

Расчетные модели для прогнозирования параметров колебания грунта

А.А. Гусев, А.Г. Петухин*

Описан первый вариант алгоритма для прогнозного расчета параметров сильных движений грунта в инженерно-сейсмологических целях и программа, его реализующая. Показана структурная схема алгоритма, описание модулей и алгоритма в целом. Приведены примеры расчета спектра Фурье и спектра реакции ускорения, максимального ускорения и длительности колебаний. Алгоритм реализован в программе "ССК" для ЭВМ типа IBM PC.

1. ВВЕДЕНИЕ

Практическая задача прогноза параметров сейсмических колебаний грунта для целей ОСР затрудняется, в частности, отсутствием взаимной согласованности имеющихся эмпирических регрессионных формул для разных параметров колебаний, противоречиями между структурой формул и простейшей теорией формирования колебаний. Ситуация часто осложняется частичным или полным отсутствием эмпирических данных в малоизученных регионах или в регионах со слабой сейсмичностью. В статье описывается первый практический вариант алгоритма для прогноза параметров сильных сейсмических колебаний грунта для конкретного региона с возможностью настройки на регион. В идеале такой прогноз должен был бы учитывать детальные характеристики очага и среды, включая трассу распространения волн и конкретную площадку строительства. Однако обычным упрощением в инженерной сейсмологии является описание очага через магнитуду, трассы — через гипоцентрального расстояние и площадки — через один из трех типов грунта. В статье описывается вариант такого подхода, отличающийся следующими особенностями.

1. Свойства очагов конкретной сейсмической зоны задаются через спектр Фурье FS горизонтальных ускорений от условного или реального типового (опорного) землетрясения опорной магнитуды M_{W0} , зарегистрированного на скальном грунте на опорном расстоянии r_0 .
2. Для перехода к другим значениям r и M_W задаются и используются законы масштабирования очаговых параметров и спектров, параметры поглощения и рассеяния в среде.
3. Вариации грунтовых условий учитываются с помощью амплитудно-независимых поправок к спектру за категорию грунта. Влияние грунтовых условий на длительность не принимается во внимание.

*Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский.

2. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АЛГОРИТМА. НАЗНАЧЕНИЕ МОДУЛЕЙ

Структурная схема алгоритма (рис.1) иллюстрирует основные связи между входными, промежуточными и конечными величинами расчета: M_W и r для конкретного очага, параметрами среды и грунтовых условий, характеристиками сигнала в очаге и на расстояниях r_0 и r , параметрами колебаний. В качестве основной входной характеристики для настройки алгоритма на конкретный регион или эпицентральную зону было сочтено целесообразным использовать параметры, описывающие спектр Фурье ускорения FS для конкретных фиксированных значений магнитуды $M_W = M_{W_0}$ и расстояния $r = r_0$. Эти величины считаются непосредственно известными из наблюдений в данном или другом аналогичном регионе либо определяются при неформализованном обобщении данных, либо рассчитываются по аналитической модели. Возможен также расчет спектра Фурье по спектру реакции при фиксированных M_{W_0} и r_0 .

Далее для заданных входных величин M_W и расстояния до центра очага r рассчитываются поправки к FS за поглощение в среде и за геометрическое расхождение с учетом протяженности источника. Также вычисляются поправки к уровню FS за различие магнитуд M_W и M_{LH} , и отличие грунтовых условий от условий скального грунта. При этом используются следующие параметры, характеризующие среду: c_s — скорость поперечных волн, Q_0 — добротность среды при $f = 1$ Гц, γ_Q — показатель степени для зависимости добротности от частоты. Для характеристики грунтовых условий используется параметр g — категория грунта. При расчете эффектов длительности и протяженности очага учитывается закон масштабирования параметров очагов, полученный в [Gusev, 1991] на основе обобщения эмпирических данных. Параметры опорного спектра Фурье и поправки используются для расчета основной характеристики — спектра Фурье ускорений для заданных M_W и r .

Расчет второй основной характеристики — длительности акселерограммы — производится на основе предварительно рассчитанных очаговой длительности (на основе закона масштабирования параметров очагов) и компоненты длительности, определяемой средой. Эффект среды в расчете учитывается с помощью одного параметра τ_{100} , описывающего длительность волнового пакета S -волн от мгновенного источника (“импульсную реакцию среды”) на гипоцентральном расстоянии 100 км.

На основе уже полученных спектра Фурье и длительности далее проводится расчет среднеквадратичного ускорения $a_{ск}$, максимальных ускорения a_{max} и скорости v_{max} , спектра реакции по ускорению RA (при заданном затухании D осциллятора) и спектра мощности PS .

2.1. Исходные данные расчета

Спецификация исходного опорного спектра. Реализованный алгоритм расчета параметров сильных сейсмических колебаний в качестве исходной амплитудно-спектральной характеристики использует опорный спектр Фурье ускорения FS при некоторых фиксированных магнитуде M_W (или M_{LH}) и гипоцентральном расстоянии r .

В основном варианте расчета опорный спектр задается таблично на основе эмпирических данных для региона либо как фактически наблюдаемый, либо как прогнозная оценка на основе обобщения различных данных. Предусмотрена возможность расчета

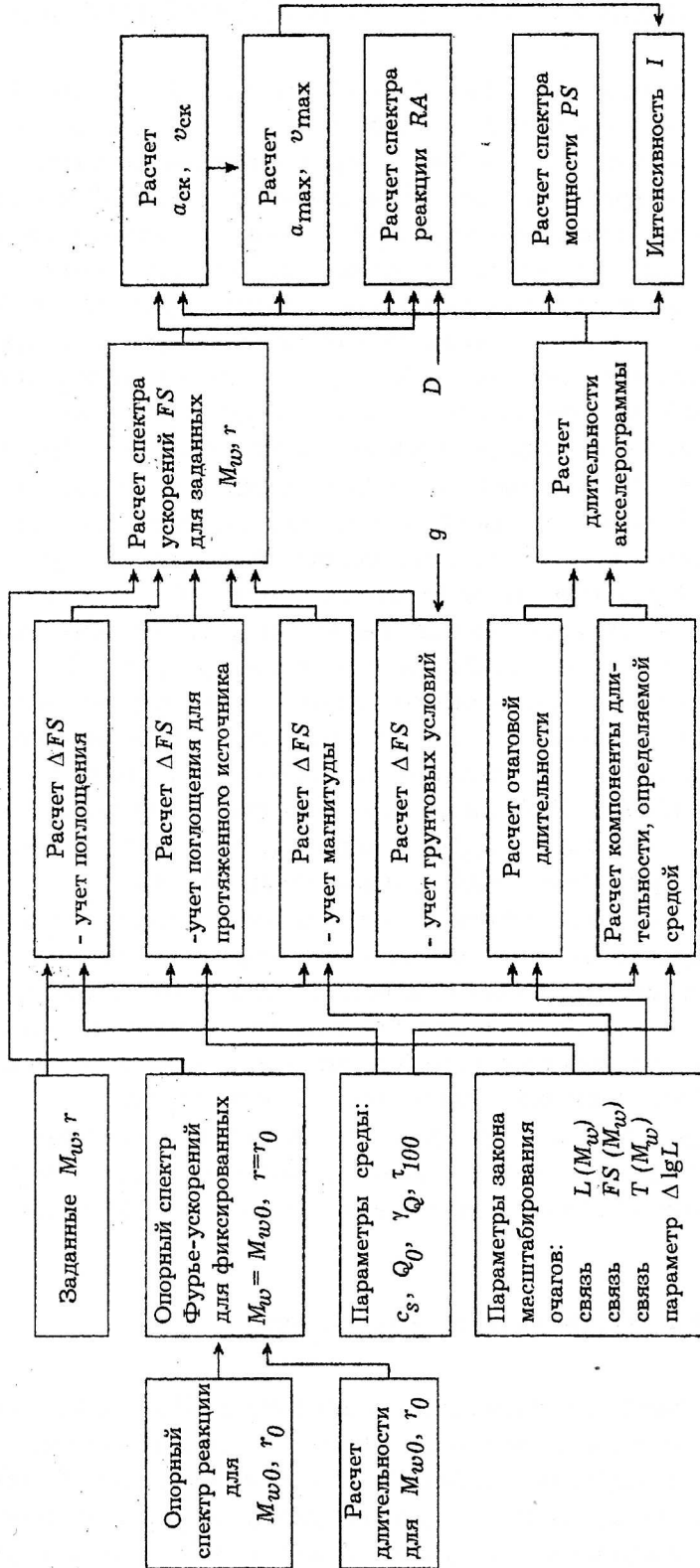


Рис.1. Структурная схема алгоритма

Основные особенности алгоритма следующие: 1) свойства очагов конкретной сейсмической зоны задаются одним из трех способов: первый — через спектр Фурье-ускорений типowego (опорного) землетрясения, зарегистрированного или ожидаемого на опорном расстоянии от очага опорной магнитуды; второй — через региональную модель спектра Фурье-ускорений, заданную таблицно для ряда значений магнитуд на опорном расстоянии; третий — через спектр реакции опорного землетрясения, зарегистрированного или ожидаемого на опорном расстоянии; 2) для перехода к другим значениям расстояния и магнитуды задаются и используются законы масштабирования параметров очагов и спектров, параметры затухания и рассеяния в среде; 3) вариации грунтовых условий учитываются через набор поправок к спектру Фурье для грунтов 2 и 3 категорий относительно грунта 1 категории

опорного спектра по спектру реакции, заданному таблично. В качестве опорного спектра также возможно использование региональной модели спектра, заданной таблично для ряда значений M_W на расстоянии r_0 .

Альтернативный вариант расчета использует аналитическое представление очагового спектра. Применяется известная модель Бруна в варианте Бура и Джойнера [Boore, 1986], с настраиваемыми параметрами: сейсмический момент M_0 , сброшенное напряжение $\Delta\sigma$, частота среза высоких частот f_{\max} .

Спецификация свойств среды. Считается, что среда представляет собой однородное слабопоглощающее упругое полупространство. Принято также, что среда является рассеивающей, причем энергия при рассеянии не теряется (“рассеяние вперед”), а роль рассеяния в том, что длительность записи от мгновенного источника нарастает с расстоянием. Фактически на частотах около 1 Гц эффекты рассеяния вперед и дисперсии неразделимы, в программе же учитывается суммарный эффект на эмпирической основе.

Спецификация закона масштабирования спектров и параметров очага. В основном варианте, при расчете поправок и при расчете полной длительности, важнейшую роль играет используемый закон масштабирования спектров и параметров очага. Фактически используемый закон получен на основе обобщения эмпирических данных и с учетом гипотезы подобия очагов. Предполагается степенной рост размера и длительности очага от момента M_W .

При расчете длины очага L в предположении о строгом подобии принималось [Гусев, Мельникова, 1990]:

$$\lg L = 0.5M_W - 1.85 = a, \quad (1)$$

где $a = \lg L$ — поправка, связанная с возможным отклонением сброшенного напряжения от среднего. Выражение (1) используется затем для расчета очаговой длительности в предположении, что

$$L = T_{\text{ист}} \cdot v. \quad (2)$$

$v = 3.5$ км/с принято согласно [Гусев, Мельникова, 1990].

Зависимость спектра Фурье ускорения короткопериодного излучения от магнитуды M_W задавалась с учетом эмпирических данных о зависимости $FS(M_W)$. Есть два типа таких данных — по ближней зоне и телесеismicические. Хотя в принципе данные ближней зоны предпочтительнее, степень их надежности и обоснованности в области моментных магнитуд 7–9 низка даже для наилучшим образом изученных регионов — Калифорнии и Японии. Поэтому были приняты решения: во-первых, принять форму спектра не зависящей от магнитуды; во-вторых, тренд спектра задать на основе телесеismicических данных [Gusev, 1991] как

$$\lg(FS) = 0.6M_W + \text{const}. \quad (3)$$

Напомним, что спектральная модель Бруна предсказывает на высоких частотах более медленный рост, с коэффициентом 0.5.

2.2. Расчет спектра Фурье ускорений

Учет поглощения. Неупругое поглощение в среде учитывается при помощи поправочного множителя к спектру, имеющего вид

$$K_Q(f) = \exp\left(-\frac{\pi f r}{Q(f)c_s}\right), \quad (4)$$

в котором частотно-зависимая добротность задается формулой

$$Q(f) = \begin{cases} Q_0 & \text{при } f < 1 \text{ Гц,} \\ Q_0 f^{\gamma_Q} & \text{при } f \geq 1 \text{ Гц.} \end{cases} \quad (5)$$

Учет расхождения при протяженном очаге. Уровень спектра Фурье вблизи протяженного очага будет ниже, чем в предположении точечного источника, из-за уменьшения эффективной площади излучателя при приближении точки приема к очагу. В [Trifunac, Lee, 1990] описано специальное исследование с целью выбора оптимального варианта среди нескольких формул, описывающих поле излучения вблизи протяженного очага. Сравнивали четыре формулы:

- простейшую, которая описывает обычное насыщение уровня спектра Фурье вблизи очага:

$$K_r = \frac{1}{\sqrt{R_{\text{эф}}^2 + r^2}} \quad (6)$$

и соответствует светотехнической модели — круговой площадке, излучающей по закону Ламберта;

- формулу из работы [Гусев, 1984]

$$K_r = \sqrt{\frac{1}{R_{\text{эф}}^2} \ln \frac{r^2 + R_{\text{эф}}^2}{r^2 + R_c^2}} \quad (7)$$

(где R_c — радиус когерентности источника, принято $R_c = 1$ км), отличающуюся от предыдущей использованием более реалистической изотропной диаграммы излучения элементарного излучателя;

- два модифицированных варианта этих формул.

Результаты подгонки калифорнийской базы данных с использованием каждой из формул показали явные преимущества формулы (7). Именно она была затем применена как важный компонент рекомендуемых расчетных прогнозных формул для Калифорнии. Описанное исследование на основе наиболее богатой в мире региональной базы данных позволяет с уверенностью использовать в алгоритме формулу (7).

Для эффективного (по интенсивности излучения) радиуса очага $R_{\text{эф}}$, следуя [Гусев, 1984], использована оценочная зависимость

$$R_{\text{эф}} = \frac{1}{2}(LW)^{1/2} \approx 0.4L. \quad (8)$$

Поправки к спектру Фурье за грунтовые условия

Категория грунта	$f, \text{Гц}$								
	0.20	0.32	0.5	1	2	3.2	5	10	20
2	0.15	0.22	0.26	0.29	0.23	0.18	0.10	0.00	-0.10
3	0.27	0.40	0.48	0.55	0.43	0.27	0.11	-0.10	-0.30

Результат используется в (7).

В другом варианте расчета поправки за расхождение используется программа численного расчета излучения от прямоугольного очага А.А. Гусева и Л.С. Шумиловой, описанная в настоящем сборнике.

Учет магнитуды. Для учета влияния магнитуды на уровень спектра из (3) получим

$$FS(M_W) = K_m FS(M_{W_0}), \tag{9}$$

где

$$\lg K_m = 0.6(M_W - M_{W_0}). \tag{10}$$

Для диапазона частот 0.5–10 Гц выражение (3) приемлемо в пределах интервала магнитуд $M_W = 6.5 \div 9$. Параметры уравнения (3) могут быть изменены при настройке на определенный регион.

В альтернативном варианте вычисления учет магнитуды производится автоматически в силу аналитического характера модели.

Учет грунтовых условий. Грунтовые условия учитываются с помощью поправок к $\lg FS(r, M_W)$, вводимых при помощи таблицы. Согласно принятой классификации грунтовые условия делятся по категориям грунта: 1-й, 2-й и 3-й категории (соответственно скальные, средние и мягкие). Зависимость поправок от толщины слоя грунта и от уровня сейсмических воздействий не учитывается. Длительность колебаний для всех типов грунтов принимается равной длительности на скальном грунте. В таблице приведен рекомендованный для Камчатки и принятый в дальнейших расчетах вариант таких поправок из работы [Гусев, 1990, табл.3], построенных с учетом нелинейности при сильных колебаниях грунта.

Расчет спектра Фурье. Значения спектра Фурье для заданных M_W и r рассчитываются по одному из трех вариантов расчетной схемы: 1 — по значениям опорного спектра Фурье для фиксированных $M_W = M_{W_0}$ и $r = r_0$; 2 — по региональной модели $FS(f, M_W)$ для фиксированного r_0 ; 3 — по очаговому спектру, полученному из аналитической модели.

В первом варианте для заданных значений r и M_W уровень спектра Фурье определяется по формуле

$$FS(f | r, M_W) = FS(f | r_0, M_{W_0}) K_m K_Q(f) K_r K_g, \tag{11}$$

где K_M, K_Q, K_r и K_g — поправочные коэффициенты, учитывающие магнитуду землетрясения, поглощение, расхождение и грунтовые условия согласно формулам (10), (4), (7) и таблице соответственно. Для иллюстрации этой расчетной схемы в программе принят усредненный спектр для сильных землетрясений Камчатки, полученный в работе [Гусев, 1990, рис.4] для $M_{W_0} = 8.4$ и $r_0 = 80$ км.

Во втором и третьем вариантах уровень спектра Фурье определяется по аналогичной формуле, в которой значение $FS(f | r_0, M_W)$ определяется путем интерполяции табличных значений или рассчитывается аналитически.

2.3. Расчет длительности

С удалением от разрыва очаговый импульс растягивается за счет рассеяния и дисперсии в среде. Простейшая теория говорит, что действие рассеивающей среды на некогерентный импульс может быть описано как свертка его квадрата огибающей с квадратом огибающей импульсной реакции среды (с “функцией Грина по мощности”). При этом квадрат среднеквадратичной длительности их свертки будет равен сумме квадратов среднеквадратичных длительностей огибающих. (Желание использовать этот полезный факт и является причиной введения нового параметра $T_{ск}$.) Этот точный результат для некогерентных узкополосных квазистационарных сигналов мы применим как приближенный в пределах всей полосы 0.5–10 Гц.

Расчет очаговой длительности. Для модельного сигнала с прямоугольной огибающей и с полной длительностью T_M среднеквадратичная длительность $T_{ск}$ связана с T_M соотношением

$$T_{ск} = \frac{T_M}{\sqrt{12}} \quad (12)$$

(это известный результат о дисперсии равномерного закона в теории вероятностей). Считая для источника $T_M = T_{ист}$ из (2) и используя формулу (12), получим $T_{ск}$ для источника, которую обозначим через $T_{ист.,ск}$.

Расчет компоненты длительности, определяемой средой. Среднеквадратичная длительность импульсной реакции среды оценивается по эмпирической формуле

$$T_{ср} = \tau_{100} \left(\frac{r^{n_m}}{100} \right), \quad (13)$$

в которой показатель степени n_m принят равным единице, а параметр τ_{100} (длительность при $r = 100$ км) является настраиваемым входным параметром алгоритма.

Расчет длительности акселерограммы. Полную среднеквадратичную длительность рассчитываем по формуле

$$T_{ск} = \sqrt{T_{ист.,ск}^2 + T_{ср}^2}. \quad (14)$$

При расчете пикового ускорения и спектра реакции в области максимальных амплитуд акселерограммы в качестве характеристики длительности удобно использовать “эффективную длительность” $T_{эф}$ — длительность эквивалентного по энергии

сигнала с прямоугольной огибающей и среднеквадратичной амплитудой, равной среднеквадратичной амплитуде исходного сигнала в области максимума:

$$T_{\text{эф}} \approx 2T_{\text{ск}}. \quad (15)$$

Коэффициент 2 в этой формуле предварительный и может потребовать некоторого уточнения.

2.4. Расчет параметров колебаний грунта

Расчет спектра мощности. Спектр мощности $PS(f)$ рассчитывается по простой формуле

$$PS(f) = \frac{FS^2(f)}{T_{\text{эф}}}. \quad (16)$$

Расчет $a_{\text{ск}}$ и $v_{\text{ск}}$. Среднеквадратичное ускорение оценивается из известного равенства Парсевала для энергий сигнала в частотной и временной области:

$$a_{\text{ск}}^2 T_{\text{эф}} = 2 \int_0^{\infty} FS^2(f) df. \quad (17)$$

Среднеквадратичная скорость $v_{\text{ск}}$ рассчитывается по аналогичной формуле, в которой $FS(f)$ заменяется на $FSV(f)$:

$$FSV(f) = \frac{FS(f)}{2\pi f}. \quad (18)$$

Расчет a_{max} и v_{max} . Превышение максимального значения экстремума ускорения a_{max} над среднеквадратичным ускорением оценивается по формуле, справедливой для отрезка Гауссова процесса [Гумбель, 1965]:

$$a_{\text{max}}^2 = (\ln(n) + 0.577)a_{\text{скэ}}^2, \quad (19)$$

где $n \approx 2\hat{f}T_{\text{эф}}$ — число экстремумов, $a_{\text{скэ}}$ — среднеквадратичный экстремум. Через \hat{f} обозначена средняя частота, рассчитываемая как

$$\hat{f} = \frac{\int_0^{\infty} f FS^2 df}{\int_0^{\infty} FS^2 df}. \quad (20)$$

Для оценки $a_{\text{скэ}}$ считаем, что $a_{\text{скэ}}^2 = 2a_{\text{ск}}^2$ (точный результат для математических ожиданий для широкого класса случайных процессов). Окончательная формула для расчета

$$a_{\text{max}} = a_{\text{ск}} \sqrt{2(\ln(2\hat{f}T_{\text{эф}}) + 0.577)}. \quad (21)$$

Алгоритм расчета максимальной скорости не отличается от такового для ускорения, лишь $FS(f)$ заменено в расчете \hat{f} на $FSV(f)$ по формуле (18).

Расчет спектра реакции по ускорению RA . Оценка спектра реакции RA по спектру Фурье FS рассчитывалась при помощи компактной системы формул, полученной в [Гусев, 1990]:

$$\begin{aligned} RA(f) &= 2\pi f RV(f); \\ RV(f) &= C_V |FS(f)|; \\ C_V &= \frac{A(q)}{2q} (1 - e^{-2q}); \end{aligned} \quad A(q) = \begin{cases} 1 & \text{при } q \leq 1, \\ \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} & \text{при } 1 < q < 16, \\ \ln(n) + 0.577 & \text{при } q \geq 16 \end{cases} \quad (22)$$

где $q = T_{\text{эф}}/T_{\text{осц}}$, а $T_{\text{осц}} = 1/2\pi f_0 D$ — характерное время переходного процесса в осцилляторе с собственной частотой f_0 и затуханием D ; $n = (q - 1)/\pi$ — число независимых экстремумов.

Заметим, что вышеприведенные формулы приемлемы при $D \ll 1$. Типичным и фактически зафиксированным значением является $D = 0.05$.

Расчет балльности. Сейсмическая интенсивность (балльность) оценивается по известной формуле Ф.Ф. Аптикаева [1976]

$$I = 3.3(\lg a_{\text{max}} + 0.44 \lg T_{\text{эф}}) + C. \quad (23)$$

Значение константы $C = -0.45$ исходя из требования совпадения двух оценок интенсивности:

- 1) по формуле (23) со значениями a_{max} и $T_{\text{эф}}$, полученными в нашей расчетной схеме при значениях $M_W = 6$ и $r = 50$ км;
- 2) по формуле Н.В. Шебалина [1976] с $M_{LN} = 6.0$ (соответствует $M_W = 6$) и $r = 50$ км.

Задача аккуратной подгонки соответствия между I и параметрами колебаний решается при настройке модели на конкретный регион.

3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Приведенный алгоритм реализован в программе “ССК”. Для иллюстрации характера работы алгоритма и программы был приведен расчет зависимостей параметров: $FS(r)$, $T_{\text{эф}}(r)$, $a_{\text{max}}(r)$, $RA(f)$. При расчете трех первых зависимостей за основу принимался рекомендованный для Камчатки спектр из работы [Гусев, 1990] для $M_{W_0} = 8.4$ и $r_0 = 80$ км. Расчеты проводились в диапазоне расстояний от 20 до 200 км для значений магнитуд $M_W = 6, 7$ и 8 со следующим основным набором параметров: $Q_0 = 180$, $\gamma_Q = 0.75$, $c_s = 3.5$ км/с, $\tau_{100} = 3.5$ с, $\Delta \lg L = 0$.

Зависимости $FS(r)$ и $T_{\text{эф}}(r)$. Вариации основных параметров. Для иллюстрации влияния значений параметров алгоритма на основные характеристики акселерограммы — спектр Фурье и длительность расчет зависимостей $FS(r)$ и $T_{\text{эф}}(r)$ выполнен как для основного набора параметров, так и при измененных в 1.5 раза значениях Q_0 , τ_{100} и $\Delta \lg L$. Зависимость $FS(r)$ рассчитывалась в области максимума спектра при $f = 3$ Гц. Результаты изображены на рис.2 и 3.

Опишем характерные особенности графиков (рис. 2 и 3). Во-первых, зависимость от расстояния имеет область насыщения вблизи очага (ближняя зона), характерный

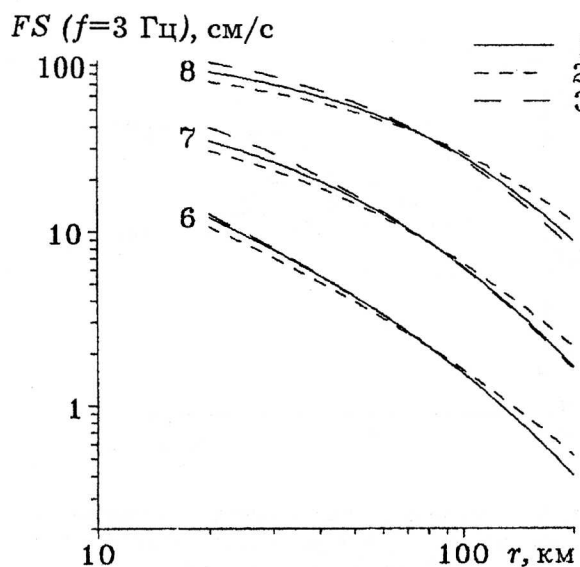


Рис. 2. Пример расчета зависимости спектра Фурье-ускорения FS ($f = 3$) от расстояния r
 1 — расчет с основным набором параметров; 2 — при вариации $Q_0 = 270$; 3 — при вариации $\Delta \lg L = -0.17$. Цифры слева от кривых — значения магнитуды M_W

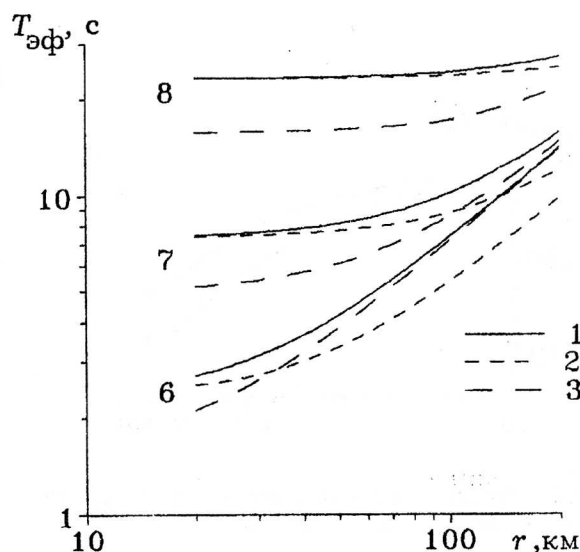


Рис. 3. Пример расчета зависимости эффективной длительности $T_{эф}$ от расстояния
 1 — расчет с основным набором параметров; 2 — при вариации a_{max} от r для магнитуд $M_W = 7$ и $M_W = 8$

размер которой соответствует размеру очага. Во-вторых, зависимость FS , а также a_{max} , см. ниже) от магнитуды M_W вблизи очага слабее, чем зависимость от M_W в дальней зоне, что соответствует гипотезе стабильности потока мощности с единицы площади очага. В-третьих, в дальней зоне длительность монотонно увеличивается из-за рассеяния импульса в среде. При анализе графика на рис.2 также необходимо учесть, что уровень спектра на расстоянии r_0 фиксирован, поэтому графики зависимостей при вариации параметров Q_0 и $\Delta \lg L$ имеют общую точку при принятом $r_0 = 80$ км.

Расчет зависимости $a_{max}(r)$. Расчет зависимости $a_{max}(r)$ выполнен для двух значений магнитуд $M_W = 7$ и $M_W = 8$. Результаты расчета приведены на рис.4. При анализе зависимостей в условиях Камчатки следует исходить из следующего соответствия: $(M_W = 8) \rightarrow (M_{LH} = 7.9)$, $(M_W = 7) \rightarrow (M_{LH} = 7.3)$.

Пример расчета $RA(f)$. На рис.5 приведен пример расчета спектра реакции по схеме расчета со спектром реакции в качестве опорного. Опорным взят спектр реакции из СНиП 11-7-81 при $a_{max} = 200$ см/с² (примерно соответствует $M_{W_0} = 8$, $r = 100$ км, скальный грунт). На рис.5 приведен исходный спектр, а также спектры реакции рассчитанные для трех типов грунтов на расстоянии $r = 200$ км.

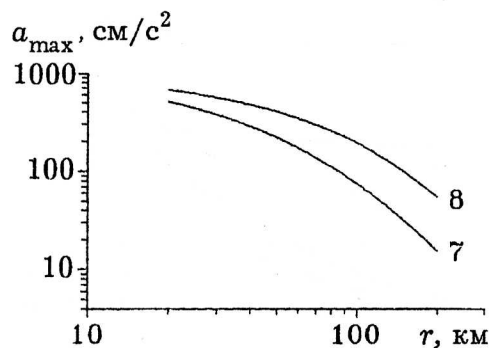


Рис.4. Пример расчета зависимости a_{\max} от r для магнитуд $M_W = 7$ и $M_W = 8$

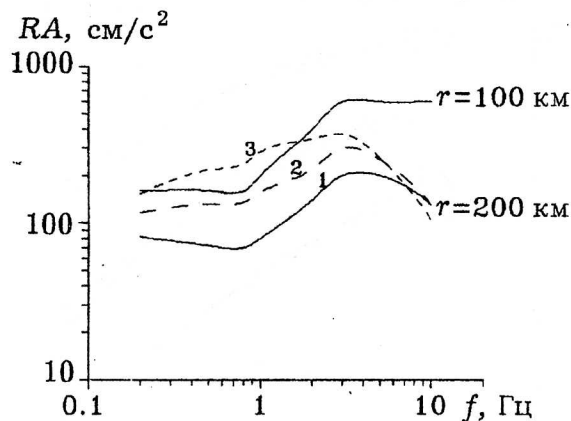


Рис.5. Пример расчета спектра реакции по ускорению $RA(f)$ для разных категорий грунта при $r = 200$ км. В качестве опоры использован спектр реакции из СНиП II-7-81 для $M_W = 8$ и $r = 100$ км (приведен на рисунке). Цифры у кривых обозначают категорию грунта

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный алгоритм и программа являются первым практически применимым вариантом методики совместного прогноза полного набора параметров сильных сейсмических колебаний грунта. Она обладает рядом существенных преимуществ над эмпирическими расчетными формулами, поскольку явно учитывает ряд сложных нелинейных взаимосвязей между параметрами колебаний и свойствами очага и среды, дает внутренне согласованные результаты по набору параметров. Для практического применения в условиях конкретного региона необходима соответствующая настройка программы.

Основные преимущества предлагаемого алгоритма.

1. Расчет в единой процедуре полного набора параметров колебаний: $RA(T)$, $FS(f)$, длительность, $PS(f)$, $a_{ск}$, a_{\max} , I .
2. Избавление от принципиальных проблем:
 - насыщения магнитуды больших очагов;
 - насыщения амплитуд при малых расстояниях.
3. Автоматический учет нелинейного характера зависимостей:
 - a_{\max} , FS , RA — магнитуда;
 - a_{\max} , FS , RA — расстояние;
 - длительность — магнитуда — расстояние.
4. Возможность настройки на заданный регион или тип землетрясений.

5. Возможность использовать варианты опорных данных при расчете:

- эмпирические FS ;
- эмпирические RA ;
- аналитическую модель.

ЛИТЕРАТУРА

- Аптикаев Ф.Ф. Учет длительности колебаний при инструментальной оценке сейсмической интенсивности// *Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности*. М.: Наука, 1976. С.234–239.
- Гумбель Э. *Статистика экстремальных значений*. М.: Мир, 1965. 450 с.
- Гусев А.А. Описательная статистическая модель излучения очага землетрясения и ее применение к оценке короткопериодного сильного движения// *Вулканология и сейсмология*. 1984. № 1. С.3–22.
- Гусев А.А. Предварительный вариант расчетных сейсмических нагрузок для Петропавловска-Камчатского// *Вопр. инженерной сейсмологии*. 1990. Вып. 31. С.67–85.
- Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами среднемировые и для Камчатки// *Вулканология и сейсмология*. 1990. № 6. С.55–63.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования// *Настоящий сборник*.
- Шебалин Н.В. Об оценке сейсмической интенсивности// *Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности*. М.: Наука, 1976. С.87–109.
- Boore D.M. Short-period P - and S -wave radiation from large earthquakes: implications for spectral scaling relations// *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1986. Vol.76, No 1. P.43–64.
- Gusev A.A. Intermagnitude relationships and asperity statistics// *Pure and Appl. Geophys.* 1991. Vol.136. P.517–527.
- Trifunac M.D., Lee V.W. Frequency dependent attenuation of strong earthquake ground motion// *Soil Dynamics and Earthquake Eng.* 1990. Vol.9, No 1. P.3–15.