

А. Г. НАЗАРОВ

## ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМА ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ\*

Здесь мы делаем попытку рассмотреть некоторые научные проблемы, связанные с составлением сейсмической шкалы на инструментальной основе, с сейсмическим районированием и микрорайонированием. При этом уделяется внимание возможному уменьшению количества и объема допущений, а также выявлению волевых актов, которые приходится добавлять к научному ходу мышления для возможности доведения до конца решения этой проблемы.

### 1. О МЕРЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

За меру сейсмической интенсивности с инженерной точки зрения следует принять все три компонента поступательного смещения грунта при землетрясении в функции от времени. Действительно, зная коэффициенты постели основания и связь между деформацией и тензором напряжений элементов самого сооружения, в общем случае нелинейные, в принципе можно определить его напряженное состояние на основе современных методов строительной механики и механики твердых деформируемых тел.

Для более глубокого анализа поведения сооружения при землетрясении понадобится учет волнового характера сейсмического возмущения. Для этого, помимо трех компонентов смещения грунта при землетрясении в функции от времени, надо еще знать скорости распространения поперечных и продольных волн в районе расположения сооружения, которые полностью определяются механическими свойствами основания. Последние должны быть более точно известными, нежели при рассмотрении проблемы с точки зрения строительной механики. Достаточно точную интерпретацию волнового воздействия на сооружение получим, если примем фронт сейсмической волны плоским при луче его распространения под некоторыми заданными углами к горизонту и к плану сооружения. Это просто осуществить при задании сейсмограммы и продольных и поперечных скоростей.

Таким образом, в обоих путях изучения проблемы сейсмостойкости за меру сейсмической интенсивности следует принять смещения грунта в функции от времени. Такое обобщенное представление о мере интенсивности землетрясения лучше всего соответствует сущности решаемой задачи, с инженерной точки зрения заключающейся, как указывалось выше, в оценке деформаций и напряжений в элементах конструкций.

При использовании методов строительной механики в дифференциальные уравнения колебаний сооружения обычно входят ускорения

\*Из доклада на совещании МСССС по сейсмической шкале в 1971 г. в г. Ленинграде.



смещения почвы, т. е. вторые производные от смещения во времени. В принципе при землетрясении можно записывать смещения, скорости или ускорения и их преобразовывать друг в друга путем дифференцирования или интегрирования. При современном состоянии сейсмического приборостроения предпочтение все же следует отдавать записям ускорений, т. е. акселерограммам. При отсутствии акселерограмм можно пользоваться велосиграммами или сейсмограммами за счет потери некоторой точности записи для высокочастотных составляющих колебаний почвы.

Итак, условимся окончательно принимать за меру сейсмической интенсивности вектор ускорения грунта в функции от времени.

Положительной стороной такой меры является возможность с ее помощью осуществлять полный учет воздействия землетрясения на сооружение, включая сюда учет упруго-пластических деформаций, влияние повторности загрузки и прочее.

Отрицательной стороной такой меры является крайняя сложность ее структуры и, как следствие, — ее ненаглядность. Вследствие этого затруднительна сравнительная визуальная оценка интенсивности землетрясений путем непосредственного сопоставления акселерограмм. По существу здесь не выполняется элементарное требование к мере, заключающееся в ее аддитивности и возможности прямого сопоставления измеряемых величин. Рассматриваемые здесь меры носят весьма обобщенный характер. Фактически мы имеем дело с пространством функций, на основе которых должны быть определены некоторые функционалы, более легко сопоставимые между собою.

Например, на основе данной акселерограммы определяем напряженное состояние конкретно заданного сооружения. Определяем напряженное состояние этого же сооружения на основе других акселерограмм. Тогда мы уже четко можем определить, какое землетрясение оказывает большее воздействие на какой-либо определенный элемент сооружения. При этом, понятно, на другой элемент сооружения большее воздействие может оказать другое землетрясение. Таким путем могут быть сопоставлены между собой интенсивности различных землетрясений применительно к различным элементам сооружения. Более упрощенной мерой является спектр реакций, поскольку он позволяет осуществлять наглядное сопоставление интенсивности различных землетрясений применительно к линейным осцилляторам различных периодов свободных колебаний.

Спектры реакции довольно успешно применяются и для приближенного расчета сооружений на сейсмостойкость. Если примириться с утечкой информации, иногда довольно существенной, в особенности для нелинейных колебаний, то спектр реакций можно принять за грубо приближенную меру сейсмической интенсивности.

Итак, спектры реакций более наглядны и более доступны для сопоставлений и сравнений между собою, нежели акселерограммы. Мы предполагаем пользоваться спектрами реакций, но лишь для вспомогательных целей, например, для приближенной группировки акселерограмм. Итак, за меру сейсмической интенсивности принимаем вектор ускорений грунта в функции от времени.

## II. О СХЕМАХ РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

По-видимому, наиболее совершенным подходом к расчету сооружений является расчет на стохастической основе с учетом нелинейности деформаций сооружения и основания.



Для этой цели мы должны располагать набором подходящих акселерограмм сильных землетрясений для данной местности и рассматривать их как реализации случайной функции.

Отсутствие достаточно удобной стохастической теории сейсмостойкости с учетом нелинейности не может послужить препятствием, так как возможен нелинейный расчет сооружения по каждой акселерограмме как детерминированно заданной функции с последующей их статистической обработкой. При такой постановке решения задачи все трудности, связанные с нелинейностью задачи теории случайных функций, автоматически отпадают.

Другой путь заключается в оценке напряженного состояния сооружения по каждой акселерограмме в отдельности и в выборе максимальных напряжений для каждого элемента конструкции. Это, по существу, — метод огибающих, широко применяемый в строительной механике.

Если первый путь приводит к рассмотрению осредненного напряженного состояния сооружения и к оценке разброса, то второй путь приводит к повышенному запасу, так как рассматриваются максимально возможные напряженные состояния для всех элементов сооружения. В особо ответственных случаях приходится прибегать и к такому способу.

Итак, обе схемы расчета приводят к необходимости рассмотрения набора возможных акселерограмм для заданной местности. Поэтому центральной задачей инженерной сейсмологии является указание набора акселерограмм сильных землетрясений, ожидаемых в интересующем нас пункте земной поверхности. Можно считать удовлетворительным количество акселерограмм хотя бы в пределах 3—12 экземпляров.

### III. ИДЕАЛЬНАЯ СХЕМА ЗАДАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ ДЛЯ РАССМАТРИВАЕМОГО ПУНКТА

Было бы идеалом, если сейсмолог мог выдать для рассматриваемого пункта набор акселерограмм ожидаемых сильных землетрясений. Этот путь, во всяком случае в обозримом будущем, невозможен для нас.

Следует подчеркнуть, что в случае возможности реализации такого пути нет никакой надобности ни в составлении шкалы сейсмической интенсивности, ни в сейсмическом районировании, ни в сейсмическом микрорайонировании.

Впоследствии убедимся, как это ни кажется парадоксальным на первый взгляд, что чем меньшим объемом информации о землетрясениях мы располагаем, тем больше растет потребность в сейсмической шкале, в сейсмическом районировании и микрорайонировании.

### IV. СХЕМА ЗАДАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ ДЛЯ РАССМАТРИВАЕМОГО ПУНКТА В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Сейсмолог предоставляет в распоряжение инженера акселерограммы сильных землетрясений для данного пункта за достаточно большой отрезок времени. В этом случае задача для инженера значительно менее определена, чем в предыдущем, идеальном, случае. Первое, что вынужден будет сделать инженер, — это экстраполировать полученные акселерограммы на будущее. Он попросту предположит, что и в будущем примерно за такой же отрезок времени произойдут примерно такие же землетрясения. Поэтому все эти акселерограммы будут рассматриваться как ожидаемые. Вместе с тем, будет интересоваться вопрос, — а как обстоит дело в других сейсмических районах. Появится потребность



сравнивать, сопоставлять сейсмические активности в разных районах, чтобы насколько возможно увеличить достоверность принятого допущения и в какой-то мере компенсировать недостаток информации об ожидаемых землетрясениях в рассматриваемом пункте.

Для проведения такой работы явится надобность в сравнительных оценках интенсивности землетрясений. Поэтому понадобится сейсмическая шкала и понадобится сейсмическое районирование.

В этом случае расчет сооружений на сейсмостойкость не будет ничем отличаться от того, что рассматривалось в идеальном случае, когда акселерограммы ожидаемых землетрясений предсказывались сейсмологом. Схема эта пока также недоступна для нас.

#### V. СХЕМА ЗАДАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ ДЛЯ РАССМАТРИВАЕМОГО ПУНКТА ВО ВТОРОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

В настоящее время мы располагаем чрезвычайно малым количеством акселерограмм сильных землетрясений. Практически для каждой конкретной строительной площадки мы не имеем ни одной акселерограммы. Здесь остановимся на возможном направлении в преодолении этого затруднения.

Работа должна осуществляться в глобальном масштабе для возможности привлечения всех имеющихся акселерограмм сильных землетрясений.

На основе сейсмостатистического и сеймотектонического анализа имеющихся данных выделяются участки земной коры, родственные в сейсмогенном отношении. Для них собираются акселерограммы сильных землетрясений и группируются по характерным геологическим признакам. В результате для рассматриваемого участка используются все акселерограммы родственных ему участков всего Земного шара.

Полученные наборы акселерограмм используются для анализа поведения сооружений точно теми же путями, как было описано выше. Существенно здесь следующее.

1. Мы должны уметь группировать акселерограммы, для чего нужна сейсмическая шкала.

2. Мы должны уметь группировать сейсмические зоны по сходственной силе землетрясения, т. е. осуществлять сейсмическое районирование.

3. Мы должны уметь в пределах рассматриваемой зоны группировать сейсмические интенсивности по характерным локальным геологическим условиям, т. е. осуществлять сейсмическое микрорайонирование.

Схема задания акселерограмм второго приближения доступна при современном уровне знаний, хотя и потребует решения ряда важных комплексных методических вопросов.

Основная сложность здесь заключается в том, что потребуются широкое, длительное и тесное международное сотрудничество в этом направлении.

Пока что и эта схема второго приближения задания акселерограмм недоступна или частично доступна для нас.

#### VI. СХЕМА ЗАДАНИЯ АКСЕЛЕРОГРАММ ДЛЯ РАССМАТРИВАЕМОГО ПУНКТА В ВОЗМОЖНОМ ИСПОЛНЕНИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Исходим из существующей карты сейсмического районирования или новой карты, составленной любым методом. Задача теперь состоит в том, чтобы к этой карте привязать акселерограммы сильных землетря-



гений. Предлагается следующая схема действия: создается каталог акселерограмм сильных землетрясений, и они рассортировываются на основе макросейсмических признаков по сейсмической шкале. Для каждой акселерограммы приводятся основные параметры землетрясения—координаты и время возникновения, магнитуда, глубина очага, а также оценка балльности землетрясения по макросейсмическим признакам окрестности расположения регистрирующего прибора, с указанием локальных геологических условий.

В результате получим комплекты акселерограмм для различных балльностей, отвечающих разнообразным условиям.

Теперь для рассматриваемого пункта подбираются подходящие акселерограммы. В этом подборе существенную помощь может оказать спектральный анализ слабых землетрясений, зарегистрированных в рассматриваемом пункте.

Такой прием позволит существенно уточнить и улучшить данные сейсмического районирования, в особенности, если научимся аналитически преобразовывать акселерограммы в зависимости от локальных условий.

## VII. О ПОСТРОЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ОСНОВЕ

Из изложенного выше следует, что если за основу меры сейсмической интенсивности принять акселерограмму, то возможно:

- 1) осуществить точный расчет сооружения на сейсмостойкость;
- 2) группировать акселерограммы по баллам на основе макросейсмических признаков;

- 3) отбирать и распределять акселерограммы для уточнения сейсмического районирования и микрорайонирования.

Мы видим, что наиболее естественна и проста проблема создания сейсмической шкалы на инструментальной основе, если удастся достаточно однозначно осуществлять привязку акселерограмм к существующей сейсмической шкале на макросейсмической основе.

В этом случае будет полностью сохранена макросейсмическая информация, накопленная за сотни лет, и обеспечен преемственный переход от старой шкалы к новой. В противном случае понадобится значительная перестройка сейсмической шкалы. Это приведет к отказу от ее построения на скалярной основе и к переходу на векторную основу, т. е. балл придется характеризовать рядом чисел.

Во всех случаях важной задачей является создание, если можно так назвать, двуязычного каталога сильных землетрясений всего мира, т. е. каталога, содержащего параллельное макросейсмическое описание землетрясения в данном пункте, и отвечающей ему акселерограммы.

На основе этого каталога практически можно решить все основные проблемы, связанные с созданием сейсмической шкалы на инструментальной основе, сейсмического районирования и микрорайонирования, а также расчета сооружений на сейсмостойкость [1, 2, 3].

Ордена Трудового Красного Знамени  
Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии АН Армянской ССР

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дарбинян С. С. ДАН АрмССР, т. LII, №4, 1971.
2. Назаров А. Г. Проблемы геомеханики, №4, Ереван, 1970.
3. Назаров А. Г. Известия АН АрмССР (серия техн. наук), т. XXIII, №3, 1970.