ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

ОЦЕНКА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОТОУПРУГОСТИ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА И ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ОСНОВАНИЙ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Часть I

Разработка методики, проведение экспериментов и обобщение результатов исследования методом динамической фотоупругости особенностей геологического строения оснований сейсмостойких сооружений

gost.e-ecolog.ru

ОЦЕНКА МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОТОУПРУГОСТИ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА И ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ОСНОВАНИЙ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Аннотация

В первой части работы показана возможность использования метода динамической фотоупругости для изучения вопросов, связанных с сейсмическим микрорайонированием площадки строительства. Изложена методика исследований и показано, каким образом получаемые на моделях результаты следует использовать для определения натурных данных.

В качестве примера исследовано напряженное состояние бортов и дна карьера, имеющего однородное и неоднородное строение скального массива.

Показано, как направление сейсмического воздействия и геологическое строение массива влияют на балльность различных участков карьера. На одном и том же участке карьера изменение волнового воздействия вдвое меняет величину ускорения. Неоднородность скального массива в виде разломов и трещин приводит к увеличению ускорений по сравнению с однородным массивом практически на всех участках поверхности, подвергающихся воздействию волн, отраженных от разломов и трещин, и волн, дифрагированных на дополнительных угловых областях.

Во второй части разработаны динамические методы расчета железобетонных конструкций сейсмостойких зданий и сооружений. Проведен анализ сейсмических нагрузок и даны рекомендации по расчетным нагрузкам. Разработаны количественные критерии предельного состояния по несущей способности. На основе анализа рекомендовано применение численных методов, основанных на диаграммах $\sigma - \varepsilon$ арматуры и бетона. Выполнены расчеты системы с одной степенью свободы со скелетной диаграммой сопротивления типа Прандтля; приведен анализ результатов и изложены рекомендации для СНиП.

Разработана реологическая модель бетона и арматуры для определения динамических диаграмм $\sigma - \varepsilon$ при малоцикловых колебаниях. Модели подтверждены экспериментально. Приведены результаты сейсмического расчета железобетонной рамы, в элементах которой возникают значительные упруго-пластические деформации.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель доктор технических наук профессор	И.Х.Костин
Заведующий сектором кандидат технических наук	В.В.Двалишвили
Старший научный сотрудник кандидат технических наук	Е.В.Юренева
Старший научный сотрудник кандидат технических наук	О.Л.Дмитриенко
Механик	Ю.И.Сорокин

Р Е Ф Е Р А Т

Отчет 38 с., 12 илл., 5 табл., 7 источников

Показана возможность использования метода динамической фотоупругости для изучения вопросов, связанных с сейсмическим микрорайонированием площадки строительства. Изложена методика исследований и показано, каким образом получаемые на моделях результаты следует использовать для определения натурных данных.

В качестве примера исследовано напряженное состояние бортов и дна карьера, имеющего однородное и неоднородное строение скального массива.

Показано, как направление сейсмического воздействия и геологическое строение массива влияют на балльность различных участков карьера. На одном и том же участке карьера изменение волнового воздействия вдвое меняет величину ускорения. Неоднородность скального массива в виде разломов и трещин приводит к увеличению ускорений по сравнению с однородным массивом практически на всех участках поверхности, подвергающихся воздействию волн, отраженных от разломов и трещин, и волн, дифрагированных на дополнительных угловых областях.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

I. ВВЕДЕНИЕ. Сейсмическое микрорайонирование площадки строительства..... 3

2. Методика исследования при сейсмическом микрорайонировании..... 4

2.I. Метод динамической фотоупругости, его особенности и преимущества..... 4

2.2. Методика экспериментов..... 5

3. Напряженное состояние бортов и дна карьера при сейсмическом воздействии.....I2

3.I. Распределение волновых напряжений вдоль поверхности карьера в случае однородного массива.....23

3.2. Распределение волновых напряжений вдоль поверхности карьера при наличии слоев и трещин.....30

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....36

Список использованных источников.....38

I. ВВЕДЕНИЕ. СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Сейсмическое районирование территории России дает определение сейсмической интенсивности для отдельных областей и зон. В пределах зоны одинаковой интенсивности, размеры которой значительны, геологическая и гидрогеологическая характеристики покровных отложений отдельных участков и площадок весьма разнообразны. Поэтому для участка, где проектируется сооружение, проводятся исследования по определению величины поправки к интенсивности, определяемой районированием, т.е. проводится сейсмическое микрорайонирование. Результатом микрорайонирования может явиться увеличение или уменьшение балльности площадки строительства или ее части, изменение балльности участка изменяет затраты на строительство и повышает надежность возводимых объектов. Согласно данным /I/ удорожание строительства при применении антисейсмических мер составляло в среднем для 9-балльных мероприятий I2%, для 8-балльных - 8% и для 7-балльных - 4%.

На сейсмичность участка влияют грунтовые условия, рельеф местности, наличие размывов и пустот и ряд других факторов. Изучение влияния этих факторов на изменение интенсивности сейсмического воздействия на участке производится обычно в натурных условиях с использованием взрывов, а в ряде случаев на моделях ультразвуковым методом.

В настоящей работе для изучения этих явлений наряду с другими методами предлагается использовать метод динамической фотоупругости.

2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ МИКРОСЕЙСМОРАЙОНИРОВАНИИ

2.I. Метод динамической фотоупругости, его особенности и преимущества

Сущность поляризационно-оптического метода для изучения динамических задач - метода динамической фотоупругости - составляет фиксирование с помощью высокоскоростной киносъемки быстроменяющейся во времени картины изолиний разности главных напряжений $\sigma_1-\sigma_2$, возникающей при соответствующем импульсном воздействии в модели исследуемого сооружения, которое полностью или частично изготовляется из оптически чувствительного материала и просвечивается пучком поляризованного света, а также дальнейшая расшифровка полученных кино- и фотограмм с количественным определением возникающих в модели напряжений.

Важнейшими преимуществами метода является его наглядность с возможностью получения видимой картины динамического напряженного состояния по всему полю плоской модели или по всему изучаемому сечению пространственной модели при сколь угодно сложной конфигурации этого сечения, а также фиксирование динамического процесса в целом во всех его фазах со строгой привязкой к началу отсчета времени, что позволяет проследить за процессом формирования поля напряжений при взаимодействии волн и расшифровать сложную интерференционную картину при их наложении. Кроме того, поскольку при исследованиях методом динамической фотоупругости обеспечивается измерение напряжений непосредственно в заданной точке, а не на какой-либо базе, как в ряде других экспериментальных методов, метод позволяет оценить динамической напряженное состояние в зонах концентрации и при сложных граничных условиях.

2.2. Методика экспериментов

Метод динамической фотоупругости - метод модельных исследований. Поэтому при исследованиях напряженного состояния среды или сооружения необходимо прежде всего создать модель, подобную натурной, и замоделировать процессы, происходящие в среде или сооружении.

Волновая картина, возникающая в натурных условиях в основании сооружений во время землетрясения, настолько сложна, что полностью замоделировать происходящие явления не представляется возможным, поэтому при моделировании исследуемых задач вводится ряд упрощений. В качестве первого приближения рассматривается случай воздействия на основание сооружения простого землетрясения, излучающего продольную волну P в виде одиночного возмущения. Исследования, проведенные с одиночными взрывами в натурных условиях /2/, свидетельствуют о возможности такого подхода к решению задач. Изучаются напряжения только волнового характера, влияние собственного веса основания не учитывается. Взаимодействие сейсмических волн с овнованием сооружения рассматривается в условиях плоской задачи теории упругости.
При получении необходимых критериев подобия и установлении масштабов моделирования постулируется линейно упругое поведение материала основания.

В общем случае ряд определения критериев подобия методами теории подобия решается уравнение движения при заданных граничных и начальных условиях /3/.

В случае распространения волн в однородной упругой среде критериальные зависимости имеют вид

$$F_i\left(\frac{\sigma_{ij}}{\rho a^2};\ \frac{t a}{L_0};\ \frac{L}{L_0};\ \frac{a}{b};\ \frac{t}{t_0};\ \frac{u_{ij}}{L_0}\right) = 0 \qquad (2.I)$$

где L_0 – характерный геометрический размер среды или сооружения;
ρ – плотность материала среды;
a, β – соответственно, скорости продольных и поперечных волн;
L – геометрические параметры задачи;
u – смещения среды;
σ – напряжения в среде.

Анализ зависимости (2.I) показывает, что выбрав материал модели, т.е. задавшись масштабами C_ρ и C_a , можно произвольно выбрать геометрический масштаб C_ℓ . Тогда масштаб времени определяется

$$C_t = \frac{C_\ell}{C_a}, \tag{2.2}$$

масштаб напряжений

$$C_\sigma = C_\rho C_a^2 , \tag{2.3}$$

критерий $a/\beta = inv$, входящий в (I.I) накладывает условие, чтобы масштаб скоростей поперечных и продольных волн был одинаков

$$C_a = C_\beta \tag{2.4}$$

Из условия (2.4) следует, что $C_\nu = I$, т.е. коэффициент Пуассона в модели и натуре должен быть одинаков, если среда находится в условиях одинакового напряженного состояния.

Но зачастую трехмерная натурная среда находится в условиях плоской деформации, а при исследованиях ее методом динамической фотоупругости моделируется на плоских моделях, находящихся в условиях плоского напряженного состояния.

Тогда выполнение равенства (2.4) приводит к условию

$$\nu_н = \frac{\nu_м}{1+\nu_м} \tag{2.5}$$

Согласно критерию $u_{ij}/b_0 = inv$, масштаб смещений c_u должен совпадать с геометрическим масштабом моделирования, что трудно осуществить на практике. Поэтому обычно используется расширенное подобие /4/ и вводится масштаб смещения частиц, равный

$$c_u = c_\ell \cdot c_\varepsilon , \qquad (2.6)$$

где c_ε - масштаб деформаций.

Выражение (2.I) справедливо в случае, когда моделируется однородная упругая среда. В реальных условиях среда зачастую неоднородна, и ее моделирование приводит к появлению дополнительных условий подобия. Так, например, в двухслойной среде помимо критерия a/b появляются дополнительные критерии a_1/a_2 ; b_1/b_2 ; a_1/b_2 , где индекс I относится к первому слою, индекс 2 - ко второму.

При вводе условия подобия (2.I) использовались уравнения, в которых описание источника возмущения входит в виде вектора внешних усилий или смещений. Из этого условия следует, что необязательно обеспечивать подобие источников возмущения на границах натуры и модели, достаточно соблюсти подобие импульсов, сформировавшихся в исследуемой среде, что обычно и делается при моделировании таких задач.

Выполнение всех приведенных условий подобия позволяет построить модель, подобную натуре, и создать в этой модели подобное волновое возмущение.

Тогда напряжения, возникшие в модели, пересчитываются на натуру, для чего используется критерий

$$\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_0}\right)_н = \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_0}\right)_м . \qquad (2.7)$$

где σ_0 - напряжения, заданные на границе.

Использование (2.7) в таком виде не всегда удобно, поэтому в практике эта зависимость используется в виде

$$\sigma_i^н = \sigma_0^н \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_0}\right)_м, \qquad (2.8)$$

где $\sigma_i^н$ – искомое натурное напряжение в исследуемой точке натурной среды;

$\sigma_0^н$ – напряжение в натуре, выбранное в такой точке натурной среды, где оно может быть определено расчетом или получено экспериментально в натуре;

$\sigma_i^м, \sigma_0^м$ – напряжения в сходственных точках модели, определяемые методом динамической фотоупругости.

Напряжения, возникающие в модели, в виде картин полос (m_1-m_2) в методе динамической фотоупругости фиксируется с помощью поляризационно-динамической установки. Комплексная разработка и усовершенствование поляризационно-динамических установок на базе камеры СФР проведены в Московском Государственном строительном университете.

Установка предназначена для регистрации волн напряжений со скоростью до 3–10^3м/с. Камера СФР – высокоскоростная с оптической коммутацией изображения для покадровой съемки дает возможность производить съемку на неподвижную 35-миллиметровую пленку в режиме "лупы времени" (рис.3.3) с частотой $\omega = 25\ 10^2 - 25\ 10^6 с^{-1}$, а также съемку в режиме фоторегистратора (рис.3.4), продолжительность фиксирования процесса от 100 мкс до 1,4мс при общем числе полученных кадров от 60 до 240. Пульт управления камерой обеспечивает регулирование и измерение с помощью электромагнитного датчика частоты съемки, выдачу импульсов высокого напряжения для инициирования динамической нагрузки модели, а также открытие затвора камеры к моменту вспышки импульсной лампы.

Стандартизированные оптические схемы, соединенные с системой

объективов камеры, позволяют производить съемку моделей в масштабе от I:I5 до I00:I, что дает возможность фиксировать не только картины полос ($m_1 - m_2$), но и смещения в модели.

Вопросы нагружения моделей - создание в них импульсных нагрузок с помощью микровзрывов или электрозарядным способом, решаются с учетом критериев подобия и масштабов моделирования в зависимости от натурных условий и свойств материалов моделей.

Возбуждение в модели импульса нагрузки, подобного натурному, позволяет создать в модели подобные волновые процессы и зафиксировать их с помощью высокоскоростной съемки при использовании поляризационно-динамической установки.

Полученные картины полос ($m_1 - m_2$) представляют отдельные кадры кинограмм и фотограмм процесса распространения волн напряжений в исследуемой модели и дают возможность определить параметры самого процесса и оценить напряженное состояние модели.

Скорости распространения возникающих в модели продольных a и поперечных b волн напряжений определяют по скорости съемки ω и масштабу изображения M на пленке, для чего в режиме покадровой съемки замеряют по перемещению нулевой полосы ΔS за интервал времени между кадрами или по соответствующим углам наклона полос α и γ к горизонтали в режиме фоторегистратора:

лупа времени

$$C_{a,b} = \frac{\Delta S \omega}{M n} \qquad (2.9)$$

фоторегистратор

$$C_{a,b} = \frac{1}{M} V_p \operatorname{tg} \alpha (\gamma) \qquad (2.10)$$

где ΔS - перемещение полосы с порядком 0;
n - число кадров за интервал времени t ;
V_p - скорость развертки.

Аналогично (2.IO) определяют скорости частиц на фотограммах смещений.

В условиях действия импульсных нагрузок порядки полос дают непосредственно разность главных напряжений $(\sigma_1-\sigma_2)$ или максимальные касательные напряжения τ_{max} внутри модели или σ_K на контуре модели. Порядки полос устанавливают последовательным просмотром кинограмм. Эпюры напряжений строят, как правило, безразмерными в виде отношения порядков полос в исследуемых точках m_i к порядку полос m_0 в наиболее характерной точке модели, для которой в сходственной точке натуры напряжения могут быть определены расчетом или полевыми испытаниями. Такие эпюры $\bar{m}$ представляют собой коэффициенты изменения напряжений $\bar{\sigma}$. Тогда выражение (2.8) будет иметь вид

$$\sigma_н = \left(\frac{m_i}{m_0}\right)_м \sigma_н^0 = \bar{\sigma}\cdot\sigma_н^0 \qquad (2.II)$$

и может использоваться для определения напряжений в натуре в искомой точке.

Значение $\sigma_н^0$ может быть определено по выражению

$$\sigma_н^0 = \rho c \dot{u} \qquad (2.I2)$$

где ρ - плотность среды;

c - скорость волны.

Для определения ускорений в интересующей точке, используя выражение /5/

$$\sigma_н = \frac{1}{2\pi} c \frac{\ddot{u}}{g} \gamma T \qquad (2.I3)$$

получим:

$$\ddot{u} = 2\pi \frac{\dot{u}}{T} \bar{\sigma} . \qquad (2.I4)$$

Таким образом, имея модельные данные и зная скорости смещений в любой точке строительной площадки, можно судить об

изменении ускорений и соответственно балльности в той или иной ее части.

Приведенная методика является основой для получения и обработки экспериментальных данных при исследовании вопросов, связанных с сейсмическим микрорайонированием.

Как уже отмечалось, направление волнового воздействия и слоистость среды существенно влияет на ее сейсмонапряженное состояние и соответственно на изменение балльности.

На примере изучения сейсмонапряженного состояния карьера, чьи геометрические размеры соизмеримы с длинами сейсмических волн, показана справедливость такого утверждения, а также возможность и целесообразность использования метода динамической фотоупругости.

3. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БОРТОВ И ДНА КАРЬЕРА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Исследовалось напряженное состояние бортов реального карьера, расположенного в зоне повышенной сейсмической активности, балльность в которой достигает 9 баллов.

На рис.3.I приведены разрезы вдоль и поперек карьера, принятые для исследований. Основные породы, слагающие массив, имеют плотность ρ = 2,6 т/м^3, скорость распространения продольной волны в этих породах составляют a = 3500 м/с.

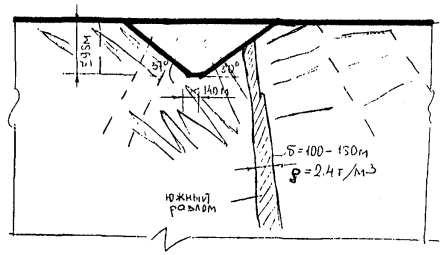
Породы в зоне разломов, пересекающих карьер, имеют плотность ρ_0 = 2,4 т/м^3 и скорость Р-волны в них a_0 = 2000 м/с.

При значительном удалении исследуемого объекта от очага землетрясения и достаточно большой протяженности карьера задачу о сейсмонапряженном состоянии его бортов можно приближенно рассматривать как динамическую задачу теории упругости в условиях плоской деформации.

В такой постановке сейсмонапряженное состояние бортов карьера исследовалось методом динамической фотоупругости на плоских моделях.

На основании общей теории о распространении упругих волн и ранее выполненных в лаборатории экспериментальных исследований задач, аналогичных данной, исследуемую область можно условно разделить на две зоны: верхнюю и нижнюю.

К верхней зоне можно отнести верхнюю часть борта и прилегающую свободную поверхность. Со стороны падения волны ("освещенная" область) динамической напряженно-деформированное состояние верхней части бортов карьера определяется интерференцией падающей волны, волн, отраженных от бортов и от дневной поверхности, и волн, дифрагированных в точках излома контура.



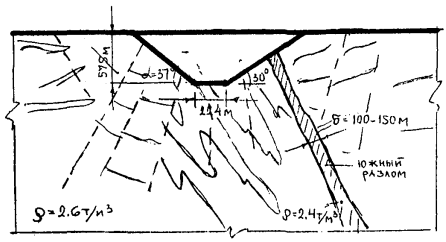


Рис.3.Iа. Схематические поперечные разрезы натурного карьера

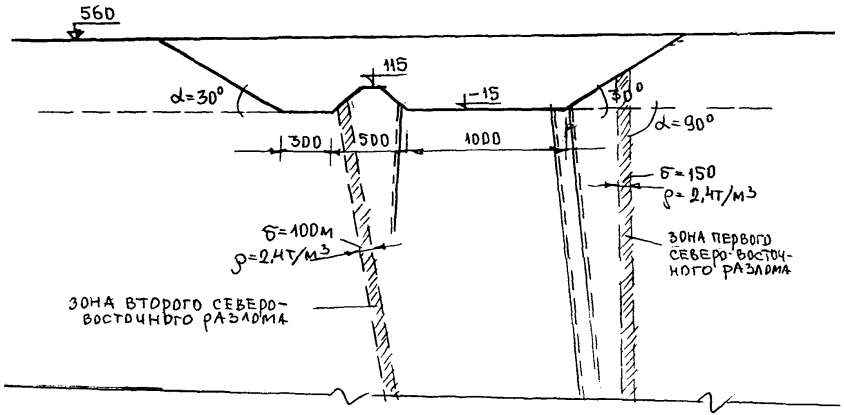


Рис.3.Iб. Схематический продольный разрез натурного карьера

В результате в этой зоне образуется весьма сложное волновое поле, вызванное взаимодействием волн различных типов и существенно зависящее от рельефа местности.

Напряженное состояние в верхней части карьера в области геометрической тени полностью определяется дифрагированными волнами.

Особенность нижней зоны, прилегающей к дну карьера, заключается в том, что при падении на карьер сейсмической волны от его дна начинают распространяться дифрагированные волны, которые взаимодействуют с падающей волной и волнами, отраженными от поверхности "освещенного" борта.

В зоне геометрической тени дифракция волн относительно дна карьера включает не только распространение возмущений от угловой точки, быстро затухающих с расстоянием, но также и распространение возмущений, связанных с наличием переходного слоя на границе теневой и "освещенной" областей. Этот слой, согласно принципу Гюйгенса, инициирует дифрагированные волны, распространяющиеся в теневую зону. Затухание этих волн происходит медленнее, чем волн первого типа, и они наблюдаются на значительных расстояниях от угловой точки в зоне геометрической тени.

Такое условное разделение исследуемой области позволяет не только проанализировать волновые процессы, происходящие на карьере, представленном на рис.3.I, но используя некоторые общие закономерности, полученные ранее в лаборатории для каждой зоны, прогнозировать в ряде случаев волновые явления для карьеров, аналогичных исследуемому в данной работе /3/.

Экспериментальные исследования, проведенные на моделях с клиновидным вырезом, позволили определить высоту зоны, в

которой дифрагированные у дна выреза волны оказывают существенное влияние. Высота этой зоны составляет $h \cong (0,5\text{-}0,7)\lambda_0$ где λ_0 - длина фазы сжатия продольной волны /3/.

Длины сейсмических волн исчисляются километрами. Даже при очень коротко периодном воздействии, например τ = 0,25с и скорости Р-волны в среде как в данной работе a = 3500м, длина фазы сжатия составит λ_0 = 450м, а высота зоны существенного влияния дифрагированных волн соответственно $h \approx$ 230м.

Таким образом, дифракция, возникающая относительно дна карьера, в исследуемом в работе случае будет оказывать существенное влияние на половину высоты борта при формировании его напряженного состояния.

В настоящей работе определялось сейсмонапряженное состояние борта и дна в трех разрезах карьера, выбранных для исследований, рис.3.Iа,б.

Поперечные разрезы I-I и П-П имеют практически одинаковые углы наклона бортов и глубину, но ширина дна в разрезе П-П в I,6 раза больше, чем в разрезе I-I. Глубина карьера и наклон бортов в продольном разрезе Ш-Ш такие же, как в разрезе П-П. Основное отличие состоит в ширине дна, которая в 8 раз превышает ширину дна разреза П-П, и в наличии на дне трапециевидного выступа.

Поперечные разрезы I-I и П-П, как отмечалось выше, имеют трапецеидальную форму и согласно результатам исследований /3/, напряженное состояние бортов в обоих разрезах при одном и том же подходе волнового возмущения, будет одинаковым, а влияние ширины дна скажется лишь на распределении напряжений в нижней части карьера, на глубине $h \approx 0,5\lambda_0$

В продольном разрезе Ш-Ш напряженное состояние бортов будет таким же как в поперечных разрезах I-I и П-П также в пределах области $H > 0,5\lambda_0$, но размеры дна и наличие

выступа не позволяют использовать результаты, полученные для разрезов I-I и II-II, для нижней части данного разреза.

В настоящей работе задано, что возмущение распространяется в среде со скоростью a = 3500м/с, а для определения длины волны τ были приняты два периода волнового возмущения τ = 0,25с (как наиболее высокочастотное сейсмическое возмущение) и τ = 0,5с. Вышеизложенные соображения определили выбор моделей, принятых для исследований и приведенных на рис.3.2.

При построении моделей выполнялись условия подобия в виде

$$\left(\frac{L_0}{\lambda_0}\right)_м = \left(\frac{L_0}{\lambda_0}\right)_н ; \qquad \left(\frac{L_0}{L_i}\right)_м = \left(\frac{L_0}{L_i}\right)_н \qquad (3.1)$$

где λ_0 - фаза сжатия Р-волны;

L_0 - характерный линейный размер, в данных исследованиях за L_0 принята глубина карьера;

L_i - любой линейный параметр задачи.

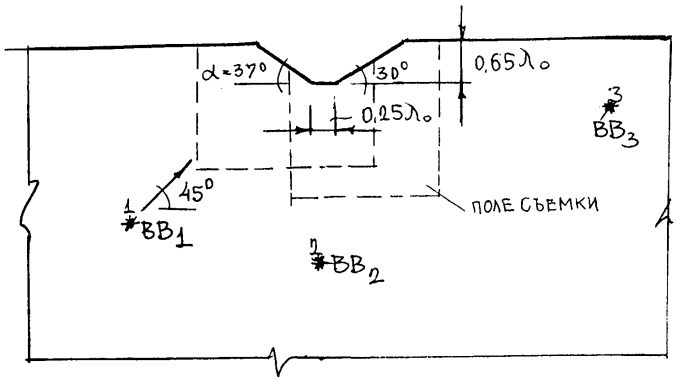
При принятых двух периодах τ волнового возмущения получим, соответственно, $\lambda^н_{01}$ = 450м и $\lambda^н_{02}$ = 900м и два геометрических масштаба моделей.

Модель I и модель 2 геометрически подобны, что позволяет проанализировать влияние ширины дна карьера и изменения соотношения длины волны и геометрических параметров карьера на его напряженное состояние.

Волновое возмущение в моделях создавалось взрывом микрозаряда азида свинца массой W = 50мг. Для каждой модели рассмотрено несколько случаев положения заряда, рис.3.2, что позволяет оценить напряженное состояние бортов и дна карьера при различном направлении распространения волны.

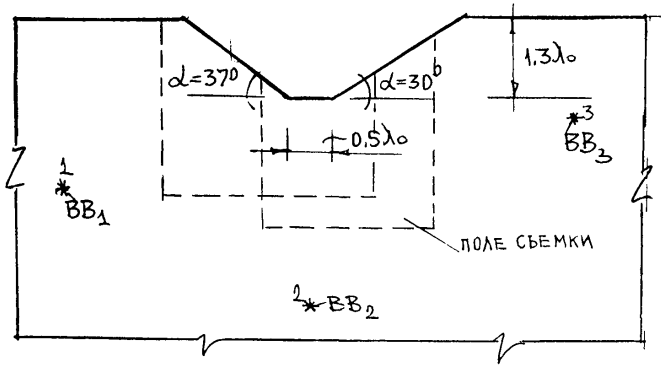
Расстояние между источником волнового воздействия и исследуемой областью выбиралось из условия создания падающей продольной волны по своему характеру близкий к плоской Р-волне /6/.

а)



МОДЕЛЬ 1

б)



МОДЕЛЬ 2

Рис.3.2. Схемы однородных моделей

в)

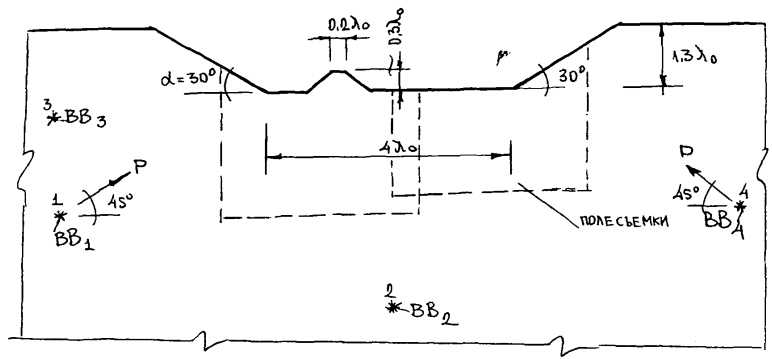


Рис.3.2. Схема однородной модели 3

Экспериментальный материал получен в виде кинограмм картин полос по полю моделей $m(x,y,t)$, рис.3.3, и фотограммы картин полос в выбранных сечениях моделей, рис.3.4.
Эти экспериментальные данные позволяют проанализировать качественную картину формирования волновых полей напряжений и получить количественные закономерности.

Например, на рис.3.3 представлены кинограммы картин полос, зафиксированные в модели I при положении источника энергии в точках I и 2. Из рисунка видно, что в окрестности карьера возникают сложные поля динамических напряжений, в формировании которых принимают участие прямые, отраженные, дифрагированные волны различных типов (продольные, поперечные, рэлеевские). Однако интенсивность каждой волны, направление распространения и время прихода в исследуемую точку модели будут различны при различном положении заряда, что видно из рис.3.3.

При взрыве заряда в точке I ($ВВ_I$) падение прямой продольной волны Р на левый "освещенный" борт карьера близко к нормальному, что приводит к возникновению интенсивной отраженной продольной волны РР (коэффициент отражения $K_{PP} \approx I$).

Интерференция падающей Р и отраженной РР-волн образует зону концентрации значительных растягивающих напряжений во внутренних точках левого борта, в то время как контурные напряжения на его поверхности близки к нулю.

Такого распределения напряжений в приповерхностной зоне того же борта не наблюдается при положении заряда в точке 2, что также видно из кинограмм рис.3.3.

Анализ экспериментального материала, полученного в указанном виде, позволил в дальнейшем построить количественные зависимости и сделать ряд выводов применительно к данному карьеру.

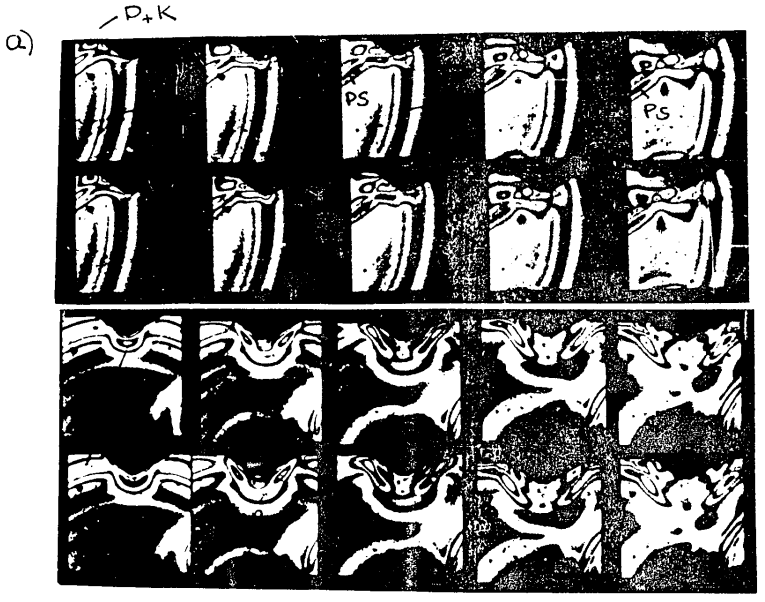


Рис.3.3. Фрагменты кинограмм картин полос $m(x,y,t)$ в модели I при положении зарядов в точках 3(а) и 2(б)

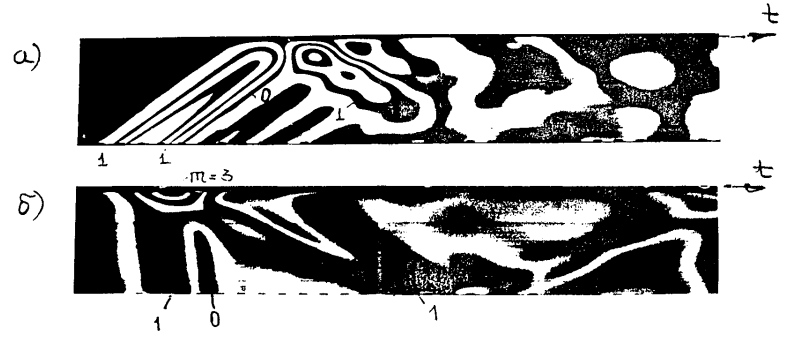


Рис.3.4. Фотограммы картин полос $m(y,t)$ в вертикальном сечении модели I, проходящем через середину дна, при положении зарядов в точках 2(а) и 3(б)

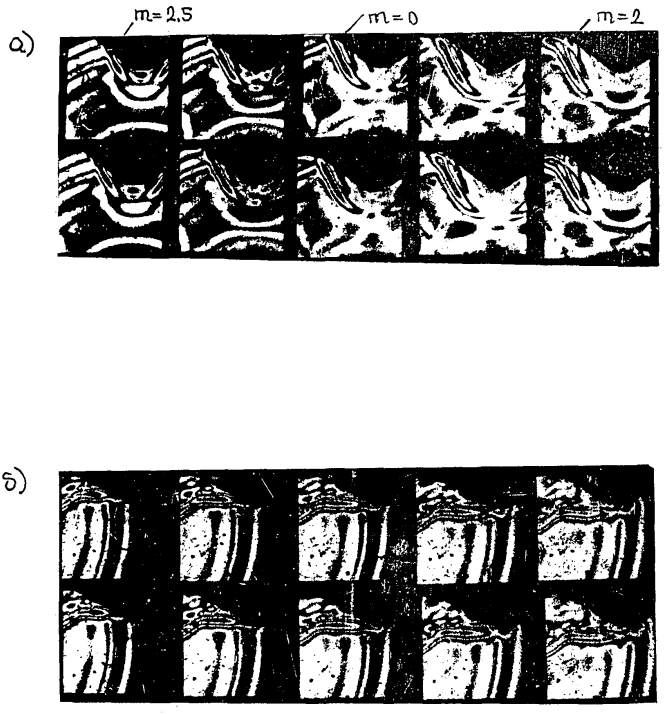


Рис.3.5. Фрагменты кинограмм картин полос $m(x,y,t)$ в модели 2 при взрыве зарядов $ВВ_2$ (а) и $ВВ_3$ (б)

3.I. Распределение волновых напряжений вдоль поверхности карьера в случае однородного массива

Поперечные разрезы карьера исследовались на геометрически подобных моделях I и 2 при трех положениях источника $ВВ_I$, $ВВ_2$ и $ВВ_3$.

Волновые процессы, наблюдаемые в модели 2, аналогичны процессам, происходящим в модели I при взрыве соответствующих зарядов. Однако изменение линейных размеров модели карьера относительно длины волны влияет на суммарную волновую картину, рис.3.5. Сопоставление экспериментальных данных, полученных на моделях I и 2, позволяет оценить степень влияния соотношения между размерами карьера и длиной падающей волны.

Кривые распределения максимальных контурных напряжений в модели I при трех положениях источника приведены на рис.3.6, для модели 2 на рис.3.7. Сравнение этих данных показывает, что при положении заряда в точке I ($ВВ_I$) напряженное состояние на поверхности карьера в обеих моделях практически не зависит от длины падающей волны. Уровень наибольших напряжений остается неизменным, амплитудные кривые выполаживаются в связи с увеличением длины поверхности борта.

При взрыве заряда $ВВ_2$ в модели 2 в бортах наблюдается некоторое (до 30%) увеличение максимальных значений напряжений по сравнению с моделью I. Причиной этого может быть уменьшение влияния угловых точек на среднюю часть бортов при увеличении относительной высоты карьера ($\frac{H_0}{\lambda_0} > \frac{H_1}{\lambda_0}$).

В модели 2 так же как в модели I наибольшие контурные напряжения возникают при взрыве заряда $ВВ_3$. Однако величина напряжений в модели с большими относительными размерами (модель 2) ниже, чем в модели I (табл.3.I), Причем, наиболее заметное

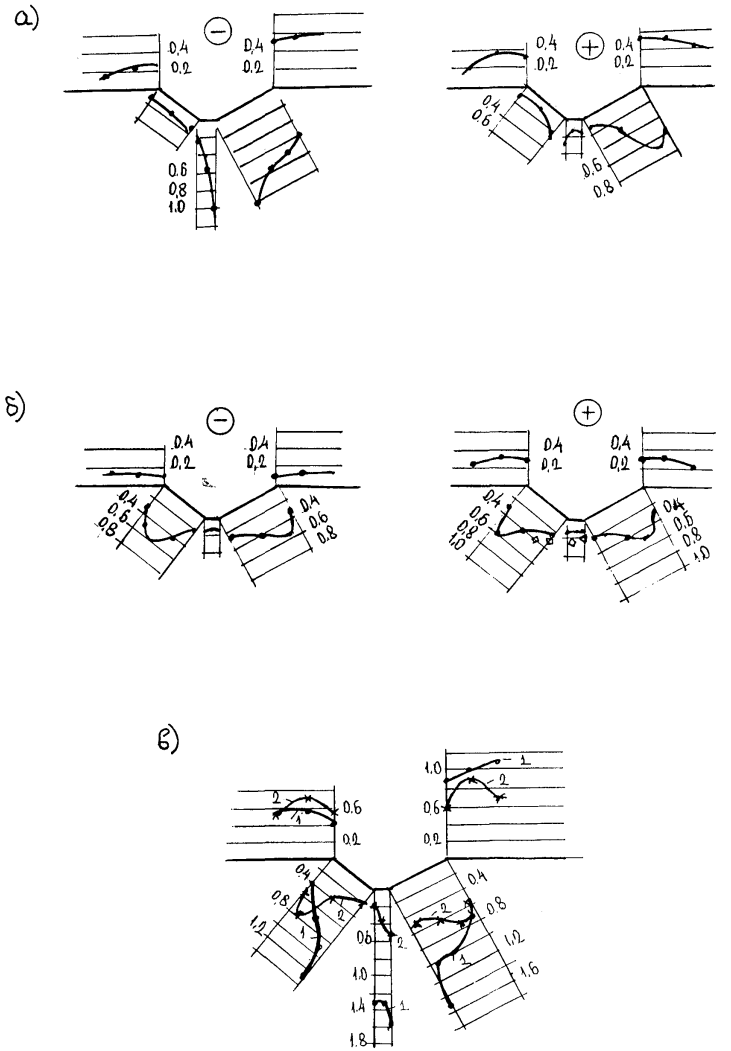


Рис.3.6. Эпюры максимальных контурных напряжений в модели I при положении источника энергии в точках I(а), 2(б), 3(в). ▫▫▫ - растягивающие напряжения в более поздние моменты времени.

I - сжатие, 2 - растяжение

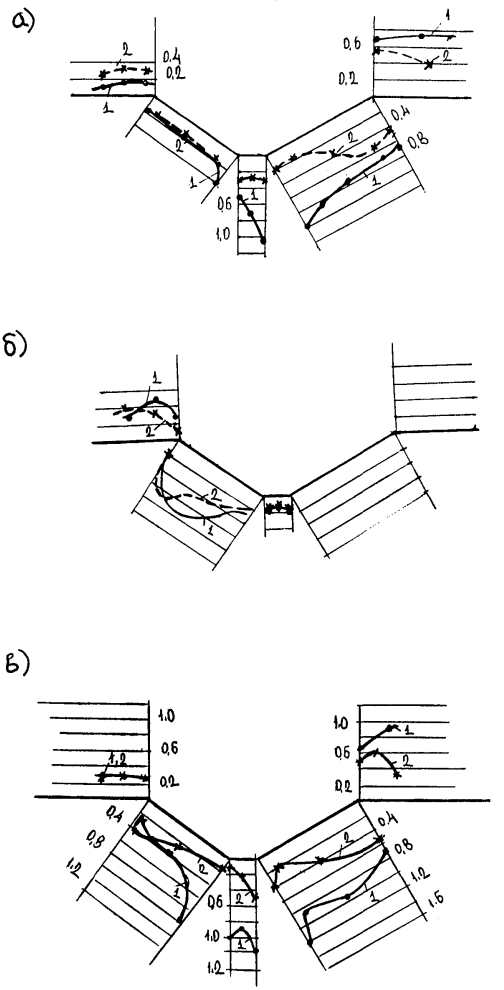
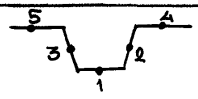


Рис.3.7. Эпюры максимальных натурных напряжений в модели 2 при положении источника энергии в точках I(а),2)б),3.

I. Сжимающие напряжения.
2. Растягивающие напряжения.

уменьшение напряжений произошло на поверхности дна и дальнего борта, напряженное состояние борта ближнего к ВВ ("освещенного" борта) практически не изменилось.

Таблица 3.I

	Контурные напряжения $\bar{\sigma}$				
	I	2	3	4	5
Модель I	I,3	I,0	0,7	I,0	0,6
Модель 2	0,9	0,9	0,4	0,9	0,3

Снижение напряжений $\bar{\sigma}_к$ на 30% на дне модели карьера при увеличении ширины дна от 0,25 λ_0 до 0,5 λ_0 в случае скользящего падения Р-волны вызвано, по-видимому, уменьшением взаимного влияния угловых точек. Падение уровня напряжений на 40% на теневом склоне модели 2 по сравнению с моделью I объясняется изменением характера дифрагированной волны, распространяющейся в теневой зоне на расстояниях $r_0 / \lambda_0 > (0,5\text{-}0,7)$ от угловой точки.

Следует отметить, что при взрыве $ВВ_3$ от дневной поверхности и "освещенного" борта отражается интенсивная поперечная волна (K_S = 0,6), вызывая во внутренних точках борта касательные напряжения, превышающие τ_{max} в падающей волне, например, в модели I - в I,5-I,7 раза.

Таким образом, сопоставление экспериментальных результатов на моделях I и 2, относительные линейные параметры которых отличаются в 2 раза, показало, что различие в величинах контурных напряжений в этих моделях наиболее заметны лишь при распространении волнового возмущения вдоль свободной поверхности (заряд $ВВ_3$). При взрыве зарядов $ВВ_I$ и $ВВ_2$ изменение линейных размеров модели по отношению к длине волны в указанных пределах существенного влияния не оказывает.

Модель 3 отличается от модели 2 шириной дна ($\ell_3 = 4\lambda_0$) и наличием на дне трапециевидного выступа высотой $h = 0{,}3\lambda_0$. Напряженное состояние этой модели изучалось при четырех положениях источника $ВВ_I$, $ВВ_2$, $ВВ_3$, $ВВ_4$, рис.3.2в.

Волновая картина в модели 3 усложняется по сравнению с моделями I,2, так как появляются дополнительные отражающие поверхности и угловые области.

На рис.3.8 и 3.9 представлены кривые распределения максимальных контурных напряжений $\bar{\sigma}_к$ в модели 3 при различном положении заряда.

Анализ этих данных показывает, что напряженное состояние бортов карьера в модели 3 практически не отличается от напряженного состояния бортов модели 2 при взрыве соответствующих зарядов.

Что касается трапециевидного выступа, расположенного на дне модели, то наибольшие напряжения на его контуре наблюдаются в нижней части ближней к заряду грани.

При взрыве зарядов $ВВ_I$, $ВВ_3$ и $ВВ_4$ величина максимума напряжений практически не меняется и равна $\bar{\sigma}_к = I{,}2$, амплитуды импульса растягивающих напряжений не превышают амплитуды сжимающих напряжений.

При расположении заряда в точке 2 ($ВВ_2$) амплитуда растягивающих напряжений является определяющей в формировании напряженного состояния на боковых гранях выступа, $\bar{\sigma}_к$ достигает 60% от номинальных, сжимающие напряжений не превышают $\bar{\sigma}_к = 0{,}4$.

На прямолинейных участках дна модели при взрыве зарядов $ВВ_I$, $ВВ_3$ и $ВВ_4$ наибольшие сжимающие и растягивающие напряжения возникают вблизи точек излома контура и достигают значений $\bar{\sigma}_к^{\ominus} = I{,}2$, $\bar{\sigma}_к^{\oplus} = 0{,}9$.

Наименьшие контурные напряжения на прямолинейных участках

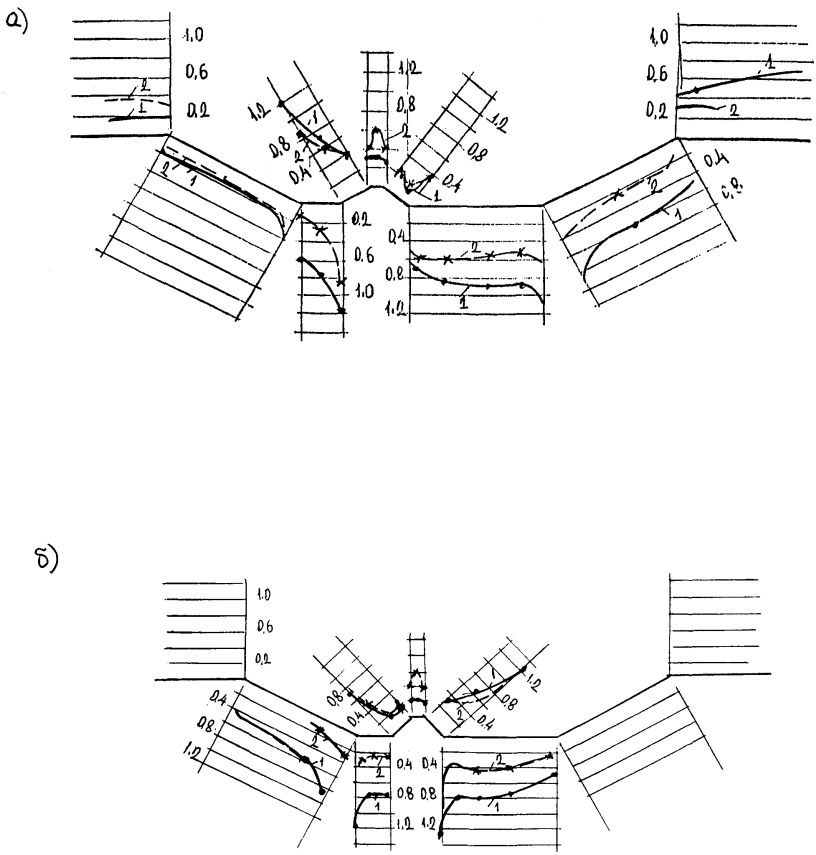


Рис.3.8. Эпюры максимальных контурных напряжений в модели 3 при положении источника энергии в точках I(а) и 4(б).

I. Сжимающие напряжения.
2. Растягивающие напряжения.

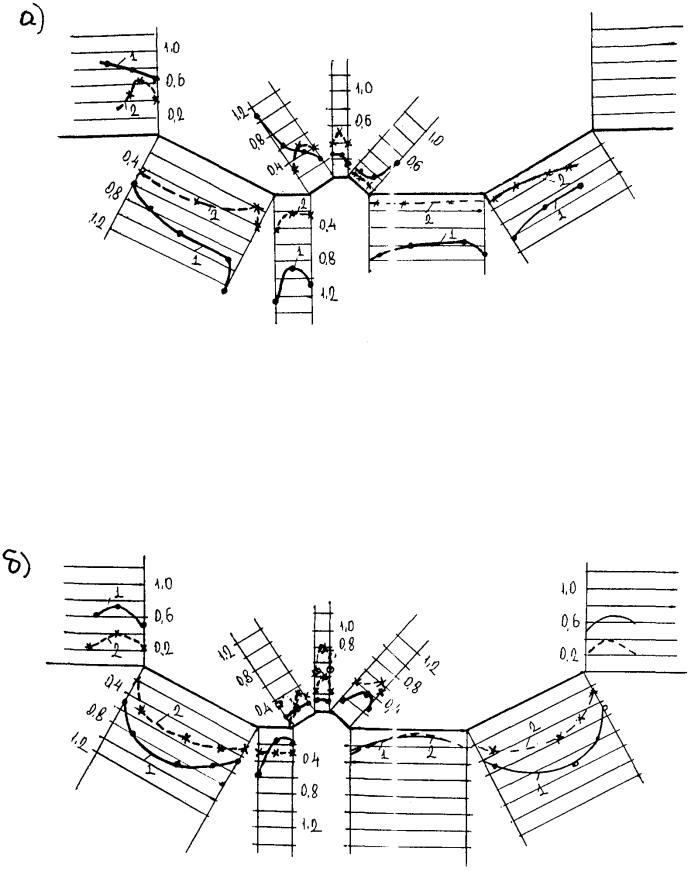


Рис.3.9. Эпюры максимальных контурных напряжений в модели 3 при положении источника энергии в точках 2(а) и 3(б). I. Сжимающие напряжения, 2.Растягивающие напряжения.

o – сжимающие напряжения, возникающие в более поздние моменты времени.

дна модели 3 возникают при взрыве заряда $ВВ_2$. Их величина не превышает 10-20% от номинальной и лишь в окрестности точки А увеличивается до $\bar{\sigma}_к = 0,5$.

3.2. Распределение волновых напряжений вдоль поверхности карьера при наличии слоев и трещин

Влияние разломов и трещин на напряженное состояние карьера при сейсмическом воздействии исследовалось на составной модели, схема которой представлена на рис.3.10.

Разломы I и II имитировались прослойками из материала с акустическими свойствами, отличными от акустических свойств материала модели. Соотношение акустических жесткостей прослойки и окружающей среды в модели соответствует аналогичному параметру для натурной среды, т.е. (ρa) разлома $(\rho a)_0 = 0,5$.

Для воспроизведения разломов III; IУ, У, которые по соотношению δ/λ могут моделироваться как трещины, модель разрезалась на части, а затем составлялась вновь по линиям разреза без склеивания. Произведенные ранее исследования /3/ показали, что в зоне контакта картины напряжений близко к случаю падения волны на свободную поверхность. Нормальная к границе контакта составляющая сжимающих напряжений передается из среды в среду, тангенциальная - отсутствует.

Разломы и трещины представляют собой препятствие на пути распространения волны, пропускающие через себя лишь часть волновой энергии. Часть энергии отражается, часть гасится. На рис.3.11 приведена фотограмма изменения во времени картины полос в сечении модели, проходящем через прослойку. Хорошо видно увеличение продолжительности прошедшего импульса за слоем по сравнению с падающим. Наблюдаются отраженные от слоя волны.

Анализ геометрии рассматриваемого разреза показывает,

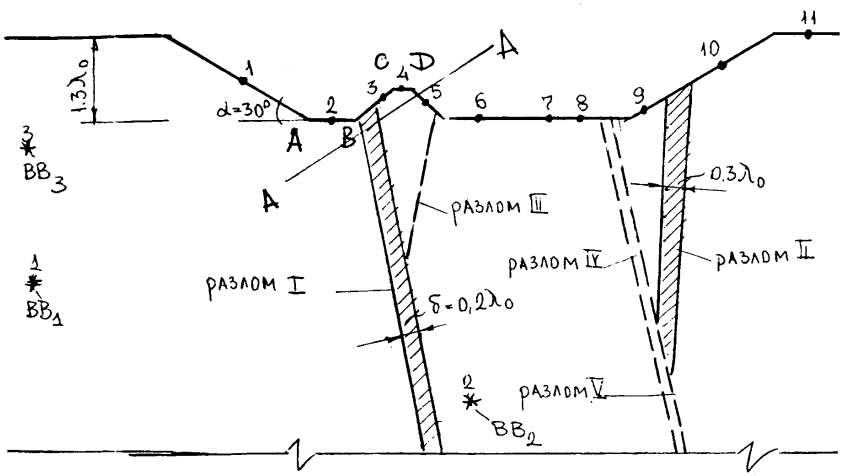


Рис.3.I0. Схема составной модели

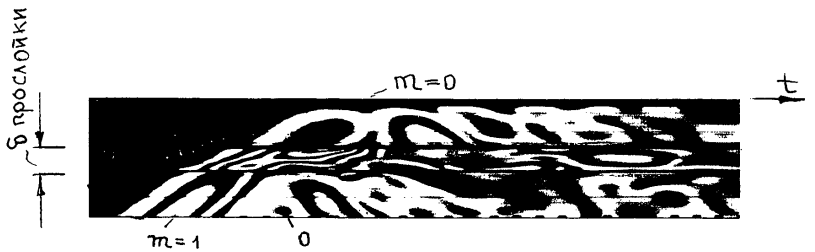


Рис.3.II. Фотограмма картин полос m (y,t) в сечении А–А составной модели, проходящем через прослойку.

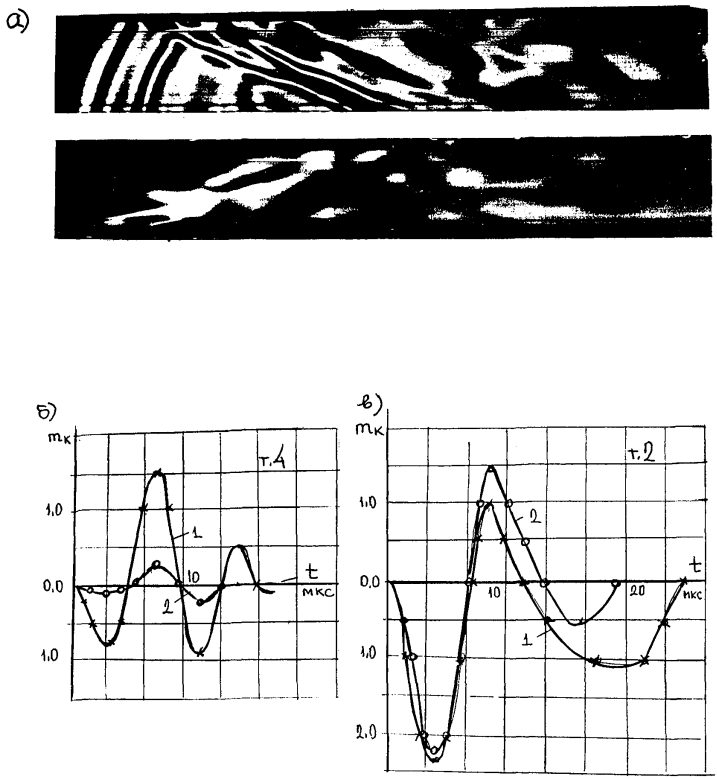


Рис.3.I2. Фотограммы картин полос $m(y,t)$ (а) и графики изменения контурных напряжений (б,в) в точках 2 и 4 моделей при взрыве заряда
I. Однородная модель. 2. Составная модель.

что различные участки контура в различной степени подвергаются влиянию разломов и трещин. Причем, в зависимости от направления распространения волны наличие неоднородности может ухудшить или улучшить (сыграть роль экрана) напряженное состояние одного и того же участка поверхности. На рис.3.I2 приведены фотограммы картин полос и построенные по ним импульсы контурных напряжений $\sigma_к(t)$, возникающие в центре горизонтальной поверхности выступа СД в центре участка дна АВ в однородной и составной моделях при распространении волны от источника I. Разлом I снижает как сжимающие, так и растягивающие напряжения на площадке СД выступа и увеличивает растягивающие напряжения на поверхности АВ.

В табл.3.2-3.5 приведены для сравнения величины максимальных контурных напряжений $\bar{\sigma}_к$ в характерных для каждого заряда точках составной и однородной моделей. Точки показаны на рис.3.I0.

Таблица 3.2.

Контурные напряжения	Модель $ВВ_I$	Номера точек					
		I	2	3	4	5	6
$\bar{\sigma}_к^{\ominus}$	Модель 3	0,I5	0,75	0,5	0,3	0,I	0,8
	Состав. модель	0,I5	0,75	0,I	0,I	0,2	0,25
$\bar{\sigma}_к^{\oplus}$	Модель 3	0,I5	0,3	0,5	0,6	0,2	0,65
	Состав. модель	0,3	0,45	0,2	0,I	0,2	0,25

Из таблицы хорошо видно, что при всех рассмотренных положениях зарядов напряжения в отмеченных точках контура трапециевидного выступа в составной модели в целом ниже, чем в однородной. Исключение составляет склон ДЕ, на котором при взрыве

Таблица 3.3.

Контурные напряжения	Модель BB_2	Номера точек			
		4	7	8	9
$\bar{\sigma}_к^{\ominus}$	модель 3	0,I5	0,I	0,2	0,7
	составн. модель	0,I5	0,3	0,2	0,3
$\bar{\sigma}_к^{\oplus}$	модель 3	0,4	0,I	0,2	0,4
	составн. модель	0,I	0,25	0,4	0,2

Таблица 3.4.

Контурные напряжения	Модель BB_3	Номера точек					
		I	2	3	4	5	6
$\bar{\sigma}_к^{\ominus}$	модель 3	0,9	0,85	0,4	0,I5	0,I5	0,6
	составн. модель	0,9	0,85	0,I2	0,I5	0,3	0,3
$\bar{\sigma}_к^{\oplus}$	модель 3	0,5	0,25	0,5	0,5	0,I5	0,I5
	составн. модель	0,5	0,5	0,I	0,I5	0,3	0,I5

Таблица 3.5

Контурные напряжения	Модель BB_4	Номера точек				
		4	7	9	I0	II
$\bar{\sigma}_к^{\ominus}$	модель 3	0,22	0,7	0,2	0,2	0,2
	составн. модель	0,22	0,35	0,6	0,5	0,2
$\bar{\sigma}_к^{\oplus}$	модель 3	0,6	0,35	0,2	0,2	0,35
	составн. модель	0,4	0,2	0,4	0,6	0,6

зарядов $ВВ_I$ и $ВВ_2$ в составной модели возникают напряжения, до двух раз превышающие напряжения в однородной модели. Однако абсолютные их величины невелики.

При распространении волны от зарядов $ВВ_I$ и $ВВ_3$ в составной модели наблюдается увеличение растягивающих напряжений в точках поверхности карьера, лежащего перед разломом I. За разломами I и П контурные напряжения ниже, чем в однородной модели.

При взрыве заряда $ВВ_2$ величины напряжений на всей поверхности карьера ниже или не превышают величины контурных напряжений в однородной модели, за исключением дна E F . Дно E F подвергается воздействию волн, отраженных от поверхности разломов и трещин, что приводит к возрастанию напряжений. Случай расположения заряда в точке 4 отличается от предыдущих наибольшим увеличением (до 4-х рах) как сжимающих, так и растягивающих контурных напряжений в ближнем к $ВВ_4$ борту и на ближней дневной поверхности. Ухудшение напряженного состояния на этом участке поверхности карьера в составной модели по сравнению с однородной связано с появлением дополнительных угловых областей и отражающих поверхностей, генерирующих дифрагированные и отраженные волны.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предлагается использовать метод динамической фотоупругости для изучения вопросов, связанных с сейсмическим микрорайонированием площадки строительства.

Излагается методика исследований и показывается как результаты, получаемые на моделях, использовать для определения данных в натуре.

Правомерность применения метода динамической фотоупругости к вопросам сейсмического микрорайонирования была подтверждена при исследованиях створа Андижанской плотины, при которых модельные данные и натурные данные сейсмического микрорайонирования, проведенные Институтом геологии и геодезики АН Уз.ССР, хорошо согласовались между собой /7/.

В настоящей работе на примере изучения напряженного состояния бортов и дна карьера, создаваемого волновым воздействием, показано, как направление сейсмического воздействия и геологическое строение массива влияют на балльность различных участков карьера.

Так, в случае однородного массива (модель I при источнике в т.3 величина относительных напряжений $\bar{\sigma}_к$ в центре борта $\bar{\sigma}_к = I{,}0$, а при источнике в т.2 $\bar{\sigma}_к = 0{,}5$, т.е. величина $\bar{\sigma}_к$ меняется вдвое, и, соответственно (выражение 2.I4) вдвое меняется величина ускорения.

При одном и том же направлении воздействия (источник в т.3) различие в величине $\bar{\sigma}_к$ в левом и правом борту карьера также отличается в два раза (модель 2, табл.3.I), т.е. практически на балл.

Неоднородность в скальном массиве в виде разломов и трещин в значительной степени влияют на распределение напряжений и, соответственно, на значение $\bar{\sigma}_к$ в приповерхностной зоне карьера.

Общим для всех рассмотренных случаев расположения источника возмущения является увеличение значений $\bar{\sigma}_к$ по сравнению с однородным массивом на участках поверхности, подвергающихся воздействию волн, отраженных от разломов и трещин, и волн, дифрагированных на дополнительных угловых областях.

Так при источнике в т.3 относительные напряжения $\bar{\sigma}_к$ на участке дня E F увеличиваются в 2-3 раза.

На поверхности карьера, лежащей за разломами и подвергающейся воздействию лишь преломленных волн, значения $\bar{\sigma}_к$ не выше, чем в случае однородного массива.

Таким образом, модельные исследования сейсмонапряженного состояния борта и дна карьера позволили прогнозировать изменение балльности на его участках и более обосновано и в меньшем объеме проводить исследования в натурных условиях.

В представленной работе сейсмическое воздействие моделировалось в виде простого землетрясения. В настоящее время в Институте экспериментальной механики Московского государственного строительного университета разрабатывается методика исследования методом динамической фотоупругости напряженного состояния среды и сооружения в случае, когда сейсмическое воздействие моделируется в виде реальной или синтетической акселерограммы и велосиграммы. В связи с этим представляется целесообразным продолжить исследования по применению метода динамической фотоупругости к изучению вопросов сейсмического микрорайонирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

I. Медведев С.В., Карапетян Б.К., Быковский В.А. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. Изд-во литературы по стр-ву. М., I968.

2. Назаров А.Г. Перспективы развития методов исследования на моделях для решения задач инженерной сейсмологии. Сб. "Моделирование строительных конструкций на сейсмическое воздействие". Изд-во АН Арм.ССР, Ереван, I968.

3. Метод фотоупругости. Под ред. Стрельчука Н.А., Хесина Г.Л. т.2, Стройиздат, I975.

4. Назаров А.Г. О механическом подобии твердых деформируемых тел. Ереван. Изд-во АН Арм.ССР, I965.

5. Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений. П I7-85. ВНИИГ, Л., I986.

6. Двалишвили В.В., Затеев В.Б. и др. Исследование динамического напряженного состояния подземных сооружений методом фотоупругости. Материалы УШ Всесоюзн.конференции по методу фотоупругости. т.3, Таллин, I979.

7. Стрельчук Н.А., Хесин Г.Л. и др. Изучение на моделях методом динамической фотоупругости влияния рельефа местности и строения верхней части разреза основания на микросейсморайонирование. М., 1978.

gost.e-ecolog.ru