

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

М. В. ОГАНЕСЯН, А. Е. САРГСЯН

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ
НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ
ПЛОСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Опыт последствий землетрясений показывает, что на величину интенсивности сейсмического воздействия на свободной поверхности Земли существенное влияние оказывает геометрическое строение основания [1—3]. Для этого важно оценить влияние наклонного слоя, лежащего на поверхности однородных скальных пород, на интенсивность сейсмического воздействия [4].

Рассмотрим методику определения сейсмического воздействия на поверхности слоя переменной толщины, лежащей на скальных породах, когда плоские сейсмические волны, произвольным законом изменяющиеся по времени (типа SH) и распространяющиеся в скальных породах, под произвольным углом α_{21} падают на нижнюю границу слоя (рис. 1). Определим закон колебания произвольной точки $A_0(x_1, 0)$.

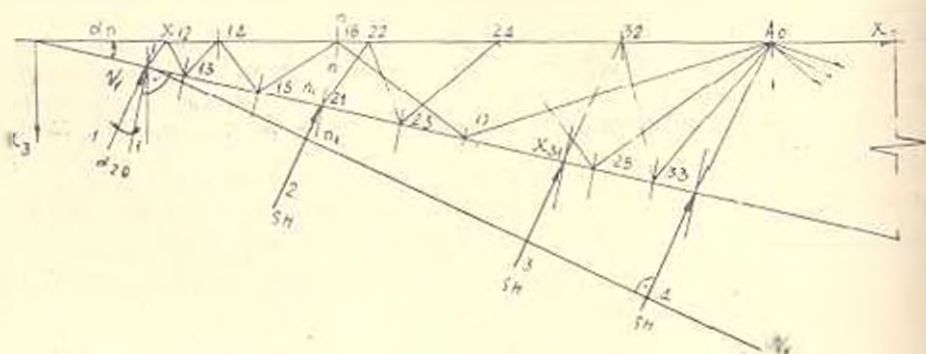


Рис. 1. Лучевая схема распространения волн типа SH в слое переменной толщины.

Волновая сетка, образующаяся внутри слоя, показана на рис. 1. Волна SH , проникающая в слой, распространяется вдоль него и после довательного отражается от подошвы $x_3 = x_1 \tan \alpha_n$ и кровли $x_2 = 0$ слоя. При этом, в отличие от слоя, имеющего постоянную толщину, угол отражения от толщины $x_3 = x_1 \tan \alpha_n$ или $x_2 = 0$ меняется по закону:

$$\alpha_{2k} = \alpha_{21} + (k-1)\alpha_n \quad (k = 1, 2, 3, 4, \dots), \quad (1)$$

где k_1 , ($v = k - 1$) — количества шагов и последовательного отражения волны, распространяющейся внутри слоя; α_{21} — угол преломления волны, распространяющейся в полупространстве и падающей на границу $x_2 = x_1 \operatorname{tg} \alpha_n$.

Угол отражения при $k=2, 4, 6, \dots$ относится к границе $x_2 = x_1 \operatorname{tg} \alpha_n$, а при $k=1, 3, 5, 7, \dots$ — $x_2 = 0$.

При определенных значениях угла α_{2k} ($k=2, 3, 4, \dots$)

$$\alpha_{2k} \geq \frac{\pi}{2} - \alpha_n \quad (2)$$

волна распространяется внутри слоя без последующего отражения от его границ. Подставляя (1) в (2), получим:

$$k \geq \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_n \right) \frac{1}{\alpha_n} \quad (3)$$

Из (3) можно сделать вывод, что волны распространяются в слое без последовательного отражения только в том случае, когда $\alpha_n = \frac{\pi}{2}$, т. е. направление распространения первичных волн параллельно границе раздела $x_2 = x_1 \operatorname{tg} \alpha_n$. В случае слоя постоянной толщины ($\alpha_n = 0$) количество последовательного отражения волны внутри идеального упругого слоя равно бесконечности.

В (1), (3) значение α_{21} определяется из условия Снеллиуса:

$$\sin \alpha_{21} = \frac{a_{21}}{a_{20}} \sin \alpha_{20} \quad (4)$$

Для определения сдвига фазы по времени различных волн, падающих в точку A_0 , вводим следующие обозначения:

L_i — длина траектории волны внутри слоя i -ого луча волны, падающего из полупространства на нижнюю границу слоя $x_2 = x_1 \operatorname{tg} \alpha_n$;

L_{ik} — длина k -ого прямолинейного отрезка (k -ого шага), входящего в траекторию волны внутри слоя от i -ого луча;

P — максимально возможное количество шагов в траектории волны, которая, распространяясь внутри слоя, падает в произвольную точку $A_0(x_1; 0)$, определенную из (3) при $n = k$.

Из геометрической схемы волновой сетки (рис. 1) L_{ik} принимает следующие значения:

$$\begin{aligned} L_{ik} &= \frac{x_1 \sin \alpha_n}{\cos [\alpha_{21} + 2(i-1)\alpha_n]} \quad (k = k_i); \\ L_{ik} &= \frac{L_{i, k+1} \cos \alpha_{2, k+2}}{\cos \alpha_{2k}} \quad (k = k_i - 1; k_i = 2, \dots, 1), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
\text{где при } i=1, \quad k=1, 2, \dots, n=k_1; \\
i=2, \quad k=1, 2, \dots, n-2=k_2; \\
i=3, \quad k=1, 2, \dots, n-4=k_3; \\
i=4, \quad k=1, 2, \dots, n-6=k_4 \text{ и т. д.}
\end{aligned} \tag{6}$$

Обобщая выражение (6), можно записать, что $k_i = n - 2(i - 1)$, а значение L_i определить:

$$L_i = \sum_k^{n-2(i-1)} L_{ik} = \sum_k^{k_i} L_{ik}. \tag{7}$$

Следовательно, время распространения волны внутри слоя от i -ого луча будет

$$\Delta t'_i = \frac{L_i}{a_{21}}. \tag{8}$$

Для определения сдвига фазы в полупространстве по времени $\Delta t''$ введем следующие дополнительные обозначения:

$$l_i = x_{1A} - x_{i1}; \quad a_{21} + \gamma a_n \geq \frac{\pi}{2} - \alpha_n; \quad \gamma = \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{21} \right) \frac{1}{\alpha_n} - 1, \tag{9}$$

где x_{1A} — координата точки A_0 по оси x_1 ; x_{i1} — координаты начальной точки волны, распространяющейся внутри слоя (11 для $i=1$, 21 для $i=2$ и т. д. — рис. 1).

Тогда:

$$\begin{aligned}
l_i = L_{ik_i} \sin \alpha_{2(k_i+1)} + \sum_{k=2}^{k_i-1} (L_{ik} + L_{i,k-1}) \sin \alpha_{2k} \\
(k=2, 4, 6 \dots)
\end{aligned} \tag{10}$$

и, следовательно,

$$\Delta t''_i = \frac{l_i - l_1}{a_{20}} \operatorname{tg} \alpha_n. \tag{11}$$

Суммируя $\Delta t'_i$ и $\Delta t''_i$, получим время прохождения волны вдоль i -ого луча от фронта волны $N_1 N_i$ до точки A_0 :

$$\Delta t_i = \Delta t'_i + \Delta t''_i = \frac{L_i}{a_{21}} + \frac{l_i - l_1}{a_{20}} \operatorname{tg} \alpha_n. \tag{12}$$

Условие интерференционного колебания в случае наклонного слоя запишется в виде:

$$\Delta t_i = n \frac{T}{2},$$

где при $n = 1, 3, 5, \dots$ относится к условию минимума, а $n = 0, 2, 4, \dots$ — максимума.

Запишем выражения, определяющие значения коэффициентов отражения волны вдоль i -ого луча при k -ом отражении от верхней и нижней границы слоя:

от верхней границы — $k_{ik} = 1$, при $k = 1, 3, \dots, k_1$,

от нижней границы —

$$k_{ik} = \frac{2a_{20} \rho_0 \cos \alpha_{2(k+1)}}{\rho_0 a_{20} \cos \alpha_{2(k+1)} - \rho_1 a_{21} \cos \alpha_{2(k+1)}} \quad (k = 2, 4, 6). \quad (13)$$

Смещение в точке A_0 от i -ого луча плоской гармонической волны

$$U_{20}^i = B_0 e^{jk_1} \left[t - \frac{x_1 \sin(\alpha_{20} + \alpha_n) - x_2 \cos(\alpha_{20} + \alpha_n)}{a_{21}} \right],$$

падающей на нижнюю границу $x_2 = x_1 \operatorname{tg} \alpha_n$, будет:

$$\begin{aligned} U_{21}^i(x_1; 0; t) &= k_0 k_{21} k_{22} \dots k_{ik_1} B_0 e^{jk_1} \left[t - \Delta t_i - \frac{x_1 \sin \alpha_{2(k_1+1)}}{a_{21}} \right] = \\ &= k_0 \sum_{k=1}^{k_1} k_{ik} B_1 e^{jk_1} \left[t - \Delta t_i - \frac{x_1 \sin \alpha_{2(k_1+1)}}{a_{21}} \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Проводя суммирование выражения (14) по i , получим формулу, определяющую общее смещение в точке $A_0(x_1; 0)$:

$$U_{21}(x_1; 0; t) = k_0 B_1 \sum_{i=1}^n \left[\prod_{k=1}^{k_1} k_{ik} \right] e^{jk_1} \left[t - \Delta t_i - \frac{x_1 \sin \alpha_{2(k_1+1)}}{a_{21}} \right].$$

Для нестационарной сейсмической волны по времени

$$U_{20} = \int_{-\infty}^{\infty} S_{20}(x_1; x_2; k_4) e^{jk_1} \left[t - \frac{x_1 \sin(\alpha_{20} + \alpha_n) - x_2 \cos(\alpha_{20} + \alpha_n)}{a_{20}} \right] dk_4$$

имеем:

$$U_{21}(x_1; 0; t) = k_0 \sum_{i=1}^n \left[\prod_{k=1}^{k_1} k_{ik} \right] \int_{-\infty}^{\infty} S_{20}(x_1; 0; k_4) e^{jk_1} \left[t - \Delta t_i - \frac{x_1 \sin \alpha_{2(k_1+1)}}{a_{21}} \right] dk_4,$$

где $S_{20}(x_1; 0; k_4)$ — спектральная функция падающей волны на нижнюю границу слоя.

Как показывает выражение (11) или (12), интенсивность сейсмического воздействия на слой переменной толщины существенно зависит от пространственной координаты x_1 . В этом случае условие максимума и минимума следует проводить и по координате x_1 .

Из (5) и (11) следует, что и случае переменной толщины сдвиг фазы Δt_i является функцией от координаты x_1 . При остальных одинаковых

случаях, на поверхности слоя переменной толщины резонансные явления зависят от координаты x_1 .

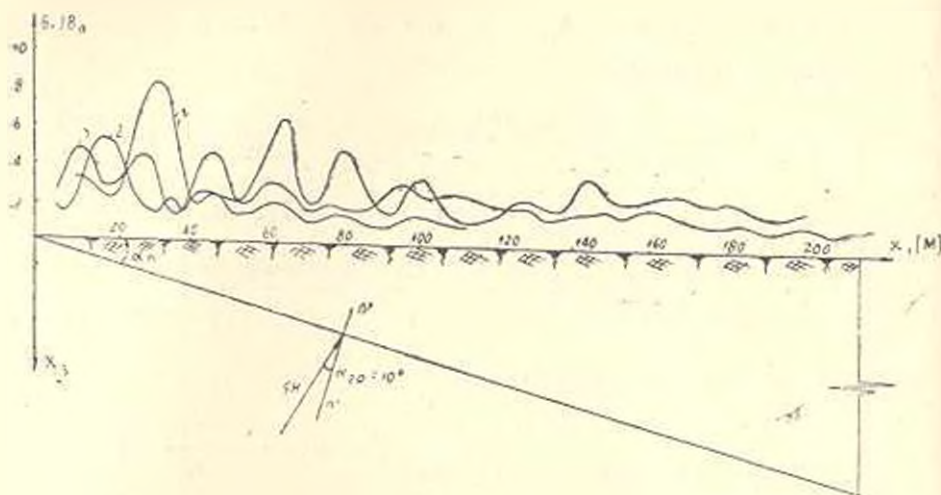


Рис. 2. Резонансные кривые (B_1/B_0) по координате x_1 при различных углах наклона на нижнюю границу слоя α_n .

На рис. 2 показан характерный график изменения значений резонансных кривых (B_1/B_0) , B_1 — амплитуда колебания грунта на поверхности $x_2 = 0$ по координате x_1 , когда на нижнюю границу слоя падает гармоническая волна с единичной амплитудой $B_0 = 1$, при различных углах наклона на нижнюю границу слоя $\alpha_n = 10^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ и следующих фиксированных данных:

$$\rho_0 = 1,9 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{см}^3; \quad a_{20} = 6 \cdot 10^4 \text{ см/с}; \quad \rho_1 = 0,8 \rho_0; \quad a_{21} = 0,25 a_{20}; \\ \chi_{20} = 0,04; \quad \chi_{21} = 2 \chi_{20}; \quad \alpha_n = 30^\circ; \quad k_4 = 3,14 \text{ с}^{-1}.$$

ИГИС АН Арм.ССР,
ИИС Гидропроект им. С. Я. Жука

27. XI. 1981

Մ. Վ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Է. Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՀԱՍՏՈՒԹՅԱՄԲ ՇԵՐՏԻ ԱԶԿԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՏԱՐԱՄՎՈՂ ՀԱՐԹ ՍԵՅՍՄԵՐԱԿԱՆ ԱՐԺԻ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ու մ

Դիտարկվում են կամայական սնկյան տակ բնկնող SH տիպի հարթ սեյսմիկական ալիքի տարածումը փոփոխական հաստությամբ շերտում և ալիքի պարամետրերի որոշումը ազատ մակերևույթի ցանկացած կետում:

Խնդրի լուծումը կատարվում է հառադայթային մեթոդով, որի օգնությամբ բացահայտված է ալիքային պատկերի շերտում: Որոշված է երկու հարևան ալիքների ֆազերի տարբերությունը տարածման ընթացքում մինչև

ազատ մակերևույթ: Լկացուցված է, որ սեյսմիկական ազդեցության ինտեն-
սիտետները և տեղի ունեցող սեղողանոսային երևույթները փոփոխական շեր-
տի վրա էապես կախված են տարածական X կոորդինատից: Լուծման ընթաց-
քում հաշվի է առնված ալիքի տարածման ժամանակ ինտերֆերենցիայի երե-
վույթները:

Բերված է թվային օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кац А. Э. Сейсмическое микрорайонирование с учетом изменения параметров ко-
лебаний и направлений с глубиной.— В кн.: Вопросы инженерной сейсмологии.
М., Наука, вып. 13, 1970, с. 16—31.
2. Саворенский Е. Ф. Сейсмические волны.— М.: Недра, 1972.— 291 с.
3. Штейнберг В. В. Влияние слоя на амплитудно-частотный спектр колебаний на по-
верхности.— В кн.: Вопросы инженерной сейсмологии, М., Наука, вып. 10, 1965,
с. 34—46.
4. Саргсян А. Е. Сейсмические воздействия на свободную поверхность строительной
площадки и на преграду, лежащую на многослойном основании.— В кн.: Тези-
сы докладов Всесоюзного научно-технического совещания МИРСС-81, Л., 1981,
с. 102—104.