A red zigzag line, resembling a seismic waveform, runs vertically along the left edge of the book cover.

Б. К. Карапетян

**МНОГОМАЯТНИКОВЫЕ
СЕЙСМОМЕТРЫ
И РЕЗУЛЬТАТЫ
ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
В ИНЖЕНЕРНОЙ
СЕЙСМОЛОГИИ**

АЙ ПЕТРАТ

Б. К. КАРАПЕТЯН

МНОГОМАЯТНИКОВЫЕ
СЕЙСМОМЕТРЫ
И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ
ПРИМЕНЕНИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ
СЕЙСМОЛОГИИ

АЙПЕТРАТ
ЕРЕВАН—1963



18986

В предлагаемой вниманию читателей книге приводится описание сейсмической аппаратуры, применяемой для инженерных целей, рассмотрены теория и конструкции маятниковых сейсмометров, разработанных в Армении, и изложены результаты, полученные с помощью маятниковых сейсмометров при исследовании землетрясений и взрывов.

Книга предназначена для научных работников, проектировщиков и строителей, работающих в области инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В инженерной сейсмологии—науке, изучающей землетрясение с точки зрения его воздействия на сооружения—исследователи встречаются с большими затруднениями прежде всего при определении самой сейсмической нагрузки, вызванной землетрясением, поскольку оно представляет собою очень сложный колебательный процесс „дикого“ характера. Немалые трудности возникают и при попытке правильного установления расчетных схем инженерных сооружений, представляющих собою сложные механические системы, подвергающиеся действию сейсмической нагрузки.

Ввиду указанных, а также ряда других трудностей, при решении большинства задач инженерной сейсмологии принимаются некоторые допущения, рабочие гипотезы, приближения, в результате чего создается возможность осуществить практическое решение проблемы строительства в сейсмических районах, не терпящей отлагательства.

Созданная японскими учеными в конце прошлого века „статическая“ теория сейсмостойкости была весьма упрощенной и не учитывала динамического характера сейсмических сил, действующих на сооружения.

Впоследствии, в 30-х годах, академиком АН Грузинской ССР К. С. Завриевым была предложена дина-

мическая теория сейсмостойкости, получившая свое дальнейшее развитие в работах советских, а также американских ученых.

В настоящее время исследования в области инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства всюду ведутся с обязательным учетом динамического характера сейсмических сил.

Исследования по инженерной сейсмологии в Армении проводятся также исходя из динамической теории сейсмостойкости, но по отличному от других исследований методу, который заключается в прямом инструментальном определении сейсмических сил с помощью специально разработанных сейсмометров. Этот метод инженерного анализа сейсмических сил позволяет инструментальным путем с достаточной точностью решать некоторые задачи инженерной сейсмологии.

Предлагаемая вниманию читателей книга представляет собой оригинальную работу автора, в которой приводятся результаты дальнейшей разработки и практического применения метода прямого инструментального определения сейсмических сил, действующих на сооружения. В книге, пожалуй впервые, сделана попытка обобщить и описать в одном месте сейсмическую аппаратуру, применяемую в инженерной сейсмологии. Изложенные теория и конструкции маятниковых сейсмометров позволяют широкому кругу специалистов получить представление о приборах, нашедших применение в сейсмических районах СССР и за его пределами. Приведенные в книге результаты, полученные на основании анализа произведенных с помощью маятниковых сейсмометров записей землетрясений и взрывов, заслуживают внимания и могут быть использованы при решении ряда конкретных задач инженерной сейсмологии.

А. Г. НАЗАРОВ,
академик АН Армянской ССР

ВВЕДЕНИЕ

Широкая сеть сейсмических станций СССР, оснащенная высокочувствительной сейсмической аппаратурой, создает возможность осуществлять записи смещений почвы при слабых землетрясениях, необходимые для решения ряда задач, поставленных перед сейсмологией. В эти задачи, однако, не входят вопросы, связанные с изучением поведения инженерных сооружений во время землетрясений. Установленная на станциях сейсмическая аппаратура, в основном сейсмографы, которая приспособлена для регистрации слабых землетрясений, может давать частичные искажения в пределах коротких периодов колебаний почвы, для которых как раз и возможны ускорения большой величины. Поскольку при этом состояние сооружения характеризуется величиной сейсмического ускорения, при пользовании записями, полученными с помощью сейсмографов, их следует дважды дифференцировать, что также может привести к большим погрешностям.

С точки зрения изучения поведения сооружений при землетрясениях целесообразнее, конечно, непосредственно записывать ускорения почвы. Однако выясняется, что при этом трудно избежать искажений для

периодов колебаний почвы, меньших периода свободных колебаний акселерографа, который в этом случае уже будет записывать не ускорение почвы, а скорее ее смещение или скорость. Если же применить акселерографы с очень маленьким периодом свободных колебаний, то тогда высокочастотные составляющие колебаний почвы могут забить длиннопериодные компоненты ускорений, которые в большинстве случаев являются наиболее важными для поведения сооружений при землетрясении. Другим недостатком акселерографов является то, что они не могут записывать скачки или пики ускорений, вызывающие соответственно сейсмические толчки или удары. Минусом в работе акселерографов следует считать также их недостаточно быстрый пуск в начале землетрясения, в результате чего не получается записи ускорения почвы за некоторый начальный отрезок времени.

Несмотря на все указанные недостатки акселерографов, их следует применять наряду с велосиграфами и сейсмографами (путем установки в основном на сейсмических станциях), что создает возможность непосредственных записей ускорения, скорости и смещения почвы. Помимо этого, сейсмические станции следует оснащать деформометрами, анализаторами и другими приборами для получения развернутой записи при умеренных, сильных и разрушительных землетрясениях.

Представляет интерес непосредственное получение величины сейсмической нагрузки в виде спектральной кривой зависимости сейсмического ускорения от периодов свободных колебаний сооружений. Для этой цели А. Г. Назаровым был предложен метод прямого определения спектров приведенных сейсмических ускорений, который заключается в непосредственном интегрировании уравнений движений почвы при землетрясении с помощью маятниковых сейсмометров, модели-

рующих сооружения. Таким образом, наряду с описанной выше аппаратурой, рекомендуется установка в сейсмических районах многомаятниковых сейсмометров для получения данных, на основании которых строятся спектры приведенных сейсмических ускорений, необходимые для оценки землетрясений с инженерной точки зрения.

В результате применения многомаятниковых сейсмометров, в течение последних десяти лет получено большое количество записей землетрясений и взрывов на территории Армении, Грузии и Таджикистана. Анализ полученных записей привел к определенным результатам, которые были использованы в нормах и правилах строительства в сейсмических районах.

В настоящей работе рассмотрена сейсмическая аппаратура для инженерных целей с более подробным описанием многомаятниковых сейсмометров и приведены результаты, полученные с помощью этих приборов при изучении землетрясений и взрывов.

В первой главе дается описание сейсмической аппаратуры, применяемой в настоящее время для инженерных целей. В этой главе сделана попытка систематизировать и дать в одном месте известную, наиболее широко применяемую в инженерной сейсмологии аппаратуру, без претензий на исчерпывающую полноту ее охвата.

Глава вторая посвящена теории, разработке и конструированию многомаятниковых сейсмометров, опытные экземпляры усовершенствованных конструкций которых (АИС—2М и ПМС) изготовлены и уже начато их заводское производство.

В третьей главе приведены данные по изучению землетрясений с помощью многомаятниковых сейсмометров в городах Ереван, Ленинакан, Тбилиси, Душанбе.

Глава четвертая охватывает результаты проведенных исследований по изучению действия сейсмовзрыв-

ных волн на сооружения, а также обеспечению безопасности сооружений при производстве массовых взрывов в непосредственной от них близости.

Пятая глава посвящена выбору спектральной кривой для расчета зданий и сооружений на сейсмическую нагрузку, а также некоторым данным по изучению взаимодействия между фундаментом здания и его основанием (грунтом) с помощью многомаятниковых сейсмометров и др.

Выражаю большую признательность академику АН Арм. ССР А. Г. Назарову за ценные советы, данные им по работе, которые мною приняты и по мере возможности учтены. Считаю своим приятным долгом выразить благодарность Г. Ф. Киселевой и Г. А. Марояну за помощь при оформлении настоящей работы.

ГЛАВА I

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЦЕЛЕЙ

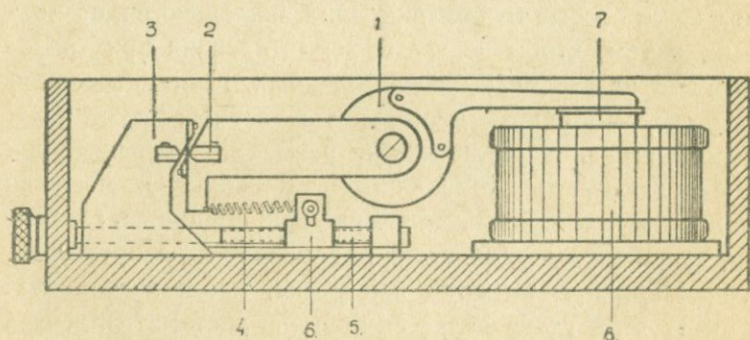
В инженерной сейсмологии наибольший интерес представляет изучение сильных землетрясений, а это связано с разработкой аппаратуры, к которой предъявляются особые требования. Они заключаются, во-первых, в том, чтобы во время землетрясения при регистрации на станциях, расположенных в эпицентральной области, получить достоверную запись, во-вторых, чтобы иметь возможность в районах, подверженных землетрясениям, устанавливать большое количество компактных приборов, записывающих смещения, скорости, ускорения, деформации грунтов и сооружений. Такие приборы имеются как у нас, так и за границей.

В этой главе делается попытка систематизировать аппаратуру, которая применяется в инженерной сейсмологии. Она предшествует главе, посвященной маятниковым сейсмометрам, разработанным в Армении, для прямой оценки силы землетрясения. Эти приборы дополняют один другого, и при рациональном их использовании создается возможность получения полного представления о характере происшедшего землетрясения.

Сейсмическая аппаратура, освещенная в этой главе, у нас в Союзе разработана в основном в Институте физики Земли АН СССР Е. С. Борисевичем, Д. П. Кириным, Д. А. Хариным, М. А. Садовским, С. В. Медведевым, А. З. Кацом, С. В. Пучковым, К. К. Запольским, Л. Л. Худзинским и др.; в Грузинском бюро антисейсмического строительства А. К. Шаншиевым и Г. А. Арутюновым; в Таджикском институте сейсмостойкого строительства и сейсмологии П. Г. Семеновым и В. А. Нечаевым; в Армянском институте стройматериалов и сооружений М. Г. Хачияном.

§ 1. Сейсмографы, велосиграфы, акселерографы и деформометры

Для записи смещений, а также скоростей и ускорений грунтов и сооружений при землетрясениях и взрывах широко применяются сейсмографы ВЭГИК с гальванометрической регистрацией и магнитным затуханием



Фиг. 1.

[20]. Сейсмограф состоит из приемной части—сейсмоприемника, регистрирующей части—гальванометра, осветителя и лентопротяжного механизма. Сейсмоприемник ВЭГИК можно использовать для регистрации вертикальных и горизонтальных колебаний. Общий вид сейсмо-

приемника для регистрации вертикальных колебаний показан на фиг. 1, где маятник 1 подвешен к стойкам 3 на двух парах взаимно перпендикулярных тонких стальных пластинах 2, образующих ось вращения маятника; 4—стальная винтовая пружина, удерживающая маятник при регистрации вертикальных колебаний (при регистрации горизонтальных колебаний пружина 4 снимается с маятника, прибор поворачивается на 90° и ставится на три установочных винта); 5—винт для регулировки положения равновесия маятника; 6—приспособление для изменения угла наклона пружины; 7—цилиндрический каркас из плексигласа, связанный с маятником легкой дюралюминиевой формой, на который намотаны две катушки из тонкого эмалированного медного провода (одна из них служит для регистрации движения маятника, вторая—для регулировки его затухания); 8—постоянный магнит, в воздушном зазоре которого находятся катушки. Все это крепится к металлическому корпусу, одна из боковых стенок которого сделана из плексигласа для возможности производства наблюдений над состоянием маятника.

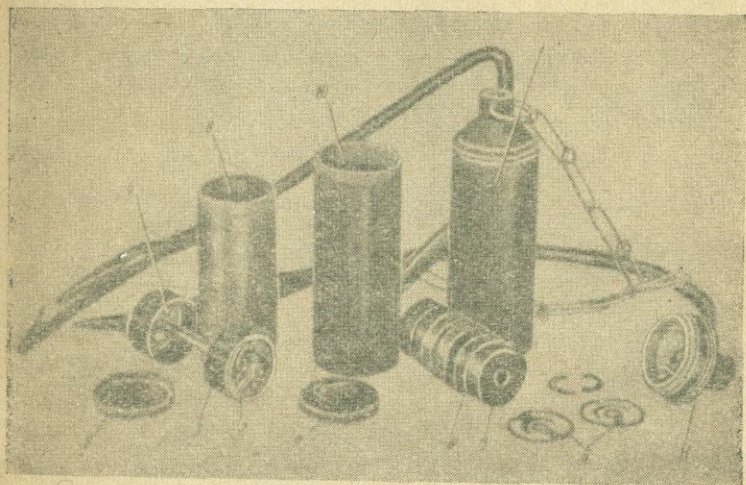
Период колебаний сейсмоприемника ВЭГИК может быть изменен в пределах $T=0,8-2,0$ сек. путем изменения угла наклона пружины и смены подвесных стальных пластин. Пределы измеримых перемещений 2 мм. Регистрация колебаний производится при помощи гальванометров с использованием магнито-электрических осциллографов (ПОБ—9, ПОБ—12М, ПОБ—14М и т. д.) или обычных стандартных регистрирующих аппаратов РС—II, принятых на сейсмических станциях СССР, с повышенной скоростью движения фотобумаги (120—240 мм/мин). Для записи смещений применяются гальванометры ГБ—III с частотой собственных колебаний $f_2=5$ герц. При этом, используя осциллограф ПОБ—12М, можно получить увеличение в 1300—2500 раз. Для записи скоростей с частотой до 100 герц применяются гальванометры ГБ—IV с частотой $f_2=300$

герц. Запись ускорений можно получить, применяя гальванометры ГБ—IV (как и в случае записи скоростей) и производя дифференцирование тока в цепи.

На сейсмических станциях применяется горизонтальный сейсмограф СМР—II, который состоит из горизонтального маятника с магнитным затуханием и приспособления для механической регистрации на закопченной бумаге, без дополнительных увеличительных рычагов [19]. Период свободных колебаний прибора $T=5$ сек., затухание $D_1=0,45$, увеличение $V_0=7,5$. Записи землетрясений можно увеличивать фотографически до 10 раз и таким путем повышать нормальное увеличение до 75 раз. Сейсмографы СМР—II позволяют записывать колебания почвы с амплитудами от 0,05 до 15 мм при периодах от 0,2 до 8 сек., что создает возможность вести регистрацию местных и близких землетрясений силой от 2—3 до 5—6 баллов.

Сейсмоприемник СПМ—16, широко применяемый в сейсмической разведке [40], имеет период свободных колебаний $f_1=50$ герц и может записывать ускорения до $4g$ с пределом их регистрации до 40—45 герц. Чувствительность прибора при различных шунтирующих сопротивлениях (700, 70 и 7 ом) соответственно равна 0,01; 0,1 и $1g$ на 1 см отклонения на записи. Регистрирующей частью при этом являются гальванометры ГБ—III с частотой свободных колебаний $f_2=5$ герц, с затуханием $D_2=20—25$, сопротивлением $r_g=130$ ом. Запись осуществляется на осциллографе ПОБ—12. Общий вид и детали сейсмоприемника СПМ—16 приведены на фиг. 2, где 1—сейсмоприемник в собранном виде; 2—два каркаса подвижной системы; 3—индукционные катушки; 4—полый стержень, соединяющий каркасы с катушками; 5—плоские подвесные пластины; 6—постоянный магнит; 7—полюсные наконечники; 8—магнитопровод из мягкого железа; 9—крышки; 10—корпус прибора; 11—удерживающее кольцо у крышки с выводным шлангом.

Двухкомпонентный электродинамический акселерограф А—1 (более поздняя конструкция—А—2) представляет собой электродинамическую систему с двумя постоянными магнитами [35]. В качестве маятников используются две упругие пластинки из немагнитизирующегося металла, размер которых может меняться

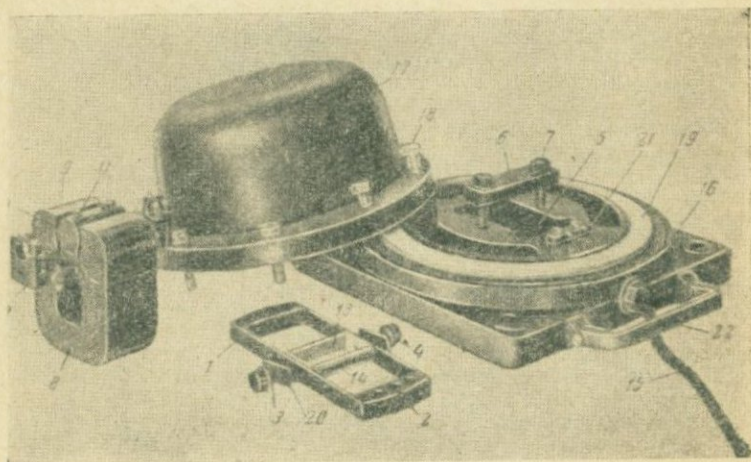


Фиг. 2.

в зависимости от задания собственного периода колебаний. К свободному концу маятника крепятся индукционная катушка и катушка затухания, которые движутся в магнитном поле. Период собственных колебаний акселерографа от 0,05 до 0,3 сек., максимальное отклонение маятника 4 мм (в А—2 доходит до 7 см). Затухание $D_1=0,6-0,8$. Максимальное увеличение—1500-

Виброграф больших перемещений ВВП—3 [36] имеет период собственных колебаний 1,6—2 сек. и служит для записи колебаний с амплитудами до 10—20 см в интервале периодов от 0,01 до 1 сек. В идее прибора заложен принцип увеличения приведенной длины ма-

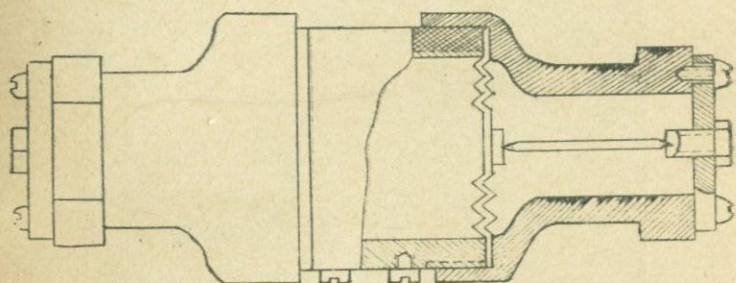
ятника, с одной стороны для создания возможности записывать большие смещения и, с другой—для достижения больших периодов свободных колебаний маятника с целью расширения диапазона частот записываемых смещений. В приборе увеличение приведенной длины маятника достигается за счет расположения по обе стороны от оси его вращения на одинаковых рас-



Фиг. 3.

стояниях двух различных масс, близких по величине (с этой целью в маятнике прибора в одной из масс сделаны отверстия). Общий вид ВБП—3 и отдельные детали его показаны на фиг. 3, где 1—маятник; 2—отверстия на маятнике; 3—полуоси; 4—шарикоподшипники; 5—выемка в станине; 6—перекладина; 7—крепежные болты; 8—постоянный магнит; 9—полюсные наконечники; 10—скоба; 11—направляющие стержни; 12—сердечник; 13—демпфирующая рамка; 14—индукционная катушка; 15—кабель; 16—сальник; 17—защитный кожух; 18—болты; 19—резиновая прокладка; 20—стальные пластины; 21—колодка; 22—ручка для переноски.

Предназначенный для измерения ускорений жидкостный акселерограф представляет собою стальную цилиндрическую трубку, наполненную жидкостью и закрытую с обоих концов мембранами [42]. При колебании испытуемого объекта жидкость в трубке акселерографа оказывает давление на мембраны и в результате они прогибаются. При записи прогибов мембран, пропорциональных возникающим при колебаниях ускорениям, используются проволочные датчики сопротивления. Сама запись осуществляется на осциллографе с помощью высокочастотных гальванометров. Чувствительность акселерографа регулируется путем соответ-



Фиг. 4.

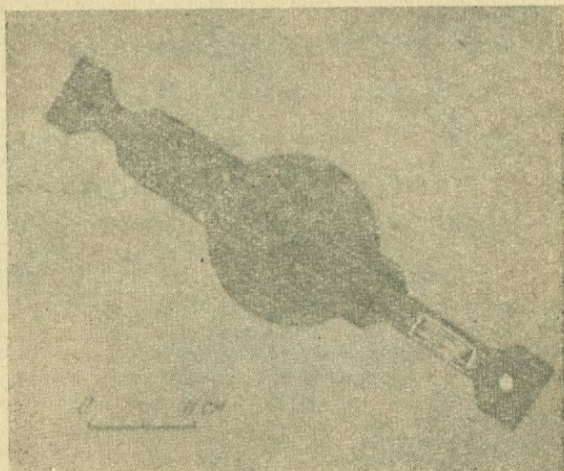
ствующего подбора массы жидкости, диаметра и толщины мембран.

Демпфирование осуществляется за счет вязкости жидкости. В качестве жидкости в акселерографе взята ртуть, обладающая большим удельным весом и хорошими демпфирующими свойствами. Собственная частота акселерографа доходит до 250 герц. Неискаженная запись ускорений осуществляется в пределах 5—80 герц. Общий вид жидкостного акселерографа показан на фиг. 4.

Деформометр служит для измерения динамических деформаций в грунтах и сооружениях [18]. В приборе используются проволочные датчики, работающие на принципе изменения омического сопротивления при растяжении

или сжатии. Датчики крепятся на соответствующий элемент в виде кольца, воспринимающего деформации грунта или сооружения. Частота собственных колебаний деформометра 250 *герц*, что обеспечивает производство записи высоких частот колебаний (50 и более *герц*) без искажений. Общий вид деформометра показан на фиг. 5.

В США наиболее распространенным сейсмическим прибором является акселерограф Уиннера, который



Фиг. 5.

имеет период свободных колебаний маятника $T=0,035—0,1$ *сек.*, увеличение около 120, чувствительность 26 *мм* на 100 *см/сек.*, скорость движения ленты 10 *мм/сек.* Включение механизма развертки и осветителя происходит во время землетрясения автоматически при помощи специального сейсмоскопа. Помимо этого, также применяются измеритель перемещений Кардера с периодом свободных колебаний $T=2,5—6,0$ *сек.* и статическим увеличением около единицы, сейсмограф Вуда для

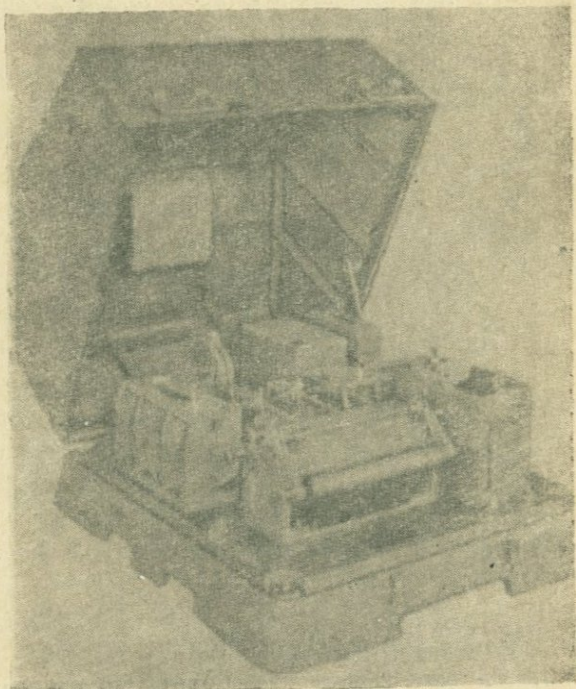
записи сильных колебаний с периодом свободных колебаний $T=0,18$ сек., статическим увеличением около 7 и чувствительностью 6 мм на 100 см/сек² [49].

Для записи сильных колебаний в Японии применяется акселерограф „SMAC“ [60], который состоит из следующих четырех частей: 1) трехкомпонентного акселерометра маятникового типа, груз которого весит 4,3 кг, действующего как поршень с воздушным демпфером и имеющего период свободных колебаний $T=0,1$ сек.; 2) мотора с пружинным заводом для протягивания бумаги, действующего с трехразовым пуском (три минуты вращения при каждом пуске), имеющего регулятор в виде центрофуги; 3) часового механизма для отметки времени, имеющего электрические контакты; 4) электрического пускового стартера, представляющего собой вертикальный маятник с периодом свободных колебаний 0,3 сек., начинающего действовать при ускорении 10 галл. Все эти части смонтированы на жесткой металлической плите, которая в свою очередь присоединена к бетонному основанию. Регистрация механическая. Для записи применяется специальная вошенная бумага шириной 24 x 10 см со скоростью протяжки 1 см/сек. Запись на вощенной бумаге ведется путем царапающей иголки с сапфировым наконечником. Чувствительность 25 галл в 1 мм записи; диапазон измерений 10—1000 галл. Затухание—критическое. Общий вид „SMAC“ показан на фиг. 6.

Упрощенная конструкция „SMAC“ без вертикального маятника; применяемый в качестве вспомогательного прибора акселерограф „ДС“ [60] имеет период свободных колебаний $T=0,1$ сек.; чувствительность—12 галл в 1 мм записи; диапазон измерений 5—500 галл. Для записи применяется закопченная бумага. Общий вид „ДС“ показан на фиг. 7.

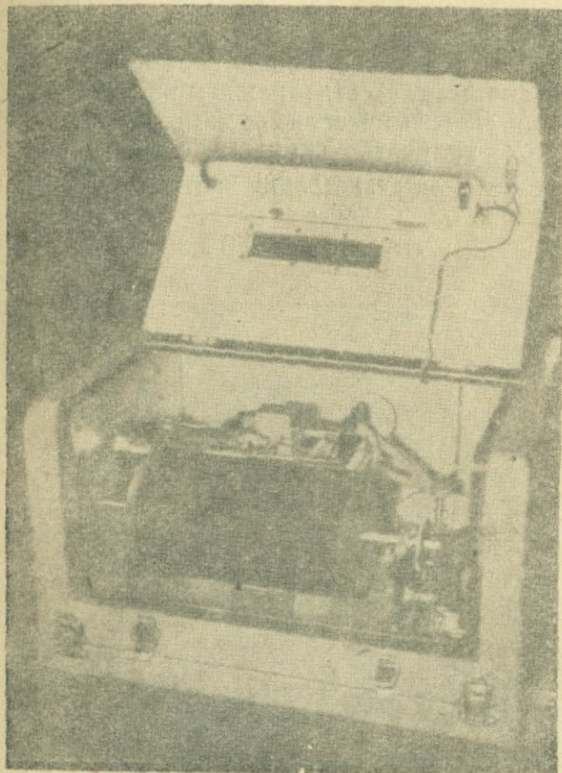
Разработанные в последнее время в Японии акселерометры ДК—ЗСН и ДК—ЗСВ предназначены соот-

ветственно для записи горизонтальной и вертикальной составляющих ускорений грунта при колебании. Акселерометр состоит из маятника, подвешенного к пружине, который движется в поле сильного магнита. Демпфирование маятника электромагнитное. Прибор имеет линейную характеристику в диапазоне частот от 0,3 до 30 герц.



Фиг. 6.

Сейсмометры ДК—1СН и ДК—1СV такой же конструкции, что и акселерометры ДК—3СН и ДК—3СV, но с той лишь разницей, что период их свободных колебаний намного выше и служат они для записи смещений при колебаниях грунта. Имеют линейную характеристику для частот колебаний более 1,5 герца [59].



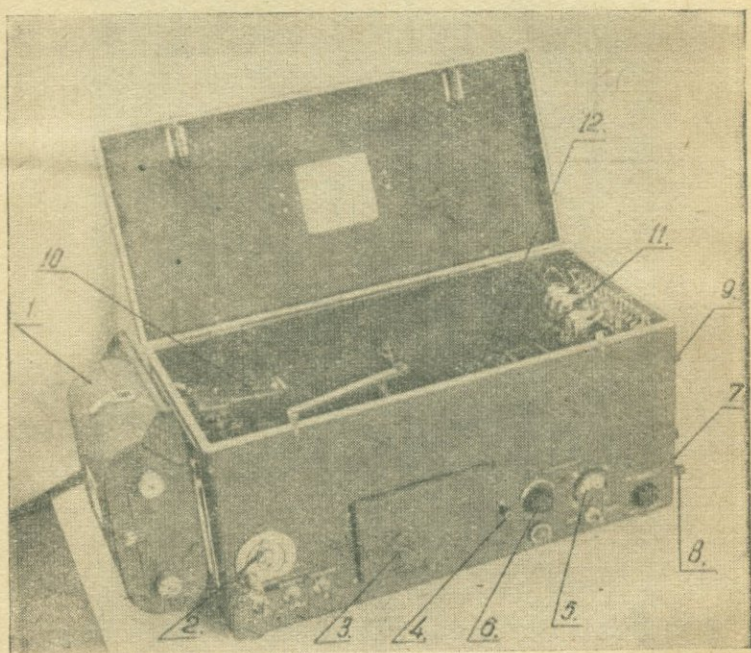
Фиг. 7.

§ 2. Осциллографы и сейсмические установки

Для записи сейсмических колебаний широко используются магнитоэлектрические осциллографы. У нас в СССР наибольшее применение в исследовательских работах по инженерной сейсмологии получил осциллограф ПОБ - 12 М.

В переносном 12-канальном универсальном магнитоэлектрическом осциллографе ПОБ—12 М устано-

вливаются рамочные гальванометры ГБ—IV в количестве 12 штук или ГБ—III в количестве 6 штук, сгруппированные в блок с общим постоянным магнитом. Две ленточные кассеты, каждая из которых вмещает 12 м осциллографической бумаги шириной 120 мм, позволяют получать скорости записи от 0,15 до 1500 мм/сек. Для регистрации кратковременных процессов применяется барабанная кассета, обеспечивающая скорость записи от 111 до 8000 мм/сек. Марка времени



Фиг. 8.

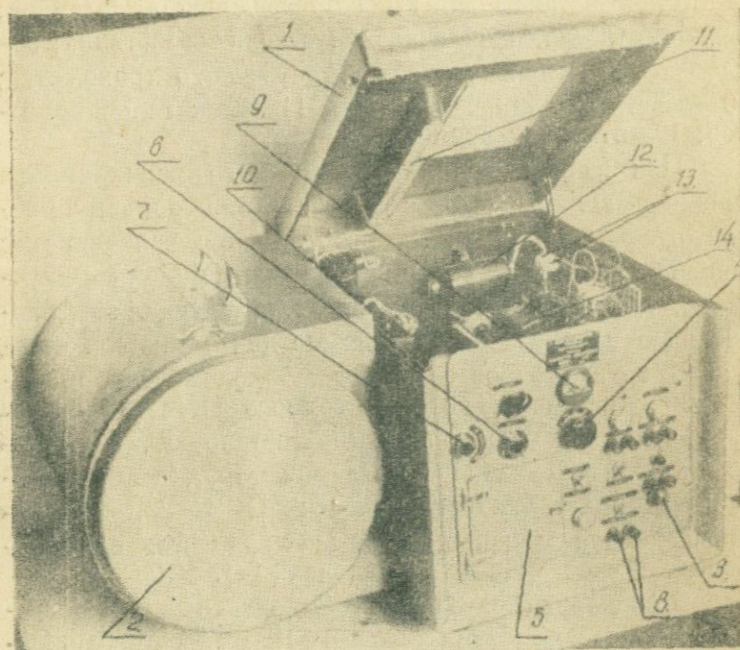
наносится в виде тонких поперечных штрихов универсальным моторным отметчиком с частотой 10 и 200 герц. Электропитание осциллографа осуществляется от источника постоянного тока напряжением 24 вольт или переменным током, через трансформатор, путем установки компактного полупроводникового выпрямителя.

Осциллограф ПОБ—12М с открытой крышкой показан на фиг. 8, где 1—кассета; 2—переключатель скорости; 3—экран для наблюдения за процессом записи; 4—ручка для регулировки скорости развертки изображения на экране; 5—вольтметр для контроля накала лампы осветителя гальванометров; 6—ручка регулирования реостата; 7—штепсельные разъемы для присоединения датчиков; 8—клеммы для присоединения источника питания; 9—клеммы для присоединения контактного хронометра; 10—осветитель гальванометров; 11—блок гальванометров; 12—отметчик времени.

При записи с помощью обычного осциллографа сейсмических процессов с относительно большой продолжительностью времени (особенно при колебаниях с большой частотой), например, для регистрации микросейсм, требуется значительная затрата осциллографической бумаги. Использование же для этой цели стационарных регистров связано с необходимостью оборудования соответствующего темного помещения и применения громоздкой фоторегистрирующей установки. Во избежание указанных трудностей разработан осциллограф сейсмический ОСБ—VI, предназначенный для записи сейсмических процессов в стационарных и экспедиционных условиях [2].

В осциллографе ОСБ—VI устанавливаются 6 рамочных гальванометров типа ГБ—III с частотой свободных колебаний 5 или 2,5 *герца*, сгруппированных в два блока с общими постоянными магнитами. Регистрация осуществляется световым лучом на осциллографической бумаге шириной 280 *мм* и длиной 900 *мм*, закрепленной на барабане, равномерно вращающемся со скоростью 15—480 *мм/мин*. С целью экономии фотобумаги запись развертывается по винтовой линии. Развертка осуществляется не механическим продольным перемещением барабана с фотобумагой, как это делается в обычных стационарных регистрах, а путем перемещения световых лучей вдоль образующей барабана с помощью поворотного

зеркала. В зависимости от амплитуды записи накал лампочки осветителя гальванометров регулируется с помощью фотосигнализатора. Осветитель гальванометра и механизм привода заключены в одном корпусе. Для установки осциллографа специального помещения не



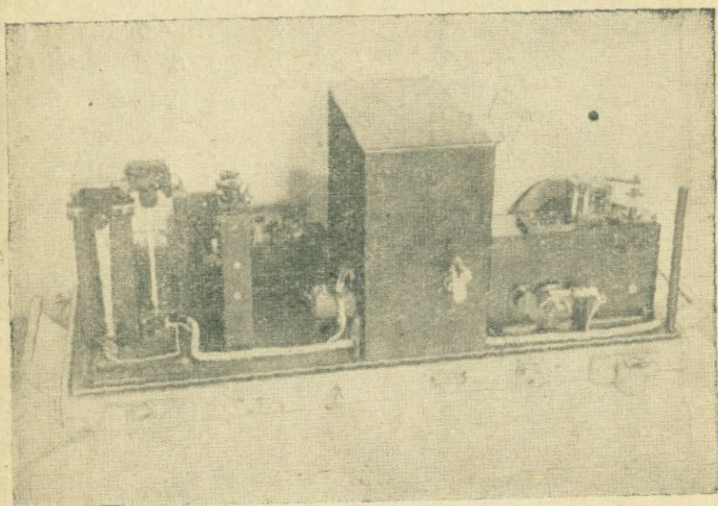
Фиг. 9.

требуется, электропитание—от источника переменного тока.

Осциллограф ОСБ—VI показан на фиг. 9, где 1—крышка осциллографа; 2—съемная барабанная кассета; 3—предохранитель; 4—переключатель напряжения; 5—крышка сменных шестерен; 6—рукоятка отбрасывающего зеркала; 7—рукоятка поворота зеркала; 8—клеммы питания; 9—вольтметр накала осветителя; 10—осветитель гальванометров; 11—экран; 12—фото-

усилитель; 13—гальванометры; 14—блок гальванометров.

На сейсмических станциях СССР для получения записи сильных землетрясений применяются сейсмографы СРЗ—1 с механической регистрацией, которые имеют два маятника с периодами $T=2-3$ сек. и $T=0,2$ сек., непрерывно записывающих на одной ленте соответственно низкочастотную часть спектра землетрясений (периоды более 0,2 сек.) с довольно большими амплитудами и высокочастотную часть (периоды менее 0,2 сек.) со

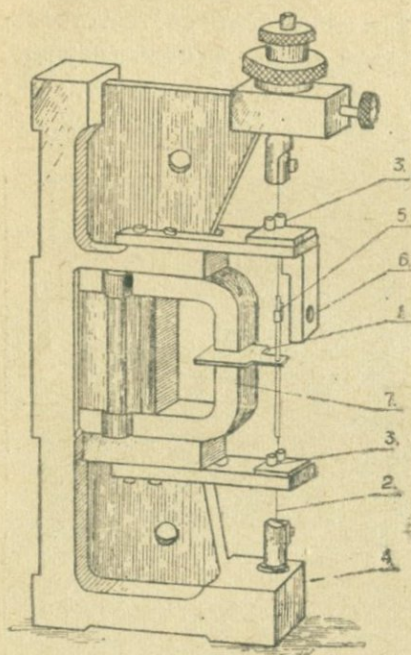


Фиг. 10.

сравнительно малыми амплитудами [19]. Запись осуществляется на закопченной бумаге, закрепленной на барабане, вращающемся со скоростью 5 мм/сек. При сильном землетрясении специальный сеймоскоп замыкает цепь отметчика времени (на ленте появляется марка времени), который выключается через 90 сек. полного оборота барабана. Барабан имеет пружинный механизм, который заводится один раз в сутки. Лента на барабане меняется один-два раза в месяц. Поскольку

сейсмограф СРЗ—I громоздкий и вследствие механической регистрации в нем получается трение и искривление записи, он не может служить стандартным прибором для сейсмических станций.

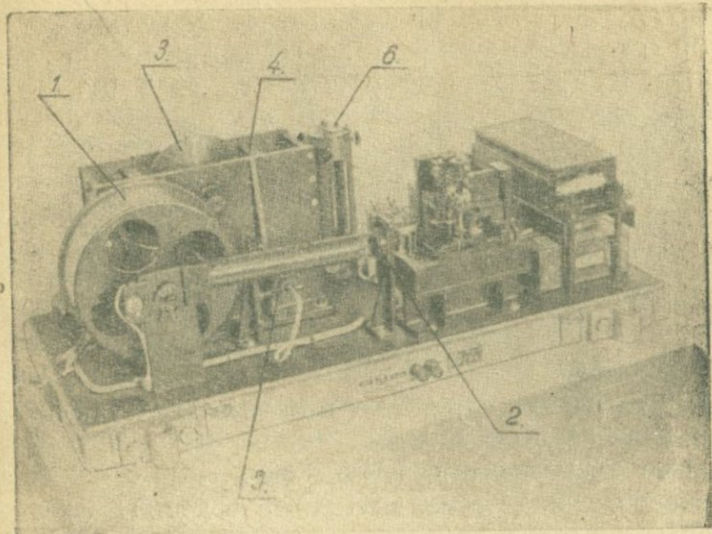
Впоследствии специально для этой цели была



Фиг. 11.

разработана сейсмическая установка СРЗО для оптической регистрации на сейсмических станциях СССР землетрясений силой более 6 баллов [19]. Установка состоит из блока сейсмоприемников, регистрирующего устройства и автомата управления записью (см. фиг. 10). В приборе непрерывно вращается барабан с надетой на него фотопленкой шириной 60 мм с окружной скоростью 5 мм/сек. при продолжительности записи 2 мин., или 10 мм/сек.

в течение 1 мин. Лампочка осветителя обычно не горит. Она загорается, когда колебания грунта достигают определенной, заранее заданной величины, путем замыкания контактов в специальном сейсмоскопе. После определенного времени запись автоматически выключается. С помощью сейсмографа СРЗО возможно записывать три компонента ускорения, скорости или смещения в зависимости от установленных в нем сейсмоприемников. Схема сейсмоприемника для записи горизонтальных составляющих ускорения или скорости



Фиг. 12.

показана на фиг. 11, где 1—пружинный маятник (легкая алюминиевая пластинка); 2—стальная струна; 3—отверстия в кронштейнах, через которые проходит струна; 4—основная стойка; 5—плоское зеркало; 6—фокусирующая линза; 7—постоянный магнит. Для записи ускорения с периодами более 0,1 сек. служит сейсмоприемник с периодом собственных колебаний 0,04—0,045 сек. При этом 10 мм записи соответствует 500 см/сек². Для записи скорости в интервале периодов от 0,1 до 2,0 сек. амплитуда записи в 16 мм соответствует скорости, равной 10 см/сек. При записи смещения в интервале периодов колебаний 0,01—1,5 сек. нормальное увеличение составляет 1,5.

Сейсмическая установка СРЗО в дальнейшем подверглась упрощению, и в результате была разработана новая установка для автоматической регистрации землетрясений большой силы—УАР, которая приводится в действие землетрясением [21]. Скорость движения ленты 10 мм/сек. при продолжительности записи в одну

минуту или 20 мм/сек. при продолжительности записи в 30 сек. Используются те же сейсмоприемники, что в СРЗО. В приборе подлежат замене один раз в год электропитание (сухие элементы) и фотоленты при отсутствии записи. Проверка осуществляется 2—4 раза в год. Общий вид прибора показан на фиг. 12, где 1—легкий алюминиевый барабан; 2—винтовая пружина, приводящая барабан в движение; 3 и 4—демпфирующее приспособление; 5—осветитель; 6—сейсмоскоп.

§ 3. Частотные анализаторы

Для исследовательских целей, а также для решения ряда практических задач бывает необходимо определение частотного спектра, полученных с помощью приборов записей землетрясений. Это достигается с помощью применения частотных анализаторов (механического или основанного на электромеханической аналогии). Для этой же цели применяются также многоканальные частотно-избирательные сейсмические станции, регистрирующие колебания непосредственно на сейсмограмме по каждому каналу с определенной полосой пропускания частот.

Механический частотный анализатор Био представляет собою крутильный маятник с регулируемым периодом свободных колебаний [48]. Точка подвешивания маятника устраивается таким образом, чтобы его можно было бы поворачивать пропорционально ускорению землетрясения в соответствии с анализируемой акселерограммой. Для каждого конкретного значения периода свободных колебаний маятника определяется максимальное отклоненное положение его инертной массы и вычисляется приведенное сейсмическое ускорение. Маятнику придаются различные периоды свободных колебаний. Определяются отвечающие им приведенные сейсмические ускорения и в результате строится спектральная кривая.

Вычислитель, основанный на электромеханической аналогии, сконструированный в Калифорнийском технологическом институте, также служит для определения спектрального состава сейсмических колебаний [52,54]. В нем электрическая схема используется таким образом, что напряжение потребляемого тока оказывается пропорциональным ускорению колебаний почвы, и ординаты спектра прочитываются прямо на катоднолучевой трубке. При этом напряжение вводится через фотоэлемент, который следит за вращающейся пленкой, где посредством специальной установки вычерчивается переменной ширины траектория, ширина которой пропорциональна величине ускорения колебаний почвы во время землетрясения. Возбуждение тока в фотоэлементе осуществляется через следящую щель посредством светового луча, общая интенсивность света которого пропорциональна ширине траектории на пленке.

Частотно-избирательная сейсмическая станция (ЧИСС) состоит из шести отдельных каналов. Каждый канал станции регистрирует колебания на отдельной дорожке сейсмограммы и отличается от других лишь полосой пропускания частот. Цепь канала состоит из сейсμοприемника, интегрирующей ячейки, предварительного усилителя и гальванометра. В качестве общего сейсμοприемника используется сейсмограф ВСХ—1 с периодом свободных колебаний $T_1=1$ сек. Применяются гальванометры ГБ—IV завода „Геофизика“ с периодом свободных колебаний $T_2=0,1$ сек. Запись ведется на обычном станционном регистре. Характеристика прибора в диапазоне 1,25—40 герц является линейной функцией от частоты. Путем включения и выключения из цепи интегрирующей ячейки ЧИСС записывает смещение, или скорость колебаний грунта.

Для производства частотного анализа сейсмических волн применяется также полевая станция [43], которая состоит из следующих пяти частей: 1. Пятнадцатика-

нальная широкополосная сейсмическая аппаратура, служащая для получения вспомогательного сейсмического материала. При этом записи 12 каналов применяются для расшифровки и выделения сейсмических волн, а записи 3 каналов, производящиеся методом переменной ширины, используются для последующего многократного воспроизведения с целью частотного анализа. Регистрация всех 15 каналов осуществляется при помощи одного осциллографа и на общей фотобумаге; 2. Фотовоспроизводитель, с помощью которого осуществляется многократное воспроизведение в отраженном свете непосредственно с сейсмограмм. С этой целью сейсмограмма, зарегистрированная методом переменной ширины, укрепляется на барабане фотовоспроизводителя. При вращении барабана свет от специальной осветительной лампочки фокусируется на барабан и, отражаясь от него, падает на фотоэлемент. Напряжение, снимаемое с фотоэлемента, усиливается и подается на анализатор; 3. Анализирующая часть, состоящая из анализатора и вырезающего устройства. В качестве первого применен гетеродинный гармонический анализатор Родмана, содержащий генератор высокой частоты. Напряжение подается на анализатор в виде периодически повторяющегося колебания, которое умножается на частоту генератора, меняющуюся в процессе анализа. При этом спектр исследуемого колебания перемещается относительно фиксированной резонансной частоты фильтра. Путем изменения частоты гетеродина в необходимом диапазоне последовательно получают все спектральные составляющие исследуемого импульса; 4. Устройство для фотографической регистрации частотных спектров, так называемый характеристограф; 5. Катодный осциллограф со ждущей разверткой.

Описанной станцией возможно производить анализ сейсмических волн в диапазоне частот от 10 до 250 герц в полевых условиях. С этой целью вся аппара-

тура станции устанавливается в кузове стандартной передвижной сейсмической станции.

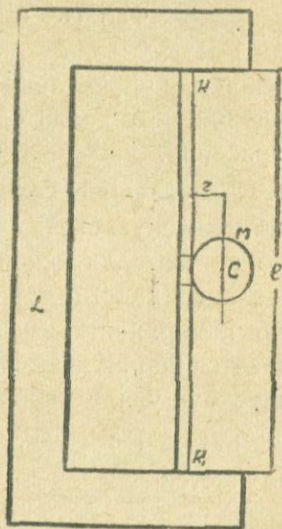
§ 4. Сейсмокопы и сейсмометры

Разработкой простых приборов для фиксации сильных землетрясений занимались очень давно, еще задолго до того, как появилась первая сейсмическая аппаратура. Известен, например, сейсмокоп китайского ученого Чжан-Хена, который был изобретен им в 132 г. н. э.

Для оценки силы землетрясения Б. Б. Голицын в 1911 г. предложил построить шкалу, основанную на измерении максимальных ускорений по падению двух систем высоких параллелепипедов [34].

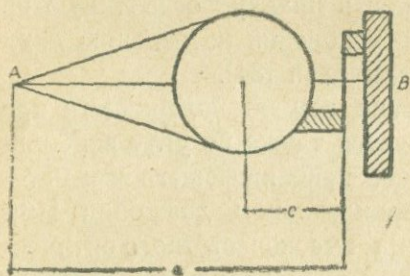
Определение ускорения земной поверхности при землетрясении осуществляется также по углу наибольшего отклонения маятника, приближающегося к математическому, в его инерциональном движении [16].

Принципиальная схема высокочастотного оптического крутильного акселерометра [37] заключается в том, что к струне KK_1 , натянутой на станине a , прикрепляется масса M (зеркальце) так, чтобы ее центр тяжести C не совпадал с осью струны (см. фиг. 13). При ускоренных смещениях станины в направлениях, не лежащих в плоскости KK_1C , возникают инерционные силы, момент которых вызывает закручивание струны. При надлежащем выборе момента инерции и жесткости системы обеспечивается пропорциональность между ускорениями станины и угловыми отклонениями системы.



Фиг. 13.

В сейсмоскопе Грузинского бюро антисейсмического строительства [4] существенной частью является металлический цилиндр, подвешенный к станине двумя гибкими в горизонтальном направлении металлическими планками, пересекающимися под прямым углом. Наибольшая величина относительных перемещений цилиндра и станины (в направлении, перпендикулярном базе АВ), прочерчивается с помощью острия из нержавеющей стали, связанного с цилиндром, на пластинке, покрытой составом из мела на костяном масле (схема



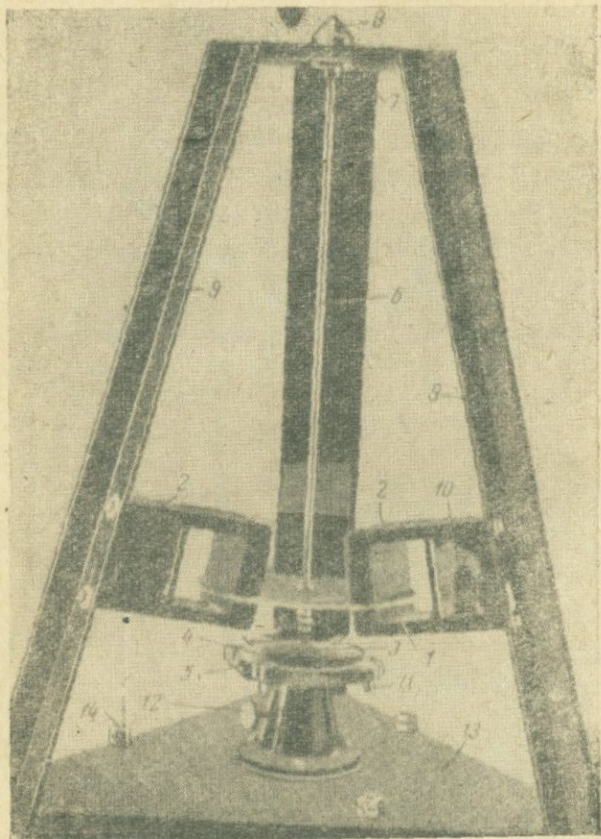
Фиг. 14.

прибора приведена на фиг. 14). Период свободных колебаний $T=0,4 \text{ сек.}$, увеличение в масштабе $\frac{a}{c}$. Два

таких прибора, установленных перпендикулярно друг к другу на общей станине, представляют собой сейс-

москоп для определения величины и направления перемещения, которое и служит мерой интенсивности землетрясения.

Простейший сейсмоскоп [39] представляет собой металлическую стойку высотой 20 см, прочно закрепленную на металлической доске строго перпендикулярно к ее поверхности, верхняя часть которой имеет шаровую поверхность, имеющей углубление, куда устанавливается шарик диаметром 10—15 мм. Шарик при сейсмическом ударе сбрасывается на доску, покрытую слоем воска в 2 мм. При падении шарика на воск получается след в виде небольшой ямки, и по нему определяются азимут, интенсивность и угол выхода сейсмического удара. Во избежание случайных воздушных

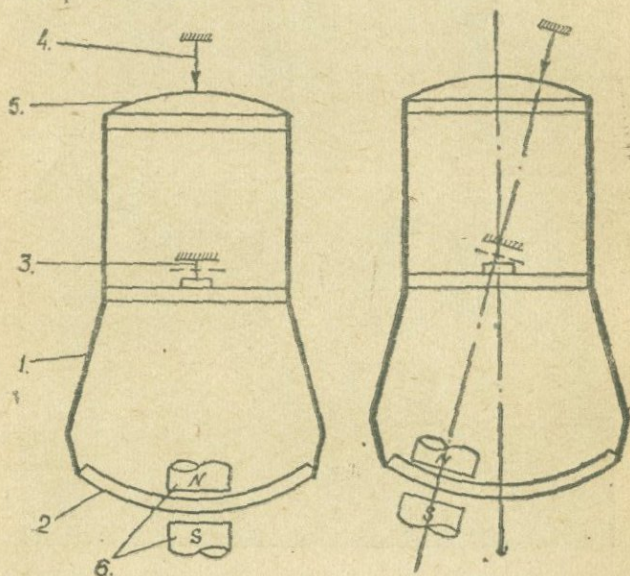


Фиг. 15.

воздействий на шарик вся установка покрывается стеклянным колпаком.

Сейсмометр СБМ [23] представляет собою сферический маятник с периодом собственных колебаний $T=0,25$ сек. и логарифмическим декрементом затухания $\delta=0,5$. В сейсмометре относительные максимальные перемещения маятника регистрируются на вогнутой стеклянной закопченной пластинке.

Затухание осуществляется с помощью постоянных магнитов. Общий вид сейсмометра СБМ показан на фиг. 15, где 1—медный вогнутый диск—масса маятника; 2—постоянные магниты; 3—игла; 4—стекло; 5—столик; 6—стальная пружина маятника; 7—шайбы верхнего отверстия; 8—верхний колпачок; 9—наклонные стойки; 10—шунты магнита; 11—винт для крепления стекла; 12—винт, закрепляющий столик; 13—нижняя плита; 14—анкерный болт.

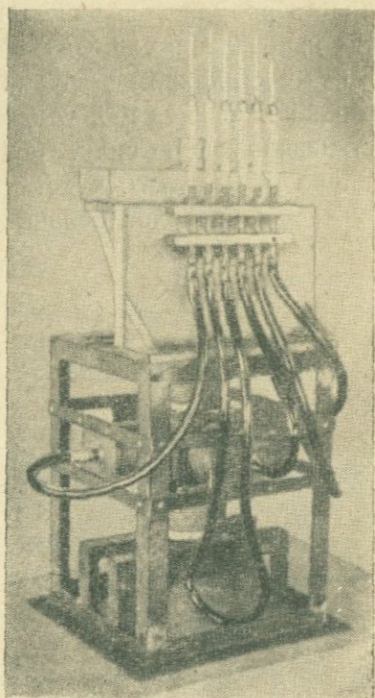


Фиг. 16.

Сейсмоскоп береговой и геодезической службы Америки [50] состоит из свободного конического маятника, который может двигаться в любом горизонтальном направлении. Фиксированная точка вращения маятника движется вместе с грунтом. В результате наклона прибора на некоторый угол вокруг точки вращения, с помощью регистрирующего острия, также фиксированного, осуществляется запись на регистрирном закопченном сферическом стекле. Затухание достигается с по-

мощью движения укрепленного к концу маятника алюминиевого диска между полюсами постоянного магнита. Период колебаний маятника 0,75 сек., затухание 5—10% от критического. Схематический рисунок сейсмоскопа показан на фиг. 16, где 1—маятник; 2—алюминиевый диск; 3—точка подвеса маятника; 4—регистрирующее острие; 5—закопченное сферическое стекло; 6—магниты.

В Японии разработан сейсмоскоп, регистрирующий максимальные ускорения во время сильного землетрясения, который используется в качестве вспомогательного прибора, устанавливаемого на второстепенных станциях наблюдательной сети [60]. Прибор, показанный на фиг. 17, состоит из кубикового металлического груза размерами $7 \times 7 \times 7$ см и шести бронзовых воздуходувок (мехов) длиной 7 см, диаметром 6 см, каждая из которых прикреплена к поверхности граней кубикового груза. Совокупность груза и мехов подвешена в рамке, сделанной из металлических уголков. Каждый мех соединен с тонкой стеклянной трубкой внутренним диаметром 6 мм при помощи хлорвиниловой пластичной трубки и заполнен окрашенным керосином. Часть соединительной хлорвиниловой



Фиг. 17.

трубки сужена для создания соответствующего эффекта затухания колебаний мехов и грузовой системы. Каждая стеклянная трубка имеет ответвление в виде тонкой трубки, которая ведет к обычному заполненному нефтью баку. Этот бак устроен с целью уменьшения до минимума колебаний уровня керосина в стеклянных трубках, обусловливаемого термическим расширением, а также для выравнивания уровней в стеклянных трубках. Боковая трубка не оказывает влияния на быструю флуктуацию уровня керосина, вызываемую землетрясением. Любое поднятие уровня поверхности нефти в стеклянной трубке оставляет след на тонкой пластинке, введенной в стеклянную трубку. Стеклянная пластинка покрывается предварительно мыльной пленкой. Прибор дает возможность получить запись максимальных ускорений в шести направлениях. Воздуходувные меха (из бронзы) и тонкие стеклянные трубки обеспечивают прибору увеличение, равное 100, соответствующие затухание и восстанавливающую силу. Период собственных колебаний прибора 0,06 сек., чувствительность около 10 галл в 1 мм, для периодов больших—0,2 сек.

ГЛАВА II

МНОГОМАЯТНИКОВЫЕ СЕЙСМОМЕТРЫ

Многомаятниковые сейсмометры являлись основными приборами при выполнении исследований по изучению землетрясений и взрывов, приведенных в данной работе. В главе, посвященной сейсмической аппаратуре, многомаятниковые сейсмометры не были рассмотрены. Их теория, а также описание их конструкций приведены в этой главе.

Необходимость в применении многомаятниковых сейсмометров возникла в результате предложенного А. Г. Назаровым метода инженерного анализа сейсмических сил, в котором эти приборы служат для прямого инструментального интегрирования уравнений теории сейсмостойкости и тем самым определения сейсмических сил, действующих на сооружения при землетрясении, а также для решения ряда других задач инженерной сейсмологии [28, 29, 30].

В результате многолетних работ в секторе инженерной сейсмологии Армянского института стройматериалов и сооружений (АИСМ)* были разработаны многомаятниковые сейсмометры в основном для регистрации сильных землетрясений (сейсмометры АИС—1, АИС—2, АИС—2П, АИС—2М), а также для записи слабых

* В настоящее время сектор инженерной сейсмологии входит в состав организованного в августе 1961 г. Института геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР.

землетрясений (сейсмометр ПМС). Конструкция сейсмометра АИС—1 разработана А. К. Шаншиевым. Сейсмометр АИС—2 предложен А. Г. Назаровым и конструктивно разработан им совместно с Р. С. Вартаняном. В осуществлении конструкции сейсмометра АИС—2П участвовали А. Г. Назаров, Р. С. Вартанян и автор настоящей работы. Разработка модернизированной конструкции сейсмометра АИС—2М осуществлена группой в составе А. Г. Назарова, Р. С. Вартаняна, В. В. Суходольского, М. В. Забелина и автора настоящей работы. Автором первоначальной конструкции прецизионного сейсмометра, не получившего практического применения, является М. Г. Хачиян. Впоследствии разработана модернизированная конструкция маятникового прецизионного сейсмометра ПМС группой в составе А. Г. Назарова, М. Г. Хачияна, С. А. Пирузяна, В. В. Суходольского, В. М. Забелина и автора настоящей работы.

§ 5. Теория сейсмометра

Колебания сооружения при землетрясении представляются системой дифференциальных уравнений в ортогональных координатах:

$$\begin{aligned} q_1''(t) + p_1^2 e^{i\alpha_1} q_1(t) &= -\delta_1 y_0''(t), \\ &\dots \dots \dots \\ q_j''(t) + p_j^2 e^{i\alpha_j} q_j(t) &= -\delta_j y_0''(t), \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (1)$$

где q_j —обобщенные ортогональные координаты, отвечающие фундаментальным функциям сооружения X_j ; p_j —круговые частоты; α_j —меры рассеяния энергии колебаний в соответствии с гипотезой Сорокина; y_0 —смещение почвы при землетрясении;

$$\delta_j = \frac{\int X_j q(x) dx + \sum X_j(x_m) Q_m}{\int X_j^2 q(x) dx + \sum X_j^2(x_m) Q_m} \quad (2)$$

В выражении (2) $q(x)$ —сплошная нагрузка на единицу длины; Q_m —сосредоточенный груз, отвечающий абсциссе оси сооружения x_m .

Полное перемещение сооружения относительно грунта при приведении его к брусу, симметричному в плане, записывается в виде:

$$y(x,t) = \sum_{j=1}^n q_j(t) X_j(x). \quad (3)$$

Дифференциальные уравнения колебаний маятников сейсмографов, установленных рядом с сооружением и имеющих одинаковые с ним частоты свободных колебаний p_j и меры рассеяния энергии α_j , представляются следующим образом:

$$\begin{aligned} u_1''(t) + p_1^2 e^{i\alpha_1} u_1(t) &= -\lambda_1 y_0''(t), \\ u_j''(t) + p_j^2 e^{i\alpha_j} u_j(t) &= -\lambda_j y_0''(t), \end{aligned} \quad (4)$$

где $u_j(t)$ —относительные смещения маятников сейсмографов, вызванные колебаниями почвы по закону $y_0(t)$;

λ_j —некоторые постоянные, зависящие от конструкции сейсмографов.

Сопоставляя дифференциальные уравнения (1) и (4), учитывая при этом, что они линейны и отличаются лишь постоянными множителями в своих правых частях, устанавливается следующее соотношение между обобщенными координатами сооружения и сейсмографов:

$$\frac{q_j}{u_j} = \frac{q_j''}{u_j''} = \frac{\delta_j}{\lambda_j}. \quad (5)$$

Соотношение (5) позволяет по найденному закону относительного смещения маятника сейсмометра $u_j(t)$

определять обобщенную координату сооружения $q_j(t)$, отвечающую j -ой фундаментальной функции:

$$q_j(t) = u_j(t) \frac{\delta_j}{\lambda_j}, \quad (6)$$

а, следовательно, и полное деформированное состояние сооружения:

$$y(x,t) = \sum q_j(t) X_j(x) = \sum \frac{\delta_j}{\lambda_j} u_j(t) X_j(x). \quad (7)$$

Таким образом, путем использования выражения (7) создается возможность для каждой точки сооружения найти такой момент времени, когда в ней имеет место наибольшее напряженное состояние. В этом и заключается сущность инструментального решения системы дифференциальных уравнений (1), к которым приводит проблема теории сейсмостойкости.

Однако такая схема анализа поведения сооружений при землетрясении является полезной лишь для исследовательских целей. При практических работах этот способ интегрирования следует существенно упростить. Вместо того, чтобы устанавливать большое количество сейсмографов, имеющих различные периоды свободных колебаний и различные меры затухания, становится необходимым разработать конструкцию маятникового прибора с механическим принципом работы, осуществляющего интегрирование уравнения (1) непосредственно в процессе землетрясения с целью получения спектров приведенных сейсмических ускорений. При этом следует отметить, что под приведенным сейсмическим ускорением понимается такое постоянно действующее ускорение, под действием которого маятник прибора отклоняется на такую же максимальную величину, на какую он отклонился бы при данном землетрясении.

Поскольку, по условию, приведенное сейсмическое ускорение постоянно, следовательно, действие его

статическое, и поэтому в дифференциальном уравнении (4) для обобщенной координаты $u_j(t)$:

$$u_j''(t) + p^2 e^{i\alpha_j} u_j(t) = -\lambda_j y_0''(t) \quad (4')$$

принимается $u_j''(t) \equiv 0$

Путем подстановки максимального приведенного сейсмического ускорения, обозначенного через τ_j в выражение (4') взамен $y_0''(t)$, учитывая высказанное выше условие и принимая $\cos \alpha_j \approx 1$, получается:

$$\tau_j = \frac{Re[p_j^2 e^{i\alpha_j} u_j(t)]}{\lambda_j} \approx \frac{p_j^2 u_j}{\lambda_j}, \quad (8)$$

где символ Re указывает на то, что при этом взята вещественная часть выражения; под u_j подразумевается максимальная величина вещественной части $u_j(t)$.

Аналогичным образом из уравнения (1) определяется приведенное сейсмическое ускорение для j -ой координаты сооружения:

$$\tau_j = \frac{Re[p_j^2 e^{i\alpha_j} q_j(t)]}{\delta_j} \approx \frac{p_j^2 q_j}{\delta_j}. \quad (9)$$

В силу соотношения (5) выражения (8) и (9) дают одно и то же значение приведенного сейсмического ускорения.

Таким образом, приведенное сейсмическое ускорение не зависит от конструкции линейной упругой системы с одной степенью свободы. При этом необходимо лишь, чтобы значения p_j и α_j были неизменными. Это свойство приведенного сейсмического ускорения удобно для практических расчетов. Существенным также является и то, что в сейсмографах, записывающих согласно (4) относительные смещения $u_j(t)$, создается возможность устранить часовой механизм с регистрирующим барабаном, необходимые при записи во времени, и производить лишь непосредственную фиксацию макси-

мальных относительных смещений u_j маятников и по ним на основании выражения (8) определять приведенные сейсмические ускорения τ_j . При наличии серии маятников с различными периодами свободных колебаний T_j , имеющих одну и ту же величину меры рассеяния энергии (возможны и различные меры рассеяния, свойственные отдельным видам сооружений), определяют различные значения приведенного сейсмического ускорения τ_j . По найденным величинам τ_j строится спектр приведенных сейсмических ускорений $\tau=\tau(T)$ для фиксированного значения α .

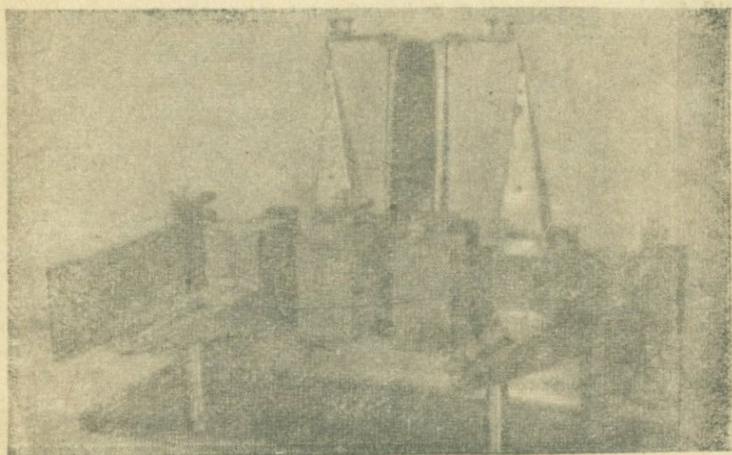
Отсюда и возникает идея о приборе, который должен иметь серию линейных упругих маятников, обладающих различными периодами свободных колебаний, охватывающих возможные периоды свободных колебаний сооружений, снабженных демпфером, и регистрирующих свои максимальные отклоненные положения. Такими приборами являются максимальные многомаятниковые сейсмометры или просто сейсмометры, которые служат для непосредственного прямого инструментального определения величин приведенных сейсмических ускорений. Полученные с помощью многомаятниковых сейсмометров данные могут служить для сейсмического районирования и микрорайонирования, расчета зданий и сооружений на сейсмическую нагрузку, исследования вопросов взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием при сейсмических воздействиях и т. д.

§ 6. Сейсмометр АИС—1

Сейсмометр АИС—1 представляет собою серию горизонтальных и вертикальных маятников, собранных на двух станинах, укрепленных во взаимно-перпендикулярных направлениях, для создания возможности записывать две горизонтальные и вертикальную составляющие

с целью получения значений измеряемых величин приведенных сейсмических ускорений.

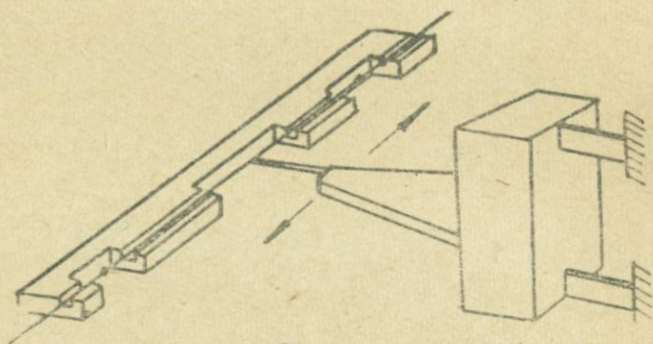
Горизонтальные маятники в обоих частях прибора имеют идентичные значения периодов свободных колебаний, равные 0,05; 0,10; 0,20; 0,40; 0,80; 1,20 сек.; вертикальные маятники имеют периоды свободных колебаний 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 сек. Общий вид сейсмометра АИС—1 показан на фиг. 18.



Фиг. 18.

Каждый из маятников прибора представляет собою осциллятор, состоящий из инертной массы, укрепленной на двух расположенных в одной плоскости плоских пружинах, закрепленных другими концами к станине прибора. Регистрация максимальных отклонений маятников сейсмометра АИС—1 осуществляется при помощи динамических прогибомеров конструкции А. К. Шаншиева. Этот прогибомер представляет собой медную кассету (пластинку, покрытую двумя крышками), в направляющем канале которой располагается манганиновая проволока (волосок) диаметром 0,03 мм.

В средней части кассеты имеется свободный участок волоска, середина которого связывается с маятником. Сама же кассета крепится к станине прибора. При отклонении маятника половины волоска, расположенные по обе стороны от места связи его с маятником, перемещаются в канале в направлении вытягивания. Отсчеты замеряемых перемещений производятся путем фиксации при помощи измерительного микроскопа начальных и конечных положений концов волоска. Схема этого устройства показана на фиг. 19.



Фиг. 19.

Было изготовлено несколько комплектов сейсмометров АИС—1, которые были установлены на сейсмической станции „Ереван“, в здании АИСМ и в некоторых других местах. Однако реальных данных при помощи этих сейсмометров не получено. Поэтому на подробностях описания сейсмометров АИС—1 мы не останавливаемся, тем более, что они в настоящее время нигде не применяются.

Сейсмометр ВАН—1 [30] по конструкции приближается к АИС—1 и представляет собою набор крутильных маятников с несколькими затуханиями на каждый период и увеличением от 1 до 20 раз при прямой механической записи. Количество маятников, их периоды, затухания, увеличения и вид записи выбирают-

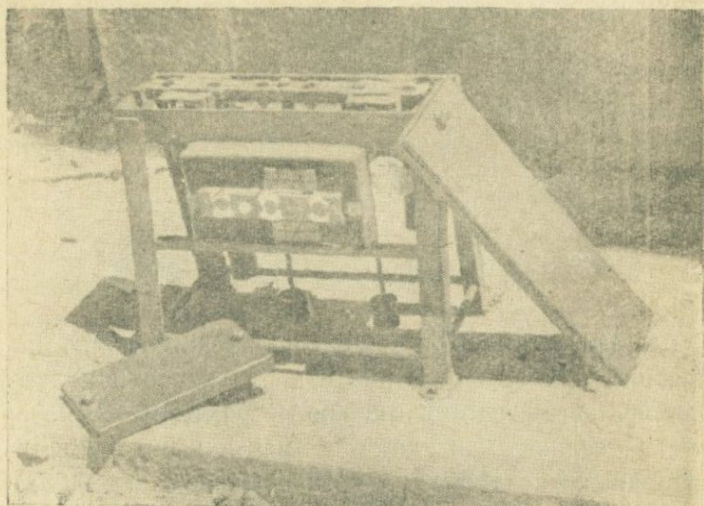
ся в зависимости от рода задачи и возможностей. Маятники сейсмометра состоят из станин в виде двутавра, в полках которого закреплены два тонких квадратного сечения стержня. Простым нажатием к этим стержням трапецевидными пластинами с помощью винтов прикрепляются маятники в виде цилиндров или параллелепипедов. К маятникам приделаны увеличительные рычаги с Г-образными откидными иглами. Запись производится на умеренно закопченном стекле. Затухание в приборе подбирается путем выбора соответствующего материала для стержня маятника (сталь, латунь, медь, пластмасса и т. п.), которые имеют различные коэффициенты внутреннего трения. Высокие затухания достигаются путем устройства упругих зажимов жесткого стержня с помощью эластичных прокладок из резины, пластмассы и т. д.

§ 7. Сейсмометр АИС—2

Дальнейшие работы по усовершенствованию многомаятниковых сейсмометров привели к новой конструкции прибора—созданию сейсмометра АИС—2, который имеет серию маятников с различными периодами свободных колебаний (вертикальные с $T=0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8$ и $1,2$ сек. и горизонтальные с $T=0,05; 0,1$ и $0,2$ сек.), установленных на общей станине. В отличие от сейсмометра АИС—1, где относительное смещение в горизонтальной плоскости регистрируется с помощью двух взаимно-перпендикулярно установленных маятников, имеющих одинаковый период, в сейсмометре АИС—2 это смещение измеряется путем применения одного сферического маятника, представляющего собою инертную массу, упруго смещающуюся при сейсмическом воздействии по линейному закону. Достоинством сейсмометра АИС—2 является также и то, что в

нем имеется возможность создания демпфирования, чего не было в сейсмометре АИС—1.

Сейсмометр АИС—2 показан на фиг. 20. Маятники сейсмометра—различной длины стержни с закрепленными на концах массами. Другие концы стержней пропущены через резиновые пробки, имеющие одинаковый диаметр, но различные высоты, в зависимости от чего и достигается различный период свободных колебаний маятников. Резиновые пробки плотно всаже-



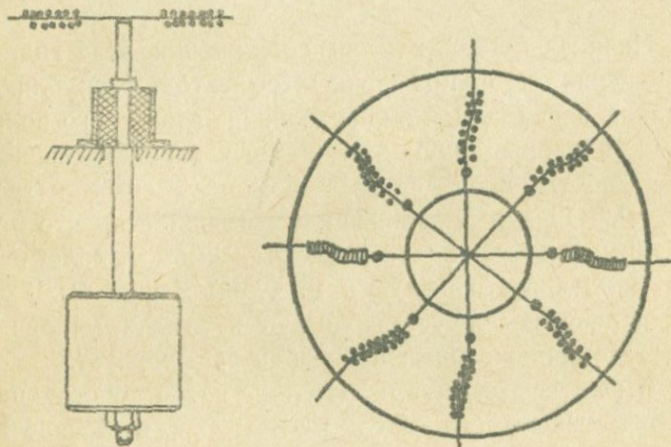
Фиг. 20.

ны в металлические обоймы, глухо соединенные со станиной прибора. Они одновременно играют роль и пружины и демпфера.

Регистрация максимальных относительных смещений маятников в сейсмометре АИС—2 первоначально производилась путем применения кассеты, предложенной А. К. Шаншиевым и видоизмененной Р. С. Варта-няном. Кассета представляет собой круглую пластинку с отверстием, на которой натянуты 4 манганиновые

проволочки (волоска) диаметром 0,03 мм, проходящие через отверстие спиральных пружинок, прикрепленных к поверхности кассеты. Волоски, пересекающиеся в центре кассеты, соединены с маятником (см. фиг. 21). По величинам смещений волосков определяются приведенные сейсмические ускорения.

В дальнейшем отказались от такого способа регистрации и перешли к осуществлению записи по закопченной поверхности. С этой целью на конец стержня



Фиг. 21.

маятника, выходящий из резины, крепится пружинящая игла. При колебании маятника игла наводит царапины на закопченном стекле, с которым она постоянно соприкасается. Конструкция иглы в процессе эксплуатации сейсмометров АИС—2 претерпела ряд изменений и в результате выработался окончательный ее вариант, представляющий собой корундовую иглу для долгоиграющих пластинок, устойчивую против коррозии и имеющую шаровую поверхность острия, что обеспечивает малое трение иглы о поверхность стекла. Игла с по-

мощью двух треугольных пермаллоевых (коррозеустойчивых) пластинок толщиной 0,03 мм крепится к гайке, навинчиваемой на конец маятника сейсмометра.

В последнем варианте сейсмометра АИС—2 имеется приспособление, позволяющее одновременно прижать все закопченные пластины к иглам.

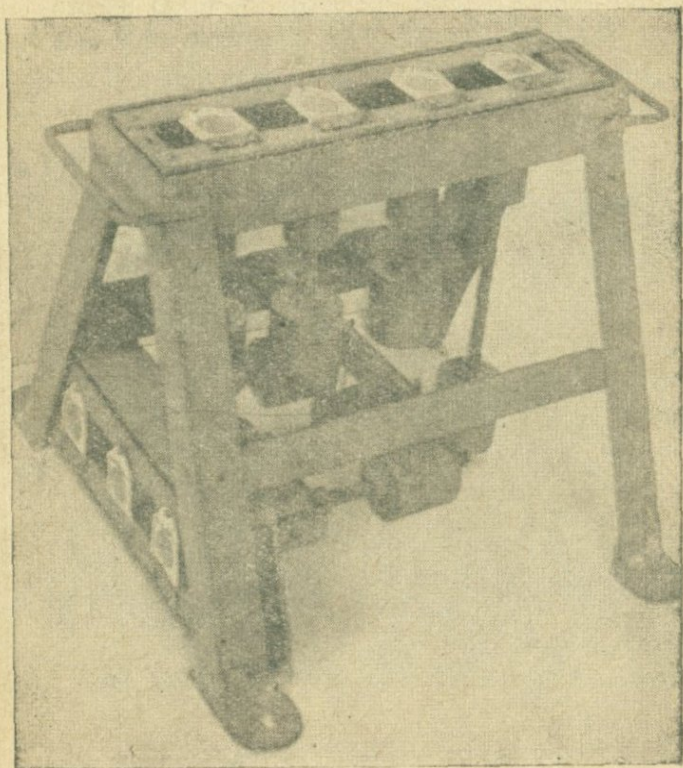
§ 8. Сейсмометр АИС—2П

Начиная с 1953 г., при сооружении ряда гидротехнических и промышленных объектов республики, возникла необходимость определения безопасного количества единовременно взрываемого заряда. Вначале такие работы проводились с помощью сейсмометров АИС—2. Однако в дальнейшем выяснилось, что для указанных работ необходимо иметь сейсмометр облегченного типа (портативный) с тем, чтобы можно было бы его переносить и устанавливать в любых условиях непосредственно самими производителями работ.

В результате была разработана новая конструкция прибора—сейсмометр АИС—2П. В 1955 г. в Москве на заседании главных инженеров производственных управлений „Союзвзрывпрома“ нами был продемонстрирован сейсмометр АИС—2П и доложены результаты проведенных работ по изучению действия сеймовзрывных волн на сооружения. Работа получила одобрение. В дальнейшем была изготовлена партия сейсмометров АИС—2П в количестве 13 штук, которые использовались при изучении действия сеймовзрывных волн на сооружения, при большом количестве взрывов, произведенных в различных районах Армянской ССР. И по настоящее время аналогичные работы проводятся нами в творческом содружестве с Армвзрывпромом.

По конструкции сейсмометр АИС—2П мало отли-

чается от сейсмометра АИС—2. В основном различия в размерах (следовательно, и в весе) и в количестве вертикальных маятников. В сейсмометре АИС—2П имеется четыре вертикальных маятника с периодами свобод-

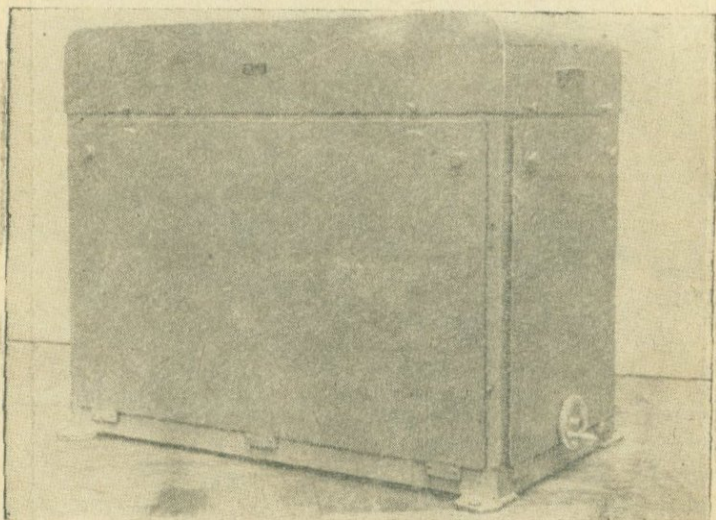


Фиг. 22.

ных колебаний 0,05; 0,1; 0,2 и 0,4 сек. и три горизонтальных маятника с периодами 0,05; 0,1, и 0,2 сек. Он закрыт со всех сторон, чтобы при взрывах не получилось отклонений маятников от воздушной волны. Общий вид этого прибора приведен на фиг. 22.

§ 9. Сейсмометр АИС—2М

Таким образом, в результате многолетней работы был получен маятниковый сейсмометр АИС—2 относительно усовершенствованной конструкции. Таких сейсмометров отдельными партиями было изготовлено в Ереване и Душанбе всего около ста штук. Однако для заводского производства сейсмометр АИС—2, на наш взгляд, все же не мог быть представлен, посколь-

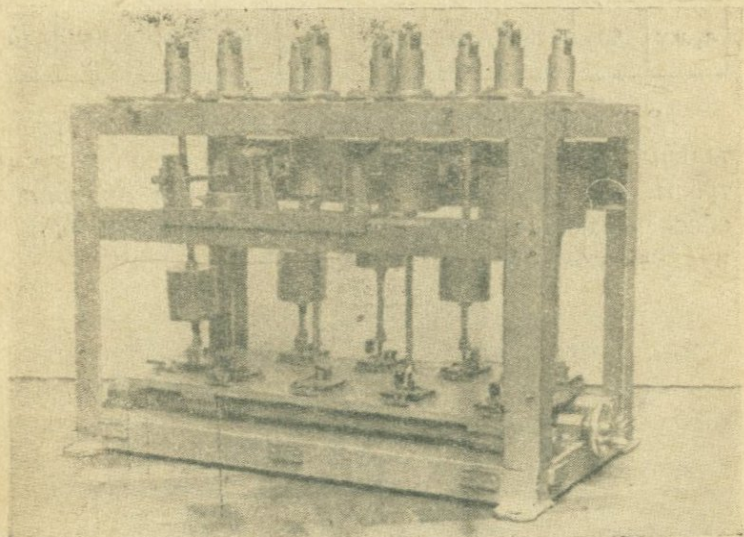


Фиг. 23.

ку он по своей конструкции оставался прибором пока еще не подготовленным для серийного производства.

Армянским институтом стройматериалов и сооружений совместно с ОКБ Института физики Земли было составлено техническое задание на проектирование улучшенного образца сейсмометра. В результате была разработана конструкция модернизированного сейсмометра АИС—2М (см. фиг. 23 и 24).

Сейсмометр АИС—2М имеет 9 вертикальных сферических маятников для записи перемещений в горизонтальной плоскости и 3 горизонтальных поляризованных маятника для записи вертикальных перемещений. Маятники имеют следующие периоды свободных колебаний: а) вертикальные: 0,08; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1,2 сек.; б) горизонтальные: 0,08; 0,15; 0,3 сек. Все маятники упруго заделаны в резиновые



Фиг. 24.

цилиндрики, играющие одновременно роль пружины и демпфера. Логарифмический декремент затухания маятников находится в пределах $\delta=0,3-0,5$ в зависимости от периода колебаний маятника (чем больше период колебаний, тем меньше величина декремента затухания).

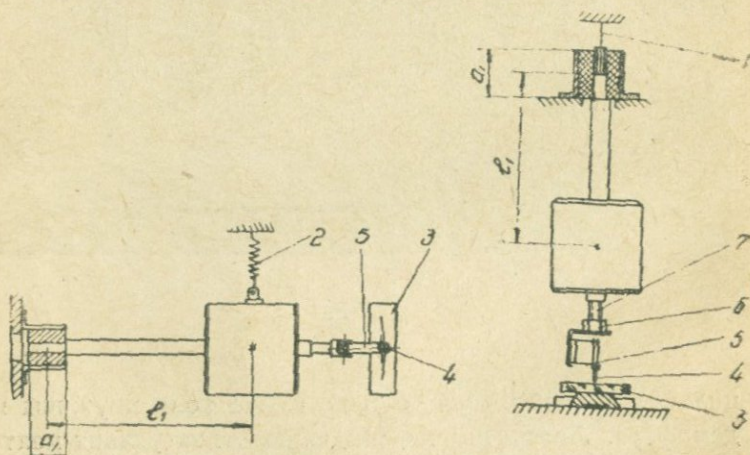
Каждому периоду свободных колебаний маятников соответствуют определенные длина маятника (от центра

вращения до центра груза) — l_1 , и высота резинового цилиндрика — a , (при одинаковом его диаметре — 38,5 мм). Величины эти приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1

Т сек	0,08	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,20
l_1 мм	102	111	140	205	175	285	256	318	365
a_1 мм	68	50	50	50	30	30	15	15	10

В конструкции как вертикальных, так и горизонтальных маятников (фиг. 25) соответственно предусмотрены струнный подвес 1 или спиральная пружина 2, обеспечивающие разгрузку резиновых цилиндров в нулевом положении маятников.



Фиг. 25.

Регистрация колебаний вертикальных и горизонтальных маятников осуществляется посредством записи по копоти, покрывающей тонким слоем стеклянные

пластины, установленные в кассетах 3. Запись осуществляется корундовой иглой 4. Игла через пермалоевые пластины 5 присоединяется к гайке 6, при навинчивании которой на стержень маятника обеспечивается определенное усилие прижатия иглы к поверхности стекла кассеты. При колебаниях маятника игла царапает по закопченной поверхности, предварительно смазанной тонким слоем костяного масла. Смазка одновременно обеспечивает стабильное состояние копоти со временем и малое трение острия по стеклу.

Кассеты вертикальных маятников вставляются в пазы на подвижном столике. При вдвигании кассеты игла прочерчивает по закопченному стеклу одну из осей (параллельную направляющим кассеты). Вторая, перпендикулярная ей ось получается после окончания регистрации колебательного процесса путем перемещения подвижного столика с установленными кассетами до момента, когда иглы сойдут с поверхности стекол. Пересечение этих осей дает нулевую точку, необходимую при обработке записей. Аналогично производится подготовка и запись горизонтальными маятниками. Однако приспособления для этой цели значительно проще по конструкции. Чувствительность прибора 2—3 балла.

В рабочем положении прибор со всех сторон закрыт кожухом, что предохраняет от проникновения в него пыли, грязи, грызунов и пр. Сейсмометр устанавливается по уровню в строго горизонтальное положение либо в стеновой нише, либо на специально устроенный бетонный фундамент в подвале здания или в отдельном колодце. Габаритные размеры сейсмометра 808×480×643 мм.

Опытный экземпляр сейсмометра АИС—2М изготовлен в ОКБ ИФЗ в июне с. г. В настоящее время завершено изготовление двух сейсмометров на Ленинанкан-

ском приборостроительном заводе, который должен осуществить серийный выпуск этих приборов [14].

На основании записи по максимальным отклонениям маятников находятся приведенные сейсмические ускорения, которые определяются по следующей формуле:

$$\tau = g \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \frac{i}{a},$$

где i —измеренное на записи максимальное отклонение маятника в см;

a —расстояние от острия иглы до центра вращения упругого маятника в см;

$g=981$ см/сек.²;

T_0 —период свободных колебаний рассматриваемого маятника, шарнирно подвешенного за его центр вращения;

T —период свободных колебаний того же маятника при упругой его заделке в резиновую пробку, т. е. в его рабочем состоянии.

Поскольку при тарировке прибора постоянные a , T_0 и T непосредственно определяются, то в паспорте для каждого маятника приводится коэффициент:

$$K = \frac{g}{a} \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \text{сек.}^{-2}$$

Таким образом, максимальное приведенное сейсмическое ускорение определяется по формуле:

$$\tau = kf.$$

По полученным приведенным сейсмическим ускорениям вычерчиваются спектральные кривые. По оси абсцисс откладываются периоды свободных колебаний упругих маятников T , а по оси ординат—приведенные сейсмические ускорения τ . Графики приведенных сейсмиче-

ских ускорений и характеризуют собою силу сотрясения почвы для данного пункта.

Проверка стабильности показаний сейсмометров сводится к тому, что два раза в год проводятся контрольные измерения периодов свободных колебаний маятников, а также их декрементов затухания. При незначительном изменении периодов свободных колебаний порядка $\pm 10^0\%$ следует ограничиваться лишь пересчетом значения K , данного в паспорте. При более существенных изменениях периодов свободных колебаний маятники заменяются.

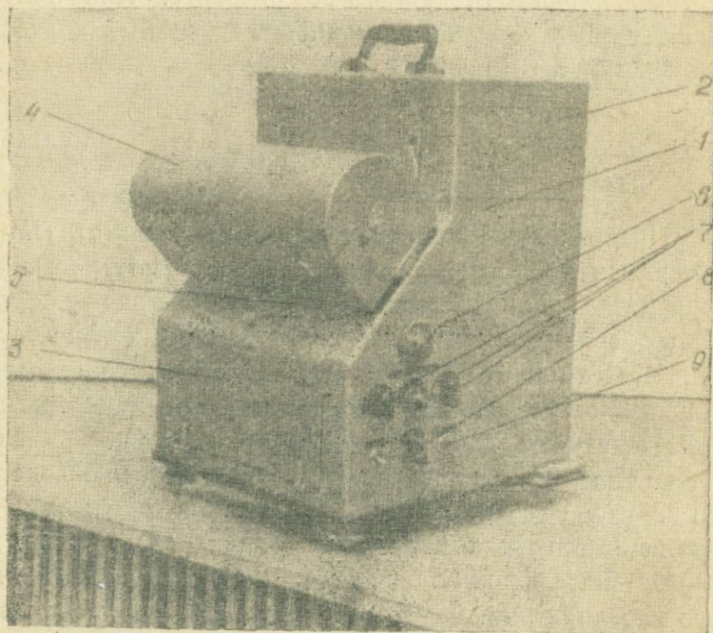
§ 10. Сейсмометр ПМС

Прецизионный маятниковый сейсмометр ПМС предназначен для регистрации слабых землетрясений. Первоначальная конструкция его [41] имела ряд существенных конструктивных и эксплуатационных недостатков. Изготовленные 6 экземпляров этого прибора не были стационарно установлены для регистрации землетрясений. Некоторые данные были получены при взрывах, однако они не имели практического значения. Впоследствии группой сотрудников АИСМ и ОКБ Института физики Земли было составлено техническое задание и разработана модернизированная конструкция прецизионного маятникового сейсмометра ПМС, конструирование и изготовление опытного экземпляра которого осуществило ОКБ. Опытный экземпляр ПМС прошел апробацию на сейсмической станции „Ереван“, в результате чего были выявлены и устранены некоторые недостатки.

Сейсмометр ПМС имеет 6 вертикальных поляризованных маятников с периодами собственных колебаний 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 и 0,6 сек. Однако имеется возможность одновременной установки трех

маятников, которые взаимозаменяемы. Затухание маятников магнитное, декремент затухания $\delta=0,5$. Регулировка затухания осуществляется при помощи магнитных шунтов. Питание прибора от переменного тока 127 вольт; потребляемый ток 2 ампера.

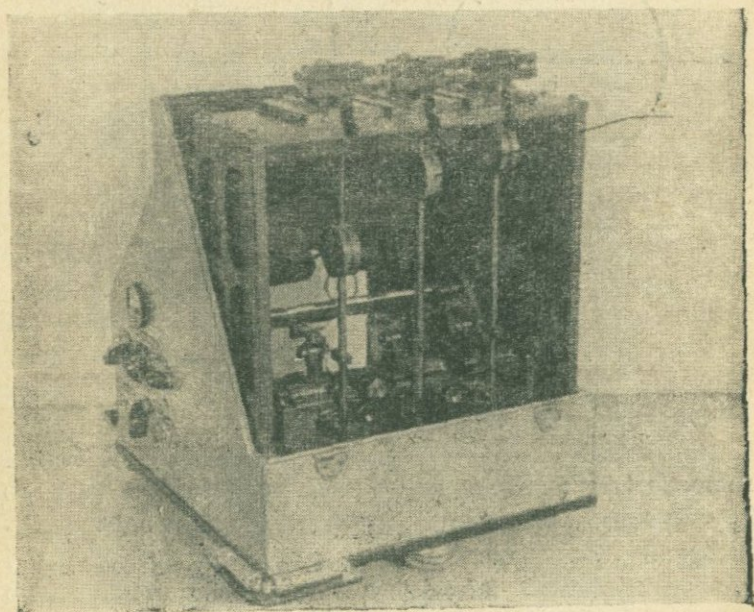
Сейсмометр ПМС в рабочем состоянии показан на фиг. 26. Для удобства юстировки оптической системы



Фиг. 26.

прибора и системы маятников крышка (2) сделана съемной. На корпусе (1) прибора с торцевой стороны имеется откидная дверца (3), обеспечивающая свободный доступ к осветителям для смены лампочек. Запись колебаний производится на барабанную кассету (4), барабан которой вращается со скоростью один оборот за 2 минуты.

Кассета вставляется на место по направляющим планкам и ее положение фиксируется с помощью запора (5). При юстировке прибора вместо кассеты вставляется рамка с матовым стеклом. На передней стенке прибора расположены: вольтметр (6); три реостата (7) регулировки накала ламп осветителей; переключатель (8) для включения вольтметра в цепь реостатов (поочередно); общий выключатель (9) и выключатель (10) электродвигателя. Нивелировка прибора осуществляется микрометричными винтами (11).

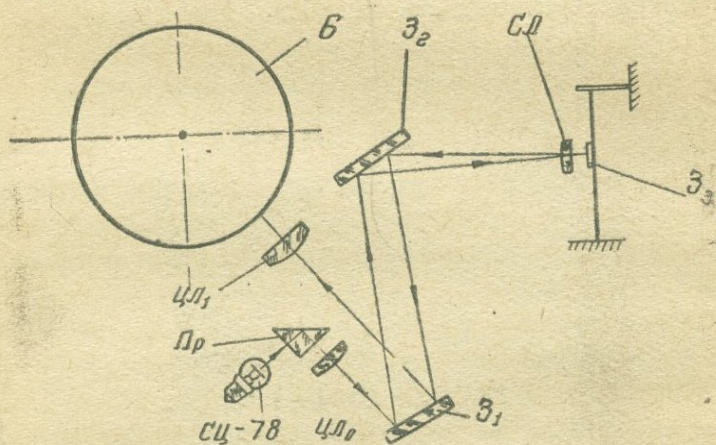


Фиг. 27.

Вид ПМС со снятой крышкой показан на фиг. 27. Маятники (1) устанавливаются на кронштейнах по контрольным шпилькам и крепятся винтами. В приборе используется оригинальная по конструкции, увеличитель-

ная система, позволяющая в значительных пределах изменять увеличение его путем вращения микрометричного винта [41].

Фоторегистрация колебаний маятников осуществляется следующим образом (фиг. 28.) Свет от лампочки осветителя типа СЦ—78 проходит через призму ПР и цилиндрическую линзу ЦЛ₀, являющуюся конденсатором. Затем лучи, отразившись от зеркал З₁ и З₂ и



Фиг. 28.

миновав сферическую линзу СЛ, попадают на зеркало З₃ увеличительной системы. Отразившись от зеркала З₃, световой луч снова проходит сферическую линзу СЛ и, отразившись от зеркал З₂ и З₁, через цилиндрическую линзу ЦЛ фокусируется в виде яркой световой точки. Оптический указатель прибора ПМС $A=500$ мм. Чувствительность— $0,1 \div 0,5$ мм/сек.² на 1 мм записи.

ГЛАВА III

РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МНОГОМАЯТНИКОВЫМИ СЕЙСМОМЕТРАМИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

При изучении землетрясений путем прямого инструментального определения приведенных сейсмических ускорений с помощью многомаятниковых сейсмометров становится реальным получение данных, которые могут служить фактическим материалом для выявления ряда закономерностей в проявлениях землетрясений с инженерной точки зрения. Тем самым создается возможность более правильного, научно обоснованного определения и нормирования сейсмических сил, действующих на сооружения. При этом также исключается возможность субъективной характеристики землетрясений, что часто наблюдается при макросейсмических (без применения инженерно-сейсмологической аппаратуры) обследованиях последствий сильных землетрясений.

Для получения инструментальных данных при сильных землетрясениях в некоторых сейсмических районах Советского Союза стационарно установлены многомаятниковые сейсмометры АИС—2. В Армении они находятся на территории г. Еревана в 8 пунктах, а также на сейсмических станциях „Ереван“, „Ленинкан“, „Горис“ и „Степанаван“. В Тбилиси имеется 5

пунктов с установленными в них сейсмометрами. На территории г. Душанбе установлено 25 сейсмометров. В течение последних 6 лет, за время существования указанных сейсмометрических пунктов, зарегистрировано по одному землетрясению в гг. Ереван, Тбилиси и Ленинакан и 15 землетрясений в г. Душанбе. Землетрясения эти имели различную интенсивность, оцениваемую от 3 до 6 баллов по шкале ГОСТ—4269—52 [32].

В этой главе приводим анализ полученных с помощью многомаятниковых сейсмометров данных по 17 землетрясениям.

§ 11. Землетрясение, зарегистрированное в г. Ереване

На территории г. Еревана, как отмечалось выше, была организована инженерно-сейсмологическая сеть, которая в настоящее время имеет 9 пунктов, включая также сейсмическую станцию „Ереван“, с установленными в них сейсмометрами АИС—2.

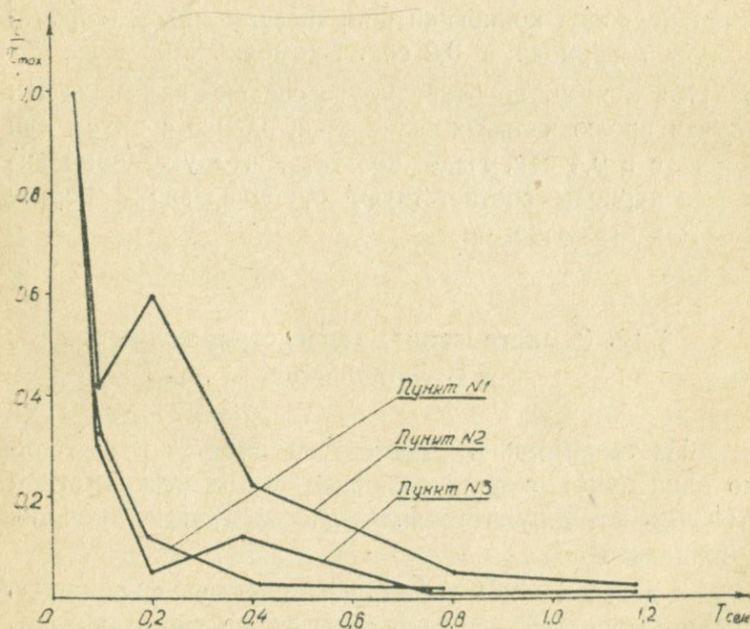
14 февраля 1957 г. в г. Ереване с помощью многомаятниковых сейсмометров было зарегистрировано землетрясение силой около 4 баллов [33]. К этому времени сейсмометры на территории города были установлены в 5 пунктах, причем запись получена только по 3 приборам. Грунтовые условия этих пунктов следующие: пункт 1 (сейсмостанция „Ереван“ —рыхлый грунт конуса выноса реки Гедар (пролювиальные отложения); пункт 2—осадочные суглинисто-супесчаные и галечно-гравелистые отложения средней плотности; пункт 3—скальный грунт.

Данные по землетрясению (величины τ_1 и τ_2 , T_1 , а также значения мер интенсивностей A_i) приведены в таблице 2.

Данные по землетрясению от 14 февраля 1957 г.

№ п.п.	τ_i мм/сек ² . ($\tau_i T_i$ мм/сек) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.			
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_B	A_B	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	828(41)	262(26)	100(19)	22(9)	8(6)	—	—	20	—	—
2	218(10)	91(9)	131(26)	48(19)	10(8)	3(4)	13	14	15	10
3	400(20)	98(9)	19(4)	48(18)	2(2)	3(3)	9	11	11	8

Сравнение мер интенсивностей показывает, что наибольший сейсмический эффект получился в рыхлых грунтах конуса выноса (пункт 1), далее он уменьшил-



ся в осадочных отложениях средней плотности (пункт 2), и самый малый сейсмический эффект оказался в скальных грунтах. Их меры интенсивностей относятся как 2:1,4:1,1. Как в осадочных отложениях, так и в скальных грунтах мера интенсивности для жестких сооружений намного больше — $\frac{15}{10} = 1,5$ и $\frac{11}{8} = 1,37$ соответственно.

Кривые приведенных сейсмических ускорений, отнесенные к $\tau_{\max}$, показаны на фиг. 29, откуда видно, что для скальных грунтов кривая $\tau(T)$ получается плавной, монотонно убывающей с увеличением периода свободных колебаний. Это не наблюдается в случае суглинисто-супесчаных, галечно-гравелистых отложений средней плотности и пролювиальных отложений. Для первых кривая приведенных сейсмических ускорений при общем ее характере убывания с увеличением периодов колебаний получилась с пиком (горбинкой) при периоде в 0,2 сек. Примерно такого же характера кривая, но более круто спадающая вышла для случая пролювиальных отложений, однако с пиком при периоде в 0,4 сек. Надо полагать, что указанные пиковые периоды соответствуют преобладающим периодам для этих грунтов.

§ 12. Землетрясение, зарегистрированное в г. Ленинанкане

На территории г. Ленинанкана имеется пока только один пункт с установленным в нем сейсмометром АИС—2. Этим пунктом является сейсмическая станция „Ленинанкан“.

3 декабря 1961 г. в г. Ленинанкане с помощью сейсмометра АИС—2 было зарегистрировано землетря-

сение силой более 5 баллов. Данные по нему сведены в таблицу 3.

Таблица 3

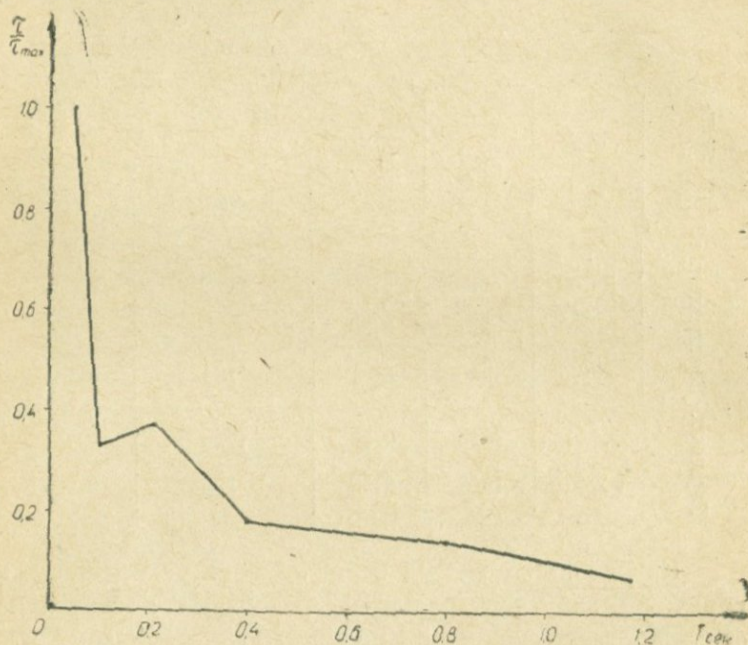
Данные по землетрясению от 3 декабря 1961 г.

Вид маятников	Период T в сек.	Коэфф. K в сек^{-2}	Смещение i в мм	Приведенные сейсмич. ускорения	
				$\tau = kf$ в мм/сек^2	в долях g
Вертикальные	0,050	18663	0,39	7279	0,728
	0,103	3998	0,59	2359	0,236
	0,210	962	2,82	2713	0,271
	0,400	381	3,36	1280	0,128
	0,800	180	5,50	990	0,099
	1,170	88	5,81	511	0,051
Горизонт.	0,100	4613	0,38	1750	0,175
	0,200	1063	0,52	550	0,055

Кривая приведенных сейсмических ускорений для горизонтальной составляющей колебаний показана на фиг. 30. Рассматривая кривую $\tau(T)$, замечаем, что она имеет убывающий с увеличением периодов колебаний характер, но с маленьким пиком у периода в 0,2 сек. Такого же характера кривая была получена и при землетрясении от 14 февраля 1957 г., зарегистрированном в г. Ереване в суглинисто-супесчаных грунтах. Грунтами основания на станции „Ленинакан“ служат пески и суглинки большой мощности. Возможно, период 0,2 сек. является преобладающим для этих грунтов. При спектральном анализе колебаний грунтов Н. К. Карапетян для суглинисто-супесчаных грунтов получила преобладающий период, равный 0,3 сек. [15].

Следует отметить, что полученные при этом землетрясении величины приведенных сейсмических ускорений представляются завышенными. Однако они могут

быть проверены лишь при записи последующих землетрясений, и не только в этом пункте, но и в других, к организации которых мы уже приступили.



Фиг. 30.

§ 13. Землетрясение, зарегистрированное в г. Тбилиси

На территории г. Тбилиси создана сейсмологическая сеть, состоящая из 5 пунктов, со стационарно установленными в них сейсмометрами АИС—2. Пункты эти находятся в различных частях территории города и имеют следующие грунтовые условия: пункт 1—лессовидные суглинки до глубины 5,0 м, далее галечники до 16,0 м, подстилаемые скальным основанием; пункт 2—обломочные отложения с очень рыхлым суглинистым заполнением до глубины 6,0 м, далее галеч-

ники до 14,0 м, подстилаемые скальным основанием; пункт 3—глинистые сланцы; пункт 4—конгломераты малой мощности, подстилаемые галечниками; пункт 5—скала.

30 мая 1957 г. в г. Тбилиси с помощью 4 сейсмометров было зарегистрировано землетрясение силой до 5 баллов.* Данные по этому землетрясению (величины τ_i и $\tau_i T_i$, а также значения мер интенсивностей A_i) сведены в таблицу 4.

Таблица 4

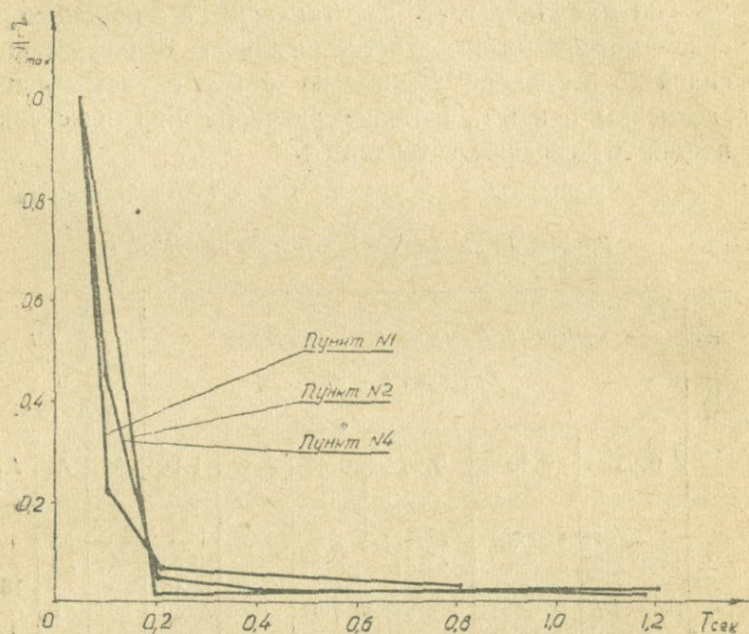
Данные по землетрясению от 30 мая 1957 г.

№ № пунктов	τ_i м.м/сек ² , ($\tau_i T_i$ м.м/сек) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в м.м/сек.		
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_5	A_4	A_3
1	1340(67)	290(30)	83(17)	—	32(26)	—	—	35	—
2	2900(145)	—	42(8)	46(18)	—	53(65)	—	59	—
3	—	—	—	14(6)	35(28)	11(13)	—	—	16
4	1900(99)	861(86)	106(21)	39(16)	—	25(30)	50	41	—

Сравнение мер интенсивностей по отдельным пунктам затрудняется тем, что в сейсмометрах не по всем маятникам получены записи. Но тем не менее некоторые параллели все же можно провести. Так, например, сейсмический эффект в обломочных отложениях с очень рыхлым суглинистым заполнением получился намного больше, чем в конгломератах малой мощности, подстилаемых галечниками ($\frac{59}{41} = 1,44$).

* Материалы по этому землетрясению любезно были представлены нам А. Н. Сафаряном.

Кривые приведенных сейсмических ускорений, отнесенные к $\tau_{\max}$, показаны на фиг. 31, откуда видно, что они имеют очень круто спадающий, убывающий с увеличением периода колебаний характер.



Фиг. 31.

§ 14. Землетрясения, зарегистрированные в г. Душанбе

На территории г. Душанбе в 1955 г. было создано 8 сейсмометрических пунктов с установленными в них сейсмометрами АИС—2 и ВАН—1. Из всех зарегистрированных землетрясение от 7 апреля 1956 г. представляет наибольший интерес.* Данные по этому землетрясению (эпицентральное расстояние Δ , глубина очага

* Материалы по этому землетрясению любезно были предоставлены нам В. А. Нечаевым.

Данные по землетрясению от 7 апреля 1956 г. ($\Delta=150$ км, $h=200$ км, $A_3=140^\circ$)

№ п.п.	τ_i мм/сек ² . (τ_i T_i мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	6420(321)	2410(241)	—	210(84)	130(104)	70(84)	—	167	—	—	—	—
2	1800(90)	1050(105)	540(108)	—	40(32)	—	—	—	84	—	—	—
3	—	180(18)	150(30)	30(12)	—	—	—	—	—	20	—	—
4	—	860(86)	300(60)	180(72)	70(56)	—	—	—	69	—	—	—
5	2540(127)	730(73)	450(90)	70(28)	50(40)	25(30)	81	—	—	—	130	33
6	2350(118)	242(24)	480(96)	—	180(144)	70(84)	—	93	95	—	—	—
7	6210(311)	2150(215)	860(172)	280(112)	190(152)	80(96)	176	—	163	—	233	120
8	8560(428)	2430(243)	1440(288)	230(92)	120(96)	50(60)	201	—	—	—	320	83

h, азимут на эпицентр Аз, величины приведенных сейсмических ускорений $-\tau_i$, а также найденные нами значения $\tau_i T_i$ и A_i сведены в таблицу 5. Сейсмометры были установлены в различных грунтовых условиях. Разница в основном заключалась в толщине верхнего слоя лёсса (подстилаемого галечниками), который имел толщину в 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 5,0; 17,0; 20,0 и 25,0 м соответственно в пунктах № 4, 5, 2, 3, 6, 8, 7 и 1.

Рассмотрение величин мер интенсивностей, полученных для отдельных пунктов, показывает, что сейсмический эффект сильно возрастает с увеличением толщины слоя лёсса. Так, беря среднее от величин мер интенсивностей для лёсса толщиной в 17,0 и 20,0 м (сейсмометры № 8 и 7) и сравнивая его с мерой интенсивности для лёсса толщиной в 1,0 м (сейсмометр № 5), находим, что они разнятся в 2,3 раза $\left(\frac{188}{81}\right)$.

Примерно такую же, несколько большую величину дает сравнение мер интенсивностей для слоев лёсса в 20,0 м (сейсмометр № 7) и в 0,5 м (сейсмометр № 4)

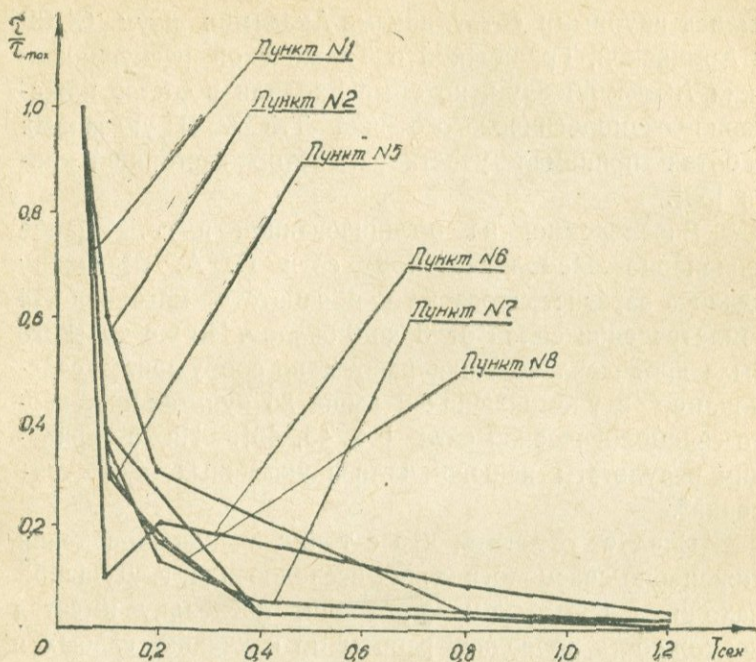
$-\frac{163}{69}=2,36$. Увеличение сейсмического эффекта в слое лёсса толщиной в 5,0 м (сейсмометр № 6) по сравнению с лёссом в 1,5 м (сейсмометр № 2) получилось

незначительным $-\frac{95}{84}=1,13$. Поведение жестких со-

оружий оказалось в 2—4 раза хуже, чем гибких во всех случаях, вне зависимости от толщины слоя лёсса.

Построенная для рассмотренного землетрясения кривая приведенных сейсмических ускорений, отнесенная к $\tau_{\max}$ (см. фиг. 32), показывает явно гиперболический характер уменьшения величины приведенных ускорений от периода свободных колебаний.

Начиная с 1956 г., в Таджикской комплексной сейсмологической экспедиции (ТКСЭ) Института физики



Фиг. 32.

Земли АН СССР, проводившей работы на территории Таджикистана, стал функционировать инженерно-сейсмологический отряд, одной из основных задач которого являлась разработка методики сейсмометрических исследований для сейсмического районирования. С этой целью было произведено повторное обследование последствий сталинабадского землетрясения 27 февраля 1952 г., осуществлено инженерно-геологическое районирование территории г. Душанбе и выбраны места для установки маятниковых сейсмометров. В результате по профилю Гиссарской долины была организована сейсмометрическая сеть протяженностью более 20 км, состоящая из 25 пунктов с установленными в них сейсмометрами АИС-2. Работы эти выпол-

нялись научными сотрудниками Академии наук СССР и Армянской, Грузинской и Таджикской республиканских Академий наук, которые входили в состав инженерно-сейсмологического отряда ТКСЭ. В указанных работах принимал участие и автор настоящей книги [58].

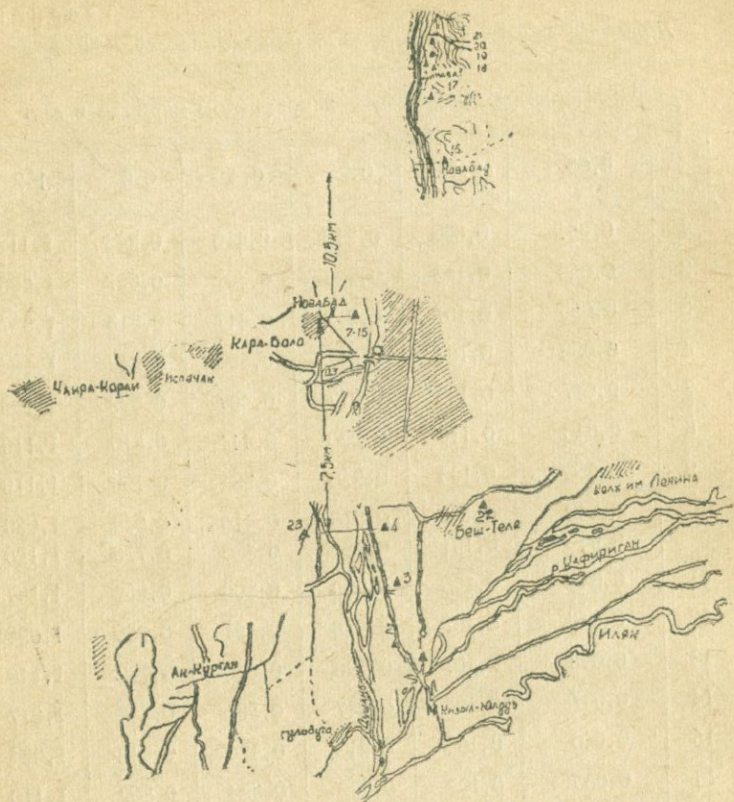
Впоследствии на организованной в г. Душанбе инженерно-сейсмологической сети С. А. Шагиняну удалось зарегистрировать и обработать материал 14 землетрясений силой от 3 до 6 баллов. Им же до этого была проведена большая работа по сооружению сейсмокамер в упоминавшихся выше 25 пунктах инженерно-сейсмологической сети [44, 45, 46]. Ниже приводим результаты нашего анализа указанных землетрясений*.

Следует отметить, что с точки зрения проведения инженерно-сейсмологических исследований, г. Душанбе находится в выгодном положении, поскольку имеется возможность проводить работы по изучению слабых и сильных землетрясений, мощных взрывов с целью установления связи между ними, а также отличия в их проявлениях.

Надо надеяться, что такие работы со временем, при накоплении большого количества данных, будут проводиться. Теперь же пока имеется возможность произвести анализ данных по 13 землетрясениям, из коих пять имеют интенсивность 3 балла; три—4 балла; четыре—5 баллов и одно землетрясение—6 баллов. Данными по последнему землетрясению, зарегистрированному 23 июля 1961 г., мы, к сожалению, не располагаем.

Схематическое изображение территории г. Ду-

* Материалы по этим землетрясениям любезно были представлены нам С. А. Шагиняном.



Фиг. 33.

шанбе с указанием мест установки сейсмометров дано на фиг. 33. Значения замеренных периодов маятников всех установленных сейсмометров приведены в таблице 6.

Инженерно-геологические данные пунктов, где

Значения замеренных периодов маятников сейсмометров

№ пун- ктов	Периоды маятников при проектном периоде в сек.					
	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2
1	0,051	0,096	0,210	0,410	0,842	1,112
2	0,052	0,105	0,204	0,402	0,827	1,096
3	0,055	0,107	0,212	0,417	0,813	1,087
4	0,052	0,104	0,217	0,393	0,842	1,104
7	0,047	0,105	0,217	0,407	0,822	1,103
8	0,046	0,110	0,220	0,411	0,810	1,119
9	0,053	0,103	0,210	0,381	0,799	1,110
10*	0,049	0,103	0,215	0,410	0,840	1,086
	0,045	0,101	0,193	0,380	0,796	1,120
11	0,049	0,105	0,209	0,396	0,863	1,107
12	0,046	0,107	0,213	0,397	0,859	1,098
13	0,048	0,107	0,220	0,410	0,782	1,119
14	0,047	0,108	0,217	0,361	0,848	1,217
15	0,046	0,104	0,210	0,420	0,842	1,084
16	0,055	0,102	0,208	0,394	0,852	1,110
17	0,051	0,100	0,212	0,385	0,814	1,130
18	0,050	0,100	0,207	0,400	0,779	1,100
19	0,050	0,098	0,219	0,373	0,809	1,110
20	0,046	0,100	0,213	0,417	0,836	1,093
21	0,046	0,109	0,215	0,402	0,848	1,109
22	0,053	0,110	0,211	0,411	0,825	1,125
23	0,047	0,104	0,203	0,407	0,751	1,113
24	0,052	0,108	0,209	0,416	0,816	1,089
25	0,049	0,105	0,210	0,388	0,821	1,209

* Числитель для землетрясений № 1—4, знаменатель — № 5—13.

установлены сейсмометры, приведены в таблице 7. Геологические разрезы по отдельным группам сейсмометров даны на фиг. 34, 35, 36.

Створ „север—юг“, по которому установлены сейсмометры, пересекает центральную часть Гиссарской долины. В нескольких километрах севернее южного борта долины этот створ выходит далеко за ее пределы. Створ протягивается вдоль левого берега реки Душанбинки (в северной части—реки Варзоб), начинаясь у стрелки рр. Кафирниган—Душанбинка на 1-й пойменной террасе (пункт 1).

Сейсмологический профиль проходит по II-й террасе, располагаясь справа или слева от автодороги Душанбе—Кокташ (пункты 2—6). В районе Путовского моста он уже идет по поверхности III-ей надпойменной террасы (пункты № 7—15). Далее, пересекая территорию города, выходит на дорогу Душанбе—Варзоб, расположенную вдоль левого берега р. Варзоб. Пункты № 16—21 находятся с правой стороны названной автодороги. Наиболее северная точка профиля расположена за разломом, напротив карьера цементного завода.

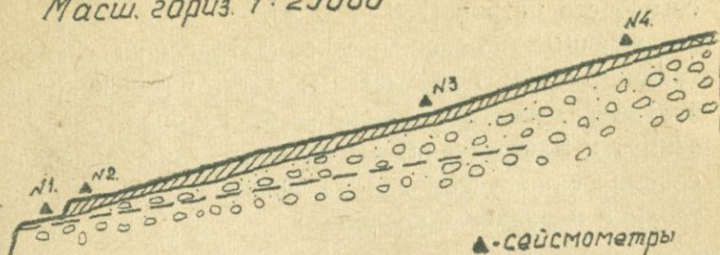
Профиль „восток—запад“ вытянут вдоль оси Гиссарской долины. Он пересекает первый профиль в нескольких сотнях метров южнее кожевенного завода. Сейсмологический профиль проложен на площади II-й надпойменной террасы. Самая восточная точка находится восточнее Дома культуры колхоза им. Ленина, в нескольких сотнях метров. На западе профиль пересекает поселок Северный и выходит за его пределы.

Поскольку падение рельефа имеет место в направлении с севера на юг, то абсолютные отметки профиля „восток—запад“ различаются незначительно (810—

№ пунк- т	Верхний слой (в м)	Нижний слой	Глубина залегания грунтовых вод в м
1	Лёсс (0,6)	Галечник	0,3
2	— (1,6)	—	4,5
3	— (2,1)	—	8,0
4	— (2,0)	—	15,0
7	— (0,6)	—	10—30
8	— (0,6)	—	10—30
9	— (0,7)	—	25—30
10	— (19,0)	—	25—30
11	— (19,2)	—	25—30
12	— (19,4)	—	25—30
13	— (19,3)	—	25—30
14	— (19,5)	—	25—30
15	— (7,5)	—	25—30
16	Лёсс (свыше 15,0)	—	Несколько десятков
17	Песчаник глинистый плотный		—
18	Известняк плотный		—
19	Брекчии трения (у регионального разлома)		—
20	Известняк плотный		—
21	— — —		—
22	Галечник		10—20
23	— — —		Несколько десятков
24	Лёсс (3,5)	Галечник	—
25	— (17,0)	—	—

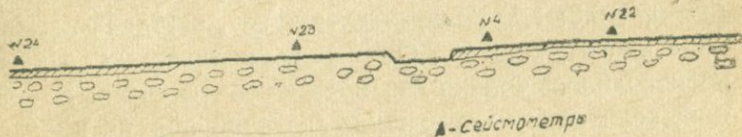
Масш. гориз. 1:25000

р. Кофернигон

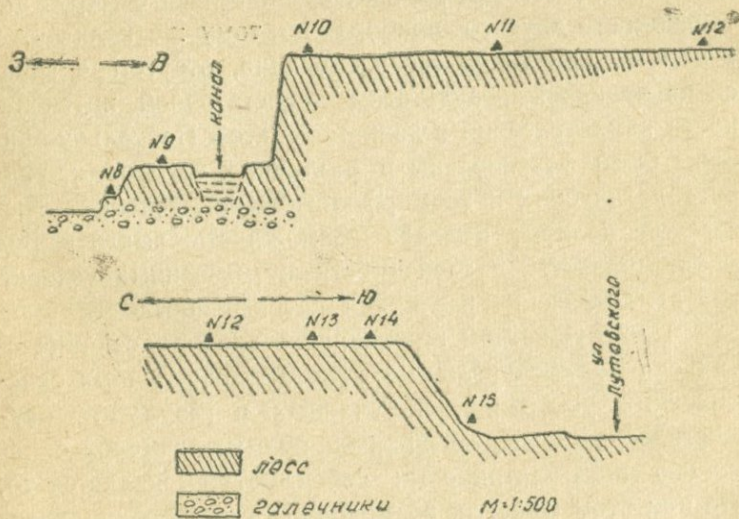


Фиг. 34.

Масш. гориз. 1:50000



Фиг. 35.



Фиг. 36.

820 м). Повышение профиля „север—юг“ составляет свыше ста метров (730—960 м).

Данные по каждому землетрясению сведены в таблицы 8—20, где указаны: дата, интенсивность — I , эпицентральное расстояние — Δ , глубина очага— h и азимут землетрясения A_z , а также даны приведенные сейсмические ускорения τ_i , величины $\tau_i T_i$. В этой же таблице приведены средние значения меры интенсив-

ности землетрясения $A_i = \frac{\sum_1^n \tau_i T_i}{n}$ для шести — A_6 , пяти — A_5 , четырех — A_4 и трех — A_3 значений $\tau_i T_i$, а также средние значения меры интенсивности для жестких маятников— $A_{ж}$ ($T=0,05; 0,1; 0,2$) и для гибких маятников — A_g ($T=0,4; 0,8; 1,1$). Подразделение на „жесткие“ и „гибкие“ чисто условное. Сравнение полученных данных производилось только для идентичных случаев. Например, если по какому-нибудь из приборов не имелась запись по одному или нескольким маятникам, мера интенсивности по этим данным сравнивалась с мерой интенсивности другого прибора по тому же количеству и тем же маятникам (если, конечно, отсутствие записи не являлось результатом недостаточной интенсивности землетрясения в данном пункте). Поскольку приборы были установлены в различных грунтовых, гидрогеологических и геоморфологических условиях Гиссарской долины, имелась возможность выявить ряд закономерностей в зависимости от указанных условий для землетрясений различной интенсивности.

Преимуществом инженерного анализа сейсмических сил по спектральным кривым приведенных сейсмических ускорений, полученных в результате осуществления непосредственных прямых замеров с помощью маятниковых сейсмометров, является то, что при этом имеется возможность дифференцированного анализа поведения различных сооружений при

действии землетрясений различной интенсивности, спектрального состава и т. д. Для интегральной характеристики землетрясения можно прибегать к некоторым обобщающим усредненным величинам. С этой точки зрения упомянутая выше мера интенсивности землетрясений A_1 , принимаемая для оценки землетрясения Г. В. Хауснером и др. [53], В. А. Нечаевым [31], С. А. Шагиняном [44], является подходящим параметром, однако при пользовании им необходимо проявлять большую осторожность и придерживаться определенных принципов. Здесь и в дальнейшем, анализируя данные по отдельным маятникам, мы будем говорить о сооружениях, поскольку маятники в некотором приближении моделируют реальные сооружения по периоду и декременту затухания. При этом, конечно, не учитывается фактор взаимодействия между сооружением и его основанием (грунтом), который будет различно сказываться при различных сооружениях, что, безусловно, также приведет к некоторым неточностям, которые, однако, вполне допустимы в нашем случае.

Ниже приводим анализ полученных данных по мерам интенсивностей для каждого землетрясения в отдельности, а также их сравнение для различных землетрясений.

Землетрясение № 1. Полученные по этому землетрясению данные позволяют вынести следующие суждения. Сравнение показаний приборов № 13 и 7, установленных соответственно на слое лёсса толщиной 19,3 и 0,6 м, подстилаемых галечниками, показывает, что сейсмический эффект в лёссе достаточной мощности несколько больше, чем в случае тонкого слоя лёсса ($\frac{19}{16} = 1,19$). Установлено также, что на лёссе жесткие сооружения ведут себя намного хуже. Это можно показать, сравнивая данные, полученные сейс-

Таблица 8

Данные по землетрясению № 1 (20.VIII. 1957 г. I=3 балла, $\Delta=170$ км, $h=210$ км, $A_3=135^\circ$)

№ № пунктов	τ_i мм/сек. ² ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	2044(140)	380(36)	55(12)	38(16)	11(9)	6(7)	31	—	35	—	51	11
2	2085(108)	297(31)	75(15)	30(12)	11(9)	6(7)	30	—	—	—	51	9
3	1625(89)	274(29)	35(7)	22(9)	4(3)	5(5)	24	27	—	—	42	6
4	1610(84)	477(50)	78(17)	—	14(12)	10(11)	—	35	29	38	—	—
7	700(33)	—	37(8)	46(19)	3(2)	—	—	—	16	14	—	—
8	—	166(18)	25(6)	15(6)	—	—	—	—	—	10	—	—
10	1975(98)	—	14(3)	10(4)	—	9(10)	—	—	29	—	—	—
13	747(36)	239(26)	57(13)	47(19)	8(6)	4(4)	17	—	19	—	25	10
15	716(33)	185(19)	51(11)	15(6)	4(3)	1(1)	12	—	—	—	21	3
22	1755(93)	336(37)	—	21(9)	8(7)	4(5)	—	30	28	—	—	—

мометром № 13 для жестких и гибких сооружений $\left(\frac{25}{10}=2,5\right)$. Сравнивая показания сейсмометров № 4 и 7, установленных на лёссе толщиной 2,0 и 0,6 м, соответственно находим, что в случае толщины слоя в 2,0 м сейсмический эффект намного выше $\left(\frac{38}{14}=2,71\right)$.

При слое лёсса в 2,0 м и галечниках сейсмический эффект получился примерно одинаковый $-\frac{29}{28}=\sim 1$ (сейсмометры № 4 и 22). При слое лёсса, подстилаемого галечниками, жесткие сооружения ведут себя намного хуже, чем гибкие, что ещё более усугубляется при увеличении глубины залегания грунтовых вод, т. е. наличие воды в галечнике улучшает поведение жестких сооружений. Это можно заметить, сравнивая показания сейсмометров № 13 $\left(\frac{25}{10}=2,5\right)$, 1 $\left(\frac{51}{11}=4,64\right)$, 2 $\left(\frac{51}{9}=5,67\right)$ и 3 $\left(\frac{42}{6}=7\right)$. При глубине залегания грунтовой воды 0,3 и 10—30 м в галечниках, покрытых тонким слоем лёсса в 0,6 м, сейсмический эффект сильно увеличивается $-\left(\frac{35}{16}=2,18\right)$. Залегание грунтовой воды в галечниках на глубине 4,5 и 8,0 м, покрытых лёссом толщиной 1,6—2,1 м, мало сказывается на сейсмический эффект $\left(\frac{30}{24}=1,25\right)$. Более

глубокое залегание грунтовой воды на сейсмический эффект не влияет. Таким образом у подножья склона из лёсса сейсмический эффект меньше, чем на равнинном участке $-\frac{12}{17}=0,71$ (сейсмометры № 15 и 13). Однако, если сравнить поведение жестких и гибких сооружений на склоне у подножья и на рав-

Данные по землетрясению № 2 (5. X. 1957 г. $l=4$ балла, $\Delta=120$ км, $h=35-80$ км, $A_3=155^\circ$)

№ п.п.	τ_i мм/сек. ² ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	1095(56)	360(36)	306(64)	229(94)	210(147)	53(59)	81	85	—	—	52	110
2	—	330(35)	242(49)	—	224(185)	61(67)	—	—	84	100	—	—
3	1313(72)	—	81(17)	130(54)	108(88)	26(28)	—	52	—	44	—	—
4	840(44)	205(21)	37(8)	74(29)	113(95)	27(30)	38	41	—	—	25	51
9	557(30)	437(45)	55(12)	56(21)	31(25)	—	—	27	26	—	—	—
10	1185(58)	—	220(47)	85(35)	73(61)	12(13)	—	43	—	—	—	—
11	1027(50)	—	284(59)	153(61)	59(51)	14(15)	—	47	—	—	—	—
12	806(37)	333(36)	135(29)	104(41)	43(37)	17(19)	33	33	—	—	34	32
13	332(16)	80(9)	65(14)	49(20)	50(39)	11(12)	18	20	—	—	16	24
14	941(44)	—	114(25)	88(32)	24(20)	8(10)	—	26	—	—	—	—
15	1074(49)	538(56)	79(17)	54(23)	35(29)	8(9)	31	—	—	—	41	20
18	755(38)	351(35)	94(19)	56(22)	7(5)	6(7)	21	—	—	—	31	11
21	—	283(31)	71(15)	—	17(14)	6(7)	—	—	17	—	—	—
23	684(32)	378(39)	38(8)	57(23)	68(51)	16(18)	29	—	29	—	26	31
24	—	188(20)	59(12)	52(22)	51(42)	15(16)	—	22	—	—	—	—

нинном участке, можно заметить, что жесткие сооружения на склоне ведут себя несколько лучше $\left(\frac{21}{25} = 0,84\right)$, а гибкие на подножье склона ведут себя намного лучше, чем на равнине $\left(\frac{3}{10} = 0,3\right)$. У подножья склона жесткие сооружения (сейсмометр 15) ведут себя намного хуже гибких $\left(\frac{21}{3} = 7\right)$.

Землетрясение № 2. Сравнение мер интенсивностей, полученных на галечнике и на лёссе, показывает, что в случае лёсса сейсмический эффект получается больше. Так, при слое лёсса в 2,0 м по показаниям сейсмометров № 4 и 23 получаем $\frac{38}{29} = 1,31$,

а при лёссе в 19,4 м (сейсмометр № 12) — $\frac{33}{29} = 1,14$.

Сейсмический эффект в плотном известняке (сейсмометры № 18 и 21) меньше, чем в галечнике, соответственно $\frac{21}{29} = 0,72$ и $\frac{17}{29} = 0,59$. При этом на извест-

няке по сравнению с галечником жесткие сооружения ведут себя хуже $\left(\frac{31}{26} = 1,19\right)$, а гибкие намного лучше

$\left(\frac{11}{31} = 0,36\right)$. Таким образом, на галечнике жесткие сооружения ведут себя несколько лучше гибких — $\frac{26}{31} = 0,84$, а на известняке гибкие ведут себя лучше

жестких — $\frac{11}{31} = 0,36$. Наличие воды в галечнике, подстилающем слой лёсса толщиной 0,6—2,1 м, сильно

Данные по землетрясению № 3 (17. II. 1958 г. I=5 баллов, $\Delta=260$ км, $h=180$ км, $A_3=140^\circ$)

№ № пунктов	τ мм/сек. ² ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	292(15)	280(27)	337(71)	480(193)	176(148)	71(79)	89	—	93	—	38	140
2	—	660(69)	209(43)	332(133)	152(126)	54(59)	—	86	—	106	—	—
3	—	—	—	121(50)	59(48)	36(39)	—	—	—	46	—	—
4	1820(95)	—	41(9)	95(37)	57(48)	32(35)	—	45	—	40	—	—
7	—	339(36)	51(11)	67(27)	—	8(9)	—	—	21	—	—	—
10	—	—	445(98)	557(228)	87(73)	44(48)	—	—	112	—	—	—
11	1185(58)	101(12)	458(96)	434(172)	51(44)	21(23)	81	—	84	—	55	80
12	1074(49)	317(34)	262(56)	353(140)	—	32(35)	—	63	—	—	—	—
13	415(20)	96(10)	100(22)	318(130)	62(49)	13(15)	41	—	47	—	17	65
14	428(20)	—	103(22)	347(125)	—	11(13)	—	—	45	—	—	—
15	537(25)	—	24(5)	38(16)	—	9(10)	—	—	14	—	—	—
16	—	—	336(70)	367(145)	239(204)	93(103)	—	—	131	106	—	—
17	1218(62)	295(30)	61(13)	218(84)	87(71)	88(100)	60	—	—	66	35	85
18	—	443(44)	69(14)	76(30)	76(59)	23(25)	—	34	—	33	—	—
19	1384(69)	207(10)	415(91)	349(130)	—	50(56)	—	71	—	—	—	—
20	445(20)	—	69(15)	143(60)	83(69)	30(33)	—	39	—	39	—	—
21	895(41)	—	97(21)	24(10)	—	49(54)	—	—	31	28	—	—
22	—	—	296(63)	169(70)	52(43)	11(12)	—	—	47	48	—	—
24	—	219(24)	—	78(32)	67(54)	37(40)	—	—	38	—	—	—
25	—	—	519(109)	—	102(83)	63(76)	—	—	—	89	—	—

сказывается на сейсмический эффект. Так, если сравнить показания сейсмометров № 1 и 3, соответственно, для случая воды на глубине 0,3 и 8,0 м, то увидим, что сейсмический эффект увеличивается $\frac{85}{52} = 1,63$

раза; для случая воды на глубине 4,5 и 8,0 м — $\frac{100}{44} =$

$= 2,27$ раза; для случая воды на глубине 0,3 и 15,0 м — $\frac{81}{38} = 2,14$ раза, а для случая воды на глубине 8,0 и

15,0 м — $\frac{52}{41} = 1,27$ раза, т. е. сейсмический эффект из-

за воды увеличивается более чем в 2 раза. Жесткие сооружения при наличии воды ведут себя намного

лучше — $\frac{52}{110} = 0,47$. Влияние обрыва при этом земле-

трясении сказывается не очень — $\frac{43}{33} \sim \frac{26}{20} = 1,3$ (сейс-

мометры № 10 и 12 и сейсмометры № 14 и 13). У подножья склона сейсмический эффект проявился

намного сильнее — $\frac{31}{18} = 1,72$ и особенно для жестких

сооружений — $\frac{41}{16} = 2,56$ (сейсмометры № 15 и 13).

Землетрясение № 3. Сравнивая меру интенсивности для галечника со средней величиной этой же меры для известняка (сейсмометры № 18, 20 и 21), находим, что сейсмический эффект в галечнике существенно больше ($48/33 = 1,45$). Сейсмический эффект в песчанике оказался больше, чем в галечнике — $66/48 = 1,38$. Если же сравнить меру интенсивности для лёсса большой мощности — свыше 15 м с таковой для песчаника, то увидим, что в лёссе сейсмический эффект намного выше ($106/66 = 1,61$).

Данные по землетрясению № 4 (28. III. 1958 г. I=3 балла, $\Delta=290$ км, $h=210$ км, $A_3=140^\circ$)

№ № пунктов	τ мм/сек. ² ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	803(41)	400(38)	55(12)	38(16)	16(13)	11(12)	22	—	—	—	30	14
2	1529(80)	248(26)	63(13)	10(4)	78(65)	17(19)	35	—	—	—	40	29
4	770(40)	222(23)	48(10)	27(11)	11(9)	6(7)	17	—	—	—	24	9
8	990(46)	76(8)	36(8)	25(10)	69(56)	64(72)	33	—	—	—	21	46
9	—	109(11)	—	—	12(10)	8(9)	—	—	—	10	—	—
12	1880(86)	428(46)	92(20)	41(16)	11(9)	5(5)	30	—	—	—	51	10
13	332(16)	160(17)	36(8)	8(3)	11(9)	—	—	11	—	—	—	—
14	513(24)	359(39)	—	81(29)	4(3)	5(6)	—	20	—	20	—	—
15	3312(152)	—	154 (32)	44(18)	—	9(10)	—	—	53	60	—	—
16	—	117(12)	—	42(17)	68(58)	30(33)	—	—	30	—	—	—
17	957(49)	181(18)	34(7)	5(2)	10(8)	30(34)	20	—	—	—	25	15
18	982(49)	185(19)	8(2)	12(5)	2(2)	—	—	15	—	—	—	—
19	1908(95)	290(29)	51(11)	21(8)	12(10)	9(10)	27	—	—	—	45	9
20	—	—	12(3)	9(4)	4(3)	7(8)	—	—	5	—	—	—
21	3133(144)	—	179(38)	49(20)	58(49)	8(9)	—	52	—	—	—	—
22	743(39)	122(13)	47(10)	15(6)	53(44)	11(12)	21	—	—	—	21	21
24	1050(55)	266(29)	55(11)	15(6)	10(8)	6(7)	19	—	—	—	32	7
25	1125(55)	46(5)	37(8)	34(13)	7(6)	2(2)	15	—	—	—	23	7

Таким образом, из приведенного следует, что сейсмические интенсивности в лёссе, песчанике, галечнике и известняке находятся в соотношении $3,22:2,00:1,45:1,00$. Наивысший сейсмический эффект получился в брекчиях трения у регионального разлома. Его мера интенсивности оказалась даже больше, чем в лёссе $-71/63=1,13$. Жесткие сооружения как на лёссе, так и на песчанике ведут себя намного лучше, чем гибкие ($55/80=0,69$ и $35/85=0,41$ соответственно). Водонасыщенность грунта в этом случае сильно сказывается. Так, если сравнить показания сейсмометров № 1 и 7, установленных на слое лёсса 0,6 м, подстилаемых галечниками, при уровне грунтовых вод, соответственно 0,3 и 10—30 м, то получим $-93/21=4,23$, т. е. увеличение сейсмического эффекта из-за наличия воды более, чем в 4 раза. Сейсмический эффект уменьшается с понижением уровня грунтовых вод. Сравнивая показания сейсмометров № 2 и 3, установленных на слое лёсса толщиной 1,6—2,0 м, подстилаемого галечниками, при уровне грунтовых вод соответственно 4,5 и 8,0 м, получаем $106/46=2,31$, а в случае лёсса толщиной 2,0 м, подстилаемого галечниками, при уровне грунтовых вод соответственно 8,0 и 15,0 м $-46/40=1,15$. При наличии грунтовой воды жесткие сооружения ведут себя намного лучше гибких $-38/140=0,27$. На обрыве в одном случае сейсмический эффект сказался $-112/84=1,34$, а в другом случае не сказался $-45/47=0,96$.

Землетрясение № 4. Сравнение мер интенсивностей для галечника и лёсса толщиной слоя в 3,5 м показывает, что они имеют примерно одинаковую величину (21, 20 и 19). В брекчиях трения мера интенсивности несколько больше—27. При толщине слоя лёсса в 19,4 м мера интенсивности намного значительнее—30. В этом случае определенных закономерностей влияния воды на сейсмический эффект не наблюдалось. На обрыве сейсмический эффект оказался заметно выше

Таблица 1

Данные по землетрясению № 5 (13. X. 1958 г. I=5 баллов, $\Delta=35$ км, $h=$ в земной коре, $A_z=215^\circ$)

№ № пунктов	τ мм/сек ² ($\tau_i T_i$ мм/сек ²) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_0	A_5	A_1	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	1460(74)	3960(380)	1356(285)	324(133)	195(162)	56(62)	183	193	—	—	246	119
2	4518(235)	627(66)	334(68)	209(84)	224(185)	67(73)	119	—	—	—	123	114
3	375(21)	435(47)	134(28)	105(44)	158(129)	48(52)	54	—	—	—	32	75
4	4410(229)	290(30)	152(33)	43(17)	122(103)	39(43)	74	—	—	—	97	54
7	788(37)	226(24)	120(26)	21(9)	9(7)	2(2)	18	—	—	—	—	—
8	900(41)	347(38)	125(28)	—	227(184)	22(25)	—	63	—	—	—	—
9	478(25)	395(41)	32(7)	63(24)	66(53)	34(38)	31	—	—	—	25	35
10	3280(148)	481(49)	222(43)	301(114)	160(127)	—	—	96	—	—	—	—
11	790(39)	168(18)	103(22)	135(53)	102(88)	23(25)	41	44	—	—	26	55
12	2220(101)	21(2)	114(24)	122(48)	—	—	—	—	44	—	—	—
13	2321(111)	203(22)	57(13)	93(38)	113(88)	25(28)	50	—	—	—	48	51
14	6156(289)	702(76)	302(66)	156(56)	28(24)	21(26)	90	—	—	—	144	35
15	2059(95)	370(38)	67(14)	34(14)	74(62)	21(23)	41	—	—	—	49	33
16	2169(119)	253(26)	25(5)	66(26)	52(44)	16(18)	40	—	—	—	50	29
17	3021(154)	499(50)	706(150)	79(30)	19(15)	245(277)	113	—	—	—	118	107
18	1737(87)	—	45(9)	106(42)	—	3(3)	—	—	35	—	—	—
19	2517(126)	538(53)	86(19)	57(21)	17(14)	—	—	47	53	—	—	—
20	2047(94)	110(11)	38(8)	—	29(24)	11(12)	—	30	34	—	—	—

$-\frac{20}{11}=1,82$. Мера интенсивности получилась мно-

го больше также и на склоне $-\frac{60}{20}=3$. Для всех

видов грунтов мера интенсивности в случае жестких сооружений получилась значительно больше по сравнению с гибкими сооружениями. Кстати, такая же закономерность наблюдалась и при землетрясении № 1, которое имело аналогичную с землетрясением № 4 интенсивность, оцениваемую в 3 балла и примерно такие же эпицентрального расстояние, глубину очага и азимут на эпицентр. Мы склонны считать, что при слабых землетрясениях жесткие сооружения ведут себя хуже, чем гибкие. Эту закономерность необходимо проверить при анализе последующих землетрясений.

Представляет большой интерес сравнение землетрясений № 3 и 4, поскольку они имеют одинаковый азимут и близкие по значению эпицентрального расстояния и глубины очагов, но отличаются по интенсивности на два балла. Значение меры интенсивности землетрясения № 3 силой в 5 баллов во всех случаях получилось больше, чем при землетрясении № 5 силой в 3 балла (в 2,7—4,0 раза). Например, для случая песчаника $-\frac{60}{20}=3$, для лёсса $-\frac{81}{30}=2,7$, для во-

донасыщенного галечника $-\frac{89}{22}=4$ и т. д.

Землетрясение № 5. В отличие от ранее рассмотренных, это землетрясение неглубокое и очень близкое. При нем в песчанике сейсмический эффект оказался намного выше, чем в лёссе $-113/40=2,82$. В брекчиях трения, у регионального разлома, мера интенсивности получилась больше, чем в известняках $-53/34=1,56$. Влияние грунтовых вод в этом случае сказалось с достаточной убедительностью. Так, при

Данные по землетрясению № 6 (26. III. 1959 г. $l=3$ балла, $\Delta=215$ км, $h=$ в земной коре, $A_3=70^\circ$)

№ № пунктов	τ_i мм/сек. ² ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum \tau_i T_i}{n} \text{ в мм/сек.}$					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	1971(101)	440(42)	133(28)	145(59)	11(9)	14(16)	43	—	—	—	57	28
2	487(25)	248(26)	29(6)	—	22(18)	—	—	—	19	—	—	—
3	1125(62)	177(19)	42(9)	7(3)	10(8)	9(10)	19	—	—	—	30	7
4	1750(91)	307(32)	41(9)	23(9)	8(7)	6(7)	26	—	—	—	44	8
8	810(37)	196(22)	126(28)	45(18)	—	53(59)	—	33	—	—	—	—
9	797(42)	219(23)	—	84(32)	8(6)	11(12)	—	23	—	—	—	—
10	1309(59)	320(32)	42(8)	22(8)	—	24(27)	—	27	—	—	—	—
11	1264(62)	151(16)	36(8)	51(20)	9(8)	7(8)	20	23	—	—	29	11
12	1700(78)	238(25)	54(12)	28(11)	7(6)	—	—	26	—	—	—	—
13	996(48)	32(3)	—	46(19)	32(25)	7(8)	—	21	—	—	—	—
14	3506(165)	671(72)	—	181(65)	24(20)	15(18)	—	68	—	—	—	—
15	—	286(30)	39(8)	45(19)	6(5)	—	—	—	16	—	—	—
18	2733(137)	332(33)	—	32(13)	6(5)	5(6)	—	39	—	—	—	—
19	1474(74)	—	31(7)	82(31)	22(18)	15(17)	—	29	—	—	—	—
21	1969(91)	373(40)	34(7)	—	—	—	—	—	—	46	—	—
22	1350(72)	320(35)	86(18)	17(7)	9(7)	—	—	28	—	—	—	—
24	1610(84)	94(10)	43(9)	—	5(4)	17(19)	—	25	—	—	—	—
25	1012(50)	—	122(26)	69(22)	20(16)	1(1)	—	23	—	—	—	—

лессе толщиной 0,6 м и уровне грунтовых вод соответственно 0,3 и 10—30 м сейсмический эффект отличался более чем в 3 раза ($193/63=3,07$); при лессе толщиной 1,6—2,1 м и уровне грунтовых вод 4,5 и 8,0 м мера интенсивности разилась более чем в 2 раза ($119/54=2,2$). Наличие обрыва при этом землетрясении вызвало значительное повышение сейсмического эффекта. Это можно заметить, если сравнить меры интенсивностей по сейсмометрам № 10 и 11 ($96/44=2,18$) и по сейсмометрам № 14 и 13 ($90/50=1,8$). Жесткие и гибкие сооружения в песчаниках имели примерно одинаковую меру интенсивности. В лёссах жесткие сооружения вели себя лучше на равнине, хуже на обрыве.

Землетрясение № 6. При этом землетрясении влияние обрыва на сейсмический эффект оказалось явно выраженным. Это можно проследить, если сравнить меры интенсивностей по сейсмометрам № 14 и 13 ($68/21=3,24$). Наличие воды в грунте на уровне 0,3 и 8,0 м вызывает повышение сейсмического эффекта в $43/19=2,26$ раза. Замеченное при предыдущих слабых землетрясениях увеличение сейсмического эффекта для жестких сооружений с ещё большей убедительностью подтверждается данными этого землетрясения. Однако при этом следует отметить, что интенсивность в 3 балла является пределом чувствительности прибора и поэтому к данным по этим землетрясениям следует относиться с большой осторожностью.

Землетрясение № 7. Это землетрясение местное, с эпицентральным расстоянием в 20 км, т. е. такого же порядка, что и протяженность самой инженерно-сейсмологической сети. Поэтому по величинам мер интенсивностей землетрясения выносить суждения о поведении различных грунтов несколько трудно ввиду того, что при этом будет сказываться также дистанционный эффект. Учитывая указанное, можно

Данные по землетрясению № 7 (4. XII. 1959 г. I=4 балла, $\Delta=20$ км, $h=18$ км, A_2 = местное земл.)

№ № пунктов	τ_i мм/сек. ² (τ_i T_i мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_0	A_5	A_1	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	511(26)	200(19)	172(36)	106(43)	17(14)	12(13)	25	—	—	—	27	23
2	1668(87)	231(24)	108(22)	7(3)	14(12)	8(9)	26	—	—	—	44	8
3	4312(237)	450(48)	249(53)	62(26)	121(98)	53(58)	87	—	—	—	113	61
4	3850(200)	579(60)	74(16)	41(16)	12(10)	4(4)	51	60	—	—	92	10
10	4582(206)	712(72)	171(33)	79(30)	42(33)	17(19)	65	—	—	—	103	27
11	3950(194)	672(71)	134(28)	61(24)	18(16)	6(7)	40	—	—	—	64	16
14	6840(321)	2028(219)	486(105)	100(36)	43(36)	11(13)	122	—	—	—	215	28
16	2320(128)	467(48)	113(23)	65(26)	27(23)	—	—	50	—	—	—	—
19	1735(89)	289(28)	148(32)	97(36)	129(104)	11(12)	50	58	63	—	50	50
20	2136(98)	530(53)	57(12)	—	23(19)	29(32)	—	43	—	—	—	—
21	2148(99)	655(71)	115(25)	45(18)	34(29)	—	—	48	—	—	—	—
22	1350(72)	213(23)	136(39)	33(14)	21(17)	—	—	33	—	—	—	—

сравнивать только показания приборов, находящихся поблизости друг от друга. Сравнивая меры интенсивности для лёсса толщиной в 2,0 м (подстилаемого галечниками) с галечниками, замечаем, что при лёссе сейсмический эффект сильно возрастает — $60/33=1,82$. Сейсмический эффект в брекчиях трения получился больше, чем в известняке, но не намного ($58/48=1,21$). Как ни странно, наличие воды при этом землетрясении не привело к увеличению сейсмического эффекта. Больше того, в некоторых случаях влияние воды выразилось в уменьшении меры интенсивности. Сейсмический эффект на обрыве сильно увеличился — $65/40=1,62$. В брекчиях трения у регионального разлома поведение жестких и гибких сооружений оказалось одинаковым. Во всех остальных случаях сейсмический эффект для жестких сооружений получился намного больше, чем для гибких.

Землетрясение № 8. Сравнение мер интенсивностей для лёсса большой мощности и галечника показывает, что они мало отличаются — $23/20=1,15$. Увеличение сейсмического эффекта у регионального разлома по сравнению с галечниками было также небольшим — $25/20=1,25$. Влияние воды сказалось существенным образом. Так, при воде на глубине 0,3 м и толщине лёсса в 0,6 м по сравнению со случаем залегания воды на глубине 4,5 м, при толщине лёсса 1,6 м сейсмический эффект увеличился почти в 2 раза ($39/20=1,95$). Сейсмический эффект у подножья по сравнению с верхней точкой склона сильно повысился — $39/19=2,05$. При этом у подножья жесткие сооружения вели себя лучше гибких ($26/40=0,65$). В случае лёсса поведение жестких и гибких сооружений оказалось примерно одинаковым. Что же касается регионального разлома, то тут сейсмический эффект для жестких сооружений оказался несравненно больше, чем для гибких ($38/6=6,33$).

Данные по землетрясению № 8 (9. I. 1960 г. I=4 балла, $\Delta=295$ км, $h=210$ км, $A_3=158^\circ$)

№ № пунктов	τ_i мм/сек ² . ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	1898(97)	—	82(17)	—	6(5)	4(4)	—	—	31	39	—	—
2	417(22)	165(17)	20(4)	—	—	31(34)	—	—	19	20	—	—
3	—	96(10)	26(55)	—	—	8(9)	—	—	—	25	—	—
4	1540(80)	238(25)	44(10)	6(2)	—	—	—	—	—	29	—	—
8	1980(91)	302(33)	139(31)	26(11)	57(46)	77(86)	49	—	—	—	50	48
12	805(37)	—	198(43)	28(11)	45(39)	—	—	—	32	—	—	—
13	320(15)	—	254(56)	—	12(9)	—	—	—	—	27	—	—
14	—	468(51)	47(10)	—	4(3)	8(10)	—	—	19	—	—	—
15	626(29)	285(30)	889(19)	25(11)	122(103)	5(5)	33	—	39	—	26	40
16	972(53)	311(32)	25(5)	39(15)	5(4)	—	—	22	—	—	—	—
17	2610(133)	272(27)	121(26)	49(19)	—	—	—	—	51	—	—	—
19	1647(82)	248(24)	35(8)	25(9)	2(2)	6(7)	22	25	—	—	38	6
20	—	109(11)	38(8)	16(7)	9(8)	—	—	—	9	—	—	—
21	984(45)	268(29)	—	79(32)	3(3)	—	—	—	27	—	—	—
22	810(43)	167(18)	46(10)	30(12)	20(17)	—	—	20	—	—	—	—
25	563(28)	162(17)	138(29)	44(17)	36(26)	15(18)	23	23	—	—	25	20

Это землетрясение имело примерно такие же характеристики, что и землетрясение № 1, однако интенсивность его была на один балл выше. Сравнивая меры интенсивностей этих землетрясений для случая лёсса, находим, что они разнятся почти в три раза ($33/12=2,75$).

Землетрясение № 9. Землетрясение это являлось местным, с эпицентральным расстоянием меньшим, чем протяженность самой сейсмометрической сети. Сравнение величин мер интенсивностей для различных грунтов показывает, что сейсмический эффект в песчаниках и в одном случае в известняках получился очень большим, в других случаях, наоборот, малым. Мера интенсивности у регионального разлома оказалась несколько выше, чем в лёссах ($37/29=1,28$), и в два раза больше, чем в галечниках ($37/18=2,05$). Во всех случаях сейсмический эффект для жестких сооружений получился намного больше, чем для гибких.

Это землетрясение можно сравнить с землетрясением № 7, которое имело примерно такие же характеристики, но при интенсивности большей на один балл. Сравнивая меры интенсивностей для плотных известняков, находим, что они отличаются приблизительно в два раза ($43/23=1,87$). Меры интенсивностей у регионального разлома по этим землетрясениям отличались примерно так же ($63/37=1,7$).

Землетрясение № 10. При этом землетрясении имеется возможность произвести большое количество сравнений, поскольку получены записи почти по всем приборам. И в этом случае получилась большая разница в показаниях сейсмометров № 20 и 21, установленных на известняках. Для сравнения мер интенсивностей берем показания сейсмометра № 20. Отнеся меры интенсивностей для отдельных грунтов к мере интенсивности для известняков, получаем следующие

Данные по землетрясению № 9 (4. II. 1960 г. I=3 балла, $\Delta=10$ км, $h=20$ км, A_z =местное земл.)

№ № пунктов	τ_i мм/сек ² ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_0	A_5	A_1	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	803(41)	240(23)	11(2)	17(7)	4(3)	4(4)	13	—	—	—	22	5
2	4726(246)	—	—	—	3(2)	7(8)	—	—	—	85	—	—
3	312(17)	—	3(1)	16(7)	1(1)	39(42)	—	14	—	—	—	—
4	2240(116)	17(2)	48(10)	18(7)	4(3)	1(1)	23	—	—	—	43	4
16	1286(71)	194(20)	81(17)	109(43)	10(9)	6(7)	28	—	29	—	36	20
17	870(44)	362(36)	201(43)	51(20)	63(51)	6(7)	34	—	44	—	41	26
18	377(19)	350(35)	28(6)	—	5(4)	10(11)	—	15	16	—	—	—
19	17(1)	475(47)	429(94)	—	5(4)	—	—	—	37	—	—	—
20	1424(66)	274(27)	65(14)	—	2(2)	4(4)	—	23	27	—	—	—
21	2864(132)	715(78)	119(26)	110(44)	10(8)	9(10)	50	—	61	—	79	21
22	540(29)	279(31)	54(11)	—	2(2)	—	—	—	18	—	—	—

соотношения: для галечников— $25/20=1,25$; для брекчий трения у регионального разлома— $23/20=1,4$; для песчаников— $42/20=2,1$ и для лёсса— $63/20=3,15$. Влияние воды в этом случае сказалось очень сильно. Так, для лёссов толщиной 0,6 м, подстилаемых галечниками, при уровне грунтовых вод 0,3 и 10–30 м получено соотношение $50/16=3,23$. Сейсмический эффект на возвышении в 2,0–4,0 м более чем на равнинном участке почти в два раза— $29/16=1,81$. Мера интенсивности у обрыва оказалась в два раза больше, чем на том же уровне на возвышенности, дальше от обрыва— $49/24=2,04$, а также у подножья склона— $49/23=2,13$. Для жестких сооружений мера интенсивности как в водонасыщенных, так и неводонасыщенных галечниках получилась меньше, чем для гибких сооружений, а иногда одинаковой. В качестве примера можно привести случай, когда над галечниками имеется слой лёсса в 0,6 м и грунтовая вода на глубине 0,3 м— $26/73=0,36$; при слое лёсса 1,6 м и воде на глубине 4,5 м— $16/15=1,07$; при слое лёсса 0,6 м и отсутствии воды— $15/16=0,94$ и $24/36=0,33$, а для галечников безводных— $22/27=0,82$.

Это землетрясение по азимуту, глубине очага и интенсивности такое же, как и землетрясение № 3, но с той разницей, что в этом случае эпицентрального расстояние больше на 70 км (при землетрясении № 3 оно равнялось 260 км). Увеличение эпицентрального расстояния примерно на 27% привело к существенному уменьшению сейсмического эффекта. Сравнение мер интенсивностей для случая водонасыщенных галечников показывает снижение сейсмического эффекта почти в 1,8 раза ($50/89=0,56$), для лёсса мощностью слоя около 20 м примерно в 1,5–1,7 раза ($54/81=0,67$ и $24/41=0,58$); для песчаника около 1,5 раза ($42/60=0,7$).

Землетрясение № 11. По этому землетрясению получено очень малое количество данных, тем не менее некоторое сравнение мер интенсивностей можно произвести. Сейсмический эффект у регионального разлома

Данные по землетрясению № 10 (19. II. 1960 г. I=5 баллов, $\Delta=330$ км, $h=190$ км, $A_3=143^\circ$)

№ № пунктов	τ_i м.м/сек ² . (τ T_i м.м/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в м.м/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	1095(56)	140(13)	47(10)	219(90)	91(77)	47(52)	50	—	57	—	26	73
2	347(18)	148(16)	75(15)	11(4)	19(16)	23(25)	16	—	—	—	16	15
3	—	—	26(6)	22(9)	29(24)	18(20)	—	—	15	—	—	—
4	1820(95)	306(32)	92(20)	33(13)	33(28)	15(17)	34	—	—	—	49	19
7	665(31)	104(11)	16(3)	37(15)	25(21)	12(13)	16	—	—	—	15	16
8	270(12)	483(53)	35(8)	18(7)	32(26)	68(76)	30	—	—	—	24	36
9	874(46)	262(27)	78(16)	30(11)	33(26)	37(41)	28	—	—	—	30	26
11	1896(93)	453(48)	201(42)	231(91)	33(28)	19(21)	54	—	—	—	61	47
12	—	221(24)	—	180(71)	—	23(25)	—	—	—	40	—	—
13	498(24)	111(12)	35(8)	87(36)	54(42)	21(23)	24	—	—	—	15	34
14	1026(48)	764(83)	165(36)	207(75)	36(31)	17(21)	49	—	—	—	56	42
15	1074(49)	184(19)	78(16)	45(19)	15(13)	21(23)	23	—	—	—	28	18
16	1595(88)	626(64)	78(16)	165(65)	105(89)	48(53)	63	—	—	—	56	69
17	1566(80)	498(50)	51(11)	42(16)	5(4)	80(90)	42	—	—	—	47	37
18	2325(116)	—	101(21)	—	31(24)	19(21)	—	—	46	—	—	—
19	867(43)	372(37)	233(29)	53(20)	24(19)	17(19)	28	—	—	—	36	19
20	1246(57)	109(11)	91(19)	12(5)	18(15)	17(19)	21	—	—	—	29	13
21	1969(91)	605(66)	179(38)	39(16)	19(16)	10(11)	40	—	—	—	65	14
22	742(39)	137(15)	58(12)	56(23)	42(34)	21(24)	25	—	—	—	22	27
25	10012(491)	685(282)	40(8)	98(38)	20(16)	61(74)	151	—	—	—	260	43

получился намного больше по сравнению с лёссами — $36/21=1,71$. У обрыва интенсивность землетрясения увеличилась более чем в два раза — $47/20=2,1$. Для жестких сооружений мера интенсивности оказалась значительно больше, чем для гибких. Это особенно сильно заметно для случая брекчий трения у регионального разлома.

Землетрясение № 12. Это землетрясение является местным, с эпицентральным расстоянием намного меньшим, чем протяженность сейсмометрической сети. Очень большая мера интенсивности получилась в брекчиях трения, у регионального разлома. Сравнивая ее с мерой интенсивности для известняка, замечаем, что они отличаются более чем в 11 раз ($441/40$). Сильное увеличение сейсмического эффекта наблюдалось на возвышении в 2,0 м по сравнению с равнинным участком — $73/39=1,87$. Сейсмический эффект в лёссе толщиной 17,0 м получился намного больше, чем в галечнике — $93/53=1,7$. В галечнике же сейсмический эффект оказался намного больше, чем в известняке — $53/20=2,65$. При этом землетрясении весьма наглядно сказалось влияние уровня грунтовых вод на величину меры интенсивности. Так, сравнение мер интенсивностей для случая воды на глубине 0,3 и 4,5 м показывает, что они отличаются более чем в два раза ($118/54$); для воды на глубине 4,5 и 8,0 м — более чем в 1,5 раза ($54/34$) и для глубины 0,3 и 15,0 м — более чем в 8 раз ($118/13$). Почти во всех случаях сейсмический эффект для жестких сооружений получился намного выше, чем для гибких.

Представляет интерес сравнить данные по этому землетрясению с таковыми для землетрясений № 7 и 9, имеющих примерно одинаковые характеристики и отличающихся только по интенсивности каждый от последующего на один балл. Поскольку мы ранее уже произвели сравнение данных по землетрясениям № 7 и

Данные по землетрясению № 11 (19. V. 1960 г. I=3 балла, $\Delta=320$ км, $h=100$ км, $A_3=137^\circ$)

№ № пунктов	τ_i м.м/сек. ² . ($\tau_i T_i$ м.м/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_1^n \tau_i T_i}{n}$ в м.м/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{ж}$	$A_{г}$
4	2100(109)	—	51(11)	20(8)	23(19)	—	—	—	37	—	—	—
9	6697(355)	2275(234)	451(95)	112(43)	108(86)	10(11)	137	—	—	—	228	47
11	1185(58)	67(7)	94(20)	184(73)	9(8)	2(2)	28	—	—	—	28	28
12	—	396(42)	92(20)	93(37)	18(15)	3(3)	—	23	—	—	—	—
13	1079(52)	143(15)	21(5)	103(42)	8(6)	3(3)	20	—	—	—	24	17
14	2052(96)	374(40)	62(13)	114(41)	17(14)	41(50)	42	—	—	—	50	35
16	972(53)	292(30)	58(12)	56(22)	6(5)	4(4)	21	—	—	—	32	10
19	2601(130)	454(44)	58(13)	53(20)	7(6)	4(4)	36	—	—	—	62	10

Данные по землетрясению № 12 (1. VI. 1960 г. $l=5$ баллов, $\Delta=10$ км, $h=17$ км, A_3 =местное земл.)

№ № пунктов	τ мм/сек ² . ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_0	A_5	A_1	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	949(49)	2520(242)	1168(245)	203(83)	91(77)	12(13)	118	—	—	—	179	58
2	486(25)	330(35)	650(133)	205(82)	45(37)	11(12)	54	—	—	—	64	44
3	562(31)	112(12)	300(76)	102(43)	27(22)	7(8)	34	—	—	—	43	24
4	700(36)	187(19)	44(10)	6(2)	5(4)	7(8)	13	—	—	—	22	5
8	900(41)	317(35)	129(28)	41(17)	43(35)	67(75)	39	—	—	—	35	42
9	1435(76)	1597(164)	626(131)	91(35)	15(12)	20(22)	73	—	—	—	124	23
11	1106(51)	722(76)	1295(271)	184(73)	39(34)	12(13)	86	—	—	—	133	40
13	1577(76)	239(26)	444(98)	115(47)	18(14)	3(3)	44	—	—	—	67	21
14	249(12)	638(69)	—	121(44)	39(33)	21(26)	—	37	—	—	—	—
16	—	740(75)	—	15(6)	72(61)	1(1)	—	—	36	—	—	—
17	7395(377)	2721(272)	542(115)	128(49)	—	—	—	—	203	—	—	—
18	4077(204)	73(7)	24(5)	37(15)	7(5)	6(7)	40	—	—	—	72	9
19	26192(1310)	3598(353)	2255(494)	687(256)	113(91)	128(142)	441	—	—	—	719	163
20	1424(66)	183(18)	22(5)	—	4(3)	5(5)	—	20	—	—	—	—
21	1342(62)	193(21)	29(6)	—	—	—	—	—	—	30	—	—
22	1080(57)	106(12)	93(20)	—	165(136)	36(41)	—	53	—	30	—	—
25	5287(259)	347(36)	429(90)	164(64)	57(47)	26(31)	88	93	—	—	128	47

№ 9, здесь сопоставим землетрясение № 12, которое оценено в 5 баллов, с землетрясением № 7 интенсивностью в 4 балла. Меры интенсивностей наиболее сильно отличаются для брекчий трения у регионального разлома— $441/50=8,82$. Для лёсса большой мощности сейсмический эффект выше чем в 2 раза ($86/40=2,15$). При высоком уровне грунтовых вод—0,3 м—меры интенсивности разнятся почти в 5 раз ($118/25=4,72$), а при глубине грунтовых вод в 4,5 м—в 2 раза ($54/26\cong 2,08$).

Землетрясение № 13. Из рассматриваемых землетрясений оно единственное 6-балльное. При чем] землетрясение это следует считать местным, поскольку эпицентрального расстояния его малое и залегание очага неглубокое. Сравнение мер интенсивностей для известняка в двух недалеко расположенных друг от друга пунктах, как и прежде, показывает их существенную разницу (почти в 3 раза), что трудно объяснить. Если возьмем среднее между ними и сравним с песчаником, то сейсмический эффект в песчаниках оказывается в два раза больше ($140/70$). На этот раз сейсмический эффект в лёссах получился меньше, чем в песчаниках ($118/140$). Мера интенсивности у регионального разлома оказалась также меньше, чем при других землетрясениях. Влияние воды сказалось с достаточной убедительностью. Сравнивая галечники водонасыщенные и с очень глубоким стоянием грунтовых вод, получаем увеличение сейсмического эффекта почти в два раза ($223/125\cong 1,78$). При глубине залегания грунтовых вод на 0,3 и 4,5 м получаем увеличение меры интенсивности в $223/159=1,4$ раза, а при глубинах 4,5 и 8,0 м—всего в $194/181=1,07$ раза. При этом землетрясении мера интенсивности для жестких сооружений получилась в основном меньше, чем для гибких (иногда одинаковая), за некоторыми исключениями, в частности, на песчаниках, иногда на лёссе.

Данные по землетрясению № 13 (16. IX. 1960 г. $l=6$ баллов, $\Delta=30$ км, $h=14$ км, $A_3=60^\circ$)

№ п. № пунктов	τ мм/сек. ² ($\tau_i T_i$ мм/сек.) при периоде маятника в сек.						$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}$ в мм/сек.					
	0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	A_6	A_5	A_4	A_3	$A_{Ж}$	$A_{Г}$
1	949(48)	1800(173)	1819(382)	1154(473)	235(198)	60(67)	223	—	—	—	201	246
2	1251(65)	561(59)	1476(301)	849(341)	141(117)	65(71)	159	—	194	—	142	176
3	1375(76)	—	929(197)	855(355)	—	90(98)	—	—	181	—	—	—
4	3430(178)	648(67)	779(169)	801(315)	186(157)	57(63)	158	—	—	—	138	178
7	1264(59)	260(273)	743(161)	245(100)	165(136)	19(21)	125	—	—	—	164	86
8	990(46)	—	322(71)	241(99)	13(11)	59(66)	—	59	—	—	—	—
9	956(51)	1531(158)	1178(247)	207(79)	147(117)	197(219)	145	—	—	—	152	138
11	1659(81)	—	1359(283)	1215(481)	200(173)	52(58)	—	215	—	—	—	—
12	1342(62)	1141(122)	930(198)	1007(400)	63(54)	52(57)	149	—	—	—	127	170
16	1645(90)	312(32)	198(41)	682(269)	159(135)	129(143)	118	—	—	—	54	182
17	10092(505)	1111(111)	210(45)	22(8)	151(123)	40(45)	140	—	—	—	220	59
18	3171(159)	1070(107)	232(48)	399(160)	142(111)	44(48)	106	—	—	—	105	106
19	—	641(63)	431(94)	441(164)	126(102)	26(29)	—	90	—	—	—	—
20	1246(57)	146(15)	99(21)	95(40)	76(64)	23(25)	37	—	—	—	31	43
21	1163(53)	—	373(80)	79(32)	21(18)	7(8)	—	38	—	—	—	—
22	1080(57)	427(47)	452(95)	—	198(163)	—	—	—	90	—	—	—
25	—	393(41)	657(138)	1102(428)	27(22)	119(144)	—	155	—	—	—	—

Поскольку это 6-балльное землетрясение является местным, считаем возможным сравнить его с землетрясением № 12 интенсивностью в 5 баллов. Сравнение мер интенсивностей для известняков показывает увеличение сейсмического эффекта в $106/40=2,65$ раза. В лёссах толщиной 0,7 м, подстилаемых галечниками, происходит увеличение сейсмического эффекта в 2 раза (145/73). В водонасыщенных галечниках, покрытых слоем лёсса в 0,6 и 1,6 м, меры интенсивности увеличиваются соответственно в $223/118=1,91$ и $159/54=2,95$ раза.

§ 15. Обобщение результатов и выводы

Произведенный нами анализ 17 землетрясений по значениям приведенных сейсмических ускорений $\tau(T)$ и мер интенсивностей землетрясений A следует считать обоснованным, поскольку как у нас, так и за рубежом (главным образом в США) в основу расчета сооружений принимается спектр приведенных сейсмических ускорений или его видоизменения.

Как известно, в СССР сейсмическая нагрузка определяется [32] в соответствии с „Нормами и правилами строительства в сейсмических районах“ (СН—8—57) по формуле:

$$S_k = Q_k K_c \beta \eta_k, \quad (1)$$

где Q_k —вес, сосредоточенный в точке K , вызывающий инерционную силу; K_c —сейсмический коэффициент; β —коэффициент динамичности; η_k —коэффициент, зависящий от формы деформаций сооружения при его свободных колебаниях и от места расположения Q_k в сооружении.

Спектр $\tau(T)$ связан с коэффициентом динамичности

β и коэффициентом сейсмичности K_c соотношением

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

Обозначая через $\tau_c(T)$ спектр, отнесенный к грунту [28], который принимается за исходный, уточнение интенсивности землетрясения для данного локального условия, характеризуемого спектром $\tau(T)$ можно получить с помощью множителя:

$$B_c(T) = \frac{\tau(T)}{\tau_c(T)}. \quad (3)$$

С целью получения устойчивых данных необходимо производить определение B_c для данного пункта при различных землетрясениях, с последующей статистической обработкой. Ясно, что функции $\tau(T)$ и $\tau_c(T)$ формулы (3) 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 форме:

$$\beta_1(T) = B_c(T) \beta(T). \quad (4)$$

В случае отсутствия достаточного количества подробных данных об относительных значениях интенсивностей землетрясения, определяемых формулой (3), допускается более грубая оценка. Поскольку спектры в общем носят гиперболический характер, т. е. приближаются к зависимости:

$$\tau(T) = \frac{A}{T}, \quad (5)$$

то величину A можно принять за осредненную меру интенсивности землетрясения, отнесенную к гиперболе.

Среднюю меру интенсивности землетрясения — A для данного реального спектра τ можно приближенно определять по формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{n}. \quad (6)$$

При введении средней меры интенсивности поправочный коэффициент B_c , согласно формуле (3), упрощается и превращается в постоянное число для всего спектра:

$$B_c = \frac{A}{A_c}, \quad (7)$$

где A — средняя мера для рассматриваемого пункта, а A_c — средняя мера, отнесенная к исходному грунту. Сравнение мер интенсивностей A для различных грунтов при каждом землетрясении, а также при различных землетрясениях нами произведено в предыдущих параграфах этой главы. Здесь сделана попытка обобщить полученные результаты. Ниже приводим эти обобщения и выводы.

В среднем кривая приведенных сейсмических ускорений для рассмотренных землетрясений имеет характер кривой, убывающей с увеличением периода свободных колебаний сооружений. Эта кривая приближенно может быть описана гиперболой.

При прочих одинаковых условиях (эпицентральное расстояние, глубина очага, азимут на эпицентр) увеличение интенсивности землетрясения приводит к возрастанию величин приведенных сейсмических ускорений, а следовательно, и средних мер интенсивностей. Возрастание это для различных грунтов происходит по-разному. Так, например, для лёссов, водонасыщенных галечников, а также для брекчий трения у регио-

нального разлома увеличение сейсмического эффекта с повышением интенсивности землетрясения сказывается намного сильнее, чем для известняков, песчаников и неводонасыщенных галечников. В среднем сейсмический эффект с повышением интенсивности землетрясения на один балл (для землетрясений силой от 3 до 6 баллов) повышается в 1,8—2,5 раза.

С уменьшением эпицентрального расстояния происходит существенное увеличение сейсмического эффекта. Так, при разнице в эпицентральных расстояниях в 1,27 раза интенсивность землетрясения увеличилась в 1,5—1,8 раза в зависимости от разновидности грунтов.

Имеется возможность с некоторым приближением с помощью многомаятниковых сейсмометров (по полученным ими записям) определять эпицентр землетрясения путем выделения направлений основных колебаний по нескольким относительно далеко друг от друга расположенным приборам.

По кривым приведенных сейсмических ускорений, полученным с помощью многомаятниковых сейсмометров для различных грунтов, можно определить присутствующие им преобладающие периоды колебаний (по пикам на кривой).

Относительная сейсмичность отдельных участков территории может определяться в зависимости от их основных инженерно-геологических, гидрогеологических и геоморфологических характеристик [29]. Указанные локальные характеристики учитываются путем введения нижеследующих трех коэффициентов: K_{Γ} —учитывающего тип грунта в сухом состоянии сооружения; $K_{\text{в}}$ —учитывающего уровень грунтовых вод; $K_{\text{р}}$ —учитывающего рельеф местности.

Общая характеристика K , показывающая изменение интенсивности землетрясения с учетом локальных

условий, представляется в виде произведения этих коэффициентов:

$$K = K_{\Gamma} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{Р}}. \quad (8)$$

Путем помножения сейсмического коэффициента $K_{\text{С}}$ „Норм и правил строительства в сейсмических районах“ [32] на соответствующий коэффициент K можно получить коэффициент сейсмичности $K'_{\text{С}}$ для отдельных участков:

$$K'_{\text{С}} = K \cdot K_{\text{С}}. \quad (9)$$

На основании анализа результатов рассмотренных 17 землетрясений составлена таблица 21, где приведены приближенные значения коэффициента K_{Γ} для различных грунтов по отношению к суглинкам-супесям.

Таблица 21

Средние величины коэффициента K_{Γ} , полученные с помощью маятниковых сейсмометров

№ № п/п	Породы	Коэффициент
1	Известняк	0,5
2	Галечник	0,6
3	Песчаник	0,7
4	Базальт трещиноватый	0,8
5	Конгломераты малой мощности	0,9
6	Суглинок—супесь	1,0
7	Лёсс толщиной 0,6—2,0 м, подстилаемый мощным слоем галечников	1,1
8	Лёсс толщиной более 15 м, подстилаемый мощным слоем галечников	1,2
9	Обломочные отложения с рыхлым суглинистым заполнением	1,2
10	Современные пролювиальные отложения	1,4

При принятии коэффициента K_r по возможности следует учесть, что на его величину существенное влияние будет оказывать спектральный состав колебаний грунта, а также вид сооружения, возведенного на нем. Например, необходимо в общем учесть, что жесткие сооружения на скальных грунтах и гибкие на податливых ведут себя хуже по сравнению со средними грунтовыми условиями. Наличие грунтовой воды уменьшает меру интенсивности для жестких сооружений.

Коэффициент K_v , учитывающий сейсмический эффект, обусловленный наличием грунтовой воды, можно определять по формуле (10), полученной в результате анализа данных землетрясений, зарегистрированных с помощью многомаятниковых сейсмометров:

$$K_v = \frac{3}{1 + \frac{H}{8}}, \quad (10)$$

где H — уровень грунтовой воды (предельное значение $H=16$ м, ниже которого наличие воды не оказывает влияния).

Следует учесть, что эта зависимость дана для галечников, покрытых слоем лёсса, при возведении на них зданий средней жесткости.

На основании полученных данных, принимая, что сейсмический эффект в зависимости от рельефа может возрасти в два раза, коэффициент K_p , учитывающий рельеф местности, можно определять по формуле:

$$K_p = 1 + \operatorname{tg} \alpha, \quad (11)$$

где α — угол наклона, меняющийся от 0 до 45° (при угле наклона $45-90^\circ$ принимается $K_p=2$).

Рассмотрение полученных данных показывает, что иногда при землетрясениях одинаковой силы, имеющих примерно одни и те же эпицентральные расстояния,

глубину очага и азимут на эпицентр, получаются несравнимые результаты, что следует объяснить возможными различиями в спектральном составе землетрясений. Для создания возможности определения спектрального состава землетрясений необходимо в наиболее характерных пунктах иметь возможность получать запись колебаний во времени. Безусловно, спектральный состав колебаний почвы при землетрясении должен играть существенную роль в поведении сооружений.

ГЛАВА IV

РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МНОГОМАЯТНИКОВЫМИ СЕЙСМОМЕТРАМИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЗРЫВОВ

Сейсмовзрывные волны как по своему происхождению, так и по характеру отличаются от сейсмических волн, возникающих при землетрясении. Однако в их проявлении имеется и много общего. Поэтому для изучения большого круга вопросов в сейсмологии и инженерной сейсмологии часто пользуются массовыми взрывами.

В практике строительства крупных объектов бывают случаи, когда приходится иметь дело с производством массовых взрывов в непосредственной близости от осуществляемого сооружения. Часто взрывы производятся у эксплуатируемых зданий и сооружений. В таких случаях весьма важным является обеспечение сохранности сооружений от действия сейсмовзрывных колебаний [9].

В результате проведенных различными исследователями работ по изучению действия сейсмовзрывных волн на сооружения получены формулы для определения безопасного для сооружения расстояния при взрывах. При этом за характеристику, определяющую действие сейсмовзрывных волн на сооружение, прини-

мается скорость колебания частиц грунта. М. А. Садовский считает, что в сооружениях, расположенных на грунтах средней прочности, разрушения происходят при скорости колебания частиц грунта V , равной или большей 12—14 см/сек. [38]. Д. Д. Баркан исходит из того, что сейсмический эффект при взрывах зависит не только от скорости колебания частиц грунта, но и от частоты свободных колебаний сооружения [1]. Следует отметить, что эти формулы не всегда дают хорошие результаты, особенно в случае взрывов, осуществляемых в непосредственной близости от сооружения.

Проведенные нами работы по обеспечению сохранности сооружений при производстве взрывов в непосредственной от них близости отличаются от предшествующих тем, что за характеристику, определяющую действие сейсмовзрывных волн на сооружения, принимается спектральная кривая приведенных сейсмических ускорений $\tau(T)$. Во всех случаях, когда надо лимитировать количество единовременно взрываемого заряда, производится пробный взрыв небольшого количества заряда и по данным записей, полученных с помощью установленных на данном участке сейсмометров, строится кривая приведенных сейсмических ускорений. Предельная величина заряда устанавливается на основании полученной кривой.

Однако сейсмометрические наблюдения нами проводились не только для определения предельных величин зарядов при осуществлении массовых взрывов поблизости от сооружений с целью обеспечения их сохранности. Эти наблюдения в большинстве случаев были вызваны необходимостью изучения поведения инженерных сооружений при воздействии на них сейсмовзрывных колебаний. При этом мы лишены были возможности задавать количество заряда, выбирать место для взрыва и т. д., поскольку замеряли лишь те взры-

108

вы, которые производились в соответствии с производственным планом Армвзрывпрома [8, 10, 12].

При представлении взрыва как мгновенного импульса получается следующая гиперболическая зависимость приведенного сейсмического ускорения τ_i от периода свободных колебаний T_i , выраженная через скорость колебания частиц грунта V :

$$\tau_i = V \frac{2\pi}{T_i}.$$

В случае, если нет необходимости определять поведение отдельных зданий, имеющих конкретные значения периода свободных колебаний, сейсмический эффект взрыва по всем периодам сооружения в среднем можно представить в виде:

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i T_i}{2\pi n}.$$

Таким образом, создается возможность установления связи между величинами приведенных сейсмических ускорений τ_i , полученных с помощью многоятных сейсмометров, и значениями скоростей колебаний частиц грунта, которыми пользуются в взрывном деле.

При выполнении работ, приведенных в этой главе, принимали участие Р. С. Вартанян, Б. Х. Малинцян, Г. А. Мароян, С. А. Пирузян, А. Н. Сафарян, Л. Г. Седракан и Г. С. Туманов.

§ 16. Взрывы на участке ГЭС

Первыми объектами наших наблюдений для обеспечения их сохранности при взрывах являлись голов-

ные сооружения ГЭС [6]. Взрывные работы производились систематически в связи с производством работ по выемке котлована для бассейна суточного регулирования. Участок взрывных работ находился в непосредственной близости от действующих подводящего канала и напорного трубопровода гидроэлектростанции. Строительство бассейна суточного регулирования продолжалось два года, в течение которых проводились регулярные сейсмометрические наблюдения.

Участок сложен из липаритов с вклинивающимися мергелями. Вначале работы по регистрации сейсмовзрывных колебаний производились с помощью сейсмометров АИС—1. Всего было установлено 4 комплекта сейсмометров (в каждый комплект входили 2 сейсмометра, установленных под углом 90° один к другому). Два комплекта были установлены на фундаментах сооружения и два—в непосредственной близости от сооружения. Сейсмометры с помощью анкеров крепились к фундаментам сооружения (в канале) и к скале. С помощью сейсмометров АИС—1 было зафиксировано 8 взрывов при количестве взрывчатки от 1 до 4,6 тонны. Максимальные сейсмические ускорения почвы были зафиксированы в основном маятниками, имеющими период свободных колебаний 0,05 сек., иногда 0,1 сек. Величина максимальных приведенных сейсмических ускорений доходила до 0,54 g. Для сооружений максимальные величины ускорений соответствовали периоду 0,2 сек., а иногда и 0,5 сек. Наибольшая величина приведенного ускорения при периоде 0,2 сек. получилась равной 0,17g, а при периоде 0,05 сек.—0,486 g.

Сводные данные по максимальным приведенным сейсмическим ускорениям при этих взрывах приведены в таблице 22.

В дальнейшем сейсмометрические наблюдения в

Сводные данные максимальных приведенных ускорений, полученных при взрывах 1953 г.

Дата взрыва	Количество взрывчатки	По показаниям сейсмометра № 2 (в соор.)			По показаниям сейсмометра № 3 (на грунте)		
		расстояние от шурфа, м	Т, сек.	ускорение в долях g	расстояние от шурфа, м	Т, сек.	ускорение в долях g
24/IV—53 г.	2,0	330	0,2 0,2	0,065* 0,040	250	0,05 0,05	0,080* 0,055
28/IV—53 г.	1,0	330	0,2 0,2	0,380 —	250	0,10 0,10	0,021 0,017
30/IV—53 г.	2,4	280	— 0,2	— 0,062	200	0,05 0,05	0,010 0,014
22/V—53 г.	2,0	300	0,2 0,2	0,081 0,081	—	0,05 0,05	0,141 0,172
25/V—53 г.	2,0	280	0,2 0,2	0,071 0,051	200	0,05 0,05	0,242 0,238
29/V—533 г.	2,0	260	0,2 0,05	0,087 0,190	180	0,05 0,05	0,428 0,418
3/VI—5 г.	4,6	200	0,2 0,2	0,150 0,170	120	0,05 0,10	0,540 0,380
6/VI—53 г.	3,6	200	0,2 0,05	0,170 0,486	140	0,05 0,05	0,445 0,330

* Верхняя строчка соответствует вертикальной составляющей, нижняя—горизонтальной составляющей колебаний.

основном велись на территории бассейна суточного регулирования и на участке напорного трубопровода. Было установлено 6 сейсмометров конструкции АИС—2. Регистрация производилась двояко: по перемещению проволоочки в канавке (кассеты А. К. Шаншиева—Р. С. Вартаняна) и по записи на копоти.

Вначале сейсмометры имели следующее расположение: один из них был установлен у стенки подводящего канала, два других на расстоянии 20—30 м от первого (на разных высотах) и три сейсмометра на опорах трубопровода. Сейсмометры по трассе напорного трубопровода не дали существенных смещений из-за дальности расстояния, а также, по-видимому, вследствие топографических условий, и они впоследствии были сняты. Из снятых с участка трубопровода сейсмометров один был установлен рядом с сейсмометром, находящимся у стенки канала, с тем, чтобы проверить идентичность работы сейсмометров при взрыве. Другой—у вновь возводимой бетонной стенки бассейна суточного регулирования с целью определения эффекта сейсмовзрывных волн в этом месте. Третий—по другую сторону канала, у наружной поверхности стенки. С целью проверки влияния вида грунтов на силу взрыва один сейсмометр был установлен на мергелях, клинивающих в основные породы—липариты.

При проведенных взрывных работах минимальное расстояние от места взрыва до сейсмометров равнялось 30 м. Количество зарядов колебалось в пределах 2 тонн.

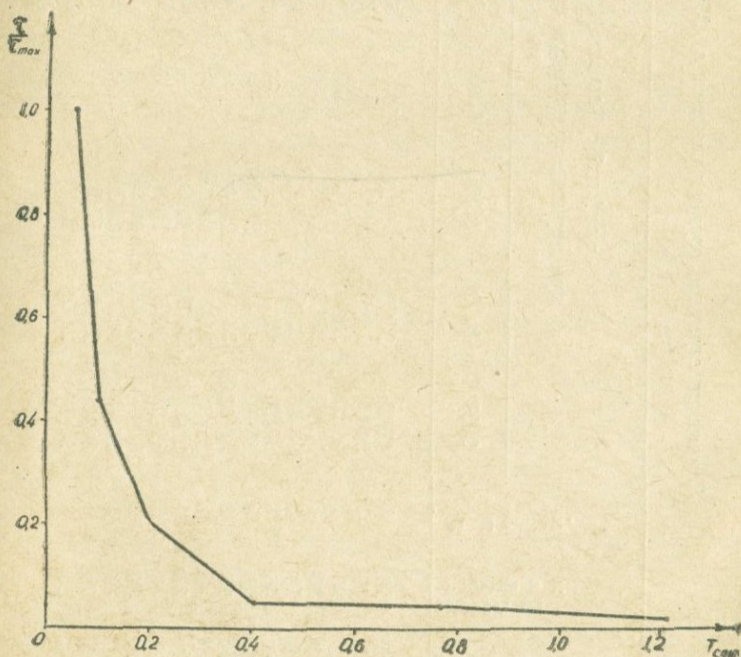


Фиг. 37.

Помимо отмеченных взрывов был замерен также массовый взрыв на Каджаранстрое с общим количеством заряда 30 тонн. Заложено было 52 шурфа, имеющих глубину от 8 до 16 м.

Здесь была испробована запись по закопченному стеклу. Результаты получились вполне удовлетворительные. После этого перешли к регистрации по копоти (пример записи показан на фиг. 37).

Данные по взрывам, осуществленным в 1954 г., приведены в таблице 23. Сравнение величин скоростей колебаний частиц, найденных по значениям приведенных сейсмических ускорений для всех маятников, показывает, что при одинаковом эпицентральной расстоянии увеличение количества заряда в 5,7 раза (1,98/0,35) приводит к увеличению значения скорости в 5,4 раза



Фиг. 38.

(1,14/0,21). При одном и том же количестве заряда уменьшение эпицентрального расстояния в 1,3–1,6 раза вызывает увеличение скорости колебаний в 1,4 раза (1,14/0,82 и 0,40/0,29). В другом случае уменьшение

Данные по взрывам, осуществленным в 1954 г.

Дата	Кол-во ВВ в т	Расст. от взрыва в м	№ № сейсм.	$\tau_i \text{ см/сек.}^2 (\tau_i T_i \text{ см/сек.})$ при периоде маятника в сек.						$V_i = \frac{\sum \tau_i T_i}{n} \text{ в м.м/сек}$	
				0,05	0,10	0,20	0,40	0,80	1,20	V_6	V_5
8.VI 1954 г.	0,35	120	8	47(2)	20(2)	9(2)	1(—)	1(1)	1(1)	0,21	—
8.VI 1954 г.	0,35	115	3	54(3)	11(1)	13(3)	6(2)	2(2)	1(1)	0,32	—
8.VI 1954 г.	0,35	120	7	428(21)	29(3)	21(4)	6(2)	4(3)	4(4)	0,98	—
15.VI 1954 г.	0,70	80	3	75(4)	27(3)	15(3)	9(4)	7(6)	2(2)	0,58	—
15.VI 1954 г.	0,70	90	8	193(10)	62(6)	6(1)	19(8)	6(5)	3(3)	0,88	—
26.VI 1954 г.	1,40	130	8	187(9)	49(5)	2(—)	9(4)	4(3)	3(3)	0,64	—
2.VII 1954 г.	1,98	120	8	337(17)	43(4)	23(5)	17(7)	7(6)	4(4)	1,14	—
31.VII 1954 г.	1,98	95	8	358(18)	34(3)	21(4)	4(2)	2(2)	2(2)	0,82	—
4.VIII 1954 г.	1,32	47	8	52(3)	28(3)	24(5)	11(4)	3(2)	—	—	0,54
1.X 1954 г.	0,50	30	6	96(5)	74(7)	13(3)	1(—)	6(5)	1(1)	0,56	—
1.X 1954 г.	0,50	40	3	32(2)	25(3)	13(3)	3(1)	1(1)	1(1)	0,29	—
2.X 1954 г.	0,80	30	6	286(14)	243(24)	44(9)	13(5)	3(2)	3(3)	1,51	—
2.X 1954 г.	0,80	43	3	76(4)	13(1)	19(4)	7(3)	1(1)	2(2)	0,40	—
2.X 1954 г.	0,80	79	8	84(4)	21(2)	17(3)	9(4)	1(1)	—	—	0,45
3.XI 1954 г.	1,44	55	8	94(5)	24(2)	5(1)	16(6)	8(6)	—	—	0,64

эпицентрального расстояния в 1,6 раза (80/50) приводит к увеличению скорости колебаний в 2,7 раза.

В результате проделанной работы по сейсмическим наблюдениям, установлено, что сейсмометры АИС—2 вполне оправдывают себя в работе, ими возможно получить необходимый фактический материал, обработка которого не представляет трудностей. Это позволяет дать грубую оценку силе сотрясения почвы при землетрясениях и взрывах. В процессе взрывов на территории, занятой сооружениями, устанавливались предельные величины зарядов, обеспечивающих безопасность сооружения при взрывах. Наибольшие ускорения получились для маятников, имеющих высокие частоты колебаний.

Впервые с помощью многомаятниковых сейсмометров получены кривые приведенных сейсмических ускорений в зависимости от периода свободных колебаний (фиг. 38).

§ 17. Взрывы на Лусаванском песочном карьере (у тоннеля)

При проходке Армводстроем тоннеля под Лусаванским песочным карьером из-за близости места взрывов и сыпучести породы, опасных для тоннеля, Армвзрывпром прекратил взрывание штолен на карьере и перешел к производству взрывов в шурфах. Для определения максимального количества одновременно взрываемого в шурфах заряда, безопасного для тоннеля, были произведены сейсмометрические наблюдения [13].

Лусаванский песочный карьер расположен в 100—150 м восточнее бассейна суточного регулирования ГЭС (фиг. 39), результаты сейсмометрических наблю-

верхнего плиоцена. В гидрогеологическом отношении район является вполне благоприятным для подземного строительства.

Объектом разработки карьера является холм, круто спускающийся к северу и югу и ограниченный с запада фронтом работы карьера (с востока он соединяется с горой). Обследуемый тоннель врежется в холм с юго-востока по азимуту С—З 330° , проходя под карьером литоидно-обломочных пемз. Изучению была подвергнута часть тоннеля до отметки 170 м, в результате чего выяснилась следующая картина. В начале тоннеля, у портала, встречается сплошная обсидиановая масса, которая прослеживается до отметки 105 м. На этой толще были установлены два сейсмометра: № 12 у портала тоннеля и № 9 на расстоянии 70 м от первого. В промежутке между 105—125 м имеется вторично измененная глинизированная толща песочной пемзы красновато-кирпичного цвета с включением кусков и обломков массивного обсидиана и литоидной пемзы. Местами встречается тонко рассланцованный обсидиан черного цвета. Толща в основном сыпучая, в ее пределах на левом борту тоннеля произошел небольшой завал. Сейсмометр № 10 был установлен на этой толще на отметке 110 м. Между отметками 125—140 м обнажается толща белого пемзового песка с малым содержанием мелких кусков черно-красного обсидиана и литоидной пемзы. Дальше, от 140 м до 157 м, наблюдается красноватая глинизированная масса с большим количеством обсидиановых включений. Местами последние преобладают, и вторично измененная (обожженная) пемза становится заполнителем между кусками обсидиана и литоидной пемзы, которая также встречается довольно часто. Начиная с 157 м и вплоть до 170 м, имеется обсидиан в основном черного цвета, сильно трещиноватый, пластового залегания, с глыбовой отдельностью. Сейсмометры № 7

и 8 были установлены на южном склоне холма по оси тоннеля.

На исследуемом участке всего замерено три взрыва. Вначале был произведен одновременный взрыв трех шурфов с общим количеством заряда 320 кг. Сейсмовзрывной эффект получился сильным. Поэтому последующие два взрыва были произведены соответственно в шести шурфах с количеством заряда 200 и 120 кг при разновременном взрывании каждого шурфа с помощью детонаторов замедленного действия.

Данные по указанным трем взрывам для горизонтальной и вертикальной составляющих колебаний приведены в таблице 24.

С целью выявления сейсмического эффекта в тоннеле для различных грунтов, как уже отмечалось выше, были установлены два сейсмометра: № 9 на обсидианах и № 10 на пемзе. Сравнивая полученные при всех трех взрывах с помощью этих сейсмометров величины приведенных сейсмических ускорений, замечаем, что сейсмический эффект в пемзе во много раз больше, чем в обсидианах, особенно для маятников с периодом $T=0,05$ сек. (до 10 раз). При этом следует отметить, что от места взрывов сейсмометр № 9 находился ближе, чем сейсмометр № 10.

Рассматривая приведенные сейсмические ускорения, полученные с помощью сейсмометра № 9 при втором и третьем взрывах, можно увидеть, что величины их получились примерно одинаковыми для соответствующих маятников. При этом расстояние от сейсмометра до места второго взрыва было 104 м, а от третьего взрыва—79 м при количестве заряда соответственно 200 и 120 кг. Таким образом, мы тут не имеем возможности вынести суждение о зависимости сейсмического эффекта только от расстояния или только от количества заряда. Здесь можно лишь говорить о том, что уменьшение расстояния в 1,3 раза и одно-

Данные по взрывам (для горизонтальной и вертикальной составляющих)

Дата взрыва	№ сейсмометров	Расстояние от места взрыва в м	Кол-во ВВ в кг	τ_1 см/сек ² ($\tau_1 T_1$ см/сек) при проектном периоде маятников в сек.							$V_{cp} = \frac{\sum \tau_1 T}{2\pi n}$ в см/сек.	
				горизонтальная составляющая				вертикальная составляющая			горизонтальная составл.	вертик. составл.
				0,05	0,10	0,20	0,40	0,05	0,10	0,20		
22 июня 1957 г.	8	133	320	245(10)	131(10)	98(18)	38(15)	49(2)	71(5)	17(2)	2,12	0,48
	7	163		288(13)	164(14)	99(18)	21(8)	36(2)	80(7)	62(1)	2,12	0,53
	10	113		1868(86)	278(28)	89(15)	11(5)	1978(89)	279(28)	94(16)	5,37	7,08
	9	142		—	10(1)	14(3)	7(3)	204(10)	48(5)	34(6)	0,37	1,12
	12	209		147(7)	28(3)	19(3)	6(3)	56(2)	43(4)	23(3)	0,64	0,48
11 июля 1957 г.	8	95	200	4601(189)	409(32)	498(89)	69(26)	6168(247)	2385(188)	648(80)	13,42	27,37
	7	125		206(9)	446(38)	265(49)	29(10)	181(9)	141(13)	112(19)	4,23	2,18
	10	80		564(26)	230(23)	121(20)	19(8)	503(23)	127(13)	64(11)	3,08	2,50
	9	104		123(5)	52(5)	48(9)	10(4)	146(7)	57(5)	31(5)	0,92	0,90
	12	159		—	14(1)	43(7)	4(2)	111(5)	32(3)	16(2)	0,53	0,53
29 июля 1957 г.	8	67	120	2203(90)	905(71)	284(44)	92(35)	832(33)	312(25)	158(20)	9,60	4,15
	7	97		7325(322)	1689(148)	356(66)	120(43)	4209(202)	432(40)	158(27)	23,16	14,30
	10	58		1234(57)	127(13)	46(8)	15(7)	899(40)	178(18)	91(15)	3,40	3,88
	9	79		123(5)	73(7)	31(6)	9(4)	87(4)	38(4)	25(4)	0,88	0,64
	12	133		294(14)	103(10)	43(7)	9(4)	306(13)	48(5)	55(7)	1,40	1,33

временно уменьшение количества заряда в 1,7 раза не изменяют величины сейсмического ускорения. Получается, что уменьшение расстояния в 1,3 раза равносильно уменьшению заряда в 1,7 раза; отсюда можно сделать вывод, что приведенное сейсмическое ускорение зависит больше от расстояния, чем от количества заряда. Последнее отмечалось и другими исследователями [38]

При сравнении показаний сейсмометров № 10 при втором взрыве и № 9 при третьем взрыве, находящихся на одинаковом расстоянии от места взрыва, но на различных грунтах (соответственно на пемзе и на обсидиане), обнаруживается, что значения приведенных сейсмических ускорений при уменьшении количества заряда в 1,7 раза уменьшаются в 2—5 раз в зависимости от периода маятников. Тут на снижение величины приведенного сейсмического ускорения оказало существенное влияние различие грунтов.

Сейсмометры № 9 и 12 были установлены на одинаковых грунтах: первый в глубине тоннеля, а второй— у входного портала. Величины приведенного сейсмического ускорения по сейсмометру № 9 получились в 2—3 раза меньше, чем по сейсмометру № 12, несмотря на то, что для последнего расстояние от места взрыва было на 60% больше. Здесь сказалось расположение сейсмометра у входа в тоннель.

Сейсмометры № 8 и 9 были установлены на различных отметках по высоте: № 8 на склоне, а № 9 в тоннеле на глубине 35 м по сравнению с первым. Сравнивая результаты замеров, замечаем, что на такой глубине сейсмический эффект сильно уменьшается (более чем в 10 раз). Этот факт был замечен и при взрывах на Тохмаханличском карьере гипса [8].

При третьем взрыве значения приведенных сейсмических ускорений, полученные с показаний сейсмо-

метров № 8, по сравнению со значениями сейсмометра № 7 оказались меньше, что не соответствует известной закономерности уменьшения сейсмического эффекта с увеличением расстояния. Это можно объяснить тем, что сейсмометр № 8 был установлен примерно вдоль линии расположения шурфов.

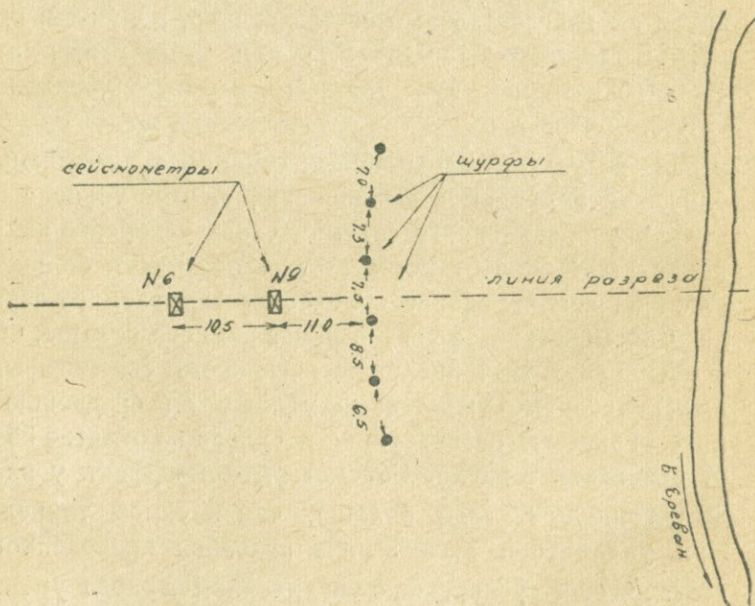
Приведем также сравнение величин скоростей, полученных при указанных трех взрывах, для горизонтальной и вертикальной составляющих колебаний. В тоннеле скорости колебаний на пемзе получились несравненно больше, чем на обсидианах: при первом взрыве— $5,37/0,37=14,9$ и $7,08/1,02=7,0$; при втором взрыве— $3,08/0,92=3,4$ и $2,50/0,90=2,8$; при третьем взрыве— $3,40/0,88=2,7$ и $3,88/0,64=6,1$ соответственно для горизонтальной и вертикальной составляющих колебаний. Скорости колебаний на поверхности склона и в тоннеле получились существенно отличными. Сравнивая их горизонтальные составляющие, получаем: при первом взрыве— $2,12/0,37=5,7$; при втором взрыве— $13,42/0,92=14,6$; при третьем взрыве— $9,60/0,88=10,9$.

В результате проведенных сейсмометрических наблюдений приходим к заключению, что в тоннеле на величину приведенного сейсмического ускорения изменение расстояния от места взрыва оказывает большее влияние, чем изменение количества взрываемого заряда. Сейсмический эффект в пемзе намного больше, чем в обсидианах. В тоннеле интенсивность сейсмозрывных колебаний существенно меньше по сравнению с интенсивностью на поверхности склона на отметке 35 м от основания тоннеля. Сейсмозрывной эффект у входа в тоннель гораздо больше, чем в самом тоннеле. При увеличении веса заряда значения приведенного сейсмического ускорения с увеличением периода уменьшаются намного резче.

§ 18. Массовые взрывы на карьерах и трассах дорог

В двух предыдущих параграфах были рассмотрены два объекта, где производились сейсмометрические наблюдения с целью обеспечения их сохранности путем установления предельных величин зарядов. Здесь мы приводим данные сейсмометрических наблюдений, которые были проведены в различных районах Армении для получения величин приведенных сейсмических ускорений, мер интенсивностей, а также скоростей колебаний частиц грунта (табл. 25), необходимых для изучения поведения сооружений при действии на них сейсмозрывных колебаний [8].

Взрыв в Маралике. Взрыв в Маралике произведен на косогоре, в светло-серых дацитовых породах с целью получения щебня и песка.



Фиг. 40.

Результаты сейсмометрических наблюдений

Таблица 25

Участок и дата взрыва	Грунты	Кол-во взрывчат-ки в кг	Расстояние от места взрыва в м	№ № сейсмометров	Приведенные сейсмические ускорения в долях g						
					горизонтальная составляющая				вертикальная составляющая		
					0,05	0,10	0,20	0,40	0,05	0,10	0,20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Маралик 30. VIII. 1955 г.	Светло-серые дациты	1720	11 21,5	9 6	16,371 11,513	7,542 10,242	3,864 3,432	0,900 0,666	6,594 3,752	5,940 5,354	— —
Дтмашен 6. X. 1955 г.	Ошлакованные андезит-базальты	23800	197 127 75	7 8 9	1,142 2,595 7,768	0,726 1,548 4,584	0,975 0,782 3,080	0,286 0,203 0,683	0,671 1,768 2,983	0,548 0,792 3,023	0,173 0,743 1,403
Дтмашен 1. XI. 1955 г.	глыбового характера	13540	197 127 130	9 7 8	0,803 4,152 1,488	0,737 1,403 0,421	0,497 0,944 0,264	0,136 0,192 0,061	0,654 6,530 1,020	— 0,440 —	0,365 — 0,131
Двин 25. XI. 1955 г.	Конгломераты, песчаники и мергеля	2160	85 56	6 8	3,542 10,864	1,045 3,956	0,404 1,199	0,054 0,353	1,494 6,358	0,525 2,902	0,268 0,672
Двин 4. XII. 1955 г.		17000	108 171	6 8	1,378 0,346	1,318 0,294	0,565 0,315	0,123 0,073	0,697 0,136	0,434 0,220	0,212 0,094
Талиш 1. III. 1956 г.	Фиолетовая туфовая лава	26720	185	9	1,798	1,877	1,612	0,400	0,785	0,694	0,515
			230*	7	0,934	0,516	0,351	0,120	0,494	0,515	0,653
			185	11	2,222	1,616	1,295	0,361	0,372	0,314	0,388
			185	3	2,441	1,572	1,282	0,365	0,628	0,214	0,267
			279*	8	0,138	0,206	0,230	0,096	0,204	0,026	0,056
			199	12	0,816	0,408	0,298	0,070	0,316	0,339	0,386
			217*	13	0,720	0,710	0,340	0,089	0,340	0,431	0,477

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Талиш 21.III. 1956 г.	Фиолетовая туфовая лава	13500	185	3	1,298	1,144	0,497	0,102	0,387	0,251	0,212
			150	7	2,906	2,836	1,527	0,275	2,471	1,112	0,420
			230	8	2,318	1,050	0,803	0,163	0,340	0,273	0,426
			185	11	0,143	0,279	0,387	0,110	0,109	0,095	0,165
			230	12	3,360	2,122	0,454	0,084	0,768	0,490	0,121
			190	13	3,432	2,490	0,968	0,163	1,812	0,286	—
Тохмахангельский карьер	Гипсоносно- соленосная толща	124	35	11	7,409	2,168	0,453	0,093	2,716	0,599	0,188
			50	10	4,440	1,604	0,276	—	0,512	—	—
			20	9	2,825	1,634	0,331	0,044	4,113	1,699	0,195
			60	5	2,566	1,074	0,179	0,035	1,901	1,002	—
			40	8	2,145	1,041	0,582	—	7,072	2,068	0,544
			40	3	1,885	3,302	0,479	0,072	4,963	0,763	0,234
			40	4	1,866	0,525	0,103	—	0,650	0,507	—
			80	7	1,799	0,836	0,152	—	1,200	0,407	0,089
			45	12	1,056	0,564	0,163	—	1,492	0,901	0,224

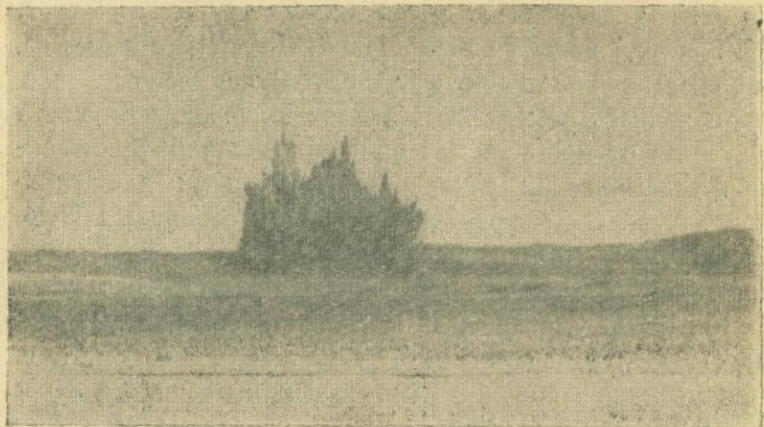
* Расстояние указано вдоль линии шурфов, считая от среднего шурфа, в отличие от остальных, отсчитываемых перпендикулярно к линии шурфов.

На участке были установлены два сейсмометра, № 9 и 6, на расстоянии 11 и 21,5 м от места взрыва, на возвышенности (см. фиг. 40). Существенным при этом явилась возможность замера в непосредственной близости от места взрыва больших величин приведенных сейсмических ускорений, полученных для горизонтальной составляющей с периодом свободных колебаний $T=0,05$ сек. С увеличением периода свободных колебаний величина приведенного сейсмического ускорения резко уменьшалась, а именно: для $T=0,05$ сек. $\tau=(12-16)$ г, а для $T=0,4$ сек. $\tau=(0,6-0,8)$ г, т. е. при увеличении периода свободных колебаний в 8 раз (от 0,05 до 0,4 сек.) приведенное ускорение уменьшалось в 20 раз.

Таким образом, характер зависимости приведенного сейсмического ускорения от периода свободных колебаний получился таким же, что и при взрывах на ГЭС [6].

Для сейсмометра № 6 при $T=0,1$ сек. получился значительный рост величины горизонтальной составляющей приведенного сейсмического ускорения по сравнению с сейсмометром № 9, что, по-видимому, можно объяснить расположением первого сейсмометра наверху склона. Что касается вертикальной составляющей сейсмометра № 6, то она, в отличие от обычно наблюдаемой закономерности, возростала с увеличением периода свободных колебаний.

Взрывы в Дтмашене. Взрывы в этом районе производились в связи с проведением железнодорожной линии Ереван—Севан. Для выяснения геологического строения местности были пройдены шурфы глубиной 6 м. Они показали, что участки, где произведены взрывные работы, в основном представлены ошлакованными андезито-базальтовыми породами глыбового характера. Приводим данные по двум взрывам. Фото-



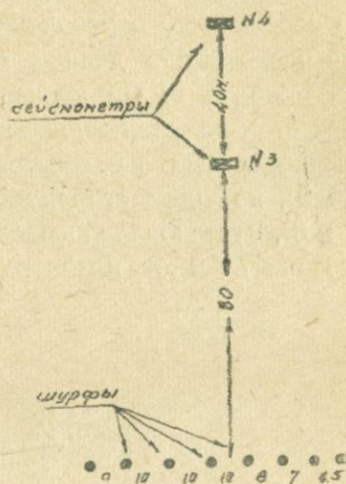
Фиг. 41.



Ф и г. 42.

графии начала и конца второго взрыва приведены на фиг. 41 и 42.

Первый взрыв произведен на косогоре с углом откоса в среднем 35° . Для производства замеров были установлены три сейсмометра (№ № 9, 8 и 7) на расстоянии 75, 127 и 197 м перпендикулярно к линии шурфов, считая от среднего, на относительно равнинном участке (см. фиг. 43). Интересным здесь является полученная для горизонтальных маятников с периодами свободных колебаний $T=0,05$ и $0,1$ сек. квадратичная зависимость приведенного сейсмического ускорения от расстояния от места взрыва (табл. 26).



Фиг. 43.

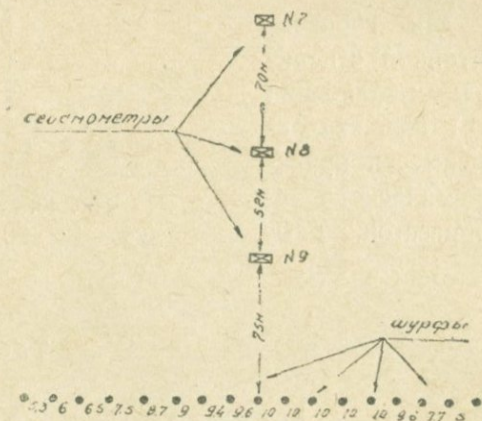
Таблица 26

№ № сейсм.	Расстояние от места взрыва в м	Величина приведенного сейсмич. ускорения в долях g	
		при $T=0,05$ сек.	при $T=0,1$ сек.
9	75	7,768	4,584
8	127	2,595	1,548
7	197	1,142	0,726

Для остальных периодов свободных колебаний такой закономерности не наблюдалось. Из таблицы 26 можно усмотреть и другое интересное соотношение, а

именно: с увеличением периода свободных колебаний в два раза для всех трех сейсмометров, расположенных на различном расстоянии от места взрыва, которое меняется почти в три раза, величина приведенного сейсмического ускорения уменьшалась в одно и то же число раз, в данном случае примерно в 1,7 раза.

Второй взрыв произведен на равнинном участке. При этом получены показания трех сейсмометров: двух, установленных на расстоянии 127 м (№ 7) и 197 м (№ 9), по одну сторону от линии шурфов, и одного (№ 8), установленного вдоль линии шурфов на расстоянии 75 м от крайнего шурфа или 130 м от сред-



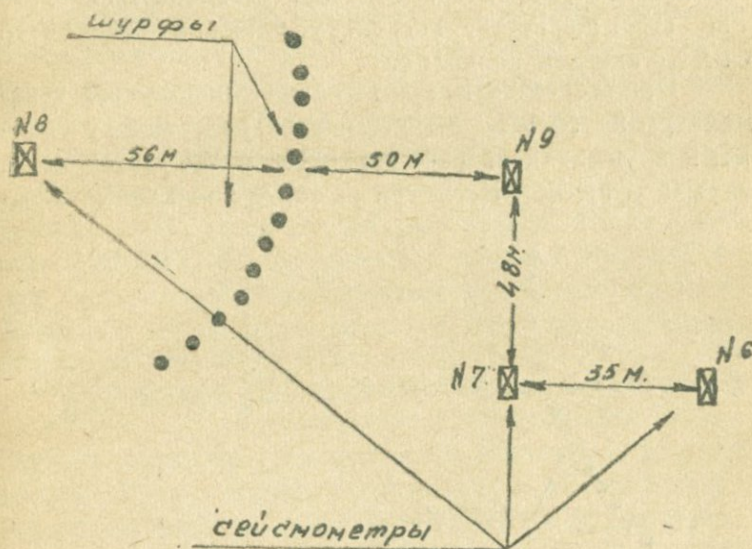
Фиг. 44.

него шурфа (см. фиг. 44). Из показаний сейсмометров № 7 и 9 можно заметить, что с увеличением расстояния от места взрыва примерно в 1,5 раза произошло уменьшение величины приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ сек. в 5 раз, а для $T=0,4$ сек. в 1,5 раза. В этом случае отмеченной при предыдущем взрыве закономерности не получилось. Если сравнить показания сейсмометров № 7 и 8, установленных при-

мерно на одинаковом расстоянии (первый перпендикулярно, а второй—вдоль линии шурфов), то можно заметить, что сейсмический эффект в направлении, перпендикулярном к линии шурфов, оказался примерно в три раза больше, чем вдоль шурфов.

Взрывы в Двине. На этом участке произведены два взрыва в конгломератах, песчаниках и мергелях.

При первом взрыве показания получены только по двум сейсмометрам, установленным на возвышенности и на равнинном участке, на расстоянии 56 и 85 м (сейсмометры № 8 и 6) (см. фиг. 45). Величина

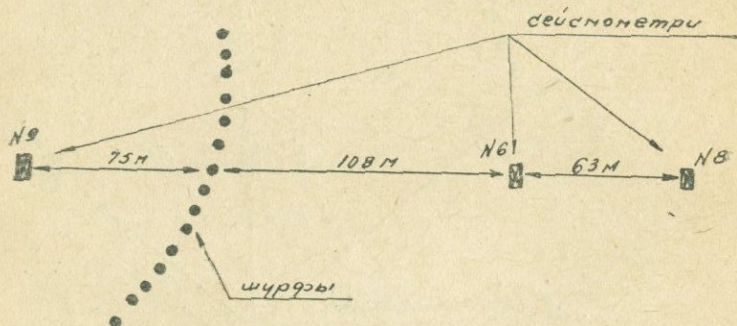


Фиг. 45.

приведенного сейсмического ускорения, несмотря на относительно небольшое количество взрывчатки, оказалась очень большой (до 11g). Тем самым подтверждаются полученные нами в прошлом результаты по ГЭС, где на мергелях ускорения получались примерно в три раза больше, чем на липаритах. При увели-

чении периода свободных колебаний горизонтальной составляющей от 0,05 до 0,4 сек. величина приведенного сейсмического ускорения на равнине уменьшалась в 66 раз (3,542 и 0,054g), а на возвышенности в 31 раз (10,864 и 0,353 g); для вертикальной составляющей уменьшение получилось на равнине в 5 раз (1,494 и 0,268 g), а на возвышенности в 10 раз (6,358 и 0,672 g), т. е. имело место обратное соотношение. Происходило сильное уменьшение величины приведенного сейсмического ускорения от расстояния, а именно: с увеличением расстояния в 1,5 раза ускорение уменьшалось в 3 и более раз. Здесь, конечно, сказывается и влияние возвышенности, поскольку ближний сейсмометр был установлен на холме.

При втором взрыве показания были получены сейсмометрами № 6 и 8, установленными между холмами в ущельях на расстоянии 108 и 171 м от места взрыва (фиг. 46). Несмотря на то, что при этом взры-



Фиг. 46.

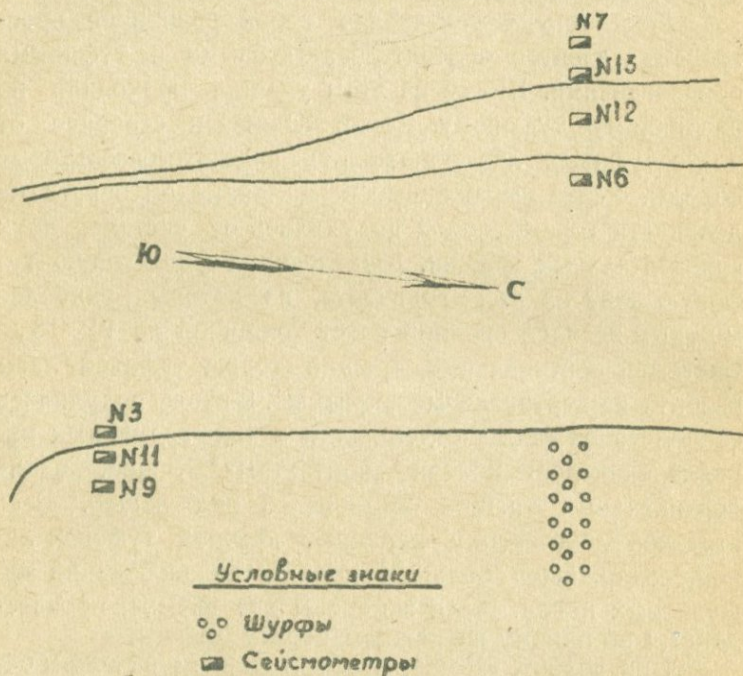
ве было заложено взрывчатки в 8 раз больше, чем в предыдущем, однако приведенные сейсмические ускорения получились намного меньшей величины. Видимо, тут сказалось расположение сейсмометров в ущельях. С увеличением расстояния от места взрыва в 1,6 раза произошло уменьшение приведенного сейсмического

ускорения для $T=0,05$ и $0,1$ сек. примерно в 3 раза, а для $T=0,2$ и $0,4$ сек. — всего в 1,5 раза.

Взрывы в Талише. Взрывы были произведены на трассе шоссейной дороги Аштарак—Ленинакан, у Шамирамского оврага, недалеко от с. Талиш.

Местность представляла собой равнинное пространство, занятое андезито-базальтовыми и туфовыми образованиями. Шоссе на этом участке проходило по равнинному туфовому плато. Южнее и севернее от плато туфовых лав обнажались андезито-базальтовые породы. Резко выраженные в Шамирамском овраге отдельности горных пород получились от системы двух горизонтальных трещин, разделяющих фиолетовую туфовую лаву на три горизонта, из которых наиболее мощным являлся средний пласт толщиной до 10—16 м. Системой вертикальных трещин толща туфовой лавы разбита на вертикальные „призмы“. В итоге получилась своеобразная форма отдельности в виде громадных параллелепипедов. Вблизи „контактных“ линий, вдоль вертикальных трещин образовался ряд пещер. Весь этот комплекс сверху перекрыт красной туфовой лавой, содержащей большое количество включений эффузивных пород. Были замерены два взрыва, произведенных по одному на каждом берегу оврага.

При первом взрыве, осуществленном на левом берегу оврага, было установлено 8 сейсмометров в различных грунтовых условиях и на различных расстояниях от места взрыва. Сейсмометры № 11 и 9 установлены были на левом берегу оврага на расстоянии 185 м от линии шурфов для регистрации колебаний блочных пород у обрыва и выветренного скального массива равнины. На дне оврага у левого берега на том же расстоянии от шурфов был помещен сейсмометр № 3 для определения сейсмозффекта на дне оврага, на глубине 11 м от поверхности. Все три сейсмометра находились на скальных породах. На правом покатом берегу оврага с углом наклона порядка 20°



Фиг. 47.

были размещены остальные 5 сейсмометров: сейсмометр № 6 на дне оврага у пересечения откоса с поймой на глинистых пластичных грунтах, содержащих валуны, на расстоянии 124 м от крайнего шурфа; сейсмометр № 12 на склоне на расстоянии 25 м от сейсмометра № 6, на скале; сейсмометр № 13 на расстоянии 18 м от сейсмометра № 12, на скале, у верха склона; сейсмометры № 7 и 8 на том же берегу оврага на расстоянии 13 и 49 м от сейсмометра № 13, соответственно на скале и на глинистом пролювии с обломками. Установка правобережных сейсмометров

имела целью определить величину сейсмовзрывного эффекта при прохождении волн через толщу дна оврага, что по характеру ближе подходит к распространению сейсмических волн при землетрясении.

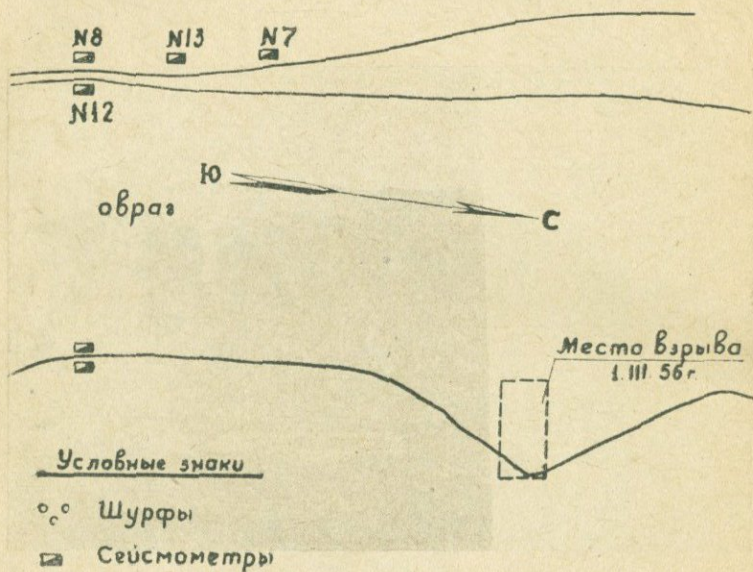


Фиг. 48.

Схематический план местности с расположением шурфов и сейсмометров показан на фиг. 47. На фиг. 48 приведена фотография левого берега оврага.

При втором взрыве, осуществленном на правом берегу оврага, было установлено 6 сейсмометров: сейсмометры № 3 и 11 на левом берегу на скале и в тех же местах, что и при первом взрыве; сейсмометры № 7, 13 и 8 на правом берегу оврага в 5 м от обрыва, на расстоянии 150, 190 и 230 м (все они были установлены на скале); сейсмометр № 12 на дне оврага у правого берега на глинистом пролювии с обломками. Схематический план участка с расположением сейсмометров и шурфов показан на фиг. 49.

Отопавшая вода...
 Масштаб 1:2000



Фиг. 49.

В результате сейсмометрических наблюдений, произведенных при обоих взрывах, вычислены величины приведенных сейсмических ускорений. Проанализируем полученные данные. Интересно определить сейсмический эффект в зависимости от обрыва по сейсмометрам № 3 и 11, установленных на скале, на левом берегу, на дне оврага и на обрыве высотой 11 м при обоих взрывах, а именно: при первом взрыве, который был произведен на том же берегу, где были установлены сейсмометры, т. е. при сейсмических волнах, непосредственно приходящих к этим сейсмометрам через толщу массива (при этом шурфы имели глубину 7—9 м), и при втором взрыве, сейсмические волны которого приходили с другого берега, фактически про-

ходя по широкому оврагу через толщу породы дна оврага (шурфы на глубине 3—6 м). При первом взрыве сейсмический эффект от горизонтальных колебаний на дне оврага и на обрыве получился примерно одинаковый, а именно: для $T=0,5$ сек.—2,44 и 2,22 g, а для остальных периодов (0,1; 0,2 и 0,4 сек.) соответственно 1,57 и 1,62 g; 1,28 и 1,3 g; 0,37 и 0,36 g. Что касается вертикальной составляющей, то для $T=0,05$ сек. сейсмический эффект оказался большим на дне оврага (0,64 и 0,37 g), а для периодов 0,1 и 0,2 сек.—на обрыве (0,31 и 0,21 g; 0,39 и 0,27g). Отсюда можно прийти к выводу, что при сейсмовзрывных волнах, направленных вдоль оврага, поведение сооружений на горизонтальную сейсмическую силу как очень жестких, так и сравнительно гибких, на обрыве и на дне оврага будет практически одинаковым; на вертикальную силу сооружения очень жесткие будут вести себя лучше на обрыве ($T=0,05$ сек.), а сооружения менее жесткие ($T=0,1$ и 0,2 сек.)—на дне оврага.

При втором взрыве сейсмический эффект для $T=0,05$ и 0,1 сек. на дне оврага получился намного больше, чем на обрыве, а именно: 1,3 и 0,14 g; 1,44 и 0,28 g от горизонтальных колебаний и соответственно 0,39 и 0,11 g; 0,25 и 0,1 g от вертикальных колебаний. При увеличении периодов свободных колебаний сейсмический эффект как на дне оврага, так и на обрыве становился почти одинаковым (горизонтальная составляющая для $T=0,2$ сек. 0,5 g в овраге и 0,39g на обрыве; для $T=0,4$ сек. соответственно 0,1 и 0,11g; вертикальная составляющая для $T=0,2$ сек. в овраге 0,21g, а на обрыве 0,17g). Такое же соотношение получилось и по показаниям сейсмометров: № 12, расположенного на дне оврага на глинистом пролювии с обломками, и № 8, установленного на обрыве на скале (при менее отвесном обрыве, примерно 60°) при этом же взрыве.

Вопрос этот может быть освещен и по показаниям сейсмометров, установленных на правом берегу оврага: № 12 на склоне и № 13 на обрыве, оба на скале, при первом взрыве. При этом наблюдалось следующее соотношение: при горизонтальных колебаниях для $T=0,05$ и $0,1$ сек. приведенные сейсмические ускорения получились примерно одинаковыми (3,36 и 3,43 g; 2,12 и 2,49 g), а для $T=0,2$ и $0,4$ сек. на обрыве существенно больше (0,45 и 0,97 g; 0,08 и 0,16 g); при вертикальных колебаниях для $T=0,05$ сек. большие ускорения на обрыве (0,77 и 0,81g); для $T=0,2$ сек. (0,49 и 0,27 g).

Интересно сравнить показания сейсмометров № 11 и 9 при первом взрыве, установленных на левом берегу оврага перпендикулярно к линии шурфов соответственно на трещиноватых породах у обрыва и на выветренном скальном массиве равнины, а также по сейсмометрам № 13 и 7, установленным вдоль линии шурфов на правом берегу оврага, на скальном основании, на обрыве наверху склона и на равнине. Расстояние между этими двумя группами сейсмометров было примерно одинаковое (10—12 м). По показаниям сейсмометров № 11 и 9, для $T=0,05$ сек. горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения на обрыве получилась больше, чем на равнине (2,22 и 1,8 g), для остальных периодов колебаний на равнине несколько выше, чем на обрыве, а вертикальная составляющая существенно больше. Для сейсмометров № 13 и 7—примерно то же, но с той лишь разницей, что максимальное приведенное сейсмическое ускорение на обрыве получилось для горизонтальной составляющей с периодом $0,1$ сек., а не $0,05$ сек., как при сейсмометрах № 11 и 9.

Сравнивая соответственно показания сейсмометров № 11 и 13, а также № 9 и 7, замечаем, что наличие оврага по пути сеймовзрывных волн сильно

сказывается на величину горизонтальной составляющей приведенного сейсмического ускорения, уменьшая ее в 2—4 раза, и почти не влияет на вертикальную составляющую.

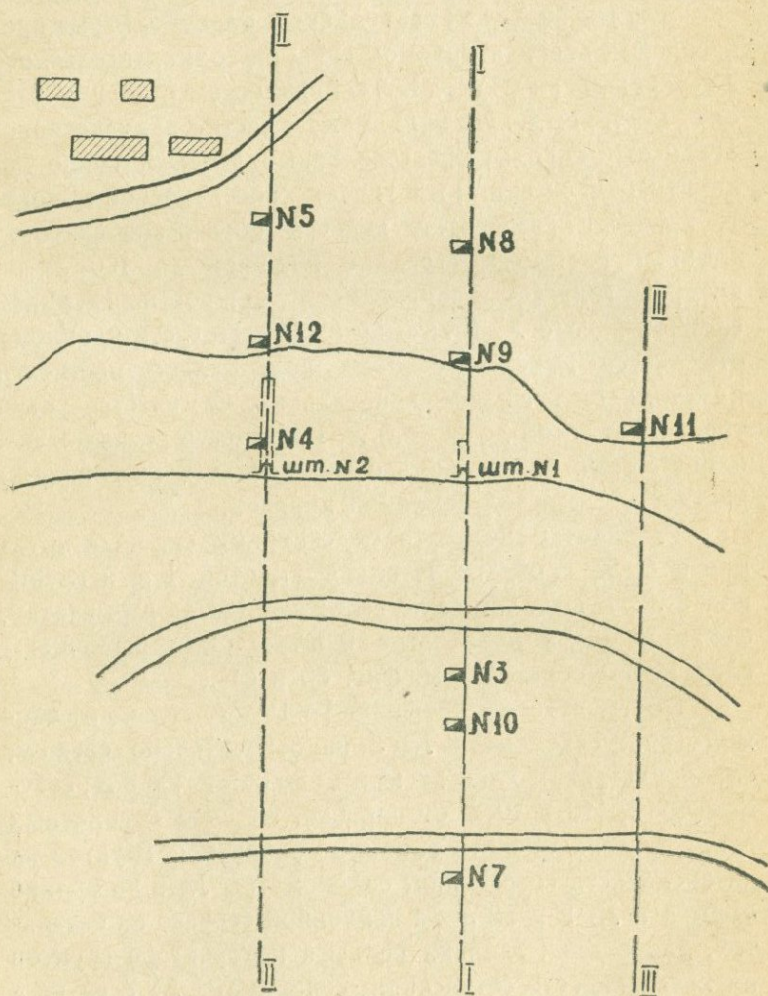
Взрыв на Тохмахангельском карьере. Взрыв произведен на эксплуатируемом карьере Тохмахангельского месторождения гипса. В геологическом строении района месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные породы, представленные соответственно доломитовыми базальтами и гипсонососоленосной толщей. В процессе разработки карьера образована слабонаклонная площадка в склоне шириной до 100 м, на которой залегает неодинаковой мощности насыпной слой от 2 до 3 м. В выемке в средней части площадки отмечается выход грунтовых вод. Рельеф местности имеет уклон в южном направлении. Отмечается уступ террасы высотой до 30—40 м. На террасе расположены одноэтажные жилые дома с кладкой стен на глиняном растворе, с толстой земляной кровлей.

Разработке подвергался северный склон, в котором и была пройдена штольня высотой 1 м и глубиной 6 м. В штольне было заложено 124 кг взрывчатки. Сейсмометры в количестве 9 штук были размещены следующим образом (см. фиг. 50 и 51).

По грунтовому профилю 1—1 установлено 5 сейсмометров: сейсмометр № 3 на относительно свежем, слабо укатанном слое насыпи мощностью 2—3 м; сейсмометр № 10 в 10 м от первого, на слое водоносных глин, призван оценить влияние обводнения грунтов на интенсивность сотрясения; сейсмометры № 9 на бровке обрыва и № 8 в 22 м на наклонной террасе на базальтах, для оценки влияния рельефа и характера грунтов на интенсивность сотрясения; сейсмометр № 7 на расстоянии порядка 80 м от места взрыва, для определения радиуса действия взрыва.

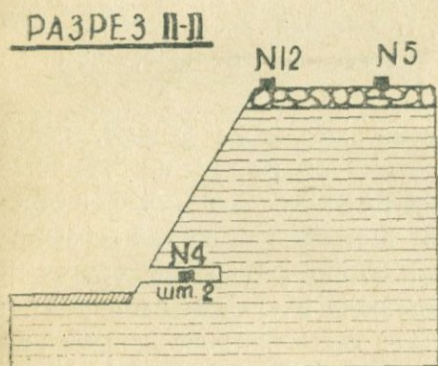
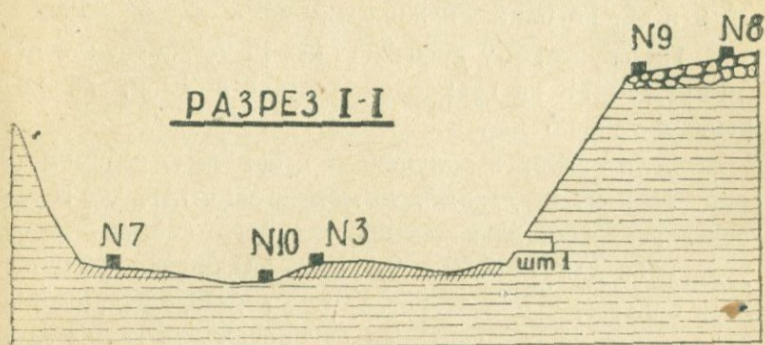
По грунтовому профилю II—II размещены 3 сейс-

Масштаб 1:1000



Фиг. 50.

Масштаб 1:1000



Условные обозначения

-  Насыпь глинистая рыхлая
-  Глыбы базальта с глинистым заполнением
-  Глины серые, коренные
-  Сейсмометры

мометра: сейсмометр № 4 в штольне для оценки сейсмического эффекта в глубинных слоях коренных глин; сейсмометры № 12 и 5 аналогично сейсмометрам № 9 и 8, но ближе к жилым домам.

По грунтовому профилю III—III установлен сейсмометр № 11 на невысокой террасе в 10 м, на коренных глинах.

Если сравнить полученные с помощью сейсмометров № 9 и 8 данные, то можно заметить, что горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ и $0,1$ сек. на бровке получилась больше, чем на террасе, а для $T=0,2$ сек., наоборот, на террасе больше, чем на бровке; для $T=0,4$ сек. полных данных не имеется. Что касается вертикальной составляющей, то она для всех периодов получилась на террасе значительно больше, чем на бровке.

Для сравнения рассмотрим также данные, полученные с помощью сейсмометров № 12 и 5, установленных в тех же грунтовых условиях, что и сейсмометры № 9 и 8, но в стороне от них, на расстоянии 40 м от места взрыва, опять-таки на бровке и на террасе, но уже наклонной. Результаты замеров показали, что горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ и $0,1$ сек. на террасе примерно в два раза больше, чем на бровке, а для $T=0,2$ сек. они почти одинаковы.

Горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для всех периодов сейсмометра № 11 получилась намного больше по сравнению с данными сейсмометров № 9 и 12; вертикальная составляющая, если сравнить с показаниями сейсмометра № 12, выше для $T=0,05$ сек. и ниже для $T=0,1$ и $0,2$ сек., что можно объяснить характером грунтов и рельефом.

Если сравнить показания сейсмометра № 4, установленного в штольне, с данными сейсмометра № 5, замечаем, что горизонтальная и вертикальная составляющие для всех периодов намного меньше. Иначе говоря, сейсмический эффект увеличивается на поверхности.

Сравнивая показания сейсмометров № 3 и 10, помещенных соответственно на насыпи и на водоносных глинах, замечаем, что горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ сек. в водоносных глинах примерно в два раза больше, чем на насыпи, а для $T=0,1$ и $0,20$ сек., наоборот, на насыпи намного больше, чем в водоносных глинах; вертикальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ сек. в водоносных глинах примерно в два раза меньше, чем на насыпи. Отсюда можно заключить, что сейсмический эффект в водоносных грунтах возрастает не для всех периодов колебаний, в некоторых случаях он даже уменьшается. В дальнейшем последнее необходимо проверить.

По той же линии, на расстоянии 40 м от сейсмометра № 3 (находящегося в 40 м от места взрыва), был установлен сейсмометр № 7. Если сравнить их показания, то можно заметить, что горизонтальные составляющие приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ сек. почти одинаковы, а для остальных периодов колебаний как горизонтальная, так и вертикальная составляющие уменьшаются в 2—4 раза при увеличении в два раза расстояния от места взрыва.

Сравнивая показания сейсмометров № 3 и 8, расположенных на одинаковом расстоянии от места взрыва, но на различных высотах и на различных грунтах, соответственно на насыпи и на базальтах, можно видеть, что горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ и $0,2$ сек. больше на высоте, а для $T=0,1$ сек. больше внизу. Что касается вертикальной составляющей, то она на-

много больше на высоте, а это вполне естественно, ибо взрыв произведен в породе, на которой установлен сейсмометр № 8.

§ 19. Обобщение результатов и выводы

Проведенное нами исследование взрывов первоначально было вызвано необходимостью помочь производственным организациям безопасно осуществлять взрывы поблизости от сооружений. В дальнейшем эти работы проводились как с точки зрения лимитирования зарядов при взрывах, так и в основной массе для получения данных, необходимых при изучении действия сейсмовзрывных волн на сооружения. Для этой цели были использованы многомаятниковые сейсмометры, конструкция которых, параллельно с проведением работ по исследованию взрывов, усовершенствовалась в процессе их применения.

Полученные при указанных взрывах данные приведены ниже в виде некоторых обобщений и выводов.

Многомаятниковые сейсмометры вполне оправдывают себя в работе. Ими возможно получить необходимый фактический материал, обработка которого не представляет трудностей для грубой оценки поведения сооружений при сейсмических колебаниях.

Спектральные кривые зависимости приведенного сейсмического ускорения от периода свободных колебаний, полученные с помощью многомаятниковых сейсмометров, впервые были построены нами в 1954 г. при изучении сейсмовзрывных колебаний на участке ГЭС. В дальнейшем такие кривые (более 100) были получены при более чем 30 взрывах.

На основании величин приведенных сейсмических ускорений устанавливалась предельная величина заряда, обеспечивающая безопасность сооружений при произ-

водстве взрывов в непосредственной от них близости.

Кривые приведенных сейсмических ускорений, полученные для различных геологических условий, расстояний от места взрыва и количеств заряда имеют примерно одинаковый гиперболический характер. В некоторых случаях с возрастанием периодов свободных колебаний ($T=0,05-0,4$ сек.) наблюдается более резкое ослабление сейсмического эффекта, например в Маралике почти в 20 раз, при этом максимальное значение приведенного сейсмического ускорения достигло 16 g, а в Двине 30—60 раз ($\tau=11g$).

Величина приведенного сейсмического ускорения сильно уменьшается с увеличением расстояния от места взрыва. Однако общей закономерности не установлено. Можно говорить лишь об отдельных взрывах. Так, например, при II взрыве в Дтмашене для $T=0,05$ и 0,1 сек. получилась квадратичная зависимость приведенного сейсмического ускорения от расстояния, при других взрывах—кубическая и даже выше, а иногда и наоборот, приближающаяся к линейной. При взрыве в Дтмашене отношение величин приведенных сейсмических ускорений для $T=0,05$ и 0,1 сек. было постоянным для различных расстояний, меняющихся почти в 3 раза.

Сейсмический эффект в мергелях (ГЭС, Двин) увеличивается примерно в 3 раза по сравнению с другими скальными породами, как липариты, дациты и андезиты-базальты (ГЭС; Маралик и Дтмашен).

При сейсмовзрывных волнах, направленных вдоль оврага, величины горизонтальной составляющей сейсмического ускорения на обрыве и на дне оврага для периодов колебаний в пределах $T=0,05-0,4$ сек. получились почти одинаковыми; вертикальная составляющая для $T=0,05$ сек. оказалась меньше на обрыве, а для $T=0,1$ и 0,2 сек.—меньше на дне оврага.

При прохождении сейсмовзрывных волн через

толщ дна оврага (перпендикулярно простиранию оврага), что по характеру ближе подходит к прохождению волн при землетрясении, размеры как горизонтальной, так и вертикальной составляющих приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ и $0,1$ сек. на обрыве оказались намного меньше, чем на дне оврага. При увеличении периодов свободных колебаний величина приведенного сейсмического ускорения стремится к тому, чтобы стать одинаковой на обрыве и на дне оврага, если обрыв отвесный, и, наоборот, больше на обрыве, если он относительно пологий.

Горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ сек. на равнинном участке меньше, чем на обрыве. Для остальных периодов свободных колебаний горизонтальная составляющая приведенных сейсмических ускорений на равнине несколько больше, чем на обрыве, а вертикальная составляющая — существенно больше.

Наличие оврага на пути распространения сеймовзрывных волн сильно уменьшает горизонтальную составляющую приведенного сейсмического ускорения (2—4 раза) и несравненно мало сказывается на вертикальной составляющей, почти не меняя ее величины.

При взрывании в штольне (на глубине 30 м от поверхности) как горизонтальная, так и вертикальная составляющие приведенного сейсмического ускорения на отметке штольни в 2 раза меньше, чем на поверхности, а это говорит о том, что сеймовзрывной эффект существенно увеличивается на поверхности.

Приведенное сейсмическое ускорение для $T=0,05$ сек. в водоносных глинах примерно в 2 раза больше, чем на насыпи; для $T=0,1$ и $0,2$ сек., наоборот, на насыпи намного больше, чем в водоносных глинах. Последнее требует проверки в дальнейшем.

Сеймовзрывной эффект вдоль линии шурфов при

линейном расположении их намного меньше, чем перпендикулярно к линии шурфов (в Дтмашене, например, в 3 раза).

В тоннеле интенсивность сейсмовзрывных колебаний гораздо ниже по сравнению с интенсивностью на поверхности склона на отметке 35 м от основания тоннеля. Сейсмовзрывной эффект у входа в тоннель существенно больше, чем в самом тоннеле; в пемзе — намного больше по сравнению с обсидианами. В тоннеле на величину приведенного сейсмического ускорения уменьшение расстояния от места взрыва оказывает более сильное влияние, чем увеличение количества взрываемого заряда. Такая же закономерность наблюдалась и при взрывах, осуществленных на участке ГЭС, где грунтами являлись липариты.

Приведенное сейсмическое ускорение, получаемое с помощью маятниковых сейсмометров, может быть выражено через скорость колебаний частиц грунта, по величине которой многие исследователи характеризуют напряженное состояние сооружения при действии сейсмовзрывных волн через простое соотношение $\tau_1 = V(2\pi/T_1)$. Таким путем создается возможность установления связи между величинами приведенных сейсмических ускорений τ и значениями скоростей колебаний частиц грунта V , которыми пользуются во взрывном деле.

ГЛАВА V

СПЕКТР ПРИВЕДЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ УСКОРЕНИЙ

В „Нормах и правилах строительства в сейсмических районах“ как у нас в СССР, так и за рубежом в выражение сейсмической нагрузки, действующей на сооружения, входит спектральная функция, определяемая динамикой сейсмической силы и динамическими свойствами сооружений. Эта спектральная функция инструментально может быть получена либо непосредственно с помощью многомаятниковых сейсмометров, либо по записям смещений или ускорений колебаний почвы путем их последующего математического анализа.

В этой главе приводим анализ спектров, полученных нами, а также другими исследователями на основе инструментальной фиксации сильных и разрушительных землетрясений.

§ 20. Выбор спектральной кривой

Расчет зданий и сооружений на сейсмическую нагрузку встречает известные затруднения вследствие отсутствия достоверных сведений о законе действия сейсмических сил [46]. Поэтому не удивительно, что

до настоящего времени в ряде случаев расчет производится по статической теории Омори [58].

Дальнейшее развитие расчета привело к динамической теории сейсмостойкости К. С. Завриева, в которой учитывается совместное действие свободных и вынужденных колебаний, возникающих в зданиях и сооружениях при землетрясении [3].

Новым в теории сейсмостойкости является предложенный А. Г. Назаровым инструментальный метод определения сейсмической нагрузки, заключающийся в представлении зданий и сооружений моделированными по периоду свободных колебаний и декременту затухания с помощью серии маятников, имеющих различные периоды колебаний и декременты затухания, присущие зданиям и сооружениям. По максимальным относительным перемещениям маятников строится спектральная кривая зависимости приведенных сейсмических ускорений от периода свободных колебаний, которая служит основой при производстве расчета зданий и сооружений в этой местности [25, 26].

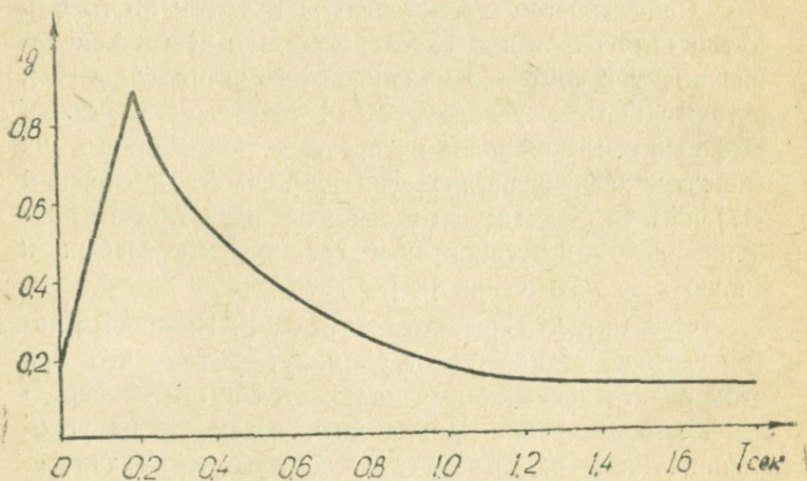
Спектральные кривые получены также М. А. Биопутем интегрирования акселерограмм сильных колебаний почвы с помощью механического интегратора [47], а также Г. В. Хаузнером, Р. Р. Мартелем и Дж. Л. Олфордом с помощью интегратора, основанного на электромеханической аналогии [54], И. Л. Корчинским [17] и С. В. Медведевым в основном в результате приближенного интегрирования сейсмограмм слабых и сильных землетрясений [24].

Отметим, что предложенный А. Г. Назаровым метод выгодно отличается от упомянутых тем, что при этом спектральная кривая получается путем непосредственного измерения приведенных сейсмических ускорений, а не в результате дополнительных механических или электрических преобразований.

Спектральные кривые М. А. Био получил без учета рассеяния энергии (затухания) для ряда сильных землетрясений. Проведя огибающую спектральных кривых, Био получает так называемый „стандартный спектр ускорения“, который на участке $T > 0,2 \text{ сек.}$ выражается гиперболой:

$$A = \frac{0,2g}{T}.$$

Эта величина, по-видимому, сильно преувеличена, она в действительности должна быть меньше из-за затухания колебаний конструкции, взаимодействия между фундаментом здания и основанием и т. д. Что касается участка $0 < T < 0,2 \text{ сек.}$, то здесь Био принимает ускорение, изменяющимся по линейному закону, причем при $T=0$, $A=0,2g$. Принятые им величины ускорений на этом участке не заслуживают доверия, ибо записи, которые анализировались, были получены с помощью акселерографа, имеющего собственный период колебаний $0,1 \text{ сек.}$ Собственно этот отрезок спектра сам Био не считает достоверным.



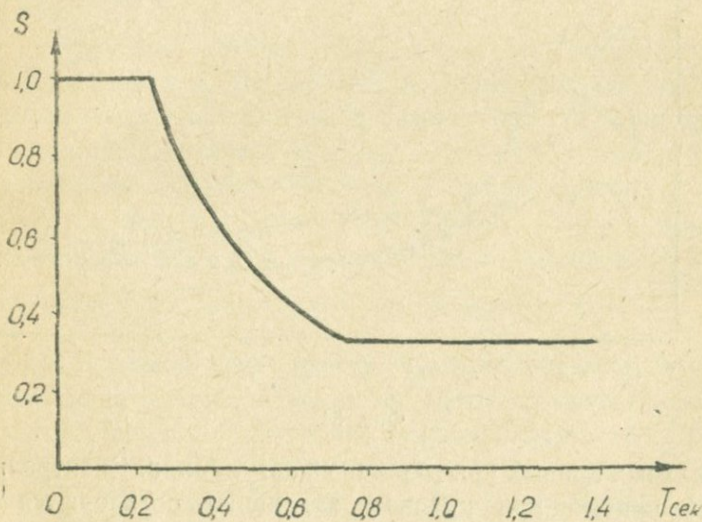
Фиг. 52.

Спектральная кривая, полученная Био, обладает двумя основными недостатками: первое—она построена при условии отсутствия затухания, в то время как здания и сооружения обладают довольно большим коэффициентом затухания, который сильно меняет спектральную кривую; второе—спектральная кривая на участке периодов колебаний $0 < T < 0,2$ сек. не реальна (фиг. 52).

В „Калифорнийских нормах“ спектральная кривая S на участке $0,25 < T < 0,75$ опять-таки в результате анализа незатухающих колебаний представлена в виде гиперболы:

$$S = \frac{0,25}{T},$$

а на участках $0 < T < 0,25$ и $T > 0,75$ сек. приняты постоянные значения S (см. фиг. 53).



Фиг. 53.

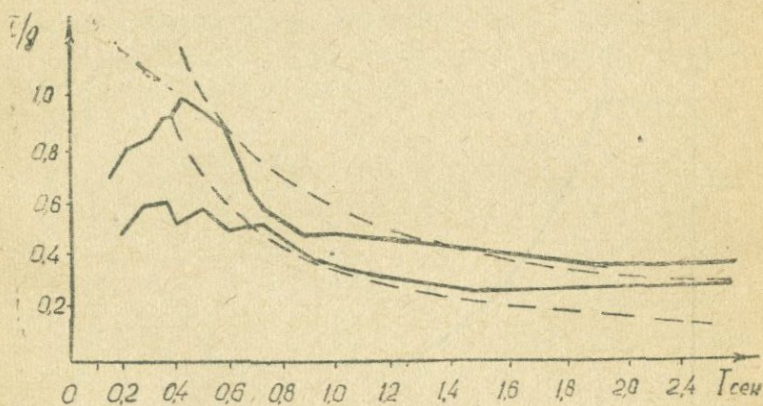
Горизонтальная сила определяется из выражения

$$V = SkW = \frac{0,25}{T} kW,$$

где k —постоянный коэффициент, принимающий следующие значения: $k=0,06$ для обычных зданий и $k=0,10$ для остальных видов сооружений (гибких).

Таким образом, расчетный спектр „Калифорнийских норм“ обладает тем же недостатком—он построен для случая нулевого затухания. Что же касается участков спектральной кривой $0 < T < 0,25$ сек. и $T > 0,75$, то здесь постоянные значения получены не на основании исследований, а просто приняты.

Г. В. Хаузнер, Р. Р. Мартел и Дж. Л. Олфорд в результате интегрирования на основе электромеханической аналогии 28 акселерограмм получили 80 спек-



Фиг. 54.

тральных кривых при различных затуханиях. Спектральные кривые при нулевом затухании согласуются с полученной Био „стандартной кривой“, а при наличии затухания они сильно отличаются. На фиг. 54 приведена наиболее характерная с точки зрения авторов кривая при

150

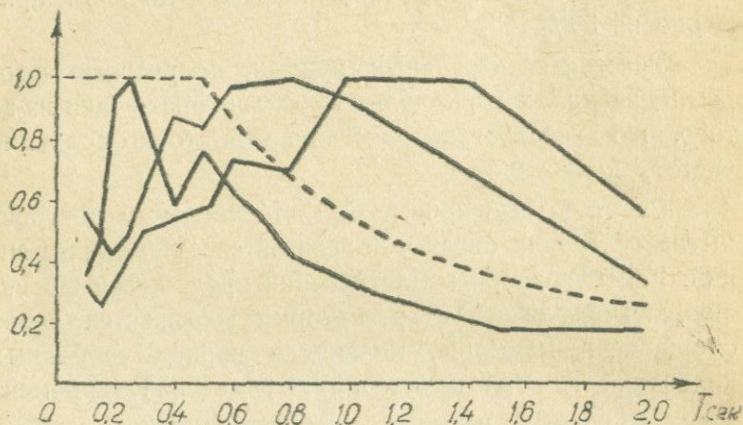
двух различных значениях затухания. Хаузнер находит, что при изменении коэффициента затухания от $n=0,2$ до $n=0,4$ происходит уменьшение интенсивности примерно на 30% [53].

Участки спектральных кривых, полученные авторами для малых периодов, не реальны опять-таки из-за того, что акселерографы имели недостаточно большую частоту колебаний.

Спектральные кривые С. В. Медведевым построены на основании обработки записей сейсмических станций. Колебания при землетрясении представлены в виде „спектра действия“ χ , который выражается через смещение x_0 маятника, имеющего период свободных колебаний $T_0=0,25$ сек. и логарифмический декремент затухания $\lambda=0,5$, и через два коэффициента: $\psi(T)$ —спектральный коэффициент, характеризующий спектральные особенности землетрясения и $\epsilon(\lambda)$ —коэффициент демпфирования.

В данном случае нас интересуют спектральные коэффициенты ψ , полученные автором для 80 землетрясений с силой от 3 до 8 баллов. Им по спектрам смещений вычислены спектры скоростей и ускорений и построены соответствующие средние кривые. Если сравнить среднюю кривую ускорений, которая имеет постоянную величину K_a в интервале периодов $0 < T < 0,5$ сек., а дальше следует по гиперболе $K_a = \frac{0,5}{T}$, с любой кривой, построенной нами по данным автора (три такие кривые в качестве примера приведены на фиг. 55, причем пунктиром показана принятая автором средняя кривая), то увидим, что они слишком далеки от принятой средней кривой. По представленным автором материалам, горизонтальный участок кривой не получается, наоборот, на этом участке кривая спадает как и у Био, при этом максимальные значения

спектральных коэффициентов для отдельных землетрясений получаются при разных периодах.



Фиг. 55.

Из приведенных С. В. Медведевым данных видно, что при увеличении декремента затухания в два раза ($\lambda=0,25-0,50$), что соответствует примерно диапазону изменения их значений для гибких и жестких сооружений, происходит уменьшение коэффициента демпфирования на 30—40% [50].

И. Л. Корчинским на основании анализа сейсмограмм и результатов разрушений, вызванных землетрясениями, предложен метод определения сейсмических сил.

Величины горизонтальных сейсмических сил для i -ой формы колебаний определяются по формуле

$$S_k = k_c \eta_k \beta Q_k,$$

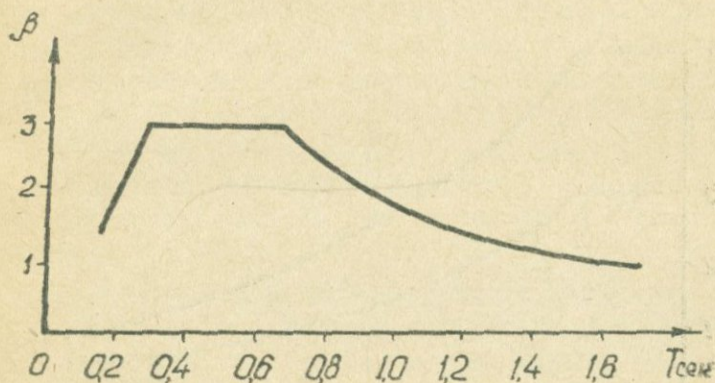
где k_c —сейсмический коэффициент, равный для 7 баллов—1/40, для 8 баллов—1/20 и для 9 баллов—1/10;

η_k —поправка на форму колебаний, зависящая от фундаментальной функции и от положения груза Q_k ;

β —коэффициент динамичности, зависящий от периода свободных колебаний сооружения.

Таким образом, в этой формуле коэффициентом β в некотором отвлеченном масштабе учитывается спектральная кривая. Поэтому мы здесь остановимся только на этом вопросе, а именно на кривой $\beta(T)$.

И. Л. Корчинским представлен график $\beta(p)$, где p —круговая частота свободных колебаний. Если ее привести к $\beta(T)$, то получим кривую, представленную на фиг. 56, откуда видно, что в интервале пе-

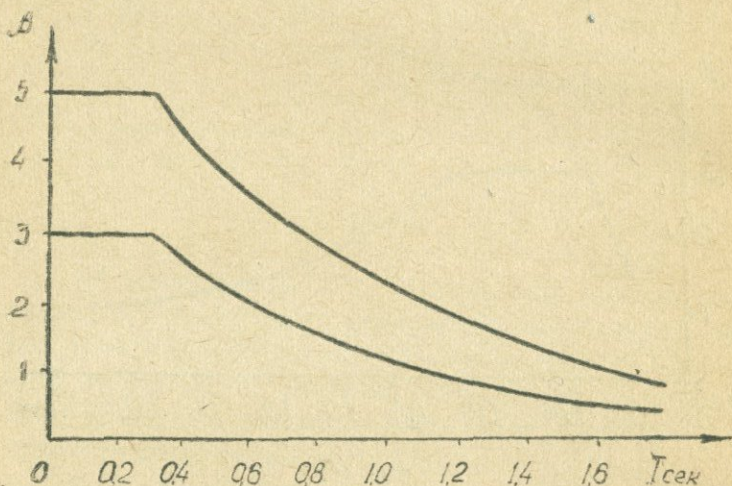


Фиг. 56.

риодов свободных колебаний $0,14 < T < 0,25$ сек. β линейно увеличивается от 1,5 до 3; далее, в интервале периодов $0,25 < T < 0,63$ сек. β имеет постоянное значение, равное 3; для последующих значений периодов меняется по закону гиперболы— $\beta=1,88/T$. Таким образом, для обычных зданий, периоды свободных колебаний которых примерно меняются от 0,2 до 0,6 сек., получается постоянное значение $\beta=3$, что, конечно, сомнительно.

Если сравнить эту кривую с кривой, представлен-

ной автором в „Нормах и правилах строительства в сейсмических районах“ (см. фиг. 57), увидим совершенно другую картину, а именно: в „Нормах“ $\beta = 3$ при $0 < T < 0,3 \text{ сек.}$, а далее изменяется по закону $\beta = 0,9/T$. Для случая гибких сооружений, обладающих малым затуханием, вычерчена другая кривая с таким же прямолинейным участком и с гиперболическим участком $\beta = 1,5/T$. Таким образом, в случае гибкого сооружения β помножается на коэффициент 1,67, что



Фиг. 57.

соответствует „Калифорнийским нормам“, где берется точно такой же коэффициент. Подобное увеличение сейсмической нагрузки для гибких сооружений нам кажется завышенным.

В результате анализа записей большого количества взрывов, а также землетрясений, зарегистрированных в Ереване, Ленинакане, Тбилиси и Душанбе, нами построены спектральные кривые τ (T).

Построив по имеющимся экспериментальным дан-

ным гиперболой $\tau = \frac{K}{T}$, мы определяли значения K для различных взрывов. Колебания в значениях K получились в относительно больших пределах. Для одного и того же участка местности колебание это вообще зависит от количества взрывчатки, расстояния от места взрыва и грунтовых условий. Найти четкую закономерность в изменении K от перечисленных факторов пока не удалось.

В случае землетрясений при большом удалении очага по сравнению с расстояниями между сейсмометрами, расположенными на определенной малой территории, вопрос о зависимости K от расстояния отпадает. Остаются в основном два фактора, от которых зависит величина K : сила землетрясения и грунтовые условия. Безусловно, при этом следует особо исследовать вопрос об уменьшении сейсмического эффекта из-за взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием.

Если проанализировать полученные нами кривые, можно заметить, что они явно приближаются к гиперболе. При этом K меняется в пределах от 0,02 до 0,09, т. е. в 4,5 раза. Учитывая, что максимальное значение приведенного сейсмического ускорения получилось для $T=0,05$ сек. и что оно одновременно является среднеарифметическим из полученных значений, можем принять:

$$\frac{\tau}{\tau_{\max}} = \frac{0,05}{T}.$$

Таким образом, из анализа рассмотренных работ явно следует, что спектральные кривые в первом приближении могут быть представлены законом гиперболы. Однако при этом нечеткими остаются два обстоятельства: первое — постоянство значения спектрального коэф-

фициента β на участке малых периодов колебаний; второе—значение величины коэффициента K в выражении гиперболы.

Участок с постоянным значением β в пределах $0 < T < 0,3$ сек. на сегодня, когда для жестких сооружений характер влияния на величину приведенного сейсмического ускорения ряда факторов пока не выяснен, условно может быть принят. В связи с этим не мешало бы достичь того, чтобы вопрос о нормировании и расчете зданий и сооружений в сейсмических районах ставился бы с общей точки зрения путем установки во всех сейсмических районах земной поверхности идентичной аппаратуры и по возможности принятия близких расчетных схем, конечно, после надлежащего обмена мнениями.

§ 21. Установление величин спектральных коэффициентов

С целью определения максимальных величин β , а также построения кривой $\beta(T)$, нами были проанализированы спектральные кривые землетрясений [11], полученные Г. В. Хаузнером, Р. Р. Мартелем и И. Л. Алфордом для США [54], С. В. Медведевым в основном для СССР, а также для Калифорнии [24], С. А. Шагиняном для Душанбе [44], С. А. Пирузяном для Еревана [33], а также записи, произведенные нами для различных районов Армянской ССР при очень сильных взрывах [8].

Спектральные кривые, представленные Хаузнером, Мартелем и Алфордом, нами были приведены к кривым $\beta(T)$ следующим образом. По величине максимального ускорения, записанного на акселерограмме, определялась интенсивность данного землетрясения в баллах по логарифмическим кривым, приведенным в работе

Гершбергера [51], которые получены им на основании обработки большого количества акселерограмм, а также Гутенбергом и Рихтером. По величине интенсивности определялся сейсмический коэффициент K_c и вычислялись величины динамического коэффициента $\beta(T)$ по формуле:

$$\beta(T) = \frac{\tau(T)}{gK_c}.$$

Таким образом, беря значения τ/g из спектральных кривых Хаузнера, Мартеля и Алфорда и деля их на соответствующие K_c , мы построили спектральные кривые $\beta(T)$ для различных периодов колебаний. Таким путем были построены 28 спектральных кривых при $n=0,2$ и 10 кривых при $n=0,1$ (где они имелись). Кривые эти в настоящей работе мы не помещаем, а приводим лишь таблицу 26 значений коэффициентов β для периодов колебаний 0,3, 0,6, 0,9, 1,2 и 1,5 сек. При этом в таблице даны и некоторые другие величины, характеризующие эти землетрясения.

Полученные С. В. Медведевым спектральные коэффициенты смещений¹ $\psi(T)$, приведенные у него в таблице 5[24], были использованы следующим образом. Поскольку у С. В. Медведева спектральный коэффициент представляет собой отношение смещения χ маятника с периодом колебаний T к смещению x_0 маятника с периодом колебания $T_0=0,25$ сек., при постоянной для всех маятников величине логарифмического декремента затухания $\lambda=0,50$, —

$$\psi(T) = \frac{\chi(T)}{x_0}.$$

Приведенное сейсмическое ускорение $\tau(T)$ равняется:

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

№ № п/п	Дата	Место записи и сос- тавляющая	Эпицент. расст. в км	М	Максим. ускор. по акс. в g	Балл	Т, сек.				
							0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	10. III. 1933 г.	Вернон (N08E)	48	6,25	0,13	7,8	<u>2,4</u> 3,2	<u>3,8</u> 5,1	<u>4,0</u> 5,7	<u>4,0</u> 5,8	<u>2,9</u> 3,6
2	10. III. 1933 г.	Вернон (S82E)	48	6,25	0,19	8,3	4,0	4,4	1,9	1,5	2,4
3	2. X. 1933 г.	Вернон (N08E)	31	5,4	0,09	7,4	4,2	2,7	1,8	1,1	1,0
4	2. X. 1933 г.	Вернон (S82E)	31	5,4	0,12	7,7	3,8	1,9	1,6	1,2	1,1
5	10. III. 1933 г.	Лос-Анжелос (N39E)	55	6,25	0,04	6,3	<u>3,5</u> 4,3	<u>4,2</u> 6,0	<u>4,0</u> 5,7	<u>4,0</u> 5,4	<u>4,0</u> 5,2
6	10. III. 1933 г.	Лос-Анжелос (N51 W)	55	6,25	0,07	7,0	<u>1,5</u> 1,9	<u>2,2</u> 3,4	<u>2,2</u> 2,8	<u>2,4</u> 3,4	<u>2,1</u> 3,0
7	2. X. 1933 г.	Лос-Анжелос (N39E)	37	5,4	0,07	7,0	2,0	2,0	1,5	1,2	0,9
8	2. X. 11933 г.	Лос-Анжелос (N51W)	37	5,4	0,06	6,8	2,4	2,2	2,4	2,1	1,7
9	30. XI. 1934 г.	Эль-Центро (N—S)	61	6,5	0,26	8,7	2,0	3,4	3,2	2,4	2,5
10	30. XII. 1934 г.	Эль-Центро (E—W)	61	6,5	0,20	8,4	4,0	2,8	1,8	1,7	1,5
11	18. V. 1940 г.	Эль-Центро (N—S)	22	6,7	0,33	9,0	5,9	4,9	3,0	2,3	2,2
12	18. V. 1940 г.	Эль-Центро (E—W)	22	6,7	0,23	8,6	3,1	3,7	2,4	2,0	1,9
13	31. X. 1935 г.	Хилена (N—S)	—	6,0	0,14	7,9	<u>2,9</u> 3,6	<u>2,8</u> 3,3	<u>1,2</u> 1,3	<u>0,6</u> 0,7	<u>0,5</u> 0,6
14	31. X. 1935 г.	Хилена (E—W)	—	6,0	0,16	8,1	<u>3,7</u> 5,3	<u>1,8</u> 2,4	<u>1,9</u> 3,0	<u>2,3</u> 3,0	<u>1,7</u> 2,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	11. IX. 1938г.	Ферндаде (N45E)	65	5,5	0,09	7,4	$\frac{3,3}{5,8}$	$\frac{1,7}{2,4}$	$\frac{1,5}{1,6}$	$\frac{1,1}{1,2}$	$\frac{0,9}{1,0}$
16	11. IX. 1938г.	Ферндаде (S45E)	65	5,5	0,16	8,1	$\frac{4,2}{4,9}$	$\frac{3,2}{4,7}$	$\frac{2,1}{4,0}$	$\frac{1,1}{2,3}$	$\frac{0,9}{1,9}$
17	9. II. 1941 г.	Ферндаде (N45E)	86	6,6	0,04	6,3	$\frac{2,2}{3,4}$	$\frac{1,5}{2,4}$	$\frac{1,1}{1,3}$	$\frac{0,7}{1,0}$	$\frac{0,6}{0,8}$
18	9. II. 1941 г.	Ферндаде (S45E)	86	6,6	0,08	7,2	$\frac{7,7}{6,7}$	$\frac{4,7}{4,9}$	$\frac{4,0}{3,7}$	$\frac{2,3}{2,7}$	$\frac{1,9}{2,5}$
19	3. X. 1941 г.	Ферндаде (N45E)	67	6,4	0,13	7,8	$\frac{4,2}{2,7}$	$\frac{2,7}{2,9}$	$\frac{2,0}{1,7}$	$\frac{1,8}{2,2}$	$\frac{1,6}{2,1}$
20	3. X. 1941 г.	Ферндаде (S45E)	67	6,4	0,12	7,7	$\frac{3,4}{4,0}$	$\frac{4,5}{4,6}$	$\frac{3,2}{2,5}$	$\frac{2,3}{1,7}$	$\frac{1,8}{1,6}$
21	30. VI. 1941г.	Санта-Барбара (N45E)	—	5,9	0,23	8,0	$\frac{10,8}{2,5}$	$\frac{6,6}{1,8}$	$\frac{5,2}{1,4}$	$\frac{3,8}{1,2}$	$\frac{2,5}{1,1}$
22	30. VI. 1941г.	Санта-Барбара (S45E)	—	5,9	0,24	8,6	$\frac{3,8}{4,0}$	$\frac{2,6}{4,6}$	$\frac{2,4}{2,5}$	$\frac{2,2}{1,7}$	$\frac{2,1}{1,6}$
23	9. III. 1949г.	Холистер (S01W)	—	—	0,11	7,6	$\frac{1,7}{2,5}$	$\frac{2,8}{3,6}$	$\frac{4,0}{5,6}$	$\frac{2,3}{7,5}$	$\frac{1,0}{4,3}$
24	9. III. 1949г.	Холистер (N89W)	—	—	0,23	8,6					
25	13. IV. 1949г.	Олимпия (S10W)	—	7,0	0,18	8,25					
26	13. IV. 1949г.	Олимпия (S80W)	—	7,0	0,31	9,0					
27	13. IV. 1949 г.	Сиэтл (N88W)	—	7,0	0,08	7,2					
28	13. IV. 1949г.	Сиэтл (S02W)	—	7,0	0,06	6,8					
β_{cp} при $n=0,2$							3,84	3,35	2,65	2,10	1,84
							2,67	2,73	2,62	2,16	1,79
β_{cp} при $n=0,1$							3,73	3,71	3,62	2,88	2,26

* В таблице в знаменателе дроби даны значения $\beta(T)$ при коэффициенте затухания $n=0,1$.

Тогда коэффициент динамичности β (Т) будет:

$$\beta(T) = \frac{\tau(T)}{gK_c} = \psi(T) \left[\frac{x_0}{gK_c} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \right] = \psi(T)A.$$

Для определения коэффициентов динамичности необходимо вычислить коэффициент А для различной сейсмичности и помножить на соответствующие спектральные коэффициенты ψ (Т). Однако для определения коэффициента А неизвестными являются смещения x_0 . Для их определения мы пользовались приведенной в упомянутой работе С. В. Медведева таблицей 5, где даны средние значения x_0 , определенные по записям колебаний при землетрясениях разной балльности. Вычисленные в результате коэффициенты $A = \frac{x_0}{gK_c} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$ для $T=0,1-2,0$ сек. помещены в приведенной ниже таблице 27.

Таблица 27

Балл	Т, сек.										
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,4	2,0
5	55,2	22,1	13,8	8,25	3,46	2,21	1,54	0,86	0,55	0,28	0,14
6	75,0	29,8	18,75	12,0	4,68	2,98	2,08	1,17	0,75	0,38	0,19
7	53,6	21,4	13,4	8,55	3,35	2,14	1,49	0,84	0,54	0,27	0,13
8	58,4	23,37	14,6	9,33	3,65	2,34	1,62	0,91	0,58	0,30	0,25

Таким образом, помножая полученные нами коэффициенты А на соответствующие спектральные коэффициенты смещений ψ (Т) (таблица 5 С. В. Медведева [24]), мы нашли коэффициенты динамичности β (Т) для 20 записей землетрясений интенсивностью 5—8 баллов, которые даны в таблице 28. На основании полученных

№ №	Дата землетрясения	Станция	Эпиз. расст. в км	Интенсивн в баллах	Т, сек.										
					0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,4	
23	11. IV. 1954 г.	Обг ВЗ	240	5	4,42	4,42	8,28	8,85	2,77	5,53	4,14	3,19	2,21	1,41	0,91
24	11. IV. 1954 г.	Обг СЮ	240	5	3,31	4,12	6,90	8,85	4,50	4,42	3,38	2,07	1,94	1,02	0,58
41	10. IX. 1945 г.	Обг СЮ	35	5	7,73	6,63	6,90	8,85	9,00	9,95	11,97	10,03	7,40	2,87	1,05
42	2. II. 1952 г.	ЮС ВЗ	30	5	3,86	4,42	6,90	8,85	9,69	6,63	4,91	3,19	3,20	1,13	0,48
47	22. X. 1952 г.	Кл СЮ	15	5	5,52	4,41	11,04	8,85	5,54	4,64	3,07	1,47	0,83	0,39	0,18
48	22. X. 1952 г.	Кл ВЗ	15	5	7,18	4,42	9,66	8,85	10,38	18,12	13,97	7,16	4,14	1,89	0,89
49	22. X. 1952 г.	Кл СЮ	18	6	5,25	5,96	9,38	12,00	7,02	6,85	5,20	2,69	1,50	0,73	0,30
50	22. X. 1952 г.	Кл ВЗ	18	6	4,50	5,96	9,38	12,00	6,08	3,58	2,08	1,17	0,75	0,38	0,19
51	22. X. 1952 г.	Кл СЮ	16	6	3,75	2,98	11,25	12,00	9,83	6,56	4,78	3,74	1,80	0,88	0,41
52	22. X. 1952 г.	Кл ВЗ	16	6	5,25	5,96	9,38	12,00	7,02	5,07	3,74	2,81	0,98	0,46	0,21
75	2. X. 1933 г.	№ 5, В8Ю	24	6	7,50	5,96	11,25	12,00	11,23	8,05	5,82	4,68	3,90	3,13	2,63
77	2. X. 1933 г.	№ 5, С8Ю	24	6	12,75	11,92	11,25	12,00	8,89	9,54	7,90	4,45	2,63	1,45	1,82
78	18. XII. 1946 г.	№ 13, С453	19	6	7,50	5,96	9,38	12,00	9,83	5,96	3,33	1,99	1,35	0,73	1,20
72	31. X. 1935 г.	№ 16, ВЗ	6	7	7,50	4,28	6,70	8,55	6,70	5,99	4,47	4,60	4,72	2,48	1,88
79	25. X. 1943 г.	№ 42, С303	22	7	6,97	8,56	9,38	8,55	7,04	5,78	4,17	3,01	2,47	1,37	1,68
80	13. IX. 1946 г.	№ 43, Ю803	102	7	9,11	4,28	10,72	8,55	14,07	8,99	6,11	3,43	1,98	1,37	1,50
71	10. III. 1933 г.	№ 5, В8Ю	56	8	7,59	4,67	7,30	9,33	7,30	6,78	7,13	4,83	4,15	4,05	2,63
72	10. III. 1933 г.	№ 4, В	29	8	15,77	11,69	13,14	9,33	4,38	3,27	2,43	1,73	1,28	1,37	1,10
73	10. III. 1933 г.	№ 4, СЮ	29	8	11,68	9,35	11,68	9,33	4,75	3,74	2,92	1,46	1,87	1,31	1,05
76	18. V. 1940 г.	№ 14, СЮ	12	8	6,42	4,67	8,76	9,33	10,95	10,05	8,75	5,11	4,67	3,25	1,90
					10,0		7,85	6,97	5,51	3,64	2,69	1,58	1,13		

данных были построены кривые $\beta(T)$, которые в настоящей работе не приведены.

Коэффициенты динамичности β были определены также для записанного с помощью сейсмометров АИС—2 одного землетрясения силой в 4 балла в Душанбе и одного землетрясения силой в 4 балла в Ереване в различных грунтовых условиях, соответственно в 4 и 3 точках. Величины коэффициента β были определены опять-таки путем деления величины τ/g на коэффициент K_c , для 4 баллов равный 0,0025, которые соответственно приведены в таблицах 29 и 30.

Были получены также величины коэффициента динамичности по записям сильных взрывов, произведенных в различных районах Армянской ССР. Интенсивность взрывов ставилась в соответствие с интенсивностью землетрясения по $\tau+T$ среднему, вычисленному для землетрясения силой 4 балла, и далее экстраполировалась до 12 баллов. Коэффициенты β таким путем были определены для 29 записей очень сильных взрывов. Величины коэффициентов β , а также некоторые другие данные по этим взрывам, приведены в таблице 31.

Между найденными величинами коэффициентов β для различных районов при землетрясениях силой 4—9 баллов и взрывах интенсивностью 8—12 „условных баллов“ имеется большая разница как в пределах изменения их максимальных величин, так и в характере кривой $\beta(T)$. Интенсивность взрывов в баллах называем „условной“ потому, что эффект действия на сооружения одного и того же ускорения, полученного при землетрясении и взрыве, по всей вероятности, будет разным. Мы, например, склонны думать, что при одном и том же ускорении при землетрясении эффект будет выше по сравнению со взрывом на 1 балл.

Рассмотрим полученные спектры $\beta(T)$ для выявления закономерностей в их изменении и установления

Таблица 29

Места установки	Грунты	Т сек.				
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,2
Мясокомбинат	Лёссовидн. сугл. 0,5— —2 м, над галечни- ками	8,15	1,48	2,96	4,52	1,08
Энергокомби- нат	Насыпной лёссовидн. суглинок 4 м над га- лечниками	17,45	2,2	2,24	1,24	—
Ж/д переезд	Мраморовидные из- вестняки	14,0	3,76	2,24	0,28	0,2
Сов. поселок	Мощный слой галеч- ников с заполнителем	15,1	1,52	2,32	2,72	0,64
		Р _{ср}	4,24	3,96	3,46	1,0

Таблица 30

Места установки	Грунты	Т сек.				
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,2
Завод КАНАЗ	Глибковые трещинова- тые базальты	3,92	0,76	1,92	0,08	0,12
Школа № 38	Суглинисто-супесчан. и галечно-грав. отло- жения	3,6	5,2	1,92	0,4	0,12
Сейсмостан- ция „Ереван“	Рыхлые грунты конуса выноса	10,4	4,0	0,88	0,32	—
		Р _{ср}	3,32	1,57	0,27	0,12

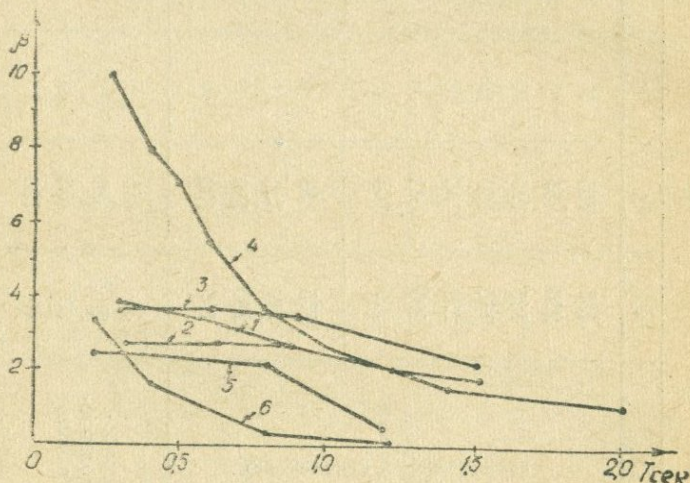
Таблица 31

Участок и дата взрыва	Количество взрывчатки в кг	Грунты	Расст. от места взрыва в м	τ (Т) ср.	Привед. балл.	К _с	Т сек.		
							0,1	0,2	0,4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Маралик 30. VIII. 1955г.	1720	Светло-серые да- цнты	11	630	12	1	7,54	3,86	0,90
			21,5	660	12	1	10,24	3,43	0,67
Дтмашен 6. X. 1955 г.	23800	Ошлакованные андезито-ба- зальты	197	125	9	0,1	7,26	9,75	2,86
			127	130	9	0,1	15,48	7,82	2,03
			75	450	11	0,5	9,16	6,16	1,36
Дтмашен 1. XI. 1955 г.	13540		197	80	9	0,1	7,37	4,97	1,36
			127	135	9	0,1	14,03	9,44	1,92
			130	40	8	0,05	8,4	5,28	1,20
Двин 25. XI. 1955г.	2160		85	70	9	0,1	10,45	4,04	0,54
			56	260	10	0,25	15,84	4,8	1,4
Двин 4. XII. 1955г.		Конгломераты, песчаники и мергеля	108	95	9	0,1	13,18	5,65	1,23
			171	40	8	0,05	5,88	6,3	1,46

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Талиш 1. III. 1956 г.	26720	Филетовая туфовая лава	185	195	10	0,25	7,51	6,44	1,6
			230	55	8	0,05	10,32	7,02	2,4
			185	190	10	0,25	6,44	5,2	1,44
			185	190	10	0,25	6,3	5,2	1,6
			279	35	8	0,05	4,12	4,6	1,92
			199	45	8	0,05	8,16	5,96	1,4
			217	65	9	0,10	7,1	3,4	0,89
Талиш 21. III. 1956 г.	13500	Филетовая туфовая лава	185	85	9	0,1	11,44	4,97	1,02
			150	330	11	0,5	5,67	3,05	0,55
			230	110	9	0,1	21,22	4,54	2,84
			190	170	10	0,25	9,92	3,87	0,64
Тохмахан- гельский карьер 17. VI. 1956 г.	124 в штольне	Гипсонос- но-соленос- ная толща	35	115	9	0,1	21,68	4,53	0,93
			20	80	9	0,1	16,34	3,31	0,44
			60	50	8	0,05	10,74	1,79	0,35
			40	150	10	0,25	13,2	1,92	0,29

максимальной величины β . При этом величинами β , полученными при взрывах, не будем пользоваться ввиду наличия их только для $T=0,1-0,4$ сек., а также, что особенно важно, ввиду отсутствия научно обоснованных исследований по установлению зависимости между эффектом действия землетрясений и взрывов.

С этой целью определены средние величины значений по данным каждого автора, начиная с $T=0,2-0,3$ сек., которые приведены в последних строчках таблиц 26, 28, 29, 30 и построены отвечающие им спектральные кривые, показанные на фиг. 58. При этом



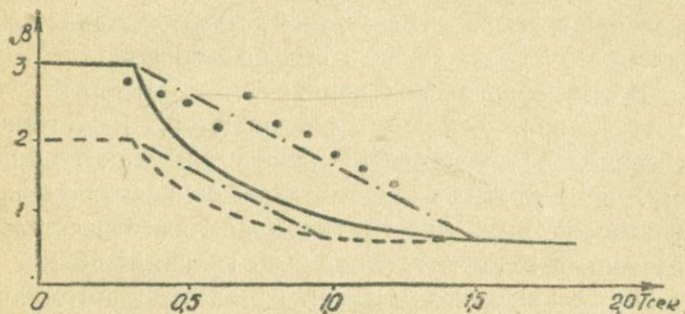
Фиг. 58.

по данным Хаузнера, Мартеля и Алфорда построены три кривые. Кривая 1 соответствует случаю определения средних величин β из 28 записей землетрясений при коэффициенте затухания $n=0,2$. Так как значения коэффициентов β при $n=0,1$ имеются только для 10 записей землетрясений, то построены еще две кривые по средним значениям β , найденным из 10 записей при

$n=0,2$ (кривая 2) и $n=0,1$ (кривая 3). Кривая 4 построена по данным С. В. Медведева. Кривая 5 получена для Душанбе, а кривая 6—для Еревана.

Как нетрудно заметить, кривая 4 на участке $T=0,25-0,8$ сек. резко разнится от остальных кривых. Тут интересно отметить также и то, что полученные для одних и тех же землетрясений значения $\beta(T)$ по Хаузнеру и Медведеву сильно отличаются. Исходя из этого, для определения средних значений кривой 4 не пользуемся.

Вычисленные средние значения β по кривым 2, 3, 5, 6 для $T=0,3-1,2$ сек. (через каждые 0,1 сек.) отдельными точками нанесены на фиг. 59. Тут же вы-



Фиг. 59.

черчена кривая $\beta(T)$ (сплошная линия), принятая в СН—8—57. Очень интересным совпадением является то, что хорда гиперболы этой кривой одновременно является примерно средней линией, проведенной через эти точки.

Таким образом, можно считать, что полученные нами значения β находятся примерно в окрестностях кривой $\beta(T)$, принятой в СН—8—57.

Однако не следует забывать, что эти значения получены в конечном счете с помощью простых ос-

цилляторов, которые в лучшем случае, и то приближенно, описывают поведение сооружений во время землетрясений при представлении их как системы с одной степенью свободы, совершающих упругие колебания. При этом взаимодействие между фундаментом сооружения и грунтом совершенно не учитывается. Если учесть все это и ряд других факторов, безусловно, значения β должны быть существенно снижены.

§ 22. Влияние фактора взаимодействия на величину спектральных коэффициентов

Мы здесь остановимся только на одном из упомянутых выше факторов, а именно: на вопросе учета при нормировании сейсмической нагрузки взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием (грунтом).

В „Калифорнийских нормах“ этот фактор не учитывается, ибо, как об этом пишет Г. В. Хаузнер: „...Взаимодействие и связь здания с грунтом, по-видимому, не имеют значения в калифорнийских зданиях вероятно потому, что грунты являются относительно плотными, а здания—относительно гибкими“ [55].

Мы с таким доводом не согласны хотя бы потому, что сам Г. В. Хаузнер в другой своей более поздней работе, посвященной исследованию вопроса взаимодействия, по произведенным во время землетрясения 21 июля 1952 г. в Арвин-Теахапи записям ускорений некоторых зданий и грунта, заключает, что имеется разница в величине ускорений на фундаменте здания и грунте порядка 40% в направлении наибольшей жесткости и длины здания [56]. Правда, здание при этом было жесткое.

В течение последних трех лет вопрос взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием постоянно находится в поле нашего зрения, и в связи с этим мы ставили эксперименты над зданиями

для его исследования, в результате чего получены некоторые данные.

Приведем экспериментально полученные нами данные по исследованию трехэтажного каменного здания размерами в плане $54,9 \times 12,5$ м, основанного на белоземе, подстилаемого мощным слоем базальтов, при действии взрыва, вызвавшего] сейсмический эффект в 5 баллов.

При этом взрыве были замерены скорости, ускорения и приведенные сейсмические ускорения на грунте, поблизости от здания, и в самом здании, с помощью ВЭГИК, СПМ—16 и сейсмометров АИС—2.

В результате получено, что основной период свободных колебаний здания, $T=0,185$ сек., а логарифмический декремент затухания $\delta=0,32$. Ускорение в здании по сравнению с ускорением на грунте оказалось в 1,9 раза меньше.

Значения приведенных сейсмических ускорений в g приведены в табл. 32.

Сравнивая величины приведенного, сейсмического ускорения для периода $T=0,2$ сек. как наиболее близкого к основному периоду] свободных колебаний рассматриваемого здания, находим, что оно в здании получилось меньше, чем на грунте, в 1,85 раза. Для $T=0,05$ сек. уменьшение сейсмического эффекта в здании происходит более чем в 3 раза.

Таблица 32

Места установки	Период маятников в сек.			
	0,05	0,1	0,2	0,4
На грунте	1,463	0,163	0,039	—
В здании	0,462	—	0,021	0,015

Отсюда можно заключить, что в одних и тех же грунтовых условиях уменьшение сейсмических сил из-за взаимодействия между фундаментом сооружения и его основанием становится особенно существенным при жестких сооружениях. Все это, конечно, относится к случаю действия жесткого компонента сейсмического излучения, которому соответствует взрыв (в нашем случае наибольший период колебаний грунта от взрыва равнялся $T=0,1$ сек.).

При землетрясении по сравнению со взрывом взаимодействие, по всей вероятности, будет меньше влиять на уменьшение сейсмической силы. Следует также учесть, что чем выше сила землетрясения, тем сильнее должно быть влияние фактора взаимодействия в смысле ослабления сейсмического эффекта. Вопрос о взаимодействии между сооружением и его основанием (грунтом) подробно рассматривается в другой нашей работе, подготавливаемой к печати.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баркан Д. Д. Сейсмовзрывные волны и действие их на сооружения, М., 1945.
2. Борисевич Е. С. Новые приборы с фотографической и непосредственно видимой записью для регистрации сейсмических процессов. Бюллетень Совета по сейсмологии № 14, М., 1962.
3. Завриев К. С. Динамическая теория сейсмостойкости, Тбилиси, 1936.
4. Завриев К. С. Сейсмоскоп новой конструкции Грузинского бюро антисейсмического строительства. Сообщения АН Грузинской ССР, т. II, № 8, 1941.
5. Запольский К. К., Гальперин Е. И., Борисевич Е. С. Опытная передвижная низкочастотная сейсмическая станция. Труды геофизического института АН СССР, № 29 (156), М., 1956.]
6. Карапетян Б. К. Опыт применения сейсмометров АИС для регистрации сейсмических волн. Труды координационного совещания по сейсмостойкому строительству, Ереван, 1956.
7. Карапетян Б. К. Выбор спектральной кривой для расчета зданий и сооружений на сейсмическую нагрузку. Известия АН Армянской ССР, серия технических наук, т. X, № 1, Ереван, 1957.
8. Карапетян Б. К. Результаты сейсмометрических наблюдений при массовых взрывах. Известия Академии наук Армянской ССР, серия технических наук, т. X, № 3, Ереван, 1957.
9. Карапетян Б. К. Обеспечение сохранности сооружений при

производстве взрывов. Сборник технической информации Мин-
стра Арм. ССР, № 3, Ереван, 1958.

10. Карапетян Б. К. Исследование массовых взрывов для целей инженерной сейсмологии. Материалы Сталинабадского совещания по сейсмостойкому строительству, Сталинабад, 1959.
11. Карапетян Б. К. О спектре сейсмической нагрузки. Материалы по измерениям СН—8—57, Ереван, 1960.
12. Карапетян Б. К. Изучение землетрясений и взрывов с помощью маятниковых сейсмометров. Бюллетень Совета по сейсмологии, № 14, М., 1962.
13. Карапетян Б. К., Пирузян С. А. Изучение сейсмических колебаний в тоннеле, Армводстроя на Лусаванском песочном карьере. Труды Армянского института строительных материалов и сооружений, вып. 1, Ереван, 1959.
14. Карапетян Б. К., Суходольский В. В. Усовершенствование конструкций маятниковых сейсмометров для записи сильных и слабых землетрясений. Бюллетень Совета по сейсмологии, № 14, М., 1962.
15. Карапетян Н. К. Исследование спектрального состава сейсмических колебаний. Бюллетень Совета по сейсмологии, № 14, М., 1962.
16. Калинина Н. Н. Определение ускорений при землетрясениях с помощью математического маятника. Известия АН Казахской ССР, серия математики и механики, вып. 5, 1951.
17. Корчинский И. Л. Расчет сооружений на сейсмические воздействия. Научное сообщение ЦНИПС, № 14, М., 1954.
18. Кац А. З. О методике измерения динамических деформаций грунтах и сооружениях. Труды Геофизического института АН СССР, № 36(163), 1956.
19. Кирнос Д. П., Соловьев В. Н. Сейсмограф с оптической регистрацией для записи сильных и разрушительных землетрясений. Труды Института физики Земли, № 19 (186), 1961.
20. Кирнос Д. П., Рулев Б. Г., Харин Д. П. Сейсмограф ВЭГИК для работы по инженерной сейсмологии и регистрации близких землетрясений. Труды Института физики Земли АН СССР, № 16 (183), М., 1961.
21. Кирнос Д. П. Новые установки для регистрации сильных землетрясений. Бюллетень Совета по сейсмологии № 14, 1962.
22. Медведев С. В. Новая сейсмическая шкала. Труды Геофизического института АН СССР № 21 (148), М., 1953.

23. Медведев С. В. Сейсмометр для определения балльности. Труды Геофизического института, № 36 (163), 1956.
24. Медведев С. В. Зависимость сейсмических воздействий от периодов собственных колебаний сооружений. Труды Геофизического института АН СССР, № 36 (163), М., 1956.
25. Назаров А. Г. Метод построения инструментальной теории сейсмостойкости. Доклады АН Армянской ССР, т. II, № 5, 1945.
26. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Издание второе, исправленное и дополненное, Ереван, 1959.
27. Назаров А. Г., Карапетян Б. К., Мусаелян А. А., Пирюзян С. А., Сафарян А. Н., Шагинян С. А. Предварительные итоги работы инженерно-сейсмологического отряда ТКСЭ в районе г. Сталинабада. Известия отделения естественных наук АН Таджикской ССР, в. 3(30), 1959.
28. Назаров А. Г., Карапетян Б. К., Пирюзян С. А. Сейсмическое микрорайонирование на инструментальной основе. Доклады АН Арм. ССР, т. XXXII, № 3 Ереван, 1961.
29. Назаров А. Г., Карапетян Б. К., Пирюзян С. А. Способ приближенного сейсмического микрорайонирования. Известия АН Арм. ССР, серия технических наук, т. XIV, № 2, 1961.
30. Нечаев В. А. Сейсмометр простого устройства. Известия естественных наук АН Таджикской ССР, № 20, 1957.
31. Нечаев В. А. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Сталинабада. Материалы Сталинабадского совещания по сейсмостойкому строительству, Сталинабад, 1959.
32. Нормы и правила строительства в сейсмических районах СССР (СН-8-57), М., 1957.
33. Пирюзян С. А. Фиксация землетрясения 14 февраля 1957 г. в г. Ереване маятниковыми сейсмометрами АИС-2. Известия АН Армянской ССР, серия технических наук, т. XI, № 5, 1958.
34. Поперека М. Я. О применимости параллелепипедов Голыцина для измерения сейсмических ускорений. Известия отделения естественных наук АН Таджикской ССР, вып. 9, 1955.
35. Пучков С. В. Акселерограф и записи сильных движений почвы, полученные им при землетрясениях и взрывах. Бюллетень Совета по сейсмологии, № 14, 1962.

36. Рулев Б. Г., Харин Д. П. Сейсмографы для регистрации больших перемещений. Труды Института физики Земли АН СССР, № 16 (183), М., 1961.
37. Садовский М. А. Прибор для измерения ускорений при землетрясениях. Труды сейсмологического института, № 79(3), М., 1938.
38. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности массовых взрывов, М., 1946.
39. Семенов П. Г. Сейсмометр для сейсмического микрорайонирования. — Сообщения Таджикского филиала АН СССР, в. XI, Сталинабад, 1949.
40. Токмаков В. А., Харин Д. А. Видоизменение сейсμοприемника СПМ—16 для записи ускорений при низкочастотных колебаниях. Труды Института физики Земли АН СССР, № 5 (172), М., 1959.
41. Хачиян М. Г. Многомаятниковый прецизионный сейсмометр. Доклады Академии наук Армянской ССР, т. XXI, № 5, 1955.
42. Хачиян М. Г. Жидкостный акселерограф. Доклады АН Армянской ССР, т. XXVII, № 1, 1958.
43. Худзинский Л. Л., Меламуд А. Я. Станция частотного анализа сейсмических колебаний. Известия АН СССР, серия геофизическая № 9, М., 1957.
44. Шагинян С. А. Результаты наблюдений землетрясений с помощью сейсмометров АИС—2 в г. Сталинабаде. Доклады Академии наук Таджикской ССР, т. 21, № 4, Сталинабад, 1958.
45. Шагинян С. А. Результаты инструментального определения коэффициента динамичности. Труды Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Тадж. ССР, т. VIII, Сталинабад, 1960.
46. Шагинян С. А., Скорик Л. А. Исследование приведенных сейсмических ускорений при землетрясениях и спектральная кривая для расчета зданий на сейсмическую нагрузку, по инструментальным данным (фонды Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Тадж. ССР), Сталинабад, 1960.
47. Baiot M. A. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 31, № 2, 1941.
48. Baiot M. A. Analitical and Experimental Methods in Engineering Seismology, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Transactions № 108, 1943.
49. Cloud W. K. and Carder D. S. The Strong—Motion Program of the Coast and Geodetic Survey, Proceedings of the

World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, 1956.

50. Cloud W. K. and Hudson D. E. A Simplified Instrument for Recording Strong-Motion Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 51, № 2, 1961.
51. Hersenberger I. A. Comparison of Earthquake Accelerations with Intensity Ratings, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 46, № 4, 1956.
52. Housner G. W. and McCann G. D. The Analysis of Strong Motion Earthquake Records with the Electric Analog Computer, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 39, № 1, 1949.
53. Housner G. W. Spectrum Intensities of Strong-Motion Earthquake, Proceedings of the Symposium on Earthquake and Blast Effects on Structures, Los Angeles, California, June, 1952.
54. Housner G. W., Martel R. R., Alford I. L. Spectrum Analysis of Strong-Motion Earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 43, № 2, 1953.
55. Housner G. W. Soil Effects in Western United States, Personal Communication, № 10, 1956.
56. Housner G. W. Interaction of Building and Ground during an Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 47, № 3, 1957.
57. Nazarov A. G., Karapetian B. K. and Shahinian S. A. The Method of Direct Determination of Reduced Spectra of Seismic Accelerations, Proceedings Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, 1960.
58. Publications of the Earthquake Investigations Committee in foreign Languages, № 4, Tokyo, 1960.
59. Shima E., Tanaka T. and Den N. Some New Instruments Used in Earthquake Engineering in Japan, Proceedings of Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo 1960.
60. Takahashi R. The «SMAC» Strong-Motion Accelerograph and Other Latest Instruments for Measuring Earthquakes and Building Vibrations, Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, Berkeley, 1956.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Введение</i>	5
Глава I. Сейсмическая аппаратура для инженерных целей	9
§ 1. Сейсмографы, велосигграфы, акселерографы и деформометры	10
§ 2. Осциллографы и сейсмические установки	19
§ 3. Частотные анализаторы	26
§ 4. Сейсмоскопы и сейсмометры	28
Глава II. Многомаятниковые сейсмометры	35
§ 5. Теория сейсмометра	36
§ 6. Сейсмометр АИС—1	40
§ 7. Сейсмометр АИС—2	43
§ 8. Сейсмометр АИС—2П	46
§ 9. Сейсмометр АИС—2М	48
§ 10. Сейсмометр ПМС	53
Глава III. Результаты, полученные многомаятниковыми сейсмометрами при изучении землетрясений	57
§ 11. Землетрясение, зарегистрированное в г. Ереване	58
§ 12. Землетрясение, зарегистрированное в г. Ленинграде	60
§ 13. Землетрясение, зарегистрированное в г. Тбилиси	62

§ 14. Землетрясения, зарегистрированные в г. Душанбе	64
§ 15. Обобщение результатов и выводы	100

Глава IV. Результаты, полученные многомаятниковыми сейсмометрами при исследовании взрывов . 107

§ 16. Взрывы на участке ГЭС	109
§ 17. Взрывы на Лусаванском песочном карьере (у тоннеля)	115
§ 18. Массовые взрывы на карьерах и трассах дорог	122
§ 19. Обобщение результатов и выводы	142

Глава V. Спектр приведенных сейсмических ускорений 146

§ 20. Выбор спектральной кривой	146
§ 21. Установление величин спектральных коэффициентов	156
§ 22. Влияние фактора взаимодействия на величину спектральных коэффициентов	168

Литература	171
----------------------	-----

Борис Карапетович Карапетян

*Многомаятниковые сейсмометры и результаты их применения
в инженерной сейсмологии*

Ответственный редактор А. Г. Назаров
Редактор издательства М. Э. Кузаян
Художник Х. Гюламирян
Худож. редактор Г. Худикян
Техн. редактор Э. Чанчапанян
Контрольный корректор Р. Мальцева

ВФ 07644

Заказ 1339

Тираж 2000

Сдано в набор 31/VIII 1962 г.

Подписано к печати 9/1 1963 г.

Бумага 84×108¹/₃₂. Печ. 11,25 л.=9,22 усл. печ. л. Уч.-изд. 8,0 л.

Цена 55 к.

Типография № 1 Главного управления издательств и
полиграфической промышленности Министерства культуры
Арм. ССР. Ереван, ул. Алавердяна, 65.

ЦЕНА 55 к.

18986