

ПОСТРОЕНИЕ АКСЕЛЕРОГРАММ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ ГОРНОГО МАССИВА АНИЗОТРОПНОГО СТРОЕНИЯ

Рысбаева А.К., Толобекова Б.Т., Баймахан А.Р., Баймахан Р.Б.

ИГиОН НАН КР, г. Бишкек,
ИМиМ НАН РК, г. Алмата

В данной статье изложены алгоритмы построения синтетической акселерограммы сильных землетрясений для свободной земной поверхности и для внутренних слоев массива применительно к расчетам сейсмостойкости плотин и дамб удару селевых потоков. Уточнены спектральные составы колебаний различных грунтов вдоль трассы протяженных противопаводковых сооружений.

Многие специфические проблемы теории сейсмостойкости подземных сооружений не нашли столь нужного изучения, как это требовалось бы. Так, например, сейсмомикрорайонирование территории проводится по поверхностному слою грунта, тогда как для подземных сооружений такое районирование следует делать еще и по глубине грунта.

1. Алгоритм построения искусственной акселерограммы сильных землетрясений для свободной земной поверхности

Приведем основной алгоритм построения синтетической акселерограммы по /1/ как эталонной. В этой работе для случая неполной сейсмологической информации как наиболее удобная

математическая модель колебаний предложен нестационарный мультипликативный случайный процесс вида

$$x(t) = \begin{cases} \bar{A}(t, \bar{T}_i) \sigma(\bar{T}_i) \bar{\phi}(t, \bar{T}_i), & t \geq 0, \\ 0, & t < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\bar{A}$ – нормированная огибающая; σ – среднеквадратичное значение ускорения; $\bar{\phi}$ – нормированный стационарный гауссовский процесс; $\bar{T}_i$ – доминантный период процесса $\bar{\phi}$; t – время. Максимальную амплитуду ускорений можно вычислить формулами макросейсмики в виде

$$C_I = 5 \cdot 10^{0.61M - p \lg x + Q}, \quad a_{\max} = \frac{C_I}{\sqrt{\bar{T}}}, \quad I = bM + v \lg x + c, \quad (2)$$

где M, p, Q, b, v, c – константы, подлежащие определению из сейсмогеологических условий региона или территории: магнитуда, коэффициенты затухания и другие постоянные макросейсмического поля; x – гипоцентрально расстояние; I – интенсивность; $a_{\max}$ – амплитуда максимальных ускорений; $\bar{T}$ – преобладающий период колебаний грунта.

По конкретным значениям $\bar{T}$ построим акселерограмму 9-, 10-балльных землетрясений по следующей формуле

$$a(t, \bar{T}) = \bar{A}(t, \bar{T}_i) \sigma(\bar{T}_i) \bar{\phi}(t, \bar{T}_i) \quad (3)$$

Параметры, входящие в (13), вычисляются с помощью формул

$$\bar{A}(t, \bar{T}_i) = \frac{\bar{T}_i t}{20\pi} \exp\left(1 - \frac{\bar{T}_i t}{20\pi}\right), \quad \sigma_i^2(\bar{T}_i) = \frac{C_i}{18\pi} \bar{T}_i^2, \quad \bar{\phi}(t, \bar{T}_i) = \exp[-\alpha(\bar{T}_i)] r \cos(\bar{T}_i, r). \quad (4)$$

где α – параметр, характеризующий скорость убывания корреляционной связи между ординатами случайного процесса при увеличении разности аргументов этих величин r .

По этим выражениям на основе доминантных периодов для валунно–галечных и наносно–галечных грунтов г. Алматы нами построены серии акселерограммы для различных расстояний до очагов.

2. Установление послойных акселерограмм землетрясений для многослойной грунтовой толщи

Ранее считалось, что с глубиной величина ускорений в грунте уменьшается. Но это оказалась совсем не так. Наоборот, в определенной глубине величина ускорений может оказаться даже больше, чем на земной поверхности. Об этом свидетельствуют японские записи акселерограмм на одной и той же местности при пяти различных землетрясениях.

В работе Okamoto Sh /3/ приведена формула полуаналитического метода Канаи /4/ (позволяющая получить усиленное значение ускорений на грунтовой поверхности, если каким-либо образом известно ускорение на поверхности скального основания)

$$G(T) = 1 + \left\{ \left[\frac{1+K}{1-K} \left\{ 1 - \left(\frac{T}{T_G} \right)^2 \right\} \right]^2 + \left(\frac{0.3}{\sqrt{T_G}} \cdot \frac{T}{T_G} \right)^2 \right\}^{-0.5} \quad (5)$$

где $K = \rho_1 c_1 / \rho_2 c_2$ — отношение сейсмических жесткостей; $G(T)$ — коэффициент усиления; T — период приходящей сейсмической волны; T_G — преобладающий период колебаний поверхностного слоя; ρ_1, ρ_2, c_1, c_2 — плотности и скорости распространения волн в двух слоях.

По аналогии с Канаи выражение (1) запишем для многослойной среды с учетом двух типов волн и толщины слоев

$$G_{P_i, h_i}(T_{P_i}) = 1 + \frac{1 + K_{P_i, h_i}}{1 - K_{P_i, h_i}} \left(1 - \left(\frac{T_{P_{i-1}}}{T_{P_i}} \right)^2 \right) + 0.09 \left(\frac{T_{P_i}}{T_{P_{i-1}}} \right)^2, \quad G_{S_i, h_i}(T_{S_i}) = 1 + \frac{1 + K_{S_i, h_i}}{1 - K_{S_i, h_i}} \left(1 - \left(\frac{T_{S_{i-1}}}{T_{S_i}} \right)^2 \right) + 0.09 \left(\frac{T_{S_i}}{T_{S_{i-1}}} \right)^2 \quad (6)$$

Новые значения компонент акселерограммы на границе перехода от первого слоя ко второму слою вычисляются с умножением их известных значений на поверхности на коэффициенты изменения (6) /2/, /5/:

$$a_{P_i, h_i}(t) = a_{P_i, h_{i-1}} / G_{P_i, h_i}(T_{P_i}), \quad a_{S_i, h_i}(t) = a_{S_i, h_{i-1}} / G_{S_i, h_i}(T_{S_i}). \quad (7)$$

здесь h_0 — при $i=1$ показывает значения для нижнего основания первого слоя, которые служат начальными условиями для вычисления

их значений при переходе от второго слоя к третьему слою и т. д. При этих переходах увеличение или уменьшение их значений зависит от сейсмических жесткостей слоев, т.е. от величины отражения и преломления, а внутри слоев они меняются линейно.

3. Задания скоростей сейсмических волн, входящих в выражения послойных ускорений

Формулы для скоростей квазипродольной и двух квазипоперечных волн, распространяющихся в произвольном направлении в наклоннослоистом транстропном массиве с нормалью $\bar{n} = \bar{n}\{\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma\}$, под произвольным углом χ , относительно горизонтальной плоскости xOy рисунка, запишем по Р.Б. Баймахану [2]

$$\begin{aligned} V_p &= \sqrt{(2\sqrt{-p/3} \cos(\delta/3) - b/3) / \rho}, \\ V_{SH} &= \sqrt{(-2\sqrt{-p/3} \cos((\delta + \pi)/3) - b/3) / \rho}, \\ V_{SV} &= \sqrt{(-2\sqrt{-p/3} \cos((\delta - \pi)/3) - b/3) / \rho}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\delta = \arccos(-0.5q(-\rho/3)^{-3/2})$, ρ – плотность, p, q и b вычисляются с помощью коэффициентов упругости, которые в свою очередь зависят от параметров: $E_1, E_2, \nu_1, \nu_2, G_2, \varphi, \phi, \chi, i, j = 1, 2, 3 \dots 6$. Направление прихода сейсмической волны к протяженной оси подземного сооружения определяются углами α, β и γ

По известным значениям акселерограммы на поверхности транстропного массива их значения с глубиной вниз по вертикали получаем, разделив их на коэффициенты изменения

$$\begin{aligned} \ddot{a}_{P_{h_i}}(t) &= \ddot{a}_{P, h_i - 1} / G_{P_i}(T_{P_i}), \quad \ddot{a}_{SV_{h_i}}(t) = \ddot{a}_{SV, h_i - 1} / G_{SV_i}(T_{SV_i}), \\ \ddot{a}_{SH_{h_i}}(t) &= \ddot{a}_{SH, h_i - 1} / G_{SH_i}(T_{SH_i}). \end{aligned} \quad (9)$$

3. Результаты. Построения акселерограммы для внутренних слоев анизотропного массива

С помощью изложенного алгоритма (1)-(9) построены серии синтетической акселерограммы сильных землетрясений для различных грунтовых условий.

Проанализируем теперь акселерограмму, построенного для внутренних слоев скального массива. Поскольку, кроме случая разрыва, выходящего до земной поверхности, сплошности внутренних слоев массива остается ненарушенной, то во всех точках внутри массива они должны иметь одинаковые значения, что следует из формы акселерограммы для всех глубин, начиная от первых 3 метров до 43 м., показанных на рисунке 1.

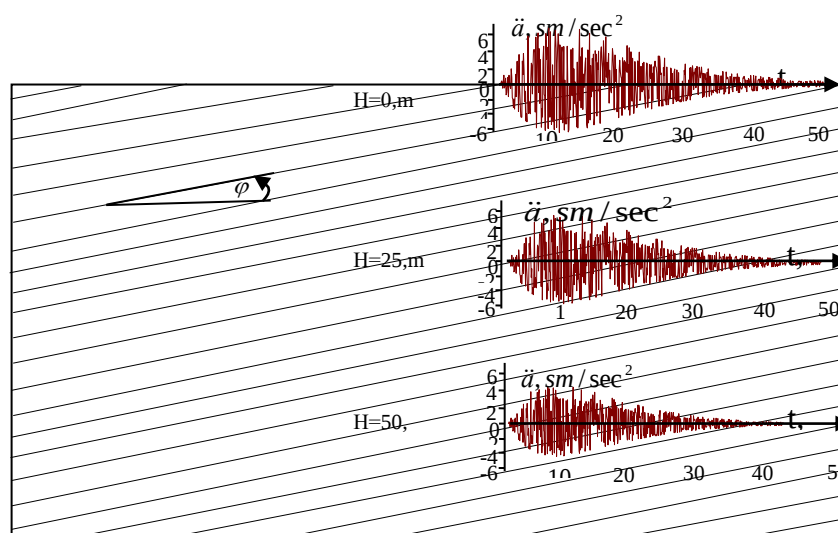


Рис.1. – Синтетическая акселерограмма сильного землетрясения (интенсивностью $I=10$) для скального массива от поверхности до 50 метровой глубины

4. Заключение

Результаты данного исследования позволяет усилить элементов подземной конструкции и уменьшить губительных последствия природные катастрофы как землетрясение

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Я.М., Ульянов С.В. 1972, О сейсмических колебаниях и надежности систем со случайно изменяющимися параметрами. / Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. Москва, 19–46.
2. Баймахан Р.Б. Покомпонентное построение акселерограмм разрушительных землетрясений // Труды I-го Центрально–Азиатского геотехнического симпозиума. Астана 2000, Т. I, 348-350.
3. Okamoto Sh. 1973, Introduction to earthquake engineering. University of Tokyo Press, 58-61
4. Kanai K. 1962, On the Predominant Period of Earthquake Motions, Bull. Of ERI., vol.40.