

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Н. К. Карапетян

Методика определения спектра с учетом неперидичности
 сейсмических колебаний

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 13/XI 1961)

Проблема изучения сейсмических колебаний может быть в значительной мере разрешена путем применения спектрального анализа.

Спектральный анализ сейсмических волн позволит дополнить и уточнить наши представления о внутреннем строении Земли. Для оценки поведения сооружений во время землетрясений также необходимо знать спектральные характеристики землетрясений. Знание преобладающих периодов и спектрального состава колебаний почвы, а также их зависимости от интенсивности землетрясений, эпицентрального расстояния и глубины залегания очага, грунтовых и геологических условий, от характера затухания сейсмических волн может служить одной из характеристик сейсмичности данного района.

Спектр сейсмических колебаний можно определять или непосредственно во время колебательного процесса в результате его воздействия на определенный прибор или же путем последующего анализа записи полученной с помощью сейсмографа или акселерографа.

Нами используется второй путь получения спектров.

Сейсмические колебания представляют собой нестационарную функцию, имеющую сплошной спектр с преобладанием отдельных периодов. Следовательно, при определении спектрального состава колебаний почвы необходимо учитывать их неперидичность.

Нами предлагается сейсмические колебания почвы представлять в виде интеграла Фурье

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (1)$$

Величина $S(\omega) d\omega = dC$ является комплексной амплитудой каждого отдельного составляющего колебания при частоте ω . Функция $f(t)$ в нашем случае описывает закон колебания грунта при прохождении сейсмических волн в течение конечного времени. Главная часть

комплексного спектра этой функции заключена в области частот $(0, \omega)$. Поэтому интегрирование мы можем выполнять в пределах от момента начала колебательного процесса до его замирания и в области частот от 0 до ω

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\omega} S(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (2)$$

Величина $S(\omega)$, являющаяся комплексной функцией круговой частоты ω , определяет спектральную плотность комплексной амплитуды. Каждая гармоническая составляющая частоты ω полностью определяется спектральной плотностью ее амплитуды $\Phi(\omega)$ и начальной фазой $\varphi(\omega)$ (1)

$$S(\omega) = \Phi(\omega) e^{i\varphi(\omega)}. \quad (3)$$

Модуль $\Phi(\omega)$ комплексного спектра $S(\omega)$ представляет амплитудный спектр функции $f(t)$, а аргумент $\varphi(\omega)$ — фазовый спектр этой же функции.

Эти спектры определяются через коэффициенты Фурье

$$A(\omega) = \int_0^t f(t) \cos \omega t dt \quad \text{и} \quad B(\omega) = \int_0^t f(t) \sin \omega t dt \quad (4)$$

следующим образом:

$$\Phi(\omega) = \sqrt{A(\omega)^2 + B(\omega)^2} \quad (5)$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{B(\omega)}{A(\omega)}. \quad (6)$$

Таким образом, исследование спектрального состава колебаний почвы при землетрясении сводится к определению его амплитудного и фазового спектра.

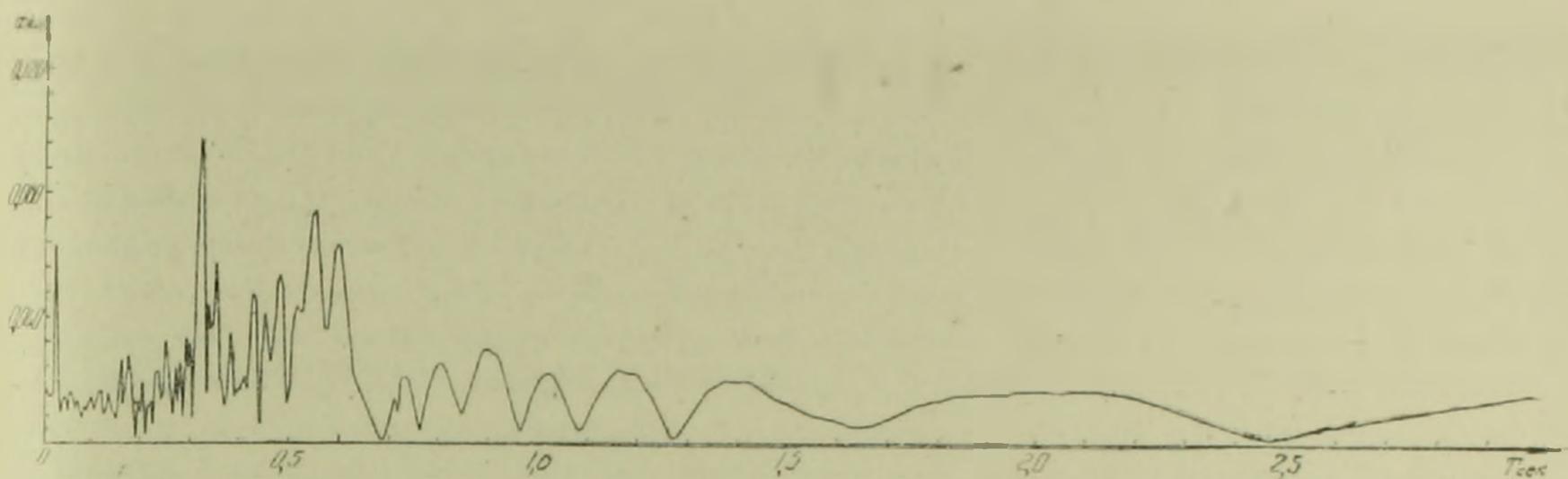
Согласно предлагаемой методике определения спектра сейсмических колебаний по реальной сейсмограмме или акселерограмме или же записи взрыва определяются значения функции $f(t)$ в зависимости от времени через определенные, достаточно малые интервалы времени. Затем по формулам (4) вычисляются значения $A(\omega)$ и $B(\omega)$. По этим данным определяются для различных периодов значения $\Phi(\omega)$ по формуле (5) и $\varphi(\omega)$ по формуле (6) и по ним строятся амплитудный и фазовый спектры.

С целью построения амплитудного и фазового спектра анализирована акселерограмма восьмибалльного Калифорнийского землетрясения 9 марта 1949 года.

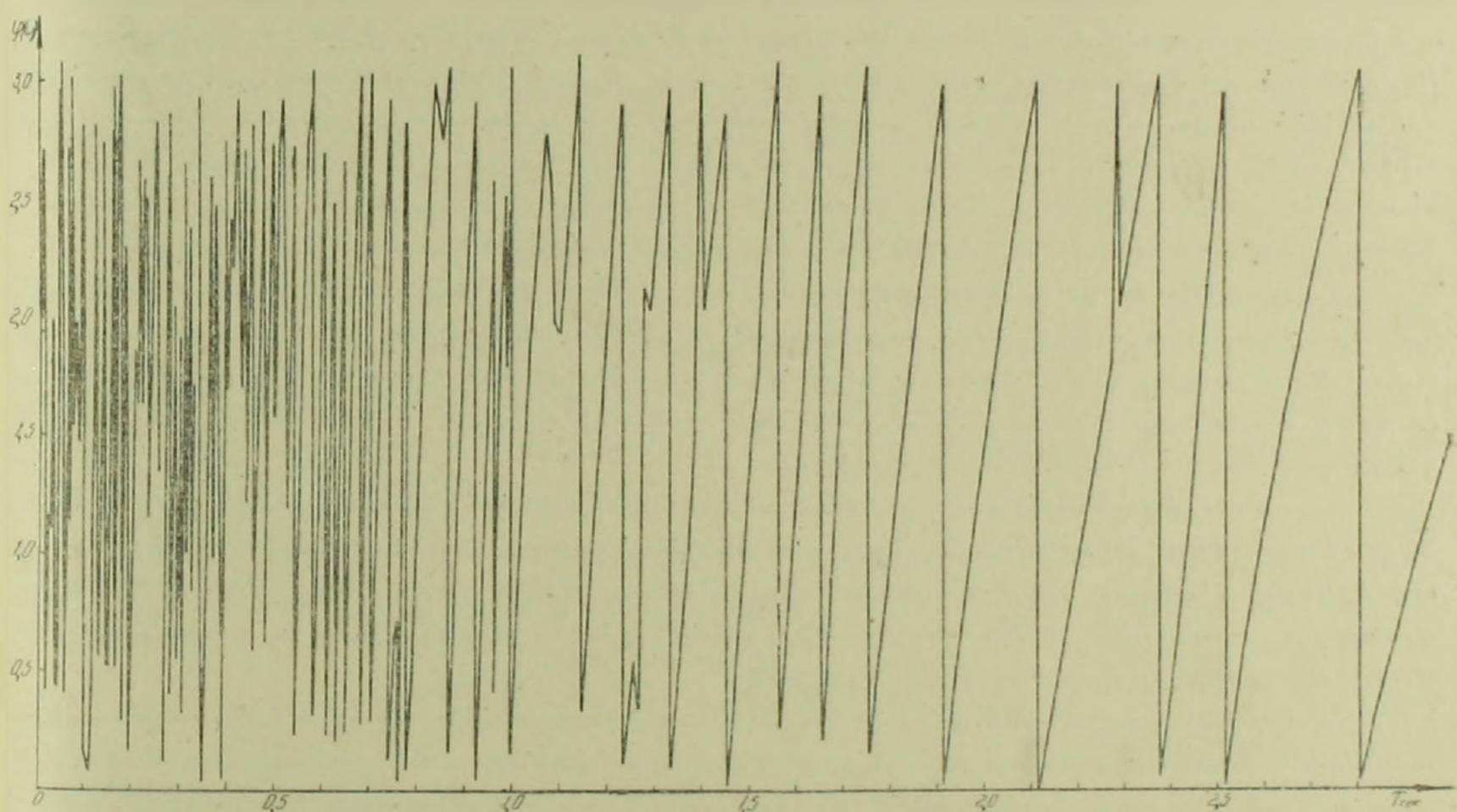
Запись ускорения произведена станцией „Холистер“. Эпицентр землетрясения находился в 22 км от этой станции. Нами подвергнута анализу горизонтальная составляющая колебания. При этом угол между

направлением на эпицентр и направлением регистрируемого колебания составляет 21° .

Запись увеличена примерно в 10 раз и по ней измерены значения функции $f(t)$, т. е. ускорения почвы в зависимости от времени начиная от 0 до 12,12 сек, через каждые 0,024 сек, всего 505 значений.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Эти величины сведены в таблицу, с помощью которой в Вычислительном центре Академии наук Армянской ССР были получены значения $\Phi(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ для периодов от 0,005 сек. до 3 сек., через каждые 0,005 сек. до 1 сек. и через каждые 0,01 сек. до 3 сек. По полученным данным построены амплитудный и фазовый спектры, представленные соответственно на фиг. 1 и 2. На графиках по оси абсцисс отложены периоды, а по оси ординат — в первом случае спектральная плотность амплитуды $\Phi(\omega)$, во втором случае — начальная фаза $\varphi(\omega)$. Полученные спектры являются непрерывными.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

**Սեյսմիկ տատանումների անպարբերականության
հաշվառումով սպեկտրի սրուման եղանակ**

Հոդվածում առաջարկվում է սեյսմիկ տատանումների սպեկտրի սրուման մի եղանակ, որում հաշվի է առնվում տատանումների անպարբերականությունը: Փորձ է արված բնահողի սեյսմիկ տատանումները ներկայացնել ֆուրյեի ինտեգրալի տեսքով՝ այսինքն, հաճախությունների անընդհատ հերթականության սինուսոիդների ինտեգրայային գումարի տեսքով ⁽¹⁾: Անյբանով որ սեյսմիկ տատանումների հիմնական մասը $f(t)$ ըստ ժամանակի սահմանափակվում է ինչ-որ $(0, t)$ ինտերվալով, իսկ սպեկտրի գլխավոր մասը ընկնում է $(0, \omega)$ հաճախության գոնայում, ապա ինտեգրումը կատարվում է ոչ թե անվերջության սահմանում, այլ միայն տատանողական պրոցեսի սկզբի և նրա մարման սահմանի համար, 0 -ից մինչև ω հաճախությունների տիրույթում ⁽²⁾: ω -հաճախությունների յուրաքանչյուր հարմոնիկ բաղադրիչը ամբողջությամբ որոշվում է նրա $\Phi(\omega)$ ամպլիտուդի սպեկտրային խտությամբ և սկզբնական ֆազայով ⁽³⁾: Այսպիսով երկրաշարժի ժամանակ բնահողի տատանումների սպեկտրային կազմի հետազոտությունը բերվում է նրա ամպլիտուդային և ֆազային սպեկտրի որոշմանը:

Համաձայն սեյսմիկ տատանումների սպեկտրի որոշման առաջարկվող եղանակի, որտեղ օգտագործվում են իրական սեյսմոգրամներ կամ ակսելերոգրամներ և կամ սլայթեցումների գրանցումներ, անհրաժեշտ է որոշել $f(t)$ ֆունկցիայի արժեքները կախված ժամանակի որոշակի բավականին կարճ ինտերվալների համար: Այնուհետև ⁽⁴⁾ բանաձևերի համաձայն հաշվվում է $A(\omega)$ և $B(\omega)$ արժեքները: Այդ սվայինների հիման վրա ⁽⁵⁾ բանաձևով $\Phi(\omega)$ -ի տարրեր պարբերությունների արժեքների համար և ⁽⁶⁾ բանաձևով $\varphi(\omega)$ -ի համար կառուցվում է ամպլիտուդային և ֆազային սպեկտրները:

Նպատակ ունենալով կառուցել ամպլիտուդային և ֆազային սպեկտր, կալիֆորնիայի 9.3.1949 թվականի ութրալանոց երկրաշարժի ակսելերոգրամը մեծացվել է մոտ 10 անգամ և ըստ նրա չափվել է $f(t)$ ֆունկցիայի արժեքները՝ այսինքն, բնահողի արագացումները կախված ժամանակից յուրաքանչյուր 0,024 վայրկյանի համար, սկսած 0-ից մինչև 12,12 վայրկյանը՝ ընդամենը 505 նշանակություն:

Այս մեծությունները բերված են աղյուսակային ձևի, որի օգնությամբ Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների ակադեմիայի Հաշվողական կենտրոնում ստացվել են $\Phi(\omega)$ և $\varphi(\omega)$ -ի արժեքները հետևյալ պարբերությունների համար. 0,005 վայրկյանից մինչև 3 վայրկյանը յուրաքանչյուր 0,005 վայրկյանի համար՝ մինչև 1 վայրկյանը և յուրաքանչյուր 0,01 վայրկյանի համար մինչև 3 վայրկյանը:

Ստացված արդյունքների հիման վրա կառուցված ամպլիտուդային և ֆազային սպեկտրները համապատասխանաբար բերված են 1 և 2 նկարներում: Գրաֆիկներում արտցիսի վրա տրված են պարբերությունները, իսկ օրդինատային առանցքի վրա՝ ստացված զեպում $\Phi(\omega)$ ամպլիտուդի սպեկտրալ խտությունը, երկրորդում՝ $\varphi(\omega)$ սկզբնական ֆազան: Ստացված սպեկտրները անխզելի են:

ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

¹ Н. И. Гурвич, Сейсмическая разведка. М., 1960.