

logical conditions, the intervals between buildings and their location, the direction of seismic waves arrival, their intensity and frequency characteristics.

It is suggested to use the obtained results during seismic micro-zoning of towns.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетян Б. К., Маркарян А. Б. Теоретическое исследование взаимодействия сооружений и грунтов их оснований при землетрясениях. В кн.: Исследования по сейсмостойкости сооружений. Ереван: ЕрПИ, 1984, с. 3—15.
2. Карапетян Б. К., Маркарян А. Б. О возможности изучения взаимодействия зданий и их оснований при обследовании сильных землетрясений.—В кн.: Инженерные проблемы строительной механики. Ереван: ЕрПИ, 1985, с. 89—94.
3. Карапетян Б. К., Симосян С. С. Результаты исследования взаимодействия между основанием и фундаментом зданий в натуре при сейсмических колебаниях.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1973, № 2, с. 60—66.
4. Маркарян А. Б. Исследование взаимодействия зданий между собой и с грунтами их оснований в натуре при сейсмических воздействиях.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1984, № 1, с. 74—79.
5. Маркарян А. Б. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия сооружений и грунтов их оснований на модулях. В кн.: Исследования по сейсмостойкости сооружений. Ереван: ЕрПИ, 1984, с. 16—22.
6. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства.—В кн.: Научно-технический отчет ВНИИИС Госстроя СССР. М., Изд. лит. по строительству, 1982, 83 с.
7. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию. М., Изд. лит. по строительству, 1971, 61 с.
8. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию, РСМ-73.—В кн.: Вопросы инженерной сейсмологии. М., Наука, 1973, вып. 15, с. 5—43.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1986, XXXIX, № 5, 62—67.

УДК:550.343.4.038

С. А. ПИРУЗЯН, А. А. ОВСЕПЯН, Д. С. ГРИГОРЯН, А. М. ХАЧЯН

### О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЙСМОГРАММ С ЦЕЛЮ РАСЧЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕКТРОВ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ гор. ЕРЕВАНА

В работе изложен расчетный способ определения инженерной меры интенсивности землетрясений—спектра приведенных сейсмических ускорений ( $T^2 a$ ) на современных ЭВМ на основе использования сейсмограмм землетрясений, принципиальная возможность которого указана в работе [1]. Это все создает предпосылки составления карты сейсмического микрорайонирования территории гор. Еревана на инструментальной основе, а также открывает перспективы решения многих задач инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

Сейсмическое микрорайонирование (СМР) является завершающим этапом исследований в проблеме прогнозной оценки интенсивности землетрясения для данной строительной площадки. Согласно действующим нормативным документам по сейсмостойкому строительству [16], уточнения сейсмичности пункта строительства производится на основе карт СМР территорий городов, поселков и промышленно-энергетических объектов.

Задачей СМР является уточнение интенсивности землетрясения, заданной картой общего сейсмического районирования для рассматриваемой строительной площадки или инженерно-геологической зоны, охватывающей данную площадку, в зависимости от ее локальных условий (характеристика грунтов, мощность слоя, уровень грунтовых вод, рельеф).

Составление карт СМР требует выполнения довольно большого и многопрофильного комплекса геолого-геофизических и инженерно-сейсмологических исследований. На деталях методики этих исследований мы здесь не будем останавливаться. Они в значительной части освещены в литературе [6—8, 12—15]. Остановимся лишь на некото-

рых моментах, касающихся обоснования возможности использования результатов наиболее доступных инструментальных сейсмологических наблюдений, а именно—сейсмограмм землетрясений для решения вышеуказанной задачи СМР.

Для сравнения сейсмической интенсивности в различных точках районизируемой территории по отношению к опорной точке, являющейся носителем исходной сейсмической балльности [10, 12], нужно выработать меру этой интенсивности.

За меру интенсивности землетрясения в заданной точке в принципе возможно принимать ускорения колебания почвы, получаемые из акселерограмм, или в случае отсутствия таковых, смещения почвы, получаемые из сейсмограмм. Однако опыт работы показывает, что чрезвычайно трудно осуществить сопоставление сейсмограмм или акселерограмм, полученных в различных пунктах, для внесения суждения об относительных значениях интенсивности землетрясений в них [6—8]. Что же касается использования пиковых значений ускорений или смещений вместе с соответствующим периодом колебания почвы, то они характеризуют в достаточной степени лишь энергетический уровень землетрясений (например, магнитуду), но мало что говорят о сейсмическом эффекте в данной точке, т. е. об интенсивности землетрясения с инженерной точки зрения. А ведь карты СМР обязаны выдать информацию именно с этих позиций, в сущности своей близкую к единицам баллов сейсмической шкалы, принятой в строительных нормах [6, 8, 10, 13].

Поэтому возникает потребность в получении более упрощенной характеристики меры сейсмической интенсивности, если даже это будет сопровождаться частичной потерей информации. С этой точки зрения представляют большую ценность инженерные спектры—спектры действия [5] и спектры приведенных ускорений [7]. Поскольку современные методы расчета сооружений основаны на применении спектров приведенных сейсмических ускорений  $\tau(T, \alpha)$ , то естественно эти спектры принимать за меру сейсмической интенсивности [6—8, 12, 17].

Опыт работы со спектрами  $\tau(T, \alpha)$  при решении задач СМР показал их большое преимущество, так как появляется возможность дифференцированного сопоставления интенсивности землетрясения в различных грунтовых и геоморфологических условиях в зависимости от основных периодов свободных колебаний сооружений, а также декрементов затухания. А это имеет первостепенное значение для оценки поведения сооружений при сильных землетрясениях и, конечно, весьма ценно для проектировщиков сооружений и градостроителей. Здесь мы не останавливаемся на способах получения и сопоставления спектров приведенных сейсмических ускорений в зависимости от локальных условий. Они освещены в литературе достаточно подробно [6—8, 15].

Следует подчеркнуть, что спектр  $\tau(T, \alpha)$ , принятый, как было указано выше, в основу расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость, не только имеет простой физический смысл, но и весьма удобен для практического применения при изучении сейсмического события. Спектр  $\tau(T, \alpha)$  является функцией только положительного аргумента (ординаты на графике всегда положительны) и поэтому наглядно показывает динамические особенности рассматриваемого землетрясения посредством фиксации уровня сейсмического воздействия на простейшие модели сооружений (линейные осцилляторы).

Известны традиционно установившиеся способы определения спектров  $\tau(T, \alpha)$  путем регистрации землетрясения многомаятниковыми сейсмометрами типа АИС или расчетным путем на основе акселерограмм землетрясений [2, 3, 7, 17].

Были также попытки расчетов спектров  $\tau(T, \alpha)$  на основе сейсмограмм землетрясений путем предварительного численного двукратного ее дифференцирования. Однако такая операция, особенно при высокочастотных колебаниях, неизбежно приводит к существенным погрешностям, способным резко исказить характеристики искомой функции [6, 7].

В работе [11] показана принципиальная возможность использования сейсмограмм землетрясений для построения спектров  $\tau(T, \alpha)$  или его модификаций, минуя операцию двукратного численного дифференцирования функции перемещения почвы.

В этой работе путем известных математических преобразований из дифференциального уравнения движения линейного осциллятора получено эквивалентное уравнение движения, выраженное через смещение почвы

$$U(t) + \frac{2\pi\alpha}{T} \int_0^t U(\xi) d\xi + \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \int_0^t (t-\xi)U'(\xi)d\xi = -U_0(t) \quad (1)$$

или как в работе [9]

$$U(t) + \int_0^t K(t, \xi) U(\xi) d\xi = -U_0(t), \quad (1')$$

где

$$K(t, \xi) = \frac{2\pi}{T} \left[ \alpha + \frac{2\pi}{T} (t-\xi) \right] \quad (2)$$

Уравнения (1) и (1') являются интегральными уравнениями второго рода типа Вольтерра с ядром вида (2).

Это уравнение с непрерывным ядром  $K(t, \xi)$  и известной правой частью  $U_0(t)$  имеет единственное непрерывное решение  $U(t)$ . Существование единственного решения уравнения (1) следует из существования и единственности решения задачи Коши для линейного дифференциального уравнения в окрестностях точки  $t=0$ .

Для численного решения уравнения Вольтерра второго рода на ЭВМ обычно применяются методы итераций. При этом количество итераций зависит от заданной точности искомого решения, что в итоге требует большого количества машинного времени и вносит дополнительные ошибки вычислений. Однако использование «внутренних свойств» уравнения (1 или 1'), определяющихся его ядром, позволяет находить решение в явном виде [4].

$$U(t) = -U_0(t) + \lambda \int_0^t R(t, \xi; \lambda) U_0(\xi) d\xi, \quad (3)$$

где  $\lambda = -1$ ; а  $R(t, \xi; \lambda)$  — резольвента интегрального уравнения (1') для ядра (2), удовлетворяющая следующему функциональному уравнению:

$$R(t, \xi; \lambda) = K(t, \xi) + \lambda \int_{\xi}^t K(t, s) R(s, \xi; \lambda) ds.$$

В данном случае резольвенту  $R(t, \xi; \lambda)$  можно построить аналитически, используя возможность составления и решения дифференциального уравнения:

$$R(t, \xi; \lambda) = \frac{2\pi}{T} e^{-\frac{\alpha}{T}(t-\xi)} \left[ \left(\frac{\alpha^2}{4} - 1\right) \sin \frac{2\pi}{T}(t-\xi) - \alpha \cos \frac{2\pi}{T}(t-\xi) \right] \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) следует, что спектр максимальных перемещений линейного осциллятора.

$$x(T, \alpha) = \left| -U_0(t) + \lambda \int_0^t R(t, \xi, \lambda) U_0(\xi) d\xi \right|_{\max} \quad (5)$$

Зная, что спектр  $\tau(T, \alpha)$  отличается от спектра перемещений или спектра действия  $x(T, \alpha)$  постоянным множителем—квадратом круговой частоты [7, 12]

$$\tau(T, \alpha) = \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 x(T, \alpha).$$

В настоящее время разработан алгоритм вычисления приведенных сейсмических ускорений  $\tau(T, \alpha)$  с использованием выражения (5). В основу положен описанный в [1] алгоритм аналитического вычисления  $\tau(T, \alpha)$ , в котором в качестве аппроксимирующей функции, описывающей подынтегральную сейсмограмму в интервалах ее разбиения, принимаются кубические сплайны. По разработанному алгоритму составлена программа на языке «Фортран-IV» и начата ее реализация на ЭВМ ЕС—1022. Подлежит машинной обработке большое количество сейсмограмм землетрясений, записанных синхронно в различных инженерно-геологических зонах территории г. Еревана (рис. 1).

Таким образом, реализована возможность определения инженер-

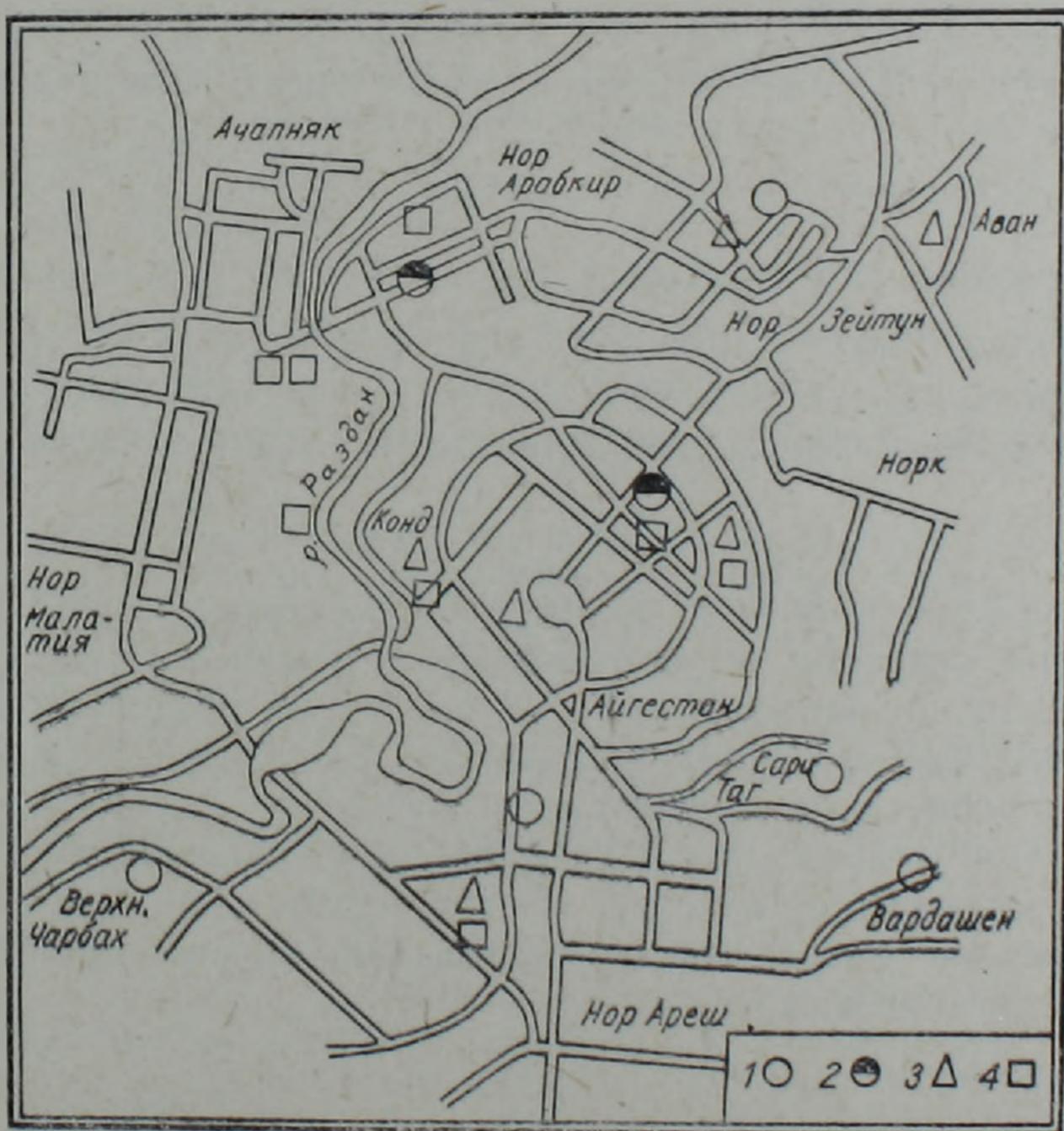


Рис. 1. Схема сети сейсмических наблюдений г. Еревана. 1—сейсмостанции непрерывного режима, 2—спаренные сейсмостанции, 3—инженерно-сейсмические станции на зданиях (АрмНИИСА), 4—сейсмостанции ждущего режима.

ной меры интенсивности землетрясения—спектра приведенных сейсмических ускорений  $\tau(T, \alpha)$  на основе использования сейсмограмм землетрясения. Это открывает широкие перспективы не только для решения

задачи СМР территории г. Еревана, но и многих других задач инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений на инструментальной основе.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР

Поступила 23.VI. 1986.

Ս. Ա. ՓԻՐՈՒԶՅԱՆ, Ա. Ա. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Դ. Ս. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ա. Մ. ԽԱՉՅԱՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ԲՆԱՏԱՐԱԾՔԻ ՍԵՅՍՄԵԿ ՄԻԿՐՈՇՐՋԱՆԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ  
ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՍԵՅՍՄՈԳՐԱՄԵՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԻՆՃԵՆԵՐԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐՆԵՐ  
ՀԱՇՎԱՐԿԵԼՈՒ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

### Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում շարադրված է երկրաշարժերի ինտենսիվության ինժեներական չափանիշի՝  $\tau(T, z)$  բերված սեյսմիկ արագացումների սպեկտրի հաշվարկային գործնական մի եղանակ՝ ժամանակակից հաշվիչ մեքենաների միջոցով երկրաշարժերի սեյսմոգրամների մշակման հիման վրա, որի ըսկզբունքային հնարավորությունը ցույց է տրված [11] աշխատանքում: Դրանով նախադրյալներ են ստեղծվում կազմելու: Երևան քաղաքի բնատարածքի սեյսմիկ միկրոշրջանացման քարտեզը գործիքային հիմքի վրա, ինչպես նաև լուծելու ինժեներային սեյսմոլոգիայի ու սեյսմակայուն շինարարության այլ խնդիրներ:

S. A. PIRUZIAN, A. A. HOVSEPIAN, D. S. GRIGORIAN, A. M. KHACHIAN

ON THE POSSIBILITY OF USING THE EARTHQUAKES SEISMOGRAMS FOR CALCULATION THE ENGINEERING SPECTRA FOR THE YEREVAN CITY TERRITORY SEISMIC MICRO-ZONING

### A b s t r a c t

In the paper there is represented the calculating method of determination the earthquake intensity engineering degree i. e. the spectrum of reduced seismic accelerations  $\tau(T, z)$  on modern computers based on the applying the earthquakes seismograms, the principal possibility of which is pointed out in the cited paper [11].

These all create a ground for compiling the Yerevan city territory seismic micro-zoning map on the instrumental basis and also give perspectives for solving of many problems of engineering seismology and antisismic construction.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гороян А. Т. К вычислению реакций зданий и сооружений на сейсмическое воздействие по акселерограммам сильных землетрясении.—ДАН АрмССР, 1981, т. XXIII, № 5, с. 288—294.
2. Дарбинян С. С., Пирюзян С. А. О прогнозе сейсмических воздействий для территории строительства Армянской АЭС.—Строительная механика и расчет сооружений, 1979, № 5, с. 60—62.
3. Карапетян Б. К. Многомаятниковые сейсмометры и их применение в инженерной сейсмологии. Ереван: Айпетрат, 1963. 177 с.

4. Краснов М. Л., Киселев А. И., Макаренко Г. И. Интегральные уравнения. М.: Наука, 1976. 215 с.
5. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. М.: Наука, 1962. 284 с.
6. Назаров А. Г., Антоненко Э. М., Кац А. З., Коган Л. А., Лямзина Г. А., Лыкошин А. Г., Напетваридзе Ш. Г., Пирузян С. А., Трафименков Ю. Г. К проблеме сейсмического микрорайонирования.—Бюллетень по инженерной сейсмологии, 1972. № 7, с. 11—24.
7. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1959. 286 с.
8. Назаров А. Г., Карапетян Б. К., Пирузян С. А. Сейсмическое микрорайонирование на инструментальной основе.—ДАН АрмССР, 1961, т. 32, № 3, с. 149—154.
9. Напетваридзе Ш. Г., Кобидзе Г. И. Методика и результаты применения сейсмограмм и велосиграм разрушительных землетрясений для определения сейсмической инерционной нагрузки.—В кн.: Материалы всесоюзного совещания. Проектирование и строительство сейсмостойких зданий и сооружений. Тбилиси-Фрунзе: Мецнипереба, 1971, с. 9—13.
10. Пирузян С. А. Инженерные основы сейсмического районирования по данным изучения сильных землетрясений.—Тез. докл. на Всес. совещ. на тему «Сейсмическое районирование территории СССР и изучение сильных землетрясений». Кишинев: Ротопринт ГИН-а, 1964. с. 13—14.
11. Пирузян С. А. Метод определения спектра приведенных сейсмических ускорений на основе сейсмограмм землетрясений.—Изв. АН АрмССР, сер. техн. наук, 1965, т. XVIII, № 5, с. 54—58.
12. Пирузян С. А. Метод определения сейсмических воздействий на сооружения по записям сильных и слабых землетрясений для целей микросейсморайонирования.—Бюллетень по инженерной сейсмологии. Изд. АН АрмССР, 1970, № 6, с. 75—82.
13. Пирузян С. А. Опыт детального сейсмического районирования Большого Ереванского района (юго-западная часть АрмССР и прилегающие районы). Ереван: Айастан, 1969. 92 с.
14. Пирузян С. А. О сейсмическом микрорайонировании на основе инструментальных наблюдений.—Изв. АН АрмССР, серия техн. наук, 1962, т. 15, № 4, с. 43—52.
15. Пирузян С. А. Результаты инженерно-сейсмологического изучения сильных афтершоков Ташкентского землетрясения 1966 г.—В кн.: Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. Ташкент: Изд. ФАН, 1971, с. 513—523.
16. Строительные нормы и правила. Сейсмостойкое строительство. СНиП 11-7-81. М.: Стройиздат, 1982. 49 с.
17. Хачиян Э. Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. Ереван: Изд. Айастан, 1973. 327 с.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1986, XXXIX, № 5, 67—73.

УДК 624.131.1

Р. П. МАРТИРОСЯН, Л. А. МХИТАРЯН, А. А. ОВСЕПЯН, М. В. ОГАНЕСЯН,  
К. А. ТОНОЯН

## ВОЗМОЖНОСТИ УЧЕТА РЕАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФУНДАМЕНТА С ОСНОВАНИЕМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СООРУЖЕНИЯ

Рассматриваются возможности учета остаточных деформаций мягких грунтов и взаимодействия фундамента с основанием при определении сейсмического воздействия.

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению спектров реакции, контактных напряжений на подошве фундамента и осадков оснований при сейсмических воздействиях.

Исследования последствий сильных землетрясений показывают, что при сейсмическом воздействии на здания и сооружения большое влияние оказывают грунтовые условия. Из главных причин влияния грунтовых условий является трансформация сейсмических волн в сторону увеличения амплитуды колебаний, связанная с динамическими характеристиками поверхностных слоев. В этом направлении интересные теоретические и экспериментальные исследования проводились японскими специалистами [11]. Результаты этих работ показывают, что наличие слабых грунтовых слоев приводит к увеличению сейсмической интенсивности по сравнению с глубинным слоем.

Другой аспект влияния грунтовых условий на сейсмическое воздействие связан с несущей способностью самих грунтов. Известно, что динамическое воздействие вызывает изменение деформационных и прочностных свойств мягких грунтов (падение прочности до 25—70%).