

УДК 624.159.1

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

А. Г. Мазманян

Восстановление сейсмического поля в слое грунта по
 инструментальной записи

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. И. Тер-Степаняном 17/VI 1982)

Для определения напряженно-деформированного состояния грунта и сооружения и выявления степени их надежности СНиП II-7-81 рекомендует также проведение расчетов на основе акселерограмм (сейсмограмм) землетрясений с учетом основных факторов, влияющих на состояние и поведение сооружений при действии сейсмических нагрузок.

Для расчета сооружения на сейсмическое воздействие необходимо иметь сейсмограмму, зависящую не только от времени, но и от координаты по глубине слоя. Здесь предлагается приближенная оценка сейсмического воздействия.

Примем, что сейсмограмма задается в некотором сечении слоя грунта в виде $f(t, y)$ (рис. 1). Однако в действительности нам всег-

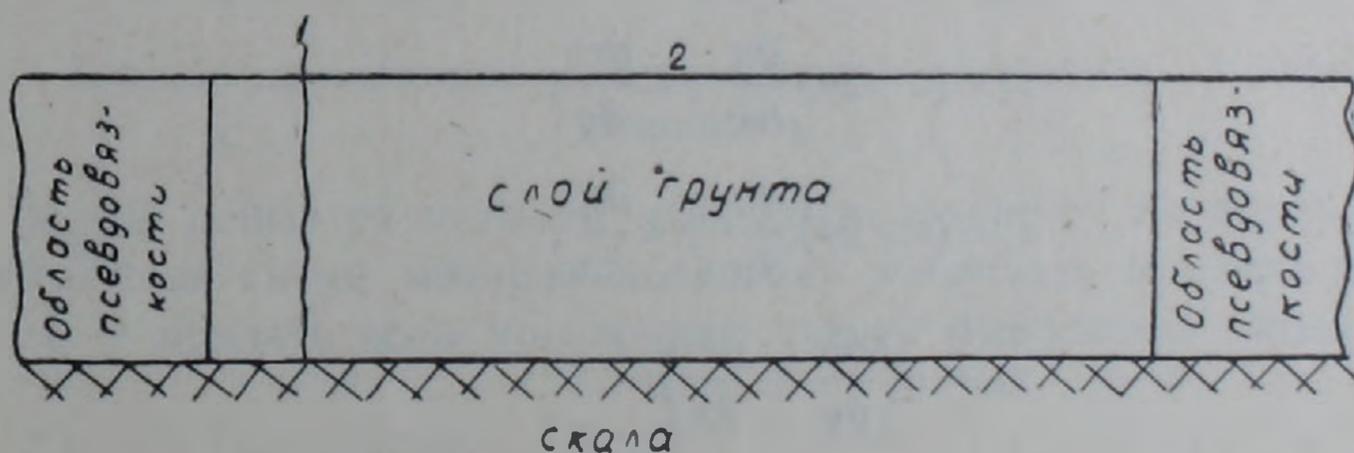


Рис. 1. Расчетная схема: 1—сечение слоя задания сейсмограммы; 2—определение расчетной сейсмограммы

да бывает известна только инструментальная запись на поверхности слоя грунта в виде функции $f(t, h)$.

Поэтому задаемся подбором закона изменения функции $f_2(y)$ в зависимости от глубины.

Будем предполагать, что $f(t, y) = f_1(t) \cdot f_2(y)$, причем $f_1(t) = f(t, h)$, а в качестве $f_2(y)$ можно задать различные функции с их уточнениями методом подбора;

1) $f_2(y) = \frac{y}{h}$ —линейный закон смещения частицы по глубине;

2) $f_2(y) = \left(\frac{y}{h}\right)^2$ —квадратичный закон смещения частицы по глубине;

3) $f_2(y) = \frac{1 - e^{-ay/h}}{1 - e^{-a}}$ — экспоненциальный закон смещения частицы по глубине;

h — толщина слоя грунта;

a — некоторая безразмерная константа, определяющая степень (скорость) затухания.

Таким образом, решение задачи сводится к отысканию функции $f_2(y)$ и восстановлению сейсмического поля в слое грунта для получения расчетной сейсмограммы в точке на поверхности слоя. По данным расчетной сейсмограммы вычисляем амплитудно-частотный спектр Фурье. Сопоставление полученных спектров со спектром инструментальной записи дает наглядное представление о том, насколько точно нам удалось подобрать функцию $f_2(y)$ для восстановления сейсмического поля слоя грунта.

Задача рассматривается в условиях плоской деформации. Предполагается, что скальное основание имеет значительно больший модуль упругости, чем рассматриваемый слой грунта, так что скальное основание можно считать абсолютно жестким.

Перемещения частиц грунта в слое описываются уравнениями Ламе (¹):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} &= \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \sigma_y &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \frac{\partial u}{\partial x}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right);$$

ρ — плотность грунта; λ , μ — коэффициенты Ламе.

На границе со скальным основанием задан закон равенства перемещений частиц грунта и основания (условие прилипания).

В принципе можно задать и более сложные граничные условия, но для этого необходимо знать закон взаимодействия частиц грунта со скальным основанием.

Чтобы исключить отражение от левой и правой границ расчетной области, в уравнения движения (1) вводится „псевдовязкость“, по мере приближения к границам возрастающая по экспоненциальному закону до величины, соответствующей наискорейшему затуханию колебаний, т. е. уравнения (1) вблизи границ примут вид:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \varphi_u(x, y) \frac{\partial u}{\partial t};$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \varphi_v(x, y) \frac{\partial v}{\partial t}, \quad (3)$$

где $\varphi_u(x, y)$ и $\varphi_v(x, y)$ — коэффициенты „псевдовязкости“.

Пластические деформации в слое грунта учитываются по теории Мора—Кулона (2). Предельная поверхность задается в виде $\sqrt{J} + k\sigma - c = 0$, где J — второй инвариант тензора напряжений, равный $J = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2$, где k и c — параметры прочности грунта, угол внутреннего трения и сцепления.

Для решения поставленной задачи использованы следующие исходные данные: модуль упругости грунта 8000 т/м^2 , удельный вес грунта $1,5 \text{ т/м}^3$, коэффициент Пуассона $0,33$, сцепление грунта $1,5 \text{ т/м}^2$, угол внутреннего трения $0,5$.

В качестве внешнего воздействия использована сейсмограмма землетрясения „Паркфилд“ от 2. 09. 1971 г. (рис. 2).

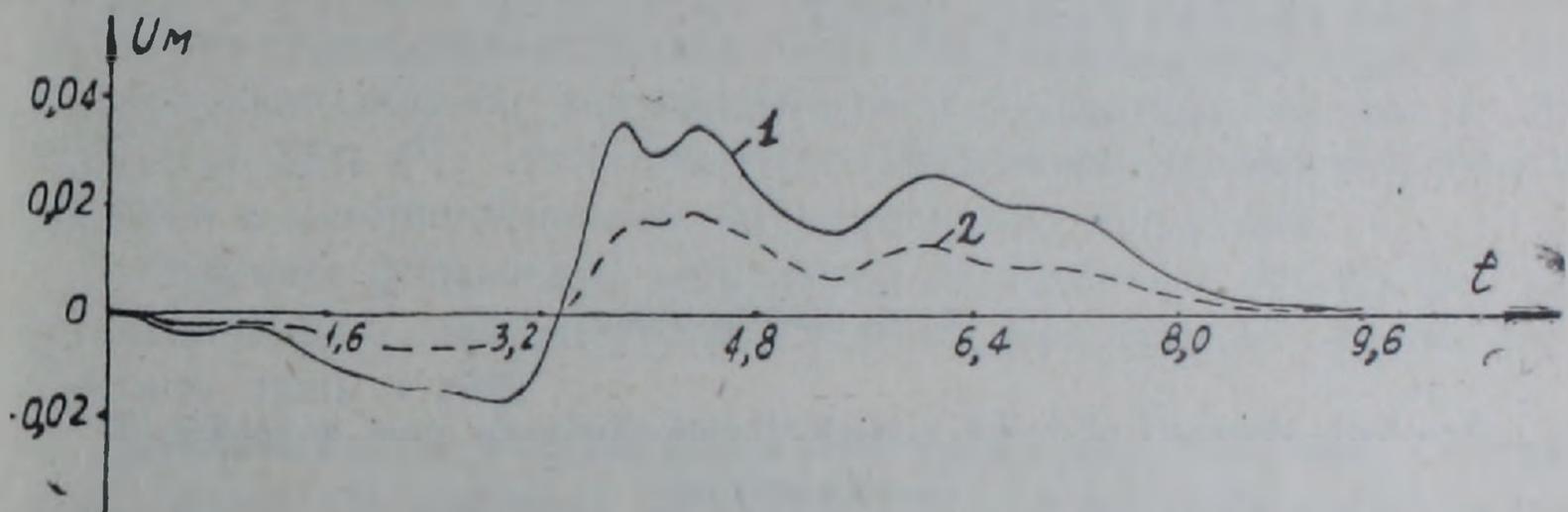


Рис. 2. Заданная сейсмограмма: 1—горизонтальная компонента; 2—вертикальная компонента

Задача решается методом конечных разностей по явной конечно-разностной схеме, которая позволяет увеличить точность аппроксимации и придать всем уравнениям четкий физический смысл (3).

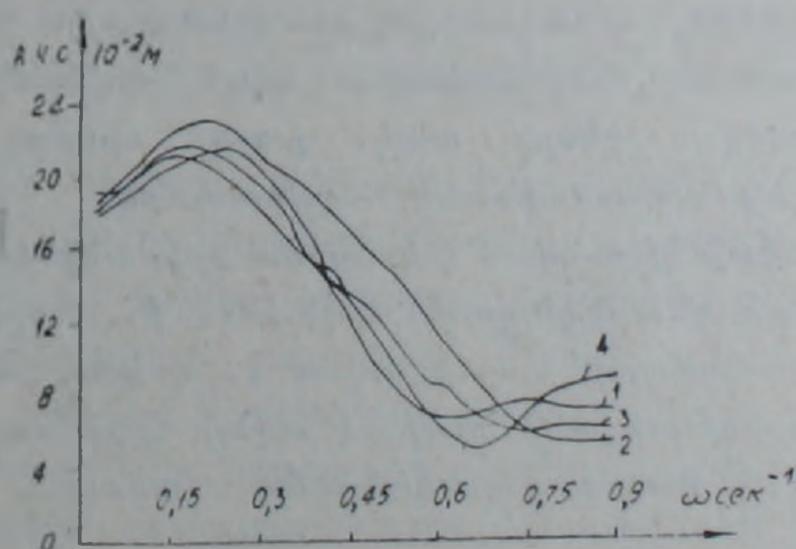


Рис. 3. Амплитудно-частотные спектры расчетных сейсмограмм при разных видах функции: 1—инструментальная запись; 2—линейный закон; 3—параболический закон; 4—экспоненциальный закон

На первом этапе решается статическая задача методом установления. Определяется поле статических напряжений в слое, возникающих от веса грунта.

На втором этапе вводится сейсмограмма, определяются поля динамических напряжений, смещений, скоростей, ускорений в любой точке расчетной области в функции от времени.

На поверхности слоя в заданной точке определяются расчетные сейсмограммы в зависимости от заданных функций $f_2(y)$. По результатам расчетных сейсмограмм вычисляем амплитудно-частотные спектры Фурье.

На рис. 3 изображены расчетные амплитудно-частотные спектры и амплитудно-частотный спектр, вычисленный по данным инструментальной записи. Из рисунка видно, что экспоненциальный закон затухания по глубине слоя позволяет более точно восстановить сейсмическое поле в слое грунта, чем линейный или параболический закон смещения частиц грунта по глубине.

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт геофизики и
инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Ա. Գ. ՄԱԶՄԱՆՅԱՆ

Գրունտի շերտում սեյսմիկ դաշտի վերականգնումը ըստ գործիքային գրանցումների

Դիտարկվում է ըստ գրունտային շերտի խորության սեյսմագրամի փոփոխման օրենքի ընտրության մեթոդիկա: Գրունտային շերտի մեջ խորացված կառույցի սեյսմակայունության հաշվման համար անհրաժեշտ է ունենալ ոչ միայն սեյսմագրամ կախված ժամանակից, այլև նրա փոփոխությունը ըստ կորրոկցիայի: Ցույց է տրված, որ գրունտային շերտի կտրվածքով սեյսմագրամի փոփոխման օրենքի ճիշտ ընտրությունը տալիս է հնարավորություն վերականգնելու սեյսմիկական դաշտը գրունտային շերտում, որը հնարավոր է դարձնում որոշել հաշվարկային ակսելերոգրամը (սեյսմագրամը) անմիջապես նախագծվող շենքի տակ, քաշի, երկրաչափական չափերի և շենքի հիմքի խորացման աստիճանի հաշվառումով:

Բերված մեթոդիկան կիրառված է կոնկրետ օրինակի վրա ըստ երկրաշարժի հայտնի պրանցման «Պարկֆիլդում» 2.09.1971 թ., հաշվարկային ակսելերոգրամ ստանալու համար: Ապացուցված է, որ ըստ խորության էքսպոնենցիալ օրենքով փոփոխությունը տալիս է ավելի ճիշտ արդյունք գրունտային շերտում սեյսմիկական դաշտը վերականգնելու համար:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ С. П. Тимошенко, Р. Ж. Гудьер, Теория упругости, Наука, М., 1975. ² Л. С. Лейбензон, Курс теории упругости, ОГИЗ—Гостехиздат, М., 1947. ³ В. Н. Ломбардо, Изв. Всесоюзного н.-и. ин-та «Гидротехника», т. 103, Л., 1973.