

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

А. Г. Назаров, академик АН Армянской ССР, Б. К. Карапетян и С. А. Пирузян

Сейсмическое микрорайонирование на инструментальной основе\*

(Представлено 10/III 1961)

Задачей сейсмического микрорайонирования является уточнение интенсивности землетрясения, принятой на карте сейсморайонирования территории СССР в зависимости от локальных условий данного пункта. К локальным условиям относятся, в первую очередь, характеристика грунтов, уровень грунтовых вод и рельеф местности.

Наиболее достоверным путем сейсмического микрорайонирования является накопление фактических сравнительных данных об интенсивности землетрясения в различных локальных условиях на инструментальной основе и их статистическая обработка.

Необходимо при этом условиться, что понимать под интенсивностью землетрясения. Поскольку как у нас, так и за рубежом (в основном в США) в основу расчета сооружений принимается спектр приведенных сейсмических ускорений  $\tau(T)$  или его модификации, за меру интенсивности землетрясения естественно принять этот же спектр (1-3).

Под приведенным сейсмическим ускорением  $\tau$  понимается максимальное значение сейсмической силы при данном землетрясении, отнесенной к единице сосредоточенной массы линейного осциллятора при заданном демпфировании.

Таким образом, если вес груза линейного осциллятора равен  $Q$ , то полная сейсмическая сила есть

$$S = \frac{\tau}{g} Q. \quad (1)$$

Функцию  $\tau(T)$ , где  $T$  — период свободных колебаний линейного осциллятора, заданную при данном фиксированном значении демпфирования, условимся называть спектром приведенных сейсмических ускорений или сокращенно спектром  $\tau(T)$ .

\* Приведенные здесь принципы микрорайонирования представлены Институтом физики Земли АН СССР в качестве материала для составления инструкции по сейсмическому микрорайонированию.

Спектр  $\tau(T)$  связан с коэффициентом динамичности  $\beta(T)$  и коэффициентом сейсмичности  $K_c$  соотношением (4)

$$\tau(T) = K_c g \beta(T). \quad (2)$$

Спектр  $\tau(T)$  связан со спектром действия  $x(T)$ , рассматриваемого С. В. Медведевым (5) и другими, соотношением

$$\tau(T) = x(T) \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2. \quad (3)$$

Спектры  $\tau(T)$  могут быть получены с помощью инструментальных измерений следующими способами:

а) непосредственно с помощью маятниковых сейсмометров, содержащих в себе систему упругих маятников с различными периодами свободных колебаний  $T_i$ . К таким приборам относятся сейсмометры АИС-2 и АИС-2М для регистрации сильных землетрясений начиная с 3—4 баллов и сейсмометры ПМС для регистрации слабых землетрясений (6—9);

б) по записям акселерографов, на основе интегрирования акселерограмм (1, 3, 10);

в) приближенно на основе обработки сейсмограмм (желательно по записям ВЭГИКОов) (4, 5).

Для получения инструментальных материалов для целей сейсмического микрорайонирования, расположение сейсмической аппаратуры должно подчиняться определенным закономерностям. При сопоставлении интенсивностей землетрясения в различных пунктах в зависимости от локальных условий мы получим тем большую информацию, чем разнообразнее эти условия для различных площадок, на которых должна быть расположена сейсмическая аппаратура. Кроме того, эти площадки должны быть расположены в пределах зоны, диаметр которой достаточно мал в сравнении с расстоянием от очага землетрясения. Это необходимо для исключения влияния дистанционного эффекта ослабления землетрясения. Такие зоны в дальнейшем будем называть зонами микрорайонирования. Предельный диаметр зоны микрорайонирования в данном пункте может быть уточнен для каждого конкретного землетрясения из того расчета, чтобы максимальные отклонения интенсивности землетрясения по краям зоны относительно центра, вызванные дистанционным эффектом, не превышали  $\pm 15\%$ . Можно приближенно диаметр этой зоны принять примерно равным  $30\%$  от расстояния между двумя ближайшими смежными изосейстами. Сравнению подлежат лишь показания приборов, расположенных в пределах зоны микрорайонирования.

Сейсмические приборы, как правило, следует размещать отдельными группами. Размещение отдельных групп приурочивается к населенным пунктам, или пунктам, характерным с точки зрения сейсмического микрорайонирования. Каждая группа приборов размещается ориентировочно в пределах зоны микрорайонирования, выбираемой из условия максимально возможного разнообразия локальных условий,

для получения максимально возможной информации о сравнительных интенсивностях землетрясений. В пределах одной зоны микрорайонирования может быть размещено несколько подгрупп приборов. Для возможности сопоставления интенсивностей землетрясения по различным зонам микрорайонирования крайне желательно, чтобы во всех зонах имели место достаточно протяженные площадки порядка не менее 30—100 м в поперечнике с тождественными локальными условиями. В случае невозможности соблюдения этого условия необходимо, чтобы зоны микрорайонирования, по крайней мере, попарно обладали площадками с тождественными локальными условиями, что еще может позволить определять сравнительные интенсивности землетрясений для получения сравнительных относительных характеристик интенсивностей всего многообразия локальных условий всех зон микрорайонирования. Площадки, посредством которых становится возможным сопоставление интенсивностей землетрясения в различных зонах микрорайонирования, условимся называть опорными площадками. Приборы, размещенные на опорных площадках, позволяют решать также задачи, связанные с сейсмическим районированием. Желательно, поэтому, особое внимание уделять оборудованию опорных площадок сейсмоизмерительной аппаратурой. Станции региональной сейсмической сети следует размещать на опорных площадках. Выбор зон микрорайонирования, а также опорных площадок на них осуществляется на основе тщательного изучения геологических и инженерно-геологических условий, с подробной характеристикой конкретных локальных условий и их типизацией. Тождественность опорных площадок устанавливается инженерно-геологическими признаками, а также равенством скоростей распространения продольных сейсмических волн в их пределах.

В основном организация инженерно-сейсмологической сети для целей сейсмического микрорайонирования, а также сейсмического районирования сводится к следующему.

На инженерно-геологической карте выявляются локальные условия, к которым относится исходная сейсмическая балльность на карте сейсморайонирования территории страны. Выделяются также все характерные инженерно-геологические зоны, представляющие интерес с точки зрения сейсмического микрорайонирования. На карте оконтуриваются грунты, слагающие тождественные инженерно-геологические зоны и имеющие одинаковую величину скорости распространения сейсмических волн. Пункты наблюдений организуемой инженерно-сейсмологической сети должны охватить все характерные инженерно-геологические зоны. В зону микрорайонирования обычно могут входить несколько инженерно-геологических зон. Местоположение пунктов наблюдений выбирается на основе профильно-группового принципа. Этот принцип заключается в следующем:

а) выбираются профили, пересекающие разнородные инженерно-геологические зоны; в каждой инженерно-геологической зоне соору-

жаются один главный пункт наблюдений (временная сейсмическая станция) и несколько вспомогательных (сейсмокамер), расположенные в окрестностях главного пункта; последние имеют целью выявить влияние на сейсмический эффект рельефа (уступы обрывов, склоны возвышенности, подножье холмов и др.), мощности грунтов и уровня грунтовых вод (желательно на различных отметках);

б) направление инженерно-сейсмологических профилей и расстояния между отдельными группами приборов на них выбираются с учетом возможных сейсмических очагов; выбор тех точек наблюдений, показания которых должны приниматься в расчет, производится после регистрации землетрясения; один из главных пунктов наблюдений должен быть расположен на опорной площадке; на временных сейсмических станциях устанавливаются приборы, регистрирующие как слабые землетрясения (сейсмографы ВЭГИК, прецизионные сейсмометры ПМС, акселерографы), так и сильные землетрясения (сейсмометры АИС-2М, СБМ, акселерографы); в сейсмокамерах устанавливаются только многомаятниковые максимальные сейсмометры, отличающиеся дешевизной, простотой обслуживания и обработки их показаний.

Сопоставление интенсивностей землетрясений для различных пунктов осуществляется следующим образом. По показаниям приборов определяются спектры  $\tau(T)$ . Исходный балл сейсмической карты должен быть отнесен к определенным грунтовым условиям, при горизонтальной площадке и отсутствии грунтовых вод. По-видимому, за таковые лучше всего принять коренные скальные породы (истинная сейсмическая интенсивность по Зибергу <sup>(11)</sup>). В настоящее время исходный балл карты сейсмического районирования отнесен к супесчано-суглинистым отложениям <sup>(12)</sup>.

Обозначим через  $\tau_c(T)$  спектр, отнесенный к грунтам, к которым привязана балльность карты сейсмического районирования. Тогда уточнение интенсивности землетрясения для данного локального условия, характеризуемого спектром  $\tau(T)$ , осуществляется с помощью множителя

$$B_c(T) = \frac{\tau(T)}{\tau_c(T)}. \quad (4)$$

Для получения устойчивых данных необходимо определение  $B_c$  данного пункта при различных землетрясениях с последующей статистической обработкой. Ясно, что функции  $\tau(T)$  и  $\tau_c(T)$  формулы (4) определяются для одного и того же землетрясения. Расчетное значение динамического коэффициента  $\beta_1(T)$  с учетом локальных условий данной площадки устанавливается по стандартному значению  $\beta(T)$  принятому в нормах, по следующей формуле

$$\beta_1(T) = B_c(T) \beta(T). \quad (5)$$

В случае отсутствия достаточного количества подробных данных об относительных значениях интенсивностей землетрясения опреде-

ляемой формулой (4) допускаются более грубая оценка. Поскольку спектры в общем носят гиперболический характер, т. е. приближаются к зависимости

$$\tau(T) = \frac{C}{T}, \quad (6)$$

где  $C$  — постоянная, то величину  $C$  можно принять за осредненную меру интенсивности землетрясения, отнесенную к гиперболе.

Величина  $C$  для данного реального спектра  $\tau$  определяется по способу наименьшего квадрата:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{T_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i^2}}. \quad (7)$$

Допускается также приближенное определение  $C$  по формуле (12.9):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}. \quad (8)$$

При введении средней меры интенсивности, поправочный коэффициент  $B_c$ , согласно формуле (4), упрощается и превращается в постоянное число для всего спектра

$$B_c = \frac{C}{C_c}, \quad (9)$$

где  $C$  — средняя мера для рассматриваемого пункта, а  $C_c$  — средняя мера, отнесенная к грунту, к которому привязана исходная балльность карты сейсмического районирования.

Предложенный метод исследования позволит также установить пределы применимости использования слабых и очень слабых землетрясений, а также микросейсм для целей сейсмического микрорайонирования. Не исключена также целесообразность использования, для целей сейсмического микрорайонирования взрыва, достаточно отдаленного от зоны микрорайонирования.

Институт строительных материалов  
и сооружений Госстроя Армянской ССР

Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՈՎ, Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ ԵՎ Ս. Ա. ՓԻՐՈՒԶՅԱՆ

**Գործիքային եղանակով սեյսմիկ միկրոսեյսմոլոգիայի մասին**

Սեյսմիկ միկրոսեյսմոլոգիայի խնդիրն է երկրի սեսմոլոգիայի քարտեզի վրա նշված երկրաշարժերի ինտենսիվության ճշտումը՝ կախված տեղանքի գրունտային, ճիգրոերկրաբանական և մորֆոլոգիական պայմաններից:

Միկրոսեյսմոլոգիայի շահմանափակումը ամենահամոզեցուցիչ և դանակը որոշակի տեղանքի տարրեր կետերում երկրաշարժերի ինտենսիվության վերաբերյալ տվյալների հավաքումն է ուղղանց ստատիստիկական մշակումը: Քանի որ ինչպես ՍՍՏՄ-ում, այնպես էլ արտասահմանում, շենքերի հաշվարկման հիմքում դրված է բերված սեյսմիկ արագացումների  $\tau(T)$  սպեկտրը, ապա բնական է որպես երկրաշարժի ինտենսիվության շափանիչ վերցնել հենց այդ սպեկտրը: Հողվածում շարադրված է բերված սեյսմիկ արագացումների բնորոշումը:

Գործիքային շափումների օգնությամբ  $\tau(T)$  սպեկտրները կարող են ստացվել հետևյալ եղանակներով.

ա) անմիջականորեն բաղաճոճանակավոր սեյսմոմետրերի օգնությամբ, որոնք պարունակում են սեփական տատանումների տարրեր պարբերություններ ունեցող առաձգական ճոճանակների սխեմով: Այդ գործիքների թվին են պատկանում АИС-2 և АИС-2М սեյսմոմետրերը 4 և ավելի բայի ու ПМС սեյսմոմետրերը՝ ավելի թույլ ուժի երկրաշարժերը գրանցելու համար.

բ) աքսելերոգրամները ինտեգրելու միջոցով.

գ) որոշակի մոտավորությամբ՝ սեյսմոգրամները մշակելու միջոցով:

Ինչքան ավելի բաղաձայնի գրունտային պայմաններում տեղակայված լինեն սեյսմիկ շափիչ գործիքները, այնքան շատ տեղեկություններ մենք կարող ենք ստանալ երկրաշարժի ինտենսիվության փոփոխման մասին՝ կախված այդ պայմաններից:

Հողվածում շարադրված են ինժեներասեյսմոլոգիական ցանցի (զիտարկման կետերի) կազմակերպման սկզբունքները: Բերված են նաև բանաձևեր, որոնց օգնությամբ կարելի է հաշվել երկրաշարժի ինտենսիվության աճը տվյալ գրունտի վրա՝ համեմատած սեյսմիկ շրջանաճանաչ քարտեզի բայը բնորոշող գրունտների (ավազակավերի) հետ:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ա Կ Ա Ն Ի Թ Յ Ո Ւ Ն

<sup>1</sup> М. А. Буо, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 31, No 2, 1941. <sup>2</sup> А. Г. Назаров, Метод инженерного анализа сейсмических сил. Издание второе, Ер., 1960. <sup>3</sup> Г. В. Хаузнер, К. К. Мартел, А. Л. Алфорд, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 43, No 2, 1953. <sup>4</sup> И. Л. Корчинский, Расчет сооружений на сейсмические воздействия, Госстройиздат, М., 1954. <sup>5</sup> С. В. Медведев, Спектры действия сейсмических волн и сейсмическое районирование СССР, Строительство в сейсмических районах, Сборник статей, М., 1957. <sup>6</sup> Б. К. Карапетян, „Известия АН Армянской ССР“ (серия техн. наук), том X, № 3 (1957). <sup>7</sup> Б. К. Карапетян, С. А. Пирюзян, Изучение сейсмозрывных колебаний в тоннеле Армводстроя на Лусаванском песочном карьере, Труды АИСМа, вып. 1, Ер., 1959. <sup>8</sup> А. Г. Назаров, Б. К. Карапетян, А. А. Мусаэлян, С. А. Пирюзян, А. Н. Сафарян, С. А. Шагинян, Предварительные итоги работы инженерно-сейсмологического отряда ТКСЭ в районе г. Сталинабада, Известия отделения естественных наук, № 3 (30), Сталинабад, 1959. <sup>9</sup> С. А. Шагинян, Результаты инструментального определения коэффициента динамичности  $\beta$ . Труды Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР, VIII, Сталинабад, 1960. <sup>10</sup> Б. К. Карапетян, „Известия АН Армянской ССР“ (серия техн. наук), т. VIII, № 1 (1955). <sup>11</sup> А. Зуберг, Erdbebengeologie, Handbuch der Geophysic, Bd. IV Lief, 1930. <sup>12</sup> С. В. Медведев, Сейсмическое районирование территории СССР, Труды Института физики Земли, № 1 (168), М., 1958. <sup>13</sup> В. А. Нечаев, Сейсмическое микрорайонирование территории г. Сталинабада на основе инструментально-геологического метода, Труды Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР, том СХІІІ, Сталинабад, 1959.