

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: Мецниереба, 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%).

Это явление объясняется разрушением структурных связей, приводящим к образованию остаточных деформаций в грунте.

Вместе с тем исследования по некоторым сильным землетрясениям [2] показывают, что на больших эпицентральных расстояниях при относительно низкой интенсивности колебаний амплитуда ускорений рыхлых грунтов больше, чем скальных.

С приближением к эпицентру, т. е. с увеличением интенсивности сотрясения, разница исчезает. В ближней зоне при  $\Delta < 50$  км величина амплитуд скальных грунтов не меньше, чем рыхлых, а интенсивность нарастания у последних возрастает медленнее. Это объясняется нарастанием внутренних потерь сейсмической энергии при переходе в явно выраженную пластическую стадию.

Такой специфический характер связи между сейсмическим эффектом и амплитудным уровнем колебаний грунта в эпицентральных зонах землетрясений заставляет при определении сейсмического воздействия вводить расчеты, учитывающие неупругую (упругопластическую) работу рыхлых грунтов.

В настоящее время при решении многих задач инженерной сейсмологии и динамики оснований применяются различные модели грунтов, учитывающие их упругопластическое деформирование при интенсивных динамических нагрузках. Эти модели подробно описаны в работах [3, 8]. Следует отметить, что каждая из этих моделей имеет свою специфику и область применения, поэтому при использовании той или иной модели для определения сейсмического воздействия должны исходить из специфики данной строительной площадки.

Между тем, на стыке сейсмического микрорайонирования и сейсмостойкости сооружений стоит проблема динамического взаимодействия фундамента сооружения и грунта основания при землетрясениях, поскольку сейсмические нагрузки, возникающие в конструкциях сооружений—это результат взаимодействия фундамента и основания.

Отсутствие полного решения этой задачи является причиной того странного обстоятельства, что принятые в СНИП [9] сейсмические ускорения отличаются от наблюдаемых при землетрясениях в несколько раз.

С целью выявления влияния волнового взаимодействия на спектр реакции рассматривалась задача по следующей расчетной схеме: сооружение моделируется как линейный осциллятор, прикрепленный к жесткому фундаменту, находящемуся на упругом грунтовом слое, на нижней границе которого действует велисограмма. В этом случае использование велисограммы приводит к более удобному решению волновой задачи и избежанию накопления ошибок при дифференцировании и интегрировании инструментальных записей землетрясений.

Решается одномерная волновая задача для слоя с учетом отражения от жесткого фундамента [4].

Сохраняя условие динамической неразрывности на контакте фундамента и слоя решается дифференциальное уравнение колебаний линейного осциллятора, в правую часть которого входит волновая реакция грунта, зависящая от характеристик падающей и отраженной волн и от параметров грунта.

В итоге получено выражение для спектра реакции в следующем виде:

$$X = \frac{1}{p} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} W(\tau) \sin p(t-\tau) d\tau; \quad (1)$$

где

$$W(t) = 2\alpha F(t) - 2\alpha^2 \int_0^t e^{-\alpha(t-\xi)} F(\xi) d\xi \quad (2)$$

функция  $F(t)$  выражается через велисограмму землетрясения:

$$F(t) = -V_0 \left( t - \frac{H}{b_0} \right).$$

$H$ —толщина слоя,  $b_0$ —скорость волны сдвига.

В формуле (1) коэффициент  $\alpha$  выражается через массу фундамента и осциллятора и через импеданс падающей волны:

$$\alpha = \rho b_0 / (m_1 + m_2)$$

Полученный спектр  $X$  по формуле (1) отличается от принятого [6] тем, что значение действующего ускорения выражается по формуле (2), учитывающей взаимодействие фундамента с основанием.

На рис. 1 показаны спектры реакции, построенные для гармонического воздействия. Для сравнения приводится также спектр заземленного в грунт линейного осциллятора.

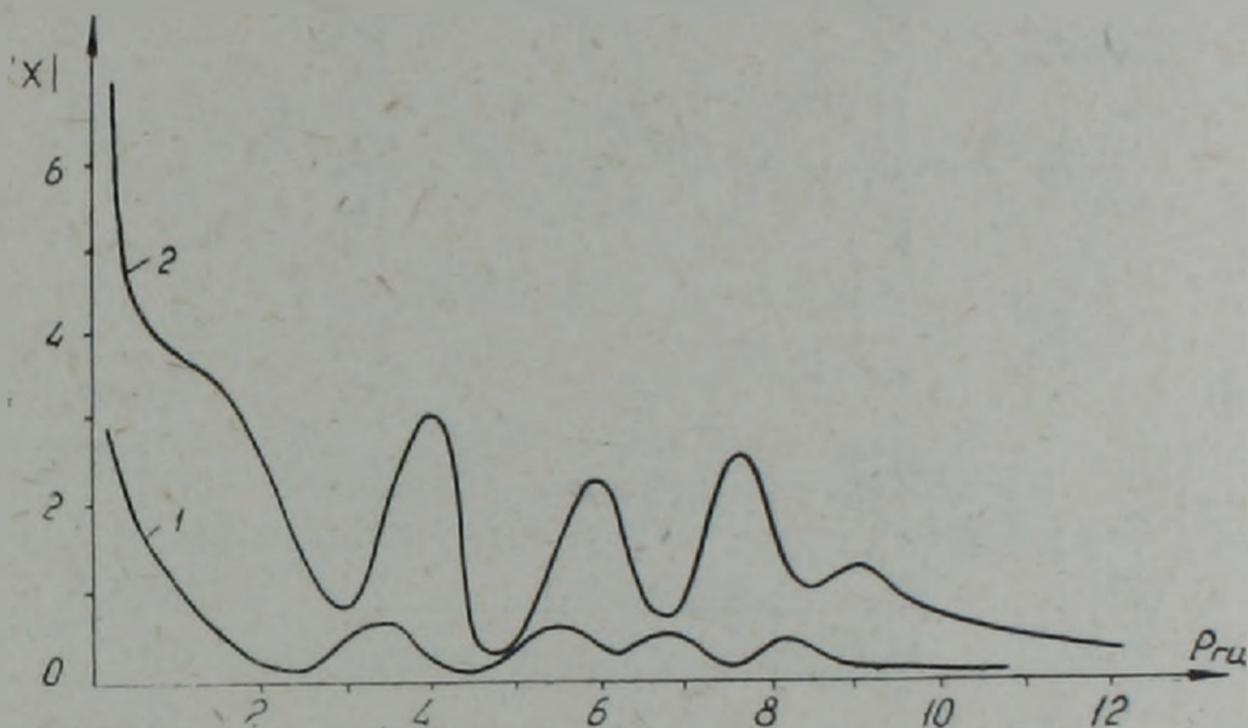


Рис. 1. Спектры реакции в единичном масштабе: 1—с учетом волнового взаимодействия фундамента и грунта; 2—для заземленного осциллятора.

Из рис. 1 отчетливо видно, что взаимодействие фундамента сооружения с основанием приводит к значительному уменьшению амплитуды колебаний (примерно 30%).

Для теории динамического расчета сооружения вместе с грунтовым основанием характерна тенденция уточнения постановки задачи. Такое уточнение предусматривает подробное описание взаимодействия сооружения и основания с учетом конкретного геологического строения среды, дифракции, интерференции и дисперсии волн в основании, которые, в конечном счете, позволяют точнее определить поведение реальных сооружений при действии сейсмических и других типов внешних динамических нагрузок. С этой целью решена динамическая контактная задача абсолютно жесткой фундаментной плиты, лежащей на поверхности упругого или упруго-вязкого многослойного основания, при одновременном воздействии сейсмических и других типов внешних динамических нагрузок и изучен динамический характер распределения контактных напряжений и перемещений на подошве плиты. Уравнения движения сооружения в виде плоской плиты записываются по методу функции Грина [7].

Ядро интегральных уравнений определяется самостоятельно. Аналогично задачи Лэмба, в аналитической постановке, решена краевая задача динамической теории вязко-упругости, относящаяся к плоскому деформированному состоянию, когда на свободной поверхности упруго-вязкой слоистой среды действует нагрузка.

$$\bar{\sigma}_{3i(t)}(x_1, 0, t) = \delta(x_1) e^{i k_4 t},$$

где

$\delta(x_1)$  — функция Дирака,

$k_4$  — волновое число.

Следуя методу коллокаций с использованием метода дискретного преобразования Фурье, задача доведена до численных значений контактных напряжений и перемещений.

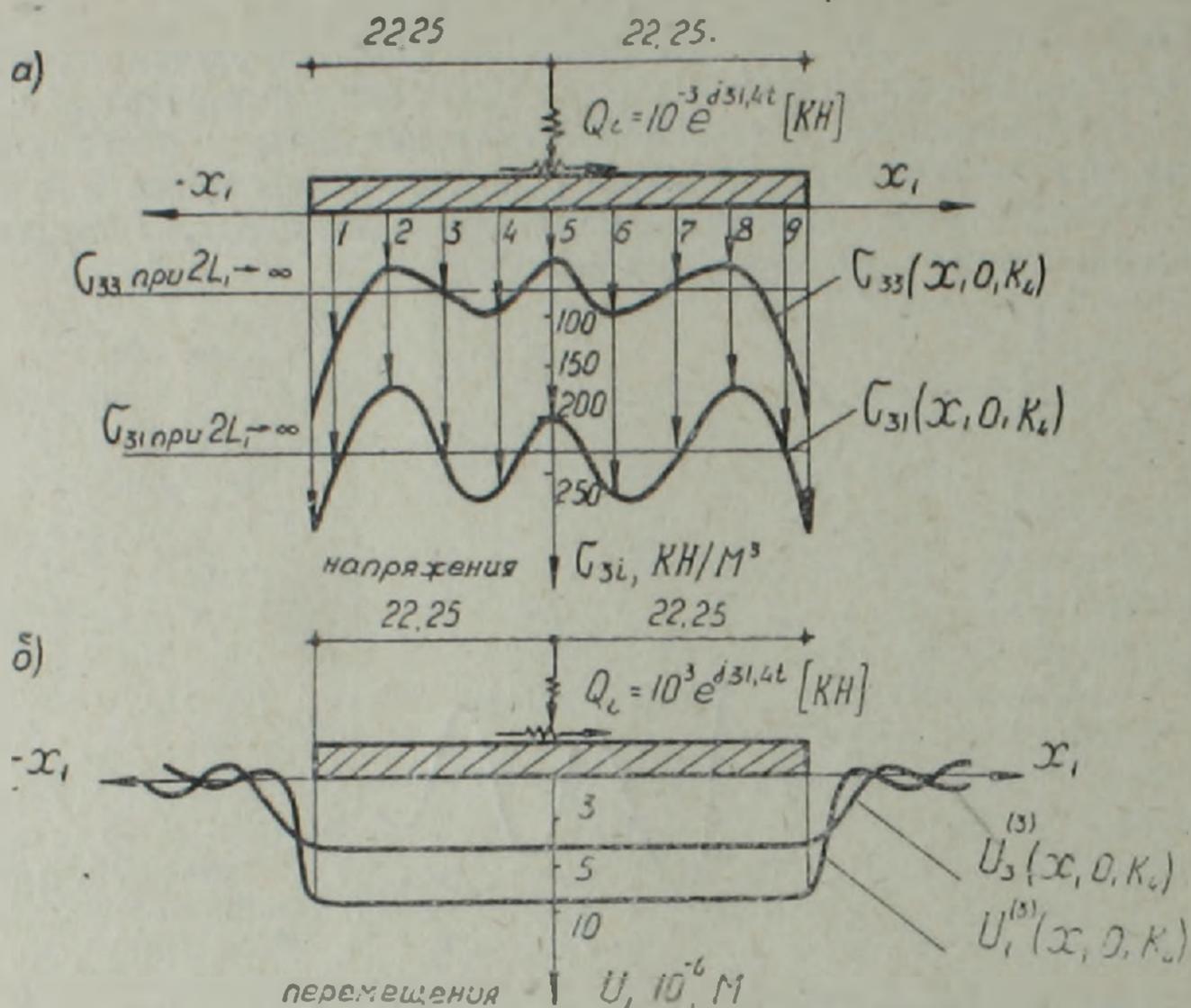


Рис. 2. Эпюры распределения контактных напряжений и перемещений.

Как показывают результаты расчетов (рис. 2), эпюры распределения контактных напряжений, возникающих на подошве сооружения, претерпевают существенные изменения и в целом отличаются от седлообразного закона распределения, как это принято у В. М. Сеймова [10]. Уравнения распределения массы штампа, лежащего на упругом и вязко-упругом основании, приводит к увеличению ординат контактных напряжений и перемещений, при этом одновременно сглаживается эпюра контактных напряжений. Следовательно, при  $2l_1/a_2$ , т. е. бесконечном уменьшении отношения размеров фундаментной плиты в плане к скорости распространения поперечных волн в основании, краевые эффекты уменьшаются, и эпюры контактных напряжений по оси  $x_1$  ( $i=1, 3$ ) становятся равномерно распределенными.

Эффект податливости грунта в основном может быть значительным в случае базирования зданий или сооружений с жесткой конструктивной схемой на рыхлых напластованиях грунтовых сред. Учет этого фактора в явной форме при определении сейсмических нагрузок, являющихся одной из основных компонентов, характеризующих действительную работу зданий или сооружений при сейсмических воздействиях, не вызывает принципиальных затруднений. Для этого достаточно ввести дополнительные степени свободы. При этом принимается, что здание или сооружение не лежит непосредственно на твердом пласте грунта, а соединен с ним посредством упругопластических комбинированных связей.

При исследовании податливости грунта в основании существенным является учет вращательной инерции фундамента и перекрытий с неточечными массами. Хотя учет указанных факторов по предложенной

расчетной модели (рис. 3) системы «здание-основание» в виде систем со многими степенями свободы не связан с принципиальными трудностями, но существенно увеличивает объем вычислительных работ. Поэтому для практических целей в предложенную динамическую расчетную схему можно ввести упрощение, предполагая, что углы поворота на различных этажах зданий или сооружений (особенно для жестких) мало отличаются между собой (для основной формы колебаний). В результате уменьшается число степеней свободы и вместо  $2n+2$  степеней свободы остаются только  $n+2$ , которым соответствуют массы  $M_0, M_1, M_2, \dots, M_n$  и одна суммарная вращательная инерция  $I = I_0 + I_1 + I_2 + \dots + I_n$ .

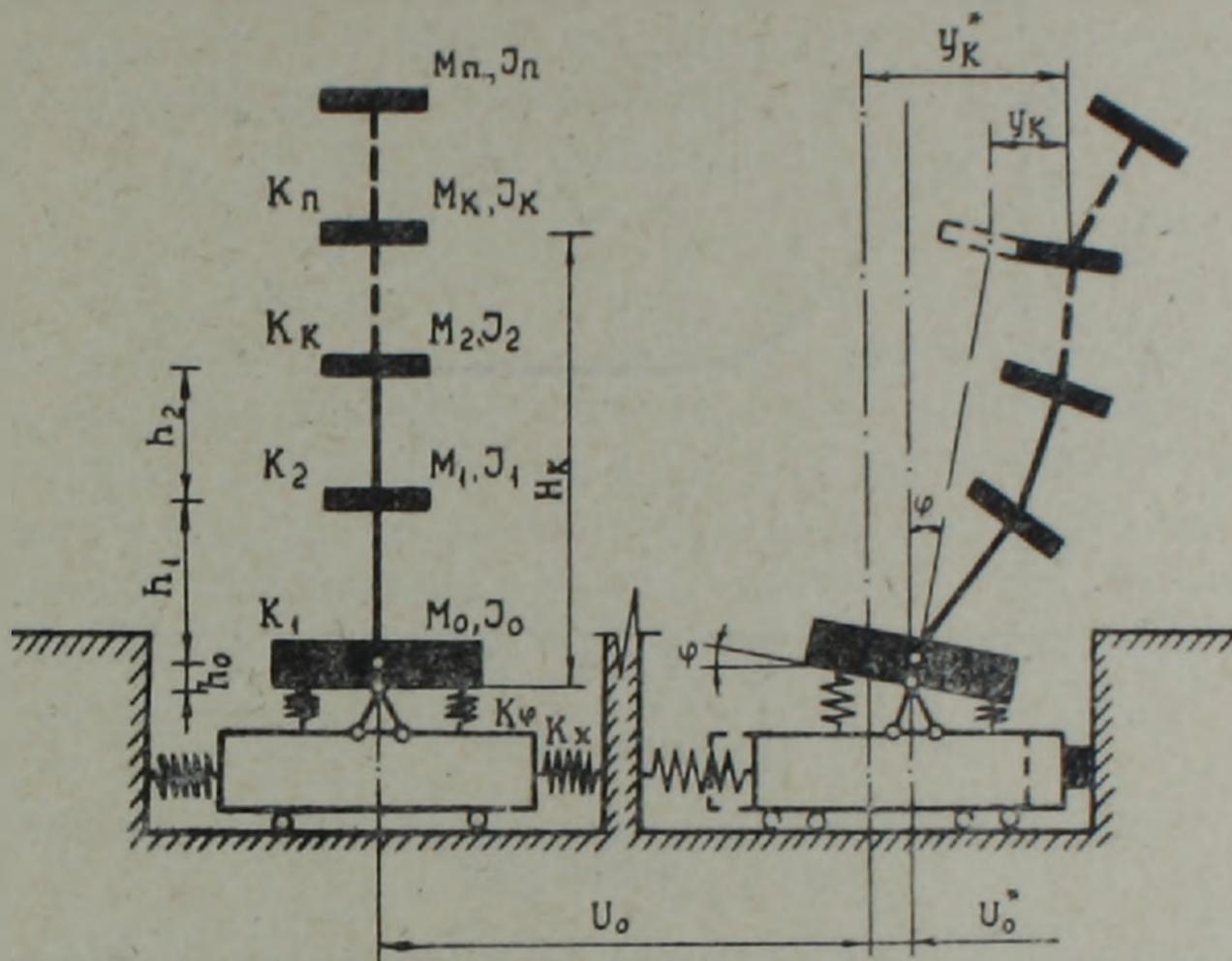


Рис. 3. Расчетная схема, учитывающая податливость основания и вращение неточечных масс.

Дифференциальные уравнения сейсмического движения рассмотренной упругопластической расчетной модели системы «здание-основание» в виде системы со многими степенями свободы в матричной символике могут быть записаны так:

$$[M]\{\ddot{Y}^*\} + [K]\{Y^*\} = -\ddot{U}_0 [M]\{a_0\} + [E]\{B\},$$

где  $[M]$  — диагональная матрица инерционных параметров системы;  
 $[K]$  — матрица жесткости, с дискретно изменяющимися параметрами;

$[E]$  — единичная матрица;

$\{B\}$  — вектор, обусловленный сопряжениями отдельных участков кусочно-линейной диаграммы «сила-перемещение»

$\{a_0\}$  —  $n+2$ -мерный вектор, который состоит из единиц и нулей [1].

Для оценки эффекта податливости грунта в основании сейсмическим нагрузкам намечается произвести практические расчеты зданий по предложенной расчетной модели системы «здание-основание» с различными жесткостными характеристиками основания. Учет податливости основания может привести к увеличению основного периода колебаний и уменьшению внутренних усилий в несущих элементах здания или сооружения при сейсмических воздействиях.

С целью изучения вопроса осадки сооружений, в натуре производилось нивелирование девяти зданий, в которых размещены инженерно-сейсмометрические станции (ИСС). Здания ИСС различаются конструктивными схемами, материалами несущих конструкций и основаниями фундаментов.

Нивелирование производится с помощью нивелира производства ВНР модели «МОМ  $N_1$ —В4» один раз в год. Для нивелирования заложены реперы на цоколях этих зданий. У всех зданий ИСС проведен один цикл нивелирования первого класса. Многократно изучено здание ИСС № 3, данные которого приведены в работе [5].

Нивелировка здания производилась, начиная с 1974 года, один раз в год, а также после землетрясений. На цоколе здания заложены 8 реперов, расстояние между которыми 12 м.

На основании полученных данных построен график осадки здания (рис. 4).

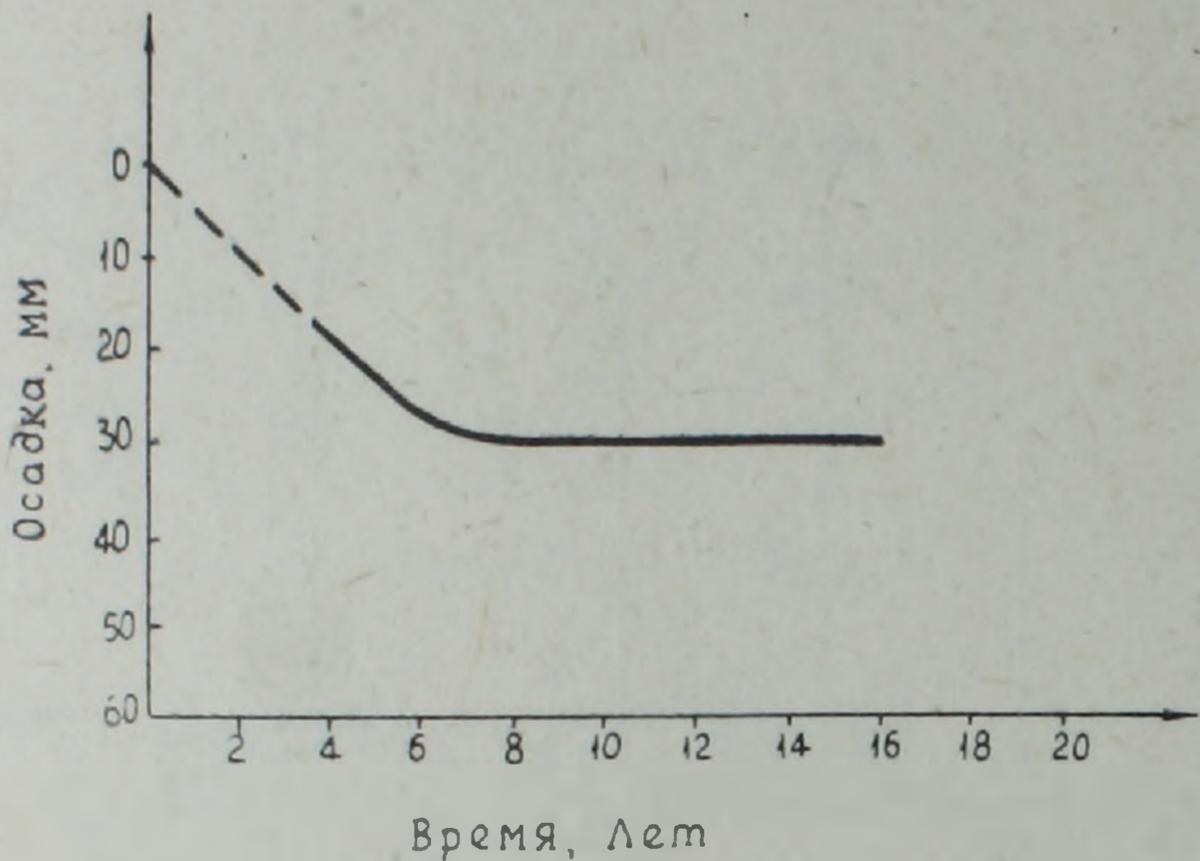


Рис. 4. График осадки здания инженерно-сейсмометрической станции № 3.

Из графика видно, что на данном объекте осадка характеризуется небольшими скоростями как в начальных, так и в последующих периодах, что характерно для скальных грунтов.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР

Поступила 23.VI. 1986.

Թ. Պ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Լ. Ա. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ, Ա. Ա. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ,  
Մ. Վ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Կ. Ա. ՏՈՆՈՅԱՆ

ԳԵՏՆԱՀՈՂԵՐԻ ԻՐԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՀԻՄՔԻ ՈՒ ՀԻՄՆԱՏԱԿԻ ՓՐԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐԻ ՎՐԱ ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ուժեղ երկրաշարժերի էպիկենտրոնային շրջաններում փափուկ գետնահողերի վրա նկատվում է սեյսմիկ ինտենսիվության նվազում, որը պայմանավորված է մնացորդային դեֆորմացիաների հետևանքով սեյսմիկ էներգիայի կորուստով: Այդ ուղղությամբ գոյություն ունեցող հետազոտությունների արդյունքների վերլուծության հիման վրա հզրակացություններ են արված այն մասին, որ սեյսմիկ աղդեցությունների ճշգրիտ որոշման համար հարկավոր է հաշվի առնել փափուկ գետնահողում տառադասալաստիկ դեֆորմացիաները և կառույցի հիմքի ու հիմնատակի փոխաղդեցության գործոնը: Դիտարկվում է փափուկ գետնահողի մնացորդային դեֆորմացիաների

և հիմքի ու հիմնատակի փոխազդեցության հաշվառման հնարավորությունները սեյսմիկ ազդեցության որոշման դեպքում:

Բերվում են ազդեցության սպեկտրների, հիմքի ստորոտում կոնտակտային լարումների բաշխվածության և հիմնատակերի նստեցումների որոշման տեսակետի և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները:

R. P. MARTIROSIAN, L. A. MKHITARIAN, A. A. HOVSEPIAN,  
M. V. HOVHANNISIAN, K. A. TONOYAN

## THE POSSIBILITIES OF ACCOUNT OF THE GROUNDS REAL PROPERTIES AND THE INTERACTION BETWEEN THE FOUNDATION AND BASEMENT WHILE DETERMINING THE SEISMIC INFLUENCE ON THE CONSTRUCTIONS

### A b s t r a c t

The possibilities of an account of soft grounds residual deformations and the interaction between the foundation and the basement while determining the seismic influence have been considered in this paper.

There are given the results of theoretical and experimental investigations while determining reaction spectra, contact stresses on the bottom of the foundation as well as basement settlements under the seismic influences.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Деркачев А. А., Негматулаев С. Х. Динамические схемы зданий и их свободные колебания.—Душанбе: Изд. Дониш, 1970. 230 с.
2. Краминин П. Н., Чернов Ю. К., Штейнберг В. В. Ускорения колебаний скальных и рыхлых грунтов при сильных землетрясениях. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 19. М.: Наука, 1973, с. 140—148.
3. Красников Н. Д. Динамические свойства грунтов и методы их определения. Л.: Стройиздат, 1970. 239 с.
4. Маргиросян Р. П. Одномерные плоские волны сдвига в грунте с положительной дилатансией.—Изв. АН АрмССР. сер. Механика, т. 34, № 4, 1985. с. 47—55.
5. Мхитарян Л. А. Измерение деформаций по данным станции ИСС.—Сейсмическое строительство. Научно-технический реферативный сборник. 1979, Сер. 14, вып. 4, с. 16—18.
6. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1959, 286 с.
7. Оганесян М. В. Решение контактной задачи для штампа при одновременном воздействии сейсмических и динамических нагрузок. Тр. Московского института Гидропроект, вып. 93, 1984, с. 110—114.
8. Рахматулин Х. А., Сагомонян А. Я., Алексеев Н. А. Вопросы динамики грунтов. М.: Изд. МГУ, 1964. 362 с.
9. Строительные нормы и правила. Часть II, глава 12. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. СНиП, П-А, 12—69, М.: Стройиздат, 1970.
10. Сеймов В. М. Динамические контактные задачи. Киев, Наукова Думка, 1976. 238 с.
11. Okamoto S. Introduction to Earthquake Engineering. Publication of John Willy and Sons. New York-Toronto. 1973.