

РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУТЕМ НА МОДЕЛЯХ

Для выявления и сравнения неблагоприятных грунтовых условий в целях сейсмического микрорайонирования в последнее время широкое применение находят способы прямой регистрации элементов реальных землетрясений (смещения, скорости или ускорения колебаний грунтов) густой сетью автоматических сейсмостанций. Однако эти способы, особенно в районах с незначительной повторяемостью сильных землетрясений, требуют больших затрат времени для получения предварительного количественного материала.

В последнее время развиваются так же косвенные приемы сейсмического микрорайонирования [1], такие, как: метод сейсмических жесткостей, высокочастотных микросейсм, сейсмологических аналогий и т. п.

Наряду с перечисленными примерами в практику сейсмического микрорайонирования стал входить способ изучения динамических свойств грунтов по сравнению колебаний, возбуждаемых горными взрывами.

Сущность нового метода сейсмического микрорайонирования, предложенного А. Г. Назаровым [2], заключается в следующем. В опорных пунктах сейсмической карты должны быть указаны так называемые опорные наборы вероятных акселерограмм и отвечающих им спектров в соответствии с сеймотектоническими и другими данными. При сейсмическом микрорайонировании наборы акселерограмм для данного пункта получаются путем преобразования спорных акселерограмм в соответствии с локальными геологическими условиями. Имея набор акселерограмм на основе сейсмического микрорайонирования, надлежит осуществлять расчет сооружений на сейсмостойкость на основе стохастической теории, с учетом упруго-пластических деформаций [3].

Все изложенные приемы сейсмического микрорайонирования, несмотря на различие методик, требуют богатого инструментального материала о землетрясениях данного населенного пункта и, следовательно, больших затрат времени.

В связи с этим весьма полезными и удобными могут оказаться экспериментальные лабораторные исследования задач микросейсморайонирования.

Наличие теории механического подобия твердых деформируемых тел [4] позволяет исследовать волновое сейсмическое поле территории изучаемого района при помощи метода моделирования.

Основная трудность осуществления модельных исследований заключается в выборе модельного материала.

Территория, подлежащая сейсмическому микрорайонированию, обычно охватывает площадь не менее 5 кв. км, в то время как модель в лабораторных условиях можно осуществить в пределах лишь нескольких метров. Исходя из этого, согласно условиям подобия [4], материал модели грунтовых напластований получается весьма мягким, обладающим модулем упругости порядка $10-20 \text{ кг/см}^2$. В таких мягких низкомодульных материалах невозможно изучать вопросы возникновения трещин и оползневые явления.

Однако при точном воспроизведении рельефа местности путем моделирования геологических особенностей территории можно изучать

характер распространения сейсмических волн по исследуемому участку с указанием конкретных кинематических параметров в отдельных характерных точках, то есть решать некоторые вопросы сейсмомикро-районирования. В частности, модельными исследованиями можно изучать влияние рельефа местности на распространение волн.

В настоящей статье в качестве примера приведены исследования влияния рельефа на кинематические параметры сейсмической волны для территории Кироваканского района, проведенные в лаборатории моделирования ИГИС АН Армянской ССР.

Размеры исследуемого региона в натуре составляли $7,25 \times 11,7$ км. Для удобства изготовления модели в лабораторных условиях масштабный множитель был принят равным: $\alpha = 1/5000$. Исходя из этого размеры в плане получились равными 145×234 см. При проектировании модели грунтовых напластований территории Кироваканского района нами, в первом приближении, был взят слой грунта мощностью 1500 м. Исходя из этого толщина модели получилась равной 30 см.

Необходимой предпосылкой для расчета и проектирования модели грунтовых напластований территории Кироваканского района является наличие достаточно полных сведений о механических свойствах ее грунтов. С точки зрения моделирования, наибольший интерес представляют следующие характеристики грунтов, подлежащие определению: C —скорость распространения в грунте сейсмических волн; E —модуль упругости; Δ —объемный вес; μ —коэффициент Пуассона.

В нашем распоряжении были керны скважин, заложенных в территории Кироваканского района разными организациями. Для исследования вышеперечисленных параметров в полевых условиях использовался ультразвуковой аппарат УКБ-1М.

С целью контроля над полевыми измерениями были испытаны контрольные образцы в лабораторных условиях на гидравлическом прессе МУП-50.

Результаты полевых и экспериментальных наблюдений подверглись статистической обработке. Выделенные средние значения исследуемых параметров для всей статистической выборки в целом сведены в табл. 1.

В качестве модельного нами был принят низко модульный материал на базе вальцмассы. Вальцмасса представляет собой смесь желатина, глицерина и воды в следующем процентном отношении: желатин—51,6%; глицерин—40,4%; вода—8,0%.

Выбор для нашей модели именно такого материала продиктован рядом преимуществ его по сравнению с другими.

1. Вальцмасса легко поддается механической обработке, благодаря этому значительно упрощается технология изготовления модели.

2. При помощи добавок из пористых материалов можно в некоторых пределах регулировать величины объемного веса и коэффициента Пуассона для материала модели (для этих целей мы применяли, в качестве заполнителя, аниискую пензу) [5]. Это обстоятельство наиболее веское, так как при моделировании динамических процессов существенное значение имеет равенство коэффициентов Пуассона материалов модели и оригинала.

3. При помощи смесителей глицерина и воды можно регулировать деформативные свойства вальцмассы. Так как сейсмические волны, в нашем эксперименте, возбуждались при помощи микровзрывов, то одной из основных проблем в нашем случае являлась пригодность выбранного нами низко модульного материала для восприятия взрывных волн.

Для подробного изучения этого вопроса модельным исследованием предшествовала серия испытаний образцов из низко модульного материала. Из смеси вальцмассы, состава предусмотренного для изготовления модели грунта, были изготовлены образцы размером $100 \times 20 \times 20$ см. С торцевой стороны от испытываемого образца на полную длину в вальцмассу устанавливались электродетонаторы.

При их взрыве производилось фиксирование возбужденной бегущей волны при помощи датчиков смещения, установленных по длине образца в 4 точках. Во избежание краевого эффекта при распространении взрывных волн образцы подвешивались на длинных нитях к неподвижной раме. Это обстоятельство исключало влияние собственных частот самого образца на характер распространения бегущей волны, так как период колебаний всей системы получается достаточно большой.

Из полученных сейсмограмм (рис. 1) вычислялась скорость распространения взрывной волны сжатия в модельном материале по разностям вступления фаз. Подсчеты показали, что выбранный материал вполне приемлем для наших целей (см. табл. 1, графа 2).

Определение физико-механических свойств модельного материала так же производилось в лабораторных условиях при помощи испытания призматических образцов разных размеров.

В результате проведения определенных исследований в качестве модельного материала мы использовали смесь следующего состава: вальцмасса—1; глицерин—0,15; вода—0,05; заполнитель—0,4. Основные физико-механические характеристики выбранного модельного материала так же сведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики материалов модели и оригинала

Тип материала	Скорость распространения сейсмических волн C в м/сек	Динамический модуль упругости E в кг/см ²	Объемный вес Δ в г/см ³	Коэффициент Пуассона μ
Величины параметров для усредненного слоя базальтовых пород территории Кироваканского района	3040,0	$1,85 \cdot 10^5$	2,30	0,30
Величины параметров для модельного материала на базе вальцмассы	32,0	10,8	1,20	0,30

На основе теории расширенного подобия при моделировании динамических процессов на естественном гравитационном поле [4] имеем следующие зависимости:

$$\text{для напряжений } \sigma' = \beta \cdot \sigma;$$

$$\text{для деформаций } \epsilon' = \gamma \cdot \epsilon;$$

$$\text{для плотностей } \rho' = \delta \cdot \rho;$$

$$\text{для времени } T' = \xi \cdot T;$$

$$\text{для модулей упругости } E' = \frac{\beta}{\gamma} E;$$

для перемещений $u' = \alpha \cdot \gamma \cdot u$;

для ускорений $w' = w$;

для скоростей распространения сейсмических волн

$$C' = \sqrt{\frac{\alpha}{\gamma}} \cdot C.$$

Здесь α —масштабный множитель; β —множитель подобия для напряжений; δ —множитель подобия для плотности; γ —множитель подобия для относительных деформаций; ξ —множитель подобия для времени. Между коэффициентами подобия существуют следующие зависимости;

$$\beta = \alpha \cdot \delta;$$

$$\xi = \sqrt{\alpha \cdot \gamma}.$$

Пользуясь вышеприведенными зависимостями и принимая $\alpha = 1/5000$ для множителей подобия, получаем следующие величины: для напряжений— $\beta = 0,000104$; для деформаций— $\gamma = 1,80$; для плотностей— $\delta = 0,52$; для времени— $\xi = 0,019$.

Изготовление модели грунтовых напластований территорий Кировского района в лабораторных условиях велось по особой технологии, разработанной в отделе моделирования института и позволяющей с определенной точностью воспроизвести рельеф местности.

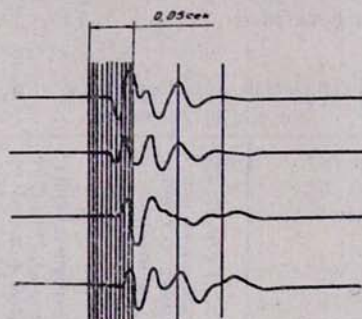


Рис. 1. Сейсмограммы распространения взрывных волн в образце из вальцмассы

Для генерирования сейсмической волны в низкоимпедансных материалах, как уже отмечалось, мы считали целесообразным применить метод микровзрывных воздействий.

Данный выбор оправдан тем, что характерной чертой большинства источников сейсмических волн является выделение значительной энергии за сравнительно короткий промежуток времени, что, как правило, приводит к упругим воздействиям, близким к одиночному выбору.

Для реализации микровзрыва пользовались электродетонаторами мгновенного действия (5 шт.), расположенными по одной линии в торце модели (см. рис. 2). Благодаря такому расположению электродетонаторов обеспечивался плоский фронт наступающей сейсмической волны.

Взрыв электродетонаторов производился от сети переменного тока через одну-две секунды после включения кассеты осциллографа. Это обстоятельство позволяло избежать записи всякого рода паразитических колебаний, что очень важно для обеспечения чистоты эксперимента.

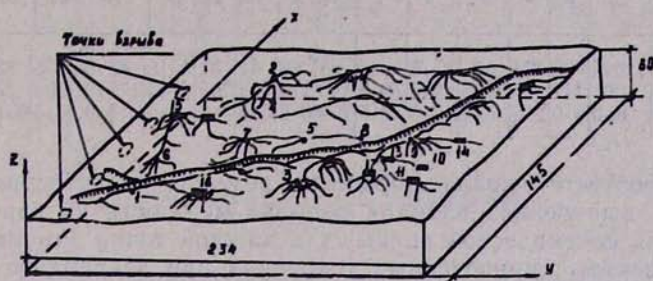


Рис. 2. Схема расположения датчиков на модели грунтовых напластований территории Кироваканского района.
 ● датчики ускорения; — датчики смещения; ○ точки взрыва

Как известно [6, 7], вызванные взрывной волной напряжения сжатия на некотором расстоянии от центра заряда становятся меньше сопротивления материала сжатию и энергия взрыва за пределами зоны пластической деформации распространяется в данной среде в виде двух упругих волн—продольной и поперечной.

В этом случае скорость распространения взрывных волн определяется упругими свойствами и плотностью материала среды и на относительно большом расстоянии от центра заряда не зависит от его величины. Наибольшее напряжение, как известно, вызывается продольной волной, скорость распространения которой значительно больше скорости распространения поперечной волны.

Исходя из сказанного, размеры модели приняты достаточно большими, а измерения в ближней зоне взрыва не производились.

Так как целью данных экспериментальных исследований являлось именно изучение влияния рельефа на кинематические параметры продольных упругих волн, испытания проводились в два этапа:

а) испытание модели основания грунтовых напластований в виде плоского настила с размерами 234×145 см в плане;

б) испытание модели грунтовых напластований, соответствующих рельефу территории Кироваканского района, совместно с основанием.

Для измерения смещений и ускорений грунта в характерных точках модели были установлены специальные датчики ускорения и смещения. Всего были произведены измерения в 18 точках, из них в 9 точках—смещение и в 9-ти ускорение.

Влияние рельефа устанавливалось путем сравнения результатов измерений величин смещений и ускорений характерных точек территории как при наличии рельефа, так и без него.

Общий вид модели и места расположения электродетонаторов мгновенного действия показаны на рис. 2, а схема расположения датчиков приведена в табл. 2.

Ввиду большой вязкости модельного материала, на модели не возникали трещины. Это обстоятельство дало возможность многократно повторять эксперимент с целью статистического уточнения полученных результатов.

Таблица 2

Координаты расположения датчиков

№ п п координат	Датчики ускорения									Датчики смещения								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X см	25	116,5	26	101	68	47,5	68	68	68	47	31	43,5	45,5	68	88	86	30	22,5
Y см	41,5	60	141	67	11,5	41,5	79,5	146	176	199	203	144	177,5	203	23	41	176	82
Z—30 см	0,0	6,0	9,0	2,5	3,0	2,5	2,5	1,0	0,5	0,5	7,0	2,5	3,0	3,5	3,0	3,0	1,5	1,0

После соответствующей обработки результатов эксперимента, для наглядного выявления влияния рельефа местности на характер распространения сейсмической волны, для каждой точки замера были построены спектры приведенных ускорений при декременте затухания $\delta=0,5$ и спектры Фурье для ускорений, как при наличии рельефа, так и без него.

Некоторые кривые спектров приведенных сейсмических ускорений для наиболее характерных точек приведены на рис. 3. Значения максимальных смещений точек замера как при наличии рельефа, так и при его отсутствии для наглядности сведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения максимальных смещений

№ датчиков п/п	Относительные отметки в м	Смещения в модели u' в м.м		Смещения в натуре $u=u'/\alpha\gamma$ в м.м	
		с учетом рельефа	без учета рельефа	с учетом рельефа	без учета рельефа
10	2,5	0,000660	0,000930	1,84	2,58
11	350	0,001900	0,000920	5,36	2,55
12	425	0,002500	0,000990	6,85	2,74
13	150	0,001020	0,000933	2,82	2,61
14	175	0,001590	0,000911	4,43	2,53
15	150	0,001235	0,001123	3,43	3,12
16	150	0,001112	0,001062	3,09	2,95
17	75	0,000860	0,000965	2,39	2,68
18	50	0,000893	0,001004	2,48	2,79

Из анализа полученных экспериментальных данных выясняется, что не всегда наличие рельефа увеличивает кинематические параметры колебаний точек.

Как видно из рис. 3 (кривая № 6), при увеличении периодов колебаний, начиная со значения $T=0,3$ сек, наличие рельефа уменьшает величины приведенных ускорений, т. е. в некоторой степени погашает колебания. При рассмотрении кривой № 7 видно, что погашение колебаний рельефом имеет место при значениях $T=0,2 \div 0,3$ сек.

Из данных табл. 3 выясняется, что влияние рельефа увеличивает величины смещений только при наличии резко выраженной возвышенности, т. е. большого перепада высот. В остальных же случаях рельеф частично погашает колебания. Однако это обстоятельство нельзя принимать за закономерность, потому что в случае рассмотрения возвышенности как отдельного блока, имеющего свои динамические характеристики, повышение кинематических параметров колебания грунта может наблюдаться только в том случае, если преобладающий период

подошедшей сейсмической волны по своей величине близок или совпадает (что может случиться крайне редко) с величинами периодов собственных колебаний указанного блока.

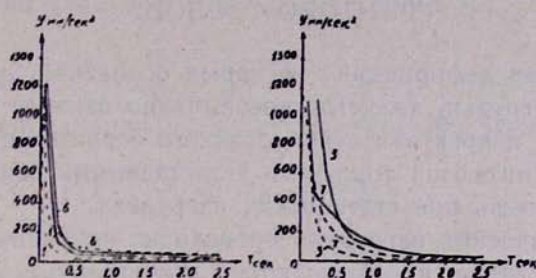


Рис. 3. Кривые приведенных сейсмических ускорений (номера кривых соответствуют номерам датчиков).

—— при наличии рельефа;
 --- без наличия рельефа

Отсюда следует, что данные, полученные при лабораторных исследованиях, необходимо анализировать, учитывая геологическое и тектоническое строение грунтов изучаемой местности.

Резюмируя все вышеизложенное, можно утверждать, что результаты, полученные при экспериментальном методе изучения сейсмического волнового поля с помощью моделирования, в комплексе с другими методами, могут успешно способствовать уточнению приращения сейсмической балльности территории, подлежащей микрорайонированию.

ИГИС АН Армянской ССР

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г., Антоненко Э. М., Кац А. З. и др. К проблеме сейсмического микрорайонирования. Бюллетень по инженерной сейсмологии, № 7, 1972.
2. Назаров А. Г., Дарбинян С. С. Основы качественного определения интенсивности сильных землетрясений. Изд. АН АрмССР, 1974.
3. Назаров А. Г., Амасян Р. О., Дарбинян С. С. Стохастический анализ поведения сооружений при землетрясениях с учетом упруго-пластических деформаций. АН АрмССР, т. XVII, № 5, 1968.
4. Назаров А. Г. О механическом подобии твердых деформируемых тел. Изд. АН АрмССР, 1965.
5. Амасян Р. О. Подбор низко модульного материала с низким коэффициентом Пуассона для целей моделирования, «Моделирование строительных конструкций на сейсмические воздействия». Изд. АН АрмССР, 1968.
6. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН АрмССР, 1959.
7. Касинурев Д. М. Использование энергии взрыва в строительстве. Стройиздат, 1973.