний при взрывах может достигать величин, опасных для зданий и сооружений. Это приводит к ограничению весов зарядов ВВ, что, в свою очередь, вызывает увеличение числа взрывов. Последнее осложняет организацию взрывных работ и ведет к увеличению простоев карьерно-транспортного оборудования.

На одном из крупнейших полиметаллических горнодобывающих предприятий страны — Зыряновском свинцовом комбинате, промплощадки рудников расположены на расстоянии 300—400 м от мест производства взрывных работ. В этих условиях мгновенные взрывы зарядов весом 5—10 т вызывали появление трещин в штукатурке зданий, выпадение неболь-

ших кусков штукатурки, в результате чего вес заряда ВВ был ограничен величиной 3 т. К 1966 году производительность карьера по горной массе составит 5—6 млн. м³, для чего потребовалось бы производить более 800 взрывов в год.

В свете сказанного становится понятной необходимость исследования сейсмического эффекта взрыва и методов его снижения.

Одним из методов снижения сейсмического эффекта взрыва является короткозамедленное взрывание (КЗВ). Несмотря на значительный опыт его применения, существующие взгляды на механизм снижения интенсивности сейсмических колебаний противоречивы, отсутствует единая методика определения параметров КЗВ, обеспечивающих заметное снижение интенсивности сейсмических колебаний. Поэтому до настоящего времени определение последних производится экспериментальным путем в каждом конкретном условиях.

Необходимость исследования влияния КЗВ на интенсивность сейсмических колебаний отмечалась на Всесоюзном совещании по вопросам сейсмического эффекта при промышленных взрывных работах в 1963 г., сессиях Ученого Совета по народнохозяйственному использованию взрыва и др.

Указанные обстоятельства и определили выбор направления данной работы, которая посвящена исследованию влияния времени замедления и числа очередей замедления при КЗВ на интенсивность сейсмических колебаний.

Работа выполнена на основании экспериментальных и аналитических исследований, проведенных автором, и обобщения и анализа ранее выполненных исследований.

Экспериментальные исследования включают в себя инструментальные наблюдения с помощью сейсмической аппаратуры в полигонных и промышленных условиях на руднике открытых работ Зырянского свинцового комбината и карьере комбината «Майкаинзолото».

Работа состоит из 4-х глав, заключений по главам, выводов и приложений. Диссертация изложена на 128 страницах, с 21 иллюстрацией и 25 таблицами.

ГЛАВА I. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА ПРИ ВЗРЫВАХ

Анализ работ различных авторов в области изучения сейсмического эффекта взрыва показывает, что в настоящее время многие вопросы исследования сейсмического эффекта взрыва находятся в стадии изучения и развития, а наиболее распространенным методом исследования являются инстру-

ментальные наблюдения, и создание на основе полученных экспериментальных данных эмпирических формул.

Исследования, проведенные М. А. Садовским, Ф. А. Кирилловым, С. В. Медведевым, Д. А. Хариним, И. А. Нерсецовым, Г. А. Лямзиной и др. в Институте физики Земли АН СССР, Я. И. Цейтлиным, В. В. Крючковым, И. А. Ершовым в ПЭУ Союзвзрывпрома, Г. В. Кузнецовым, П. С. Мироновым, А. Г. Сисиним в Унипроме и в других институтах нашей страны, а также зарубежными исследователями Роквеллом, Тооненом, Уиндесом, Моррисом, Фишем, Литом и другими позволили выяснить ряд закономерностей, присущих сейсмическому эффекту взрыва, и разработать методы оценки воздействия его на здания и сооружения.

Установлено, что на величину смещения, скорости, периода и других характеристик сейсмических колебаний оказывает влияние целый ряд разнообразных факторов: вес заряда ВВ, расстояние, свойства среды, глубина заложения заряда, способ инициирования зарядов.

В то время, как по изучению сейсмического эффекта массовых взрывов накоплен обширный экспериментальный материал, и получены эмпирические формулы, позволяющие предвычислять интенсивность сейсмических колебаний, вопросы исследования влияния КЗВ на интенсивность сейсмических колебаний разработаны недостаточно. До настоящего времени не существует единой теории, объясняющей факт снижения интенсивности сейсмических колебаний, отсутствует общепринятая методика определения оптимального времени замедления, весьма противоречивы данные о степени снижения интенсивности сейсмических колебаний и др.

Проведенный анализ состояния изученности эффекта взрыва и методов его исследования позволяет сделать следующие выводы:

1. Уровень исследований влияния КЗВ на интенсивность сейсмических колебаний значительно отстает от общего уровня изученности вопроса в целом.

2. Наиболее целесообразным методом исследования влияния КЗВ на сейсмический эффект взрыва в настоящее время представляется построение гипотетических положений с последующей экспериментальной проверкой их с помощью инструментальных наблюдений.

3. Для инструментальных наблюдений наиболее целесообразно использовать систему приборов с гальванометрической регистрацией. Наиболее удобным является электродинамический сейсмограф с периодом собственных колебаний в 3—4 раза большим периода колебаний грунта.

ГЛАВА II. УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ, ПРИСУЩИХ СЕЙСМИЧЕСКОМУ ЭФФЕКТУ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ

Горно-геологические условия. Верхние горизонты месторождения представлены наносами, глинистыми и окварцованными известково-глинистыми сланцами, порфиритами, порфиридами, микрокварцитами и роговиками. Коэффициенты крепости руд и пород по проф. М. М. Протодьяконову составляют 11—17, объемный вес—2,6—2,8 т/м³, скорость распространения продольных волн — 5000—5800 м/сек.

Мощность наносов в районе наблюдений изменялась от 0 до 30—60 м. Массив скальных пород изрезан выработками старых горных работ. Обводненность месторождения весьма значительная. В работе приведены физико-механические характеристики пород и краткое описание технологии буровзрывных работ.

Методика исследований. В соответствии с целью работы — изучение влияния времени и числа очередей замедления на интенсивность сейсмических колебаний в условиях Зыряновского месторождения, определены задачи исследования:

1. Определение зависимости скорости колебаний грунта от веса заряда ВВ и расстояния при мгновенном взрывании и определение соотношений между составляющими вектора скорости колебаний.

2. Установление зависимости интенсивности сейсмических колебаний от времени замедления.

3. Установление зависимости интенсивности сейсмических колебаний от количества очередей замедления.

4. Проверка полученных закономерностей в промышленных условиях.

5. Определение соотношений между величинами энергии заряда, переданной среде в виде упругих волн, при мгновенном и короткозамедленном взрывании.

6. Определение влияния распределения веса заряда ВВ по очередям замедления.

Практическим результатом исследований являлось определение времени и числа очередей замедления, обеспечивающих заметное снижение интенсивности сейсмических колебаний, и разработка методики определения радиусов сейсмически опасных зон и предельно допустимых весов зарядов ВВ при мгновенном и короткозамедленном взрывании в условиях Зыряновского месторождения.

В основу методики были положены инструментальные на-

блюдения, позволяющие получить наиболее полную информацию о сейсмическом эффекте взрыва. Кроме того, при решении второй и третьей задач методикой предусматривалась разработка гипотетических представлений о механизме снижения интенсивности колебаний грунта при КЗВ, предшествующая инструментальным наблюдениям.

Полигонные наблюдения проводились в двух резко отличных средах: наносах и скальных породах. 4—5 приборов располагались по прямолинейному профилю на расстоянии 5—60 м от взрыва и ориентировались для записи радиальной составляющей колебаний грунта. Вес заряда составлял 100—140 г. Время замедления изменялось от 0 до 250 мсек, число очередей — от 1 до 7.

Методикой предусматривалась проверка возможности распространения результатов полигонных наблюдений на промышленные взрывы с помощью критериев подобия.

Во время промышленных наблюдений приборы располагались по прямолинейным профилям на расстояниях 85—1050 м от взрыва и ориентировались для записи радиальной составляющей колебаний. В ряде случаев в одной точке располагалось 3 прибора для записи 3-х взаимно-перпендикулярных составляющих колебаний грунта.

Всего по полигонным и промышленным взрывам было получено и обработано более 300 сейсмограмм.

Во всех случаях при обработке результатов наблюдений предусматривалось использование методов математической статистики.

В качестве сейсмоприемников использовались сейсмографы «ВЭГИК» и УСФ-IIIм. Для регистрации применялись осциллографы МПО-2 и Н-700. Постоянные приборы обеспечивали запись скорости колебаний. В работе приведены параметры приборов, амплитудно-частотная характеристика, методика тарировки аппаратуры с помощью виброплатформы и обработки сейсмограмм.

ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ И ЧИСЛА ОЧЕРЕДЕЙ ВО ВЗРЫВЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА

Теоретические представления. В настоящее время существует 2 гипотезы, объясняющие механизм снижения интенсивности сейсмического действия взрыва при КЗВ.

Согласно первой гипотезе снижение интенсивности колебаний при КЗВ объясняется интерференцией упругих волн,

вызванных взрывами отдельных очередей замедления. Для максимального снижения интенсивности колебаний грунта необходимо сложение их в противофазе. Время замедления должно быть равно половине периода колебаний грунта. При этом делаются следующие допущения:

1. Грунт—однородная идеальная среда.
2. Грунт обладает определенным периодом собственных колебаний.
3. Колебания грунта являются синусоидальными.
4. Колебания грунта, вызванные взрывом каждой очереди замедления, являются когерентными.

Согласно второй гипотезе снижение интенсивности колебаний грунта при КЗВ происходит за счет разделения одного мощного импульса на ряд менее мощных, следующих друг за другом через определенные промежутки времени. Какого-либо приемлемого объяснения механизма снижения интенсивности колебаний грунта при этом не приводится. По этой гипотезе величина оптимального времени замедления должна быть как можно большей и ограничивается только технологическими факторами (качество дробления, опасность подрыва скважин и пр.).

Наши представления о зависимости интенсивности колебаний грунта от времени и числа очередей замедления базируются на следующих основных положениях:

1. При распространении упругих волн в реальной среде наряду с расхождением и поглощением наблюдается рассеяние энергии, обусловленное неоднородностями и нарушениями сплошности среды.

2. Отдельные очереди замедления занимают несколько иное положение по отношению к неоднородностям и нарушениям сплошности среды.

3. Время замедления вследствие имеющегося разброса по времени срабатывания электродетонаторов является случайной величиной, меняющейся в определенных пределах.

Из этих положений следует, что колебания грунта, вызванные взрывом отдельных очередей замедления, не являются когерентными, так как сдвиг по фазе является случайной величиной, и поэтому, интерференция колебаний невозможна.

В этих условиях представляется возможным рассматривать колебания грунта при КЗВ как сумму колебаний (вызванных взрывами отдельных очередей замедления) со случайными фазами.

В случае колебаний со случайными фазами результирующая величина смещения или скорости колебаний в какой-либо

точке среды определяется величиной суммарной энергии колебаний в данной точке.

В среде, обладающей поглощением и рассеянием, суммарная величина энергии колебаний зависит от величины единичной порции энергии, способности среды поглощать и рассеивать энергию, величины промежутков времени между выделением отдельных порций энергии и их количеством. В зависимости от указанных факторов величина энергии колебаний грунта в любой точке среды при КЗВ изменяется от величины, пропорциональной энергии заряда одной очереди замедления, до величины, пропорциональной энергии всего заряда.

Если учитывать изменение величины интенсивности колебаний грунта при КЗВ с помощью коэффициента α , представляющего собой отношение скоростей колебаний грунта при короткозамедленном и мгновенном взрывании при прочих равных условиях (вес заряда ВВ, расстояние от взрыва до точки наблюдения, свойства среды), то зависимость скорости колебаний грунта от веса заряда ВВ и расстояния

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{r} \right)^{1,5}, \text{ см/сек} \quad (1)$$

примет вид:

$$V = \alpha K \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{r} \right)^{1,5} \text{ см/сек.} \quad (2)$$

Здесь K — коэффициент, зависящий от свойств среды,

C — вес заряда ВВ, кг;

r — расстояние от взрыва до пункта наблюдения, м.

Коэффициент α можно рассматривать как произведение двух коэффициентов: один из которых — α_1 , характеризует изменение величины одновременно выделяющейся энергии, а второй — α_2 , изменение величины суммарной энергии колебаний в зависимости от времени замедления, величины поглощения и рассеяния энергии средой и количества выделяющихся порций энергии:

$$\alpha = \frac{V_{\text{КЗВ}}}{V_{\text{МГН}}} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \quad (3)$$

Величина коэффициента α_1 определяется из следующих соображений: как следует из формулы (1) скорость колебаний грунта пропорциональна корню квадратному из веса, а, следовательно, и энергии заряда ВВ. Величина энергии за-

ряда одной очереди замедления при взрывании заряда в n равных очередях составит $\frac{E}{n}$, а величина отношения скоростей колебаний при взрыве одной очереди замедления и всего заряда равна

$$\alpha_1 = \frac{V_n}{V_{\Sigma n}} = \frac{\sqrt{\frac{E}{n}}}{\sqrt{E}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Коэффициент α_2 является некоторой функцией времени замедления, свойств среды и количества выделяющихся порций энергии

$$\alpha_2 = f(\tau, \beta, n) \quad (5)$$

Установлено, что в общем случае, при допущении об отсутствии гашения колебаний в результате интерференции, α_2 лежит в пределах

$$\sqrt{n} \geq \alpha_2 \geq 1$$

при $0 \leq \tau \leq \infty$

В менее плотной и более неоднородной среде величина коэффициента α_2 при одном и том же времени замедления должна быть меньше, чем в более плотной и однородной среде. С увеличением времени замедления эта разница должна уменьшаться, так как увеличение времени замедления приводит к уменьшению влияния свойств среды.

Для экспериментальной проверки, изложенных представлений и оценки величины коэффициента α_2 в условиях Зырянского месторождения были проведены полигонные опыты.

Результаты полигонных опытов. Время замедления. Зависимость средних величин коэффициентов α (10 наблюдений по каждой точке при коэффициенте вариации 15% и точности определения среднего 7%) от времени замедления представлена на рис. 1.

Как в наносах, так и в скальных породах с увеличением времени замедления интенсивность колебаний грунта снижается. Наиболее заметное снижение интенсивности колебаний наблюдается в наносах при замедлении 12—25 мсек, а увеличение замедления свыше 25 мсек дает дальнейшее незначительное снижение интенсивности колебаний грунта.

В скальных породах значения коэффициентов α больше, чем в наносах, а величина замедления, после которого влия-

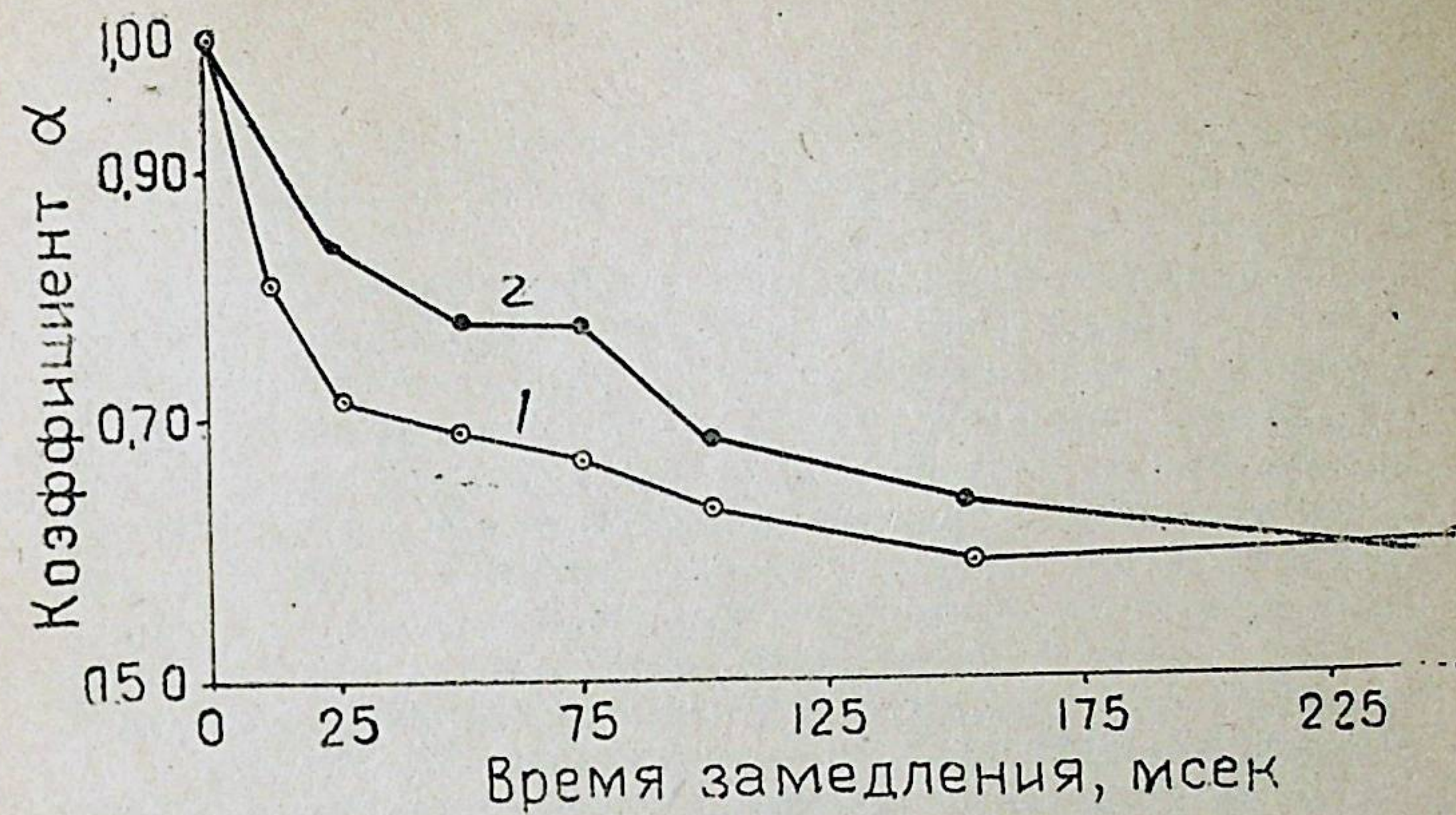


Рис. 1 Зависимость коэффициента α от времени замедления (полигонные опыты)

1. Наносы.
2. Скальные породы.

ние времени замедления становится незначительным, смещается в сторону увеличения и равно 50—75 мсек.

По величинам коэффициента α с помощью формул (3) и (4) были подсчитаны значения коэффициентов α_2 при двух очередях замедления. Коэффициенты α_2 уменьшаются при увеличении времени замедления до 150 мсек в наносах и до 250 мсек в скальных породах. В скальных породах взрыв заряда половинного веса, т. е. взрыв в две очереди с замедлением ∞ дал такую же величину коэффициента α_2 как и при замедлении 250 мсек. В наносах коэффициенты α_2 становятся равными уже при времени замедления 150 мсек. Значения коэффициентов α_2 для скальных пород при одинаковых замедлениях больше, чем для наносов, с увеличением времени замедления эта разница уменьшается, и при замедлении 250 мсек коэффициенты α_2 для скалы и наносов становятся равными.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов подтверждают положения о характере зависимости коэффициента α_2 от времени замедления и свойств реальной среды.

Для указанных условий в пределах эксперимента зависи-

мость коэффициента α_2 от времени замедления выражается эмпирической формулой

$$\alpha_2 = a\tau^{-b} \quad (6)$$

где a и b — постоянные, зависящие от свойств среды, равные соответственно: для скалы 2,3 и 0,19, для наносов 1,6 и 0,13, если τ в мсек.

Из приведенных результатов следует также, что коэффициент α_2 играет заметную роль при замедлениях, меньших какой-то определенной величины. При увеличении времени замедления свыше этой величины в данных условиях сложение энергии колебаний, вызванных взрывом отдельных очередей замедления, практически отсутствуют, и с достаточной для практики степенью точности (10—15%) можно принимать величину коэффициента α_2 равной единице, а $\alpha \approx \alpha_1$.

Чем больше неоднородность среды и меньше ее плотность, тем ниже величина этого критического времени замедления. Для условий эксперимента она составляет 25—50 мсек.

Число очередей замедления. Зависимость средних величин коэффициента α (по девяти наблюдениям по каждой точке при коэффициенте вариации 25% и точности определения среднего 13%) от числа очередей представлена на рис. 2. Там же нанесена кривая $\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{n}}$

Тот факт, что величины коэффициента α незначительно отличаются от величин коэффициентов α_1 , подтверждает вывод о незначительном влиянии коэффициента α_2 не только при двух очередях замедления, но и при увеличении их до семи (время замедления 25 мсек).

Наиболее заметное снижение интенсивности колебаний наблюдается при увеличении числа очередей замедления до четырех, а увеличение числа очередей до семи дает дальнейшее незначительное снижение интенсивности колебаний грунта. Это может объясняться тем, что при увеличении числа очередей замедления свыше четырех несколько возрастает величина коэффициента α_2 при времени замедления, принятом в опыте, что и приводит к выполаживанию кривой и практически к прекращению снижения интенсивности колебаний грунта при увеличении числа очередей замедления свыше семи. Поэтому следует считать нецелесообразным увеличение числа очередей свыше семи для дальнейшего снижения интенсивности сейсмических колебаний при времени замедления 25 мсек. Для дальнейшего снижения интенсивности сейсмических колебаний при числе очередей свыше семи следует увеличить интервал замедления до 150—250 мсек.

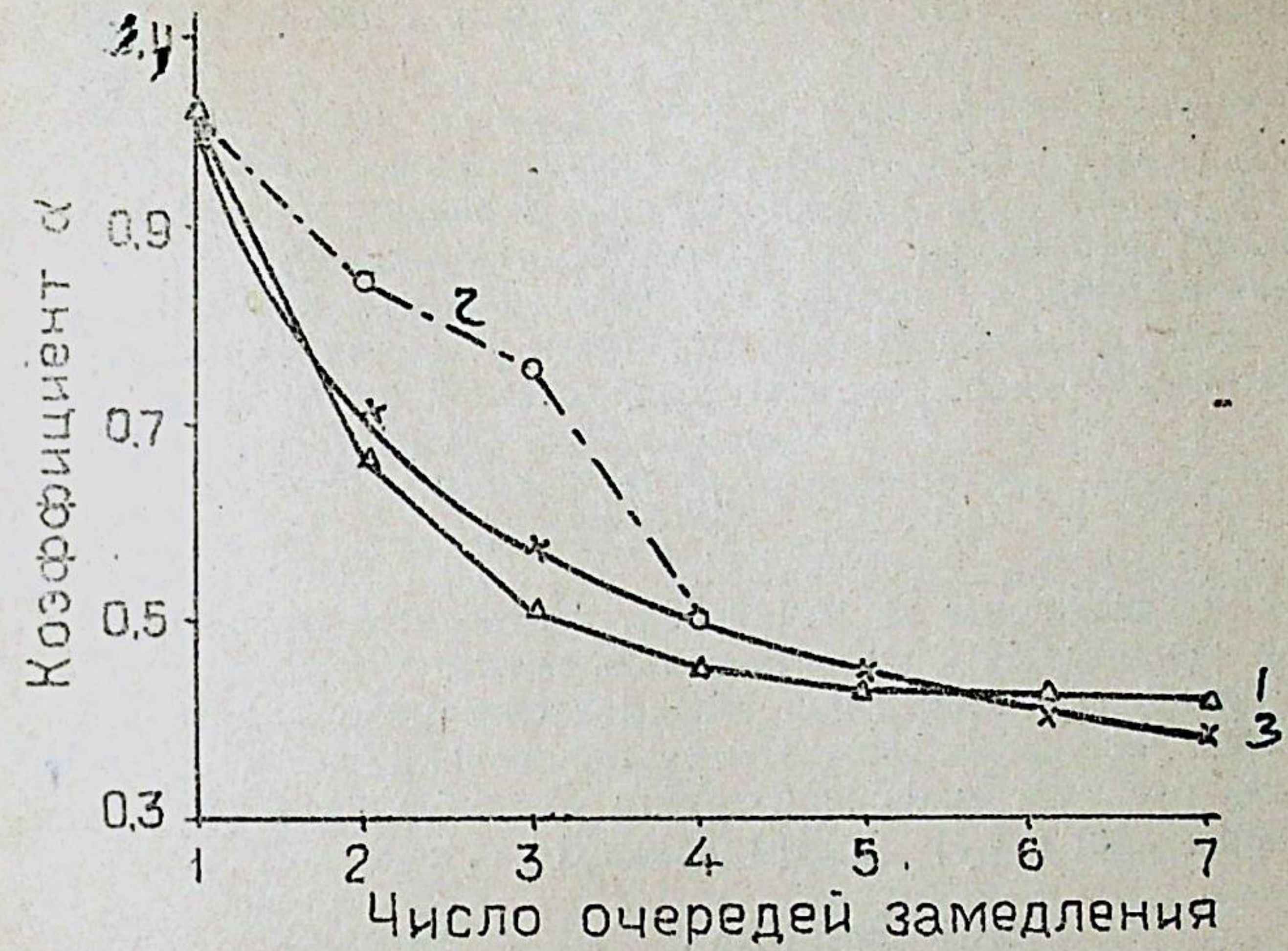


Рис. 2. Зависимость коэффициента α от числа очередей замедления (полигонные опыты).

1. Наносы.
2. Скальные породы.
3. Кривая $\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{n}}$.

Отметим тот факт, что даже при времени замедления 25 мсек, равному периоду колебаний грунта в условиях полигона, не наблюдалось увеличения интенсивности колебаний. Это обстоятельство еще раз подтверждает положение, что интерференция колебаний грунта при КЗВ не играет существенной роли.

Оценка возможности распространения результатов полигонных опытов на промышленные условия, произведенная, с помощью критериев подобия, показала, что условия производства полигонных опытов достаточно хорошо моделируют натурные условия, а принятые в полигонных опытах веса зарядов ВВ и расстояния — веса зарядов ВВ и расстояния при производстве промышленных взрывов.

ГЛАВА IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ
ЗА СЕЙСМИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

Интенсивность колебаний при мгновенном взрывании и соотношения составляющих вектора скорости. В результате обработки данных наблюдений установлено, что зависимость максимальной скорости колебаний грунта от веса заряда ВВ и расстояния при мгновенном взрывании в условиях Зыряновского месторождения выражается эмпирической формулой

$$V = 450 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{r} \right)^{1,5} \quad (7)$$

при коэффициенте вариации 50% и относительной погрешности среднего 19% по семи наблюдениям.

При мгновенном и короткозамедленном взрывании наблюдается довольно устойчивое соотношение между составляющими скорости колебаний грунта — радиальной (V_x), тангенциальной (V_y) и вертикальной (V_z):

$$\frac{V_y}{V_x} = 0,89; \quad \frac{V_z}{V_x} = 0,78;$$

при коэффициентах вариации соответственно 15 и 30% по двенадцати наблюдениям.

Величина вектора скорости составляет

$$V = (1,55 \pm 0,06) V_x \quad (8)$$

Влияние времени и числа очередей замедления. При регистрации колебаний в промышленных условиях затруднительно производить взрывы зарядов одинакового веса при различных числах очередей и замедлениях и располагать пункты наблюдения на одинаковом расстоянии от взрывов. Поэтому, при анализе результатов наблюдений был использован следующий метод.

Зависимость радиальной составляющей скорости колебаний грунта от веса заряда и расстояния при КЗВ на основании выражений (2), (7) и (8) имеет вид

$$V_x = a K_x \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{r} \right)^{1,5} \quad (9)$$

Следовательно, изменение скорости колебаний грунта при изменении числа очередей и времени замедления определится

изменением произведения $a K_x$. При известном K_x можно перейти к величинам коэффициентов a . Так как наблюдения производились в весьма разнообразных условиях (величины K_x могли быть различными для отдельных профилей наблюдений), в предварительном анализе использовались величины произведений $a K_x$, значения которых для всех взрывов и точек наблюдений, подсчитанные по формуле (9), представлены в таблице 1.

Таблица 1

Группа профилей	Число очередей	Время замедления, мсек.	Величины произведений				Среднее	Коеф. вариации, %	Погрешность среднего, %
			Значения $a K_x$						
			1	2	3	4			
II	1	00	131	128	190	501	150	24	20
II	2	25	123	78	46 ¹	106	102	22	13
I	2	25	153	165	198	180	174	12	6
II	2	50	88	96	140	115	110	21	11
II	2	75	108	61	50	96	79	35	18
II	3	25	73	65	63	—	67	8	5
I	3	25	139	194	153	156	130	30	11
			133	63	94	110			
II	3	50	52	45	81	71	61	25	13
I	3	50	93	146	129	145	128	19	10
II	4	25	21 ¹	55	40	57	69	38	16
			61	25 ¹	111	92			
I	4	25	146	107	122	220	126	40	16
			92	82	—	—			
II	5	25	58	36	89	68	63	21	17
I	5	25	64	142	13 ¹	—	103	53	38
I	6	25	44 ¹	123	123	—	123	—	—

¹ При вычислении средней исключены, как «выскакивающие», с вероятностью 0,05.

Предварительный анализ показал, что все величины произведений $a K_x$ можно разбить на две группы в зависимости от профилей наблюдений. При прочих равных условиях величины $a K_x$ для профилей, проходящих через центр карьера (II группа) меньше чем для других (I группа). Среднее отношение величин $a K_x$ для указанных групп профилей равно $1,85 \pm 0,08$ при коэффициенте вариации 9% по шести наблюдениям.

Различие в интенсивности колебаний грунта для этих групп профилей объясняется следующим. В центре карьера расположена зона старых горных работ, размеры которой в пла-

не соизмеримы с длинами волн. Поэтому здесь происходит значительное поглощение энергии сейсмических волн.

Все взрывы в промышленных условиях проводились с замедлением 25 и 50 мсек., за исключением одного взрыва в две очереди с замедлением 75 мсек. Зависимость величины αK_x от времени замедления представлена на рис. 3. В промышленных условиях интенсивность колебаний грунта с увеличением времени замедления имеет тенденцию к снижению.

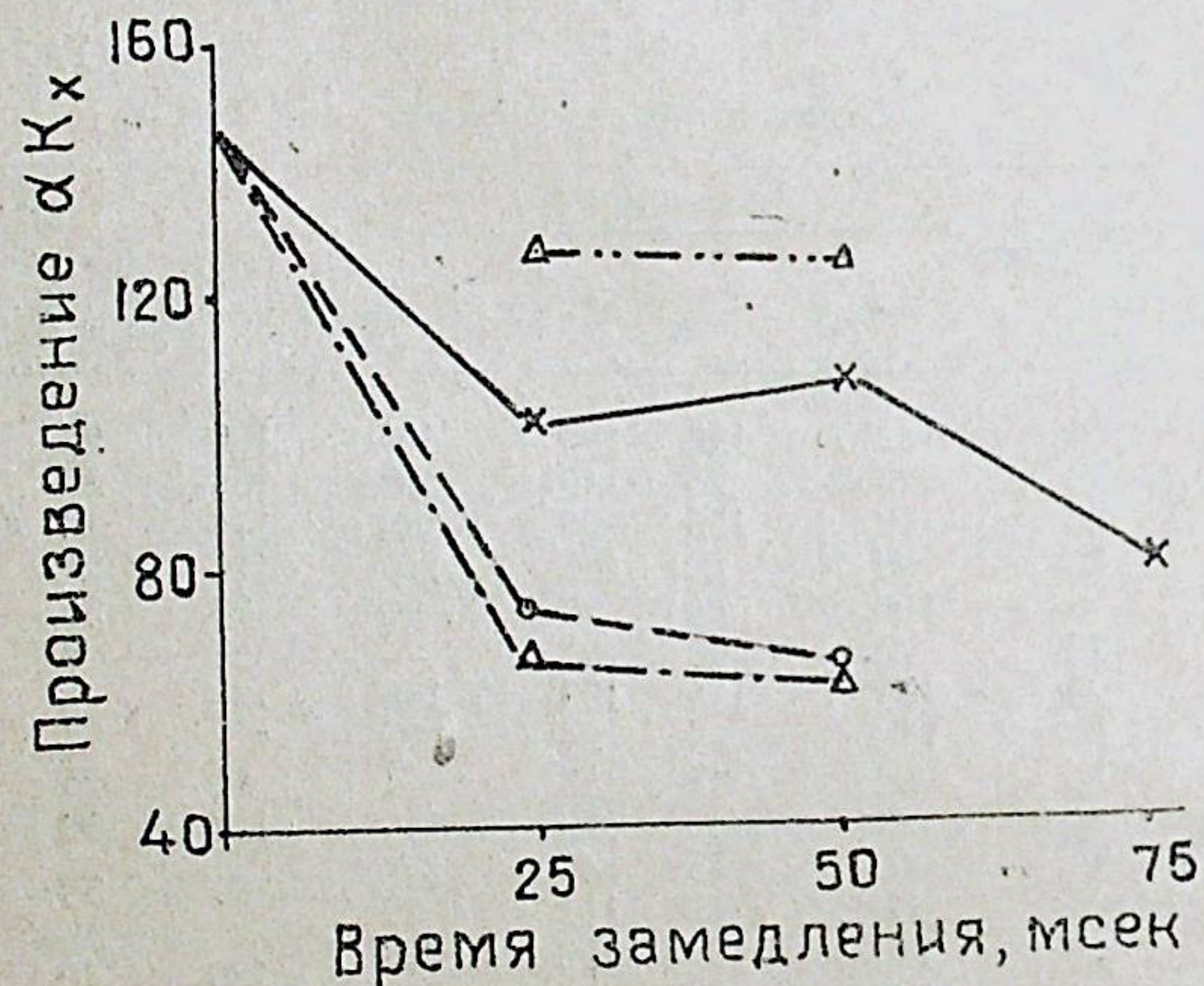


Рис. 3. Зависимость произведения αK_x от времени замедления.
 - - - Δ - - - - I группа профилей, 3 очереди,
 - - - x - - - - II группа профилей, 2 очереди,
 - - - Δ - - - - II группа профилей, 3 очереди,
 - - - ○ - - - - II группа профилей, 4 очереди.

что подтверждает результаты полигонных опытов. Увеличение времени замедления с 25 до 50 мсек не приводит к заметному снижению интенсивности колебаний грунта. Статистическая обработка результатов наблюдений показала, что разница в интенсивности колебаний грунта при замедлениях 25 и 50 мсек не является достоверной. Поэтому в дальнейшем результаты наблюдений при замедлениях 25 и 50 мсек рассматриваются совместно.

Зависимость величин αK_x от числа очередей замедления представлена на рис. 4. С увеличением числа очередей интенсивность колебаний грунта уменьшается, причем, наиболее значительное снижение интенсивности наблюдается при уве-

личении числа очередей до трех, дальнейшее снижение интенсивности становится незначительным.

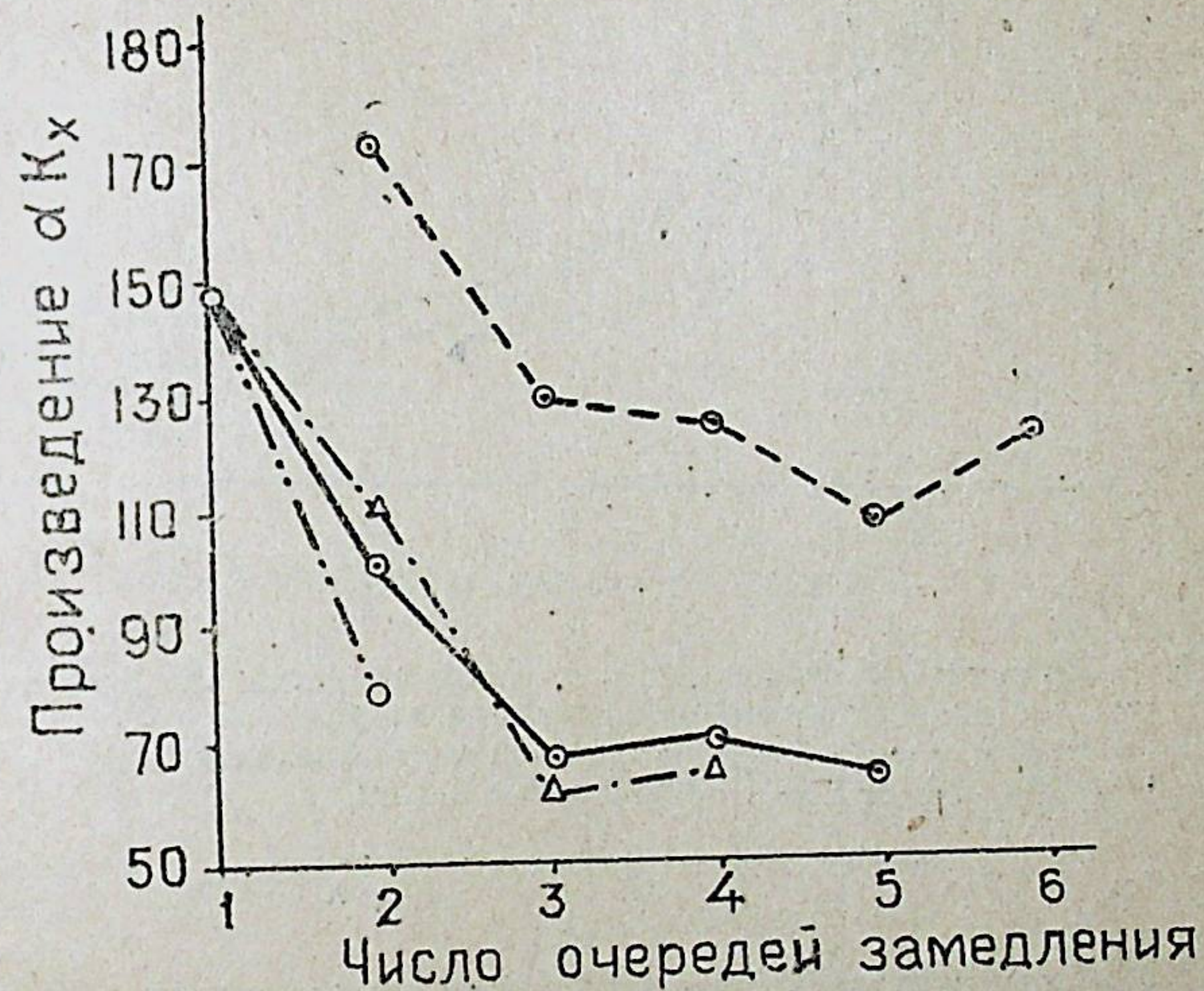


Рис. 4. Зависимость произведения αK_x от числа очередей.
 - - - ○ - - - - I группа профилей, 25 мсек
 - - - ○ - - - - II группа профилей, 25 мсек
 - - - Δ - - - - II группа профилей, 50 мсек
 - - - ○ - - - - II группа профилей, 75 мсек

По величинам αK_x и значениям K_x для каждой группы профилей были подсчитаны средние значения коэффициента α . На рис. 5 представлена зависимость коэффициента α от числа очередей по данным полигонных и промышленных наблюдений. Удовлетворительное согласие результатов наблюдений в промышленных условиях с данными полигонных опытов и достаточно хорошее совпадение экспериментальных значений коэффициента α с расчетными величинами коэффициента α_1 подтверждают наши положения о влиянии времени и числа очередей замедления на интенсивность колебаний грунта при КЗВ.

Близкие результаты дали и наши исследования на комби-

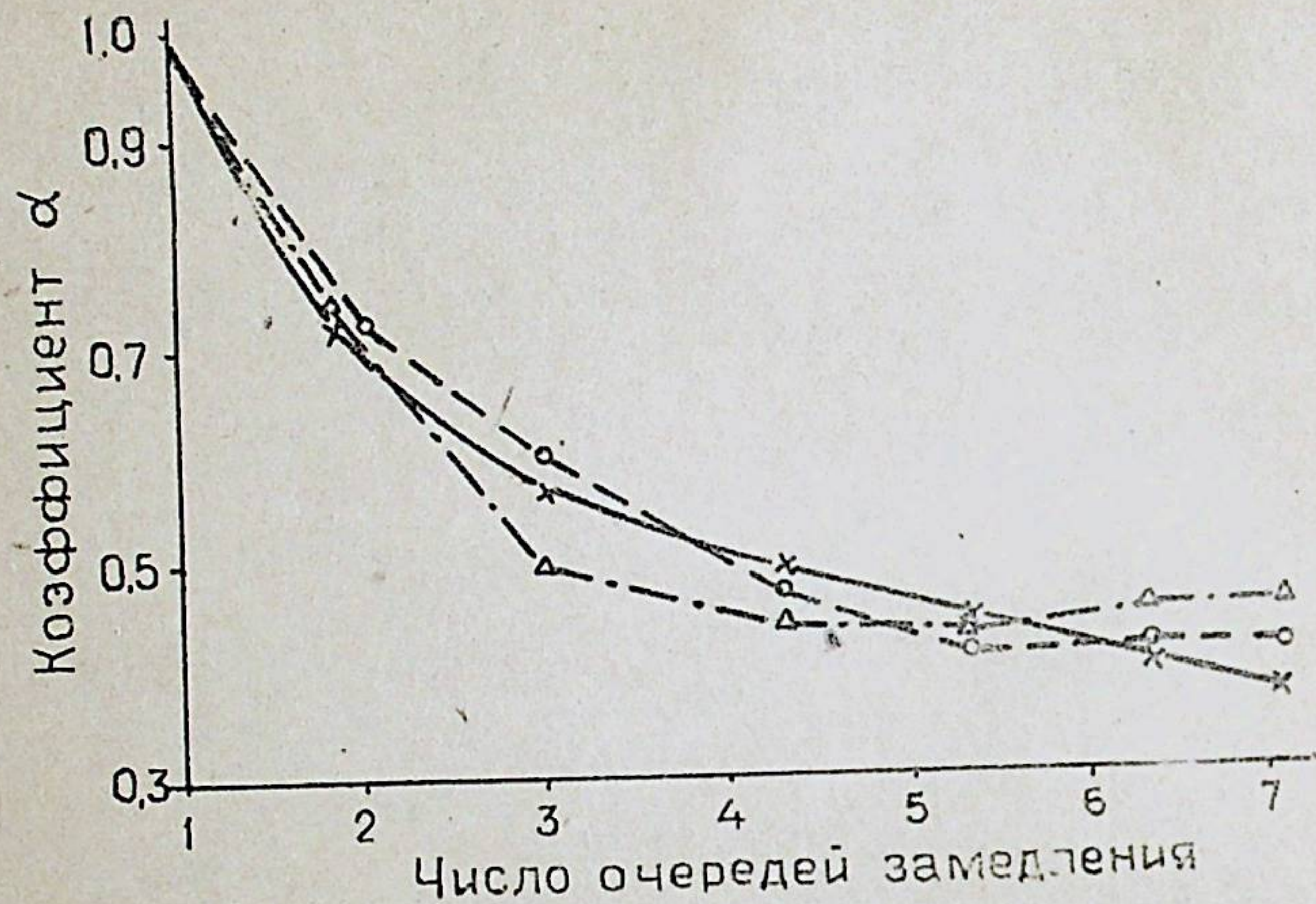


Рис. 5. Зависимость коэффициента α от числа очередей при времени замедления 25 и более мсек.

—△— промышленные наблюдения,
 —○— полигонные опыты,
 —×— функция $\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{n}}$.

нате «Майкаинзолото»¹: при взрывании с замедлением 20 мсек величины коэффициентов α составили: 2 очереди — 0,82, 3 очереди — 0,77, 5 очередей — 0,40.

Энергия колебаний при КЗВ. Результаты подсчета удельной энергии источника (E_0) приведены в таблице 2. Там же даны отношения удельной энергии источника при короткозамедленном и мгновенном взрывании и отношения плотностей потока энергии радиальной (E_x) составляющей к полной плотности потока (E_r).

В таблице 3 приведены средние отношения удельной энергии источника, переданной среде в виде упругих волн, при короткозамедленном и мгновенном взрывании, корни квадратные из них и расчетные величины коэффициента α_1 . Эти данные показывают, что удельная энергия источника, передан-

¹ Б. В. Поздняков, Ю. В. Нелюбов. Исследование сейсмического эффекта массовых взрывов на открытых работах комбината «Майкаинзолото». Отчет по теме. ВНИИЦВЕТМЕТ. Усть-Каменогорск, 1963.

Таблица 2

Величины удельной энергии источника

Вес заряда ВВ, кг	Число очередей	E_x , дж/м ²	E_y , дж/м ²	E_z , дж/м ²	E_r , дж/м ²	$E_0 \cdot 10^{-4}$ дж/кг	$\frac{E_0 \text{ КЗВ}}{E_0 \text{ МГН}}$	$\frac{E_x}{E_r}$
1720	1	8,80	9,40	9,80	28,00	10,2	1,00	0,31
3040	3	19,50	18,50	8,40	46,40	3,5	0,34	0,42
4445	5	2,00	1,60	1,20	4,80	1,70	0,17	0,42
4461	5	2,14	2,05	0,84	5,00	0,80	0,08	0,43
4474	5	5,20	3,00	2,10	10,30	2,10	0,21	0,50
3040	2	20,90	20,00	9,40	50,30	5,60	0,54	0,42

Таблица 3

Средние отношения удельной энергии источника

Величина	Количество очередей замедления		
	2	3	5
$E_{0 \text{ КЗВ}}/E_{0 \text{ МГН}}$	0,54	0,33	0,15
$\alpha = \sqrt{E_{0 \text{ КЗВ}}/E_{0 \text{ МГН}}}$	0,73	0,57	0,39
$\alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{n}}$	0,71	0,58	0,45

ная среде в виде упругих колебаний, при короткозамедленном взрывании в 2 — 5 очередей, составляет соответствующую долю от таковой при мгновенном взрывании. Величины коэффициента α , полученные из энергетических соотношений, хорошо согласуются с расчетными значениями коэффициента α_1 и величинами коэффициента α , полученными по данным промышленных наблюдений (рис. 5).

Таким образом, результаты подсчета энергии колебаний также подтверждают выводы о влиянии времени и числа очередей замедления на интенсивность колебаний грунта.

Среднее отношение между плотностью потока энергии радиальной компоненты и полной плотностью потока составляет 0,42, т. е.:

$$E_r = 2,4E_x;$$

так как $E_r \sim V^2$ и $E_x \sim V_x^2$
то $V = 1,55V_x$,

что хорошо согласуется с выражением (8). Эти данные дают возможность судить об изменении скорости колебаний грунта по изменению величины удельной энергии источника, переданной среде в виде упругих волн и наоборот.

Распределение веса заряда по очередям замедления. Согласно (4) при разновесных зарядах в очередях замедления

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{E'}{E_1}} = \sqrt{\frac{C'}{C}} \quad (10)$$

где E' и C' — энергия и вес максимального заряда ВВ, приходящегося на одно замедление,

E и C — энергия и вес всего заряда.

Из выражений (2) и (10), учитывая, что при времени замедления 25 и более мсек $\alpha \approx \alpha_1$, получим

$$V = K \left(\frac{\sqrt[3]{C'}}{r} \right)^{1,5} \quad (11)$$

Отсюда следует, что при вычислении скорости колебаний грунта при КЗВ в 2—7 очередей с замедлением 25 и более мсек в расчет следует принимать максимальный по весу заряд, приходящийся на одно замедление, независимо от веса всего заряда. Максимального снижения интенсивности колебаний грунта при данном количестве очередей можно достигнуть при разделении заряда на равные по весу очереди замедления.

Это подтверждается результатами инструментальных наблюдений за промышленными взрывами, проведенных на постоянной сейсмической станции. При 4-х очередях замедления величина αK_x имеет минимальное значение при отношении весов зарядов, равном 0,25, а при 5-ти очередях—0,20. При нарушении равновесности зарядов в очередях замедления степень снижения интенсивности колебаний грунта уменьшается.

Показатели буровзрывных работ при КЗВ. На Зырянском карьере доля буровзрывного комплекса составляет 60—80% от общей стоимости выемки (отбойка и экскавация) горной массы. В таком случае представляет

значительный интерес вопрос об изменении показателей буровзрывных работ при переходе на КЗВ. Изучение этого вопроса на Зырянском карьере проводилось Д. В. Мильченко, О. С. Мечиковым, А. К. Бахтиным и др.¹ Результаты исследований показали, что применение КЗВ с замедлением 25—50 мсек наряду со снижением интенсивности сейсмических колебаний дает возможность улучшить показатели буровзрывных работ: при одном и том же удельном расходе ВВ на отбойку в 1,5 раза снижается процент выхода негабарита, на 13% увеличивается выход горной массы с 1 н. м. скважины.

Определение радиусов сейсмически опасных зон. На основании исследований ПЭУ Союзвзрывпрома и естественной сейсмичности района (7 баллов) величина критической скорости колебаний грунта была принята равной 3 см/сек.

Подставив в формулу (11) величину критической скорости колебаний грунта и значение K , равное 450, получим:

$$3 = 450 \sqrt{\left(\frac{\sqrt[3]{C'}}{r} \right)^3}$$

или, после преобразований:

$$r_{оп} = 28 \sqrt[3]{C'} \quad (12)$$

где $r_{оп}$ — радиус сейсмически опасной зоны, м,

C' — вес всего заряда ВВ при мгновенном взрывании или максимальный вес заряда ВВ, приходящийся на одно замедление при КЗВ в 2—7 очередей с замедлением 25 и более мсек, кг.

Из формулы (12) легко получить обратную формулу для определения предельно допустимого веса заряда ВВ, приходящегося на одно замедление, и при известном числе очередей — вес всего заряда ВВ

$$C'_{доп} = \frac{r^3}{22000}, \text{ кг} \quad (13)$$

Для упрощения расчетов по формуле (12) построена номограмма.

¹ Д. В. Мильченко, О. С. Мечиков, А. К. Бахтин и др. Изыскание рациональных технологических процессов открытых горных работ для Андреевского, Зырянского и Белогорского карьеров. Отчет по теме. ВНИИ-ЦВЕТМЕТ. Усть-Каменогорск, 1963.

В результате исследований выдвинуты и подтверждены результаты инструментальных наблюдений в полигонных и промышленных условиях представления о зависимости интенсивности колебаний грунта при КЗВ от времени и числа очередей замедления:

1. Интенсивность колебаний грунта при КЗВ при постоянном весе заряда ВВ и расстоянии есть функция числа очередей и времени замедления, а также свойств среды, из которых наибольшее значение имеют плотность и степень ее неоднородности.

2. Так как отдельные очереди замедления занимают случайное положение по отношению к неоднородностям реальной среды, рассеивающим энергию упругих волн, и время замедления является в известных пределах случайной величиной, то колебания грунта, вызванные взрывами отдельных очередей замедления, не являются когерентными. Вследствие этого колебание грунта при КЗВ не есть результат интерференции, а представляет собой сумму колебания со случайными фазами.

3. Величина смещения или скорости колебаний грунта при КЗВ определяется величиной энергии колебаний в данной точке среды. В общем случае она может изменяться от величины, пропорциональной энергии заряда одной очереди замедления, до величины, пропорциональной энергии всего заряда.

4. При увеличении времени замедления суммарная величина энергии колебаний уменьшается и, при определенном времени замедления, приближается к величине, пропорциональной энергии заряда одной очереди замедления. Эта критическая величина времени замедления тем меньше, чем больше степень неоднородности среды и меньше ее плотность.

В результате анализа данных полигонных и промышленных опытов в условиях Зыряновского месторождения установлено:

1. Зависимость ожидаемой максимальной скорости колебаний грунта от веса заряда ВВ и расстояния при мгновенном взрывании определяется выражением (7).

2. Соотношения между составляющими вектора скорости колебаний грунта определяются равенством (9).

3. В районе месторождения, нарушенном выработками старых горных работ, происходит значительное поглощение

энергии упругих волн. Интенсивность сейсмических колебаний по профилям, пересекающим эту зону, снижается в 1,85 раза.

4. При взрывании в 2—7 очередей замедления время замедления оказывает заметное влияние на интенсивность колебаний грунта при увеличении его до 25 мсек.

5. При КЗВ в 2—7 очередей с замедлением 25 и более мсек интенсивность колебаний грунта с достаточной для практики степенью точности (10—15%) зависит только от энергии заряда одной очереди замедления. В случае равных по весу зарядов отдельных очередей замедления величину ожидаемой максимальной скорости колебаний грунта можно приближенно определить по формуле (2). Величина α определяется формулой (4), $K=450$.

6. В случае разных по весу зарядов в отдельных очередях замедления при вычислении скорости колебаний грунта в расчет следует принимать максимальный по весу заряд, приходящийся на одно замедление, независимо от веса всего заряда (11).

7. Для дальнейшего снижения интенсивности сейсмических колебаний, при числе очередей свыше семи, следует увеличить интервал замедления до 150—250 мсек.

Анализ показал, что полученные зависимости справедливы для широкого круга месторождений полиметаллических руд и месторождений иных полезных ископаемых с аналогичными условиями.

В результате проведения работы интенсивность колебаний грунта на карьере Зыряновского свинцового комбината снижена в 2,5 раза, что позволило увеличить предельно допустимый вес заряда ВВ с 3-х тонн при мгновенном взрывании, до 20 тонн при КЗВ, в семь очередей с замедлением 25 и более мсек.

Такое увеличение веса заряда ВВ позволяет ликвидировать 750 машино-часов простоев карьерно-транспортного оборудования в год, что дает условный экономический эффект 20 тыс. руб. в год.

На основании исследований были разработаны «Временные указания по определению интенсивности колебаний грунта, радиусов сейсмически опасных зон и предельно допустимых весов зарядов ВВ на руднике открытых работ Зыряновского свинцового комбината», которые согласованы с Восточно-Казахстанским горным округом, утверждены Восточно-Казахстанским совнархозом и приняты Зыряновским свинцовым комбинатом для использования при проектировании массовых взрывов на карьере.

Результаты работы используются также при проектирова-

нии массовых взрывов на карьере комбината «Майкаинзолото».

На основании результатов работы подавалось предложение на Всесоюзный конкурс «На разработку предложений по снижению вредных воздействий крупных взрывов, производимых на горных предприятиях», которое отмечено поощрительной премией.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих статьях:

1. П. В. Белов, Ю. В. Нелюбов. Некоторые результаты испытаний электродетонаторов короткозамедленного действия. Бюллетень ЦМ ЦИИИ, 1960, № 7.

8. Б. В. Поздняков, Ю. В. Нелюбов, А. А. Тачев. Исследование сейсмического действия массовых взрывов на Зыряновском карьере. Горный журнал, 1961, № 11.

3. Б. В. Поздняков, Ю. В. Нелюбов и др. О влиянии короткозамедленного взрывания на сейсмический эффект массовых взрывов. Горный журнал, 1963, № 8.

4. Б. В. Поздняков, Ю. В. Нелюбов. О колебаниях зданий под действием массовых взрывов. Добыча и обогащение руд цветных металлов, 1964, № 1.

5. Ю. В. Нелюбов, Е. И. Бажин, С. И. Светличный. О колебаниях башенного железобетонного копра шахты при сейсмическом действии карьерных взрывов. Шахтное строительство, 1965, № 7.

6. Ю. В. Нелюбов. Влияние времени и числа очередей замедления на интенсивность колебаний грунта при короткозамедленном взрывании на карьерах. Горное дело. Сборник трудов ВНИИЦВЕТМЕТА, № 11 (в печати). Изд. «Недра».

Результаты работы докладывались на Всесоюзном научно-техническом совещании по вопросам сейсмического эффекта при промышленных взрывных работах. (Москва, 1963 г.) и VI сессии Ученого Совета по народно-хозяйственному использованию взрыва СО АН СССР (Новосибирск, 1965).

Подписано в печать 29/XI 1965 г. Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Объем
1,5 печ. л.
Д—04549. Заказ 2685/1. Тираж 250 экз.

г. Фрунзе, тип. АН Киргиз. ССР