



## НОВОСТИ

4 NEWS

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ,  
СОВЕЩАНИЯCONFERENCES, SYMPOSIUMS,  
MEETINGS**МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР  
«РЕЗУЛЬТАТЫ АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА»**

13

**INTERREGIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL SEMINAR  
«RESULTS OF UPDATING THE RUSSIAN FEDERATION CIVIL  
ENGINEERING NORMATIVE BASE»****ВСЕУКРАИНСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ УКРАИНЫ»****UKRAINIAN SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE  
«CIVIL ENGINEERING IN SEISMIC REGIONS OF UKRAINE»**

## СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

## SEISMIC ZONING

**АЛЕШИН А.С.**

О СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ

16

**ALESHIN A.**

ON THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL MASSIF

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ  
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯTHEORETICAL  
AND EXPERIMENTAL STUDIES**ТЯПИН А.Г.**ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО  
АСИМПТОТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА  
ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ:  
РОЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОСНОВАНИЕМ

24

**ТЯПИН А.**COMBINED ASYMPTOTIC METHOD IN SEISMIC ANALYSIS  
OF HIGH-RISE BUILDING: IMPACT OF SSI**ЦАРЁВА О.С.**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ  
ПО ИЗМЕНЕНИЯМ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ  
ДЕФОРМАЦИОННЫМИ МАРКАМИ

29

**TSAREVA O.**DETERMINATION OF RELATIVE DEFORMATIONS BY CHANGES  
IN DISTANCE BETWEEN THE DEFORMATION MARKS

## ВЗГЛЯД ОЧЕВИДЦА

## EYEWITNESS

**МИНАСЯН А.В.**

СПИТАКСКАЯ КАТАСТРОФА: МНЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТА

38

**MINASYAN A.**

SPITAK CATASTROPHE: EXPERT OPINION

## ПУБЛИКАЦИИ ПРОШЛЫХ ЛЕТ

## PUBLICATIONS OF PREVIOUS YEARS

**КИОДЖИ СЮЭХИРО**ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ.  
ЛЕКЦИЯ 2

49

**KIODJI SIUEHIRO**ENGINEERING SEISMOLOGY.  
LECTURE 2

## 8 сентября, МЕКСИКА

### Землетрясение магнитудой 8 произошло в Тихом океане у берегов Мексики.

Эпицентр землетрясения находился в 100 километрах к юго-востоку от города Пихихьяпан, а его очаг залегал на глубине 35 километров, сообщила геологическая служба США. Землетрясение почувствовали в Мехико, который находится в нескольких сотнях километров от его эпицентра.

Очевидцы в городе говорят о сильных подземных толчках, в нескольких районах отключилось электричество. Толчки достигли города ночью – люди выбегали из домов на улицы в пижамах. По данным властей Мексики, в результате землетрясения в стране погибли 15 человек. Об этом в эфире местного телеканала сообщил президент страны Энрике Пенья Ньето, передает агентство AFP. В столице значительных разрушений нет. Точная оценка ущерба займет время, однако известно, что землетрясение стало самым сильным за прошедшие сто лет.

<https://pogoda.unian.net/news/2122159-u-beregov-meksiki-proizoshlo-moschnoe-zemletryasenie-est-ugroza-tsunami.html>

## 10 сентября, МОСКВА

В конференц-зале Центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) состоялось очередное заседание научно-технического совета секции «Сейсмостойкость сооружений» ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» под председательством руководителя ЦИСС Гусева Бориса Владимировича.

В этот раз заседание было решено провести в формате Круглого стола на тему «Новые подходы к сейсмическому микрорайонированию».

Помимо сотрудников Центра исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, для обсуждения актуальных вопросов по тематике круглого стола в заседании НТС приняли активное участие представители ИФЗ РАН – А.С. Алешин, Ф.Ф. Аптикаев, О.В. Павленко; ИГЭ РАН – В.В. Севостьянов, Б.А. Трифонов и сотрудник ООО «НПЦИЗ» – С.П. Никифоров.

Приглашенные специалисты выступили с докладами по наиболее актуальным и дискуссионным вопросам сейсмического районирования. После каждого доклада проходило обсуждение поставленных проблем и возможных путей их решения.

Насколько важны и актуальны обсуждаемые проблемы, свидетельствует доклад д.т.н. Алешина А.С. (ИФЗ РАН), посвященный состоянию нормативно-технической документации по СМР. А.С. Алешин отметил, что в новейших российских нормах в вопросах, относящихся к сейсмическому микрорайонированию, много ценных научных разработок, но, к сожалению, не все документы согласованы в отношении терминологии и основных зависимостей. Наиболее насущной проблемой видится согласование всех ценных предложений последних лет с участием всех заинтересованных сторон.

Присутствующие затронули вопросы физических величин, в которых должны быть составлены карты ОСР, об-

судили возможность и необходимость замены этих карт. Часть вопросов касалась макросейсмической шкалы.

По итогам проведенного Круглого стола было предложено осветить дискуссионные вопросы на страницах номеров журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». В текущем номере (№ 5, 2018) в продолжение дискуссии публикуется статья д.т.н. Алешина А.С. (ИФЗ РАН) «О спектральных характеристиках грунтовой толщи».

В следующем номере (№ 6, 2018) готовится к публикации статья О.В. Павленко «Уточненные оценки сейсмических воздействий для районов Кольского полуострова и Карелии, полученные с использованием записей местных землетрясений». Дискуссия продолжается.

## 20 сентября, МАТАРАМ, ИНДОНЕЗИЯ

Правительство индонезийского города Матарам острова Ломбок построит образцы домов, устойчивых к землетрясениям, чтобы продемонстрировать их ответственности, сообщает Antaranews.

«В ближайшем будущем министерством общественных работ Индонезии будут построены образцы домов, устойчивых к землетрясениям», – заявил глава отдела территориального планирования города М. Махмуддин. Издание отмечает, что общественность, в том числе жители окрестностей, которые хотят построить подобные дома, также могут ознакомиться с их характеристиками. Образцы домов, устойчивых к землетрясениям, возведут в парке Селагалас, и представлять собой они будут двухэтажные дома размером 18×18 метров.

Идея возведения таких домов принадлежит министерству исследований и развития Индонезии с целью продвижения новых технологий.

Напомним, на острове Ломбок 5 и 14 августа произошло два землетрясения магнитудой 6,9 и 7. В результате бедствия число погибших составило более 500 человек.

<https://regnum.ru/news/2485946.html>

## 23 сентября, О. ГУАМ, США



Землетрясение магнитудой 6,4 балла было зафиксировано у острова Гуам в Тихом океане 23 сентября Геологической службой США. Землетрясение было зафиксировано в 05:52 по местному времени (08:52 по мск). Сообщается, что эпицентр землетрясения находился на глубине 10 километров и располагался в 207 км от города Дедедо. О жертвах разрушения, а также об угрозе цунами не сообщается.

Напомним, что остров Гуам находится в западной части Тихого океана. Является самым южным из островов Ма-

рианского архипелага. На острове проживает около 180 тысяч человек.

<https://regnum.ru/news/2487196.html>

### 23 сентября, АЗЕРБАЙДЖАН



#### **Проснулся второй в мире по величине грязевой вулкан Отман-Боздаг**

В Азербайджане произошло извержение второго в мире по величине грязевого вулкана Отман-Боздаг. Он находится на Апшеронском полуострове, в 35 километрах к юго-западу от столицы страны Баку.

Как сообщает ТАСС со ссылкой на заявление азербайджанского министерства экологии и природных ресурсов, вулкан «проснулся» в воскресенье, он дважды выбросил фонтаны грязи на высоту 200-300 метров. После извержения на прилегающей к вулкану территории образовались трещины глубиной до 40 метров.

До этого грязевой вулкан Отман-Боздаг извергался 6 февраля 2017 года.

<http://nadisa.org/lenta-sobytij/>

[Prosnuhsya-vtoroiy-v-mire-po-velichine-gryazevoj-vulkan-Otman-Bozdog/](http://nadisa.org/lenta-sobytij/Prosnuhsya-vtoroiy-v-mire-po-velichine-gryazevoj-vulkan-Otman-Bozdog/)

### 24 сентября, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

#### **У Казахстана и Японии общие принципы развития сейсмостойкого строительства**

Исполнительный директор Японского общества сейсмической изоляции (JSSI) Кенжи Савада (Mr.Kenji Sawada) во время своего рабочего визита в Алматы в рамках международного семинара «Технологии сейсмостойкого строительства» заявил, что принципы укрепления строений в Казахстане и Японии имеют много общего: «Япония – маленькое государство, но мы имеем большой опыт в области сейсмостойкого строительства, особенно в применении сейсмоизолирующих технологий. Во время встречи с казахстанскими коллегами мы заметили, что у нас схожий подход в области развития сейсмостойкого строительства и много общего в ментальности. Экспертный диалог получился очень конструктивным, казахстанские специалисты выразили большой интерес к опыту Японии в использовании сейсмоизолирующих технологий. На законодательном уровне застройщики в Японии не обязаны строить с

использованием сейсмоизолирующих технологий. В то же время при проектировании социально-значимых объектов применение сейсмоизолирующих подушек или демпферов регламентировано законом» – заявил Кенжи Савада (Mr.Kenji Sawada).

Миркен Абаканов, советник генерального директора по техническим вопросам АО «КазНИИСА», доктор технических наук представил доклад «О развитии норм по сейсмостойкому строительству Республики Казахстан». Жасулан Омаров, Директор Центра сейсмостойкости, обследования зданий и сооружений выступил с докладом о вибродинамических испытаниях. После недавнего разрушительного землетрясения в японском Хоккайдо, зарубежных специалистов заинтересовал доклад с практическими рекомендациями профессора, доктора технических наук Виталия Хомякова, о вопросах сейсмоустойчивости горных склонов и откосов глубоких котлованов, которые успешно применяют казахстанские специалисты. «Казахстан имеет сильную школу сейсмостойкого строительства. Сейсмоизолирующие материалы для укрепления зданий и сооружений применяются у нас уже много лет, однако опыт японских коллег в области сейсмостойкого строительства является очень ценным, так как подразумевает использование специальных конструкций (демпферов и сейсмогасителей). Надеемся, что международное сотрудничество между Казахстаном и Японией в области защиты зданий и сооружений от стихийных бедствий продолжится и перейдет в практическую и экспериментальную плоскость», – выразил надежду управляющий директор по производству АО «КазНИИСА» Ералы Шокбаров.

<https://kazniisa.kz/index.php/component/k2/item/192-2018-09-24-09-06-31>

### 25 сентября, НЬЮ-ДЕЛИ



#### **На севере Индии в результате наводнений и оползней погибли 13 человек**

В результате продолжительных ливней на севере Индии по меньшей мере 13 человек погибло, десятки остаются пропавшими без вести. Об этом пишет 25 сентября газета Times of India.

Отмечается, что в индийском штате Химачал-Прадеш из-за стихийного бедствия перекрыты 378 автомобильных дорог. В одном из районов штата оползень похоронил под собой семью из пяти человек. Местных жителей, живущих вдоль берегов рек, эвакуируют в более безопасные места, школы и колледжи прекратили занятия, говорится в сообщении. Согласно прогнозам синоптиков, ливень будет продолжаться еще не менее суток.

Как сообщало ИА REGNUM, 20 августа индийские власти опубликовали данные, согласно которым в результате муссонных ливней на юге страны погибли по меньшей мере 370 человек. Свыше 700 тыс. местных жителей были вынуждены покинуть свои дома.

<https://regnum.ru/news/accidents/2488230.html>

## 28 сентября - 8 октября, ИНДОНЕЗИЯ

Утром 28 сентября у побережья индонезийского острова Сулавеси произошло землетрясение магнитудой 6,1 недалеко от города Палу. Позднее в том же районе было зафиксировано еще одно землетрясение магнитудой 7,4 и ряд афтершоков. Сильные подземные толчки стали причиной возникновения цунами, высота волн во время которого превышала 3 метра. Однако Агентство метеорологии, климата и геофизики через 30 минут после первых толчков отменило угрозу цунами, поскольку приборы не сумели зафиксировать приближение стихии. В это время на одной из набережных города находились несколько сот местных жителей, которые готовились отмечать национальный праздник. Их судьба до сих пор не известна, признают спасатели.

Число погибших в результате землетрясения на острове Сулавеси в Индонезии возросло до 405 человек. Об этом сообщил в воскресенье, 7 сентября, руководитель департамента по связям с общественностью министерства коммуникаций и информации Индонезии Фердинандус. По его словам, «данные поступают пока только о городе Палу (административный центр провинции Центральный Сулавеси)». Ранения получили еще сотни местных жителей. Ранее сообщалось о 384 жертвах.

Вместе с тем спасатели пока не могут добраться до района Дунгала, где проживает не менее 300 тыс. человек, и где находился эпицентр подземных толчков. В связи с чем вице-президент страны Юсуф Калла признал, что число погибших может достичь нескольких тысяч.

Как рассказал официальный представитель национального Агентства по предотвращению стихийных бедствий Сутопо Нугрохо, за сутки произошло более 130 повторных толчков, магнитуда некоторых составляла 5,2.

Индонезия является частью так называемого Тихоокеанского огненного кольца (мощного тектонического разлома). В этом районе земного шара располагаются самые активные тектонические плиты, одна из которых передвигается со скоростью семь сантиметров в год. Ежегодно сейсмологи регистрируют здесь шесть-семь тысяч землетрясений магнитудой выше 4,0.

Правительство Индонезии выделит 560 млрд рупий (около \$37,6 млн) на проведение спасательной операции и оказание необходимой помощи пострадавшим в результате землетрясения на острове Сулавеси. Об этом сообщило агентство АНТАРА со ссылкой на министра финансов Индонезии Сри Мульяни Индравати. По ее словам, «такую сумму запросило Агентство по предотвращению стихийных бедствий». Глава ведомства добавила, что «средства незамедлительно будут направлены». Министр также отметила, что «эти деньги предназначены исключительно для оказания помощи

пострадавшим, а не для восстановления разрушенной инфраструктуры».

Официальное число погибших в результате удара стихии достигло 1763 человек. В настоящее время спасатели все еще находят тела под руинами зданий в городе Палу и в окрестных районах, пострадавших от разжижения грунта, превратившего землю в подвижную трясину. Сообщалось, что из-под завалов были извлечены тела 1558 погибших, и еще свыше 150 тысяч человек могут оставаться погребенными заживо.

Как сообщил представитель посольства РФ в Джакарте Денис Тетюшин, «...информации о жертвах среди россиян не поступало».

<https://ria.ru/world/20181004/1530019473.html>

## 5 октября, РЕСПУБЛИКА КЫРГЫЗСТАН

### Международная конференция по сейсмостойкому строительству школ

В конференции приняли участие представители государственных органов, проектных институтов, университетов, а также зарубежные эксперты в области сейсмостойкого строительства. От АО КазНИИСА (Республика Казахстан) в международной конференции принял участие Директор центра сейсмостойкости, обследования зданий и сооружений Жасулан Омаров. Мероприятие было организовано в рамках финансируемого Всемирным банком Проекта городского развития (ПГР), который направлен на повышение качества сейсмостойкости зданий школ Кыргызской Республики.

В рамках конференции было представлено пособие «Практическое руководство по сейсмостойкому проектированию и строительству по модернизации школ в Кыргызской Республике», которое было разработано доктором Светланой Брзев и доктором Улугбеком Бегалиевым в рамках финансируемого Всемирным банком Проекта городского развития (ПГР).

На конференции было отмечено, что данное Пособие было разработано в рамках Программы «Безопасные школы и дошкольные учреждения Кыргызской Республики 2015-2024 гг.». Программа направлена на решение вопросов реконструкции и усиления зданий учебных заведений для повышения их сейсмической устойчивости и безопасности.

В рамках Проекта градостроительства Всемирный банк поддержал экспериментальное усиление нескольких образовательных учреждений для повышения их сейсмической безопасности и эффективности.

Пособие дает детальное понимание следующих направлений в области сейсмостойкости школ:

- описаны типы железобетонных и кирпичных зданий школ в Кыргызской Республике для определения дефектов их сейсмостойкости;
- описаны методы и схемы сейсмоусиления несущих элементов кирпичных и железобетонных зданий и школ в Кыргызской Республике;
- рассмотрены технологии строительства и проблемы их внедрения;
- представлены конкретные примеры проектирования

ния, наглядно демонстрирующие процесс сейсмостойкого усиления несущих элементов железобетонных и кирпичных зданий школ.

В рамках семинара были подготовлены доклады о методах сейсмостойкого усиления, которые можно использовать для железобетонных и кирпичных зданий:

- устройство новых конструктивных элементов – добавление элементов связей в конструкции;
- методы усиления железобетонных конструкций – это усиление конструкций обоями и бандажами;
- усиление с использованием накладок из углеродных высокопрочных волокон;
- сейсмостойкое усиление горизонтальных диафрагм перекрытий и покрытий.

<https://kazniisa.kz/index.php/component/k2/item/197-2018-10-05-11-11-09>

## 7 октября, ГАИТИ

11 человек погибли на северо-западе Гаити в результате землетрясения магнитудой 5,9 баллов, которое произошло в субботу вечером, сообщили местные власти в воскресенье, 7 октября. Землетрясение вызвало панику в нескольких городах.

Семь человек погибли в городе Пор-де-Пе, четверо в Гро Морне, сообщил представитель правительства Гаити Эдди Джексон Алексис.

Согласно геологическим исследованиям, эпицентр находился в 20 км к северо-западу от населенного пункта Пор-де-Пе и залегал на глубине 15 км.

Для координации спасательных операций была создана специальная группа. Президент Жовенель Моиз призвал людей сохранять спокойствие и сообщил, что «...система управления рисками и региональные управления гражданской обороны готовы помочь жителям пострадавших районов».

Гаити все еще преодолевает проблемы, вызванные огромными разрушениями после землетрясения магнитудой 7,6 в 2010 году. Оно больше всего затронуло столицу – город Порт-о-Пренс и его окрестности, унеся жизни по меньшей мере 316,000 человек и оставив без крыши над головой более 1,3 миллиона. Землетрясение на Гаити восемь лет назад было вызвано движением тектонических плит – Карибской и Североамериканской.

[https://zen.yandex.ru/media/pogovorim\\_by/silnoe-zemletriasenie-pro-izoshlo-na-gaiti-est-jertvy-5bba5350e27ae900aab18627?from=feed](https://zen.yandex.ru/media/pogovorim_by/silnoe-zemletriasenie-pro-izoshlo-na-gaiti-est-jertvy-5bba5350e27ae900aab18627?from=feed)

## 10 октября, РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН, ТАШКЕНТ



В Узбекистане стартовали вибродинамические испытания крупнопанельного 9-этажного дома. Экспериментальные испытания на сейсмостойкость новой конструктивной схемы, которую планируют ввести в серийное производство по программе «Доступное жилье в Узбекистане», проводят специалисты Казахского научно-исследовательского и проектного института строительства и архитектуры (АО «КазНИИСА»).

Ералы Шокбаров, Управляющий директор АО «КазНИИСА» считает, что аналитические данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, представляют научный интерес и могут быть применены в строительстве Казахстана.

«Вибродинамические испытания в Ташкенте – это важное событие для развития международного сотрудничества между Казахстаном и Узбекистаном. В ходе испытаний на сейсмостойкость, будет проверена новая конструктивная схема, которую разработали проектировщики из Белоруссии. Данное конструктивное решение ранее не применялось в сейсмоопасных регионах, поэтому требует экспериментальной проверки. Такие исследования позволяют смоделировать действительные условия несущих элементов и получить наиболее реалистичную информацию об их способности сопротивляться сейсмическим воздействиям. Поскольку часть территории Казахстана расположена в зоне повышенной сейсмической активности, результаты, полученные в ходе экспериментальной проверки, будут изучены экспертами нашего института, а в дальнейшем будут использованы для развития сейсмостойкого строительства не только в Узбекистане, но и в Казахстане», – уверен Ералы Шокбаров.

Колебания здания будут возбуждаться вибромашиной инерционного действия типа В-3, установленной на его крыше. Применение вибрационной машины позволит реализовать при испытаниях динамический характер нагружения исследуемых несущих стеновых конструкций и определить основные особенности их поведения при нагрузках типа сейсмических.

Планируется, что вибродинамические испытания пройдут в 5 этапов, на каждом этапе испытаний здание будет совершать колебания с плавно увеличивающимися до задаваемого предела амплитудами. После каждого этапа при проведении вибрационных испытаний будет осуществляться: регистрация колебаний и предварительная обработка данных, визуальное обследование конструкций, фотофиксация возникших повреждений, а также видеосъемка колебаний здания. Данные об ускорениях перемещения конструкции, полученные в ходе виброиспытаний, будут в дальнейшем применены для анализа поведения здания в случае разрушительного землетрясения. Специалисты АО «КазНИИСА» также проверят соответствие фактической прочности бетона проектной прочности.

От АО «НИЦ «Строительство» и Российской Ассоциации по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС) в испытаниях приняли участие директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», президент РАСС, д.т.н., про-

фессор И.И. Ведяков и заместитель руководителя ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», вице-президент РАСС А.А. Бубис.



16 октября, США, ФЛОРИДА



**Сила науки: в полностью разрушенном ураганом «Майкл» городе нашли практически невредимый дом**  
Социальные сети бурно обсуждают фотографии, сделанные в населенном пункте Мексико-Бич. Как сообщает [www.usa.one](http://www.usa.one). В городе, уничтоженном ураганом 4-й категории, нашлся дом, который не только

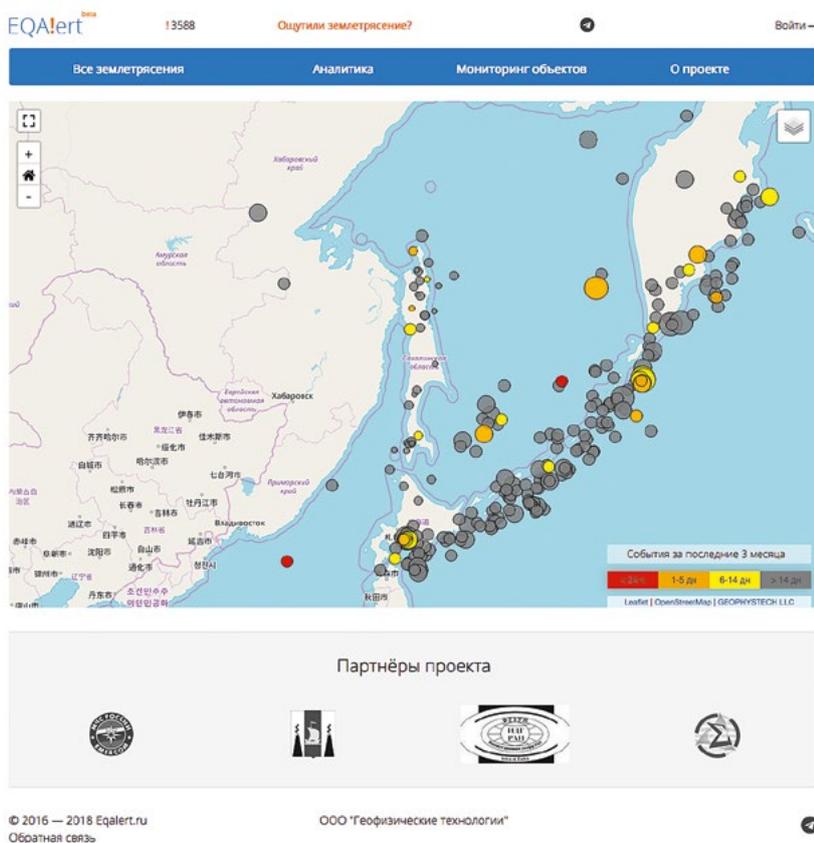
пережил колоссальную силу непогоды, но и практически не пострадал. Шокированные пользователи бросились выяснять, не «фейк» ли это, и каким образом здание выдержало натиск природы. Вскоре выяснилось, что история с уцелевшим домом – правда, а секрет кроется в науке и здоровом подходе к постройке жилья.

История началась с того, что в интернет выложили видео- и фотоматериалы, на которых видны масштабы ущерба, нанесенного ураганом «Майкл». Внимательные пользователи быстро отметили, что на фоне всеобщих разрушений можно заметить невредимое здание. Складывалось ощущение, будто дом защитили всевышние силы, ведь он не только выстоял, но и выглядел как новенький. Вскоре чудесным спасением заинтересовались журналисты, которые отправились в разрушенный до основания город и нашли то самое место. Они быстро выяснили, что пользователям социальных сетей не привиделось. Хозяевами здания под названием «Песочный дворец», оказались Рассел Кинг и его племянник Леброн Лэки. Выяснилось, что они были чуть ли не единственными людьми в городе, кто готовился к подобному урагану. По словам Леброна, при постройке здания они с дядей учитывали климат Флориды. Сильный шторм здесь не редкость, из-за чего мужчины создали специальный проект дома, призванный достойно противостоять бурному нраву природы. Его стены способны выдерживать порывы ветра до 250 км/ч, а основная часть «Песочного дворца» была приподнята на железобетонных балках. Это сделали специально для того, чтобы в случае потопа вода свободно проходила под домом. Владельцы здания признаются: хоть они и строили его с учетом сильнее урагана, однако уверенности в том, что «Песочный дворец» выстоит, не было. Во время разгула непогоды Леброн Лэки, находясь в штате Теннесси, наблюдал за разворачивающимся катаклизмом через видеокамеру, которую установили на доме. Пока связь работала, мужчина успел заметить, как вокруг пляжной резиденции летают обломки зданий, инфраструктуры и различный мусор. Он был уверен, что еще чуть-чуть – и все развалится. «Я наблюдал за углом крыши и видел, как мимо проносятся обломки со скоростью самолета», – говорит Лэки. Несмотря на то, что издалека кажется, будто «Песочный дворец» вовсе не пострадал, на самом деле это не так. Первый этаж испытал на себе всю силу урагана, и теперь владельцам предстоит его восстанавливать. Однако, по их словам, ремонт займет не больше месяца. Если учесть, что рядом стоящие здания разрушены до самого основания, то Кинг и Леброн фактически отделались легким испугом. Мужчины очень переживают за людей, чьи дома не выдержали напора стихии. В то же время они не могут нарадоваться, что сделали все по науке и выиграли противостояние с ураганом. Хозяева не уточняют, сколько денег им стоило «укрепление», но, по подсчетам экспертов, эта сумма не превышает \$30 тыс. При этом сама недвижимость оценивается в \$400 тыс.

**Павел Ком**

[https://usa.one/2018/10/sila-nauki-v-polnostyu-razrushennom-uraganom-majkl-gorode-nashli-prakticheski-nevredimyj-dom/?fbclid=IwAR2wo5QBmB1DfAksWSKb71QVOITVHdKmrQSnHoqYZWw0nWuHVtyDirC\\_hc](https://usa.one/2018/10/sila-nauki-v-polnostyu-razrushennom-uraganom-majkl-gorode-nashli-prakticheski-nevredimyj-dom/?fbclid=IwAR2wo5QBmB1DfAksWSKb71QVOITVHdKmrQSnHoqYZWw0nWuHVtyDirC_hc)

# EQALERT.RU – землетрясения в реальном времени



Сейсмологический сервис [eqalert.ru](http://eqalert.ru) обеспечивает население, заинтересованные организации и научное сообщество актуальной информацией о землетрясениях и сейсмических воздействиях на территории Дальнего Востока России. На сайте доступна онлайн карта землетрясений, карта сейсмических воздействий для каждого события, подробная информация о сейсмических событиях и интенсивности в ближайших от эпицентра населенных пунктах. Информация о сейсмической обстановке обновляется в режиме реального времени.

Цель проекта – развитие открытого сейсмологического центра на Дальнем Востоке России для исследования сейсмической активности, оценки сейсмической опасности и риска, представления расширенных результатов обработки исследователям, проектным организациям, аварийно-спасательным службам, операторам крупных промышленных объектов.

На текущем этапе развития проекта, в непрерывном режиме анализируется сейсмическая обстановка в следующих регионах России:

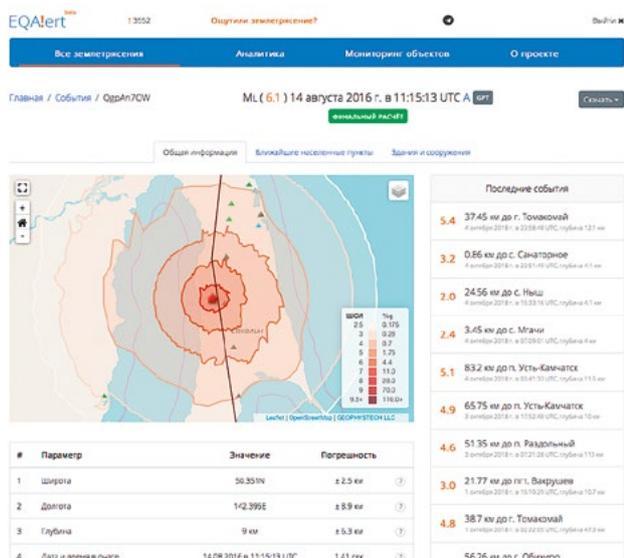
- Сахалинской области ( $M \geq 2.5$ );
- Камчатского края ( $M \geq 4.0$ );
- Хабаровского края ( $M \geq 4.0$ );
- Приморского края ( $M \geq 4.0$ );
- Республики Саха, Якутии ( $M \geq 4.5$ );
- Магаданской области ( $M \geq 4.5$ );
- Чукотского автономного округа ( $M \geq 4.5$ );
- Еврейской автономной области ( $M \geq 4.5$ );
- Амурской области ( $M \geq 4.5$ ).

Сейсмологический сервис [eqalert.ru](http://eqalert.ru) объединяет широкий спектр технологий. Аппаратно-программный комплекс включает в себя данные с локальных, региональных и глобальных сейсмических станций, подсистемы автоматического процессинга сейсмологических данных, модули расчета параметров сейсмических воздействий, интерфейсы обмена сейсмологическими данными. Реализована интеграция с оперативными автоматизированными сервисами Геологической службы США для получения информации о параметрах сильных землетрясений.

В настоящий момент в подсистему автоматического процессинга интегрированы данные с 25 сейсмических станций. Сейсмические записи в режиме близком к реальному времени предоставлены сейсмическими станциями ООО «ГЕОФИЗТЕХ», Хоккайдского Университета, институтов Дальневосточного отделения Российской академии наук [Ханчук и др., 2011, Korolev et al., 2015], IRIS/USGS и других партнерских организаций. Регистрирующее оборудование представлено акселерометрами, высокочувствительными короткопериодными датчиками и широкополосными сейсмометрами.

Архитектура подсистемы автоматического процессинга данных была разработана с учетом существующей международной практики построения прикладных информационных систем в области сейсмологии.

Сейсмологический сервис [eqalert.ru](http://eqalert.ru) реализует подход поэтапной обработки зарегистрированной информации. Каждый этап предполагает определенную модель реакции, а также информационные сообщения. Каждый последующий этап предоставляет информацию с возрастающим



уровнем точности. Модель многоуровневого представления информации позволяет многократно проверить результаты информационных сообщений для принятия ответственных решений и планирования действий по реагированию на нештатные ситуации.

Технологический стек автоматизированной системы процессинга сейсмологических данных был апробирован в серии научных публикаций:

- построение одномерной скоростной модели по геологическим, геофизическим и сейсмологическим данным [Konovalov et al., 2012];
- калибровка локальной магнитуды [Konovalov, Sychev 2014];
- разработка архитектуры автоматизированной системы обработки сейсмологических данных [Stepnov et al., 2014];
- внедрение подсистемы автоматического расчёта очаговых параметров землетрясения [Stepnov et al., 2017];
- апробация системы и оценка точности определений [Konovalov et al., 2018].

После наступления сейсмического события в зоне мониторинга выполняется расчет (моделирование) пиковых ускорений грунта (PGA) по региональному закону затухания сейсмических волн. В качестве регионального закона затухания

применяются общедоступные модифицированные модели затухания с оптимизированными региональными коэффициентами [Коновалов и др., 2018].

Расчет интенсивности землетрясений проводится с использованием координатной сетки, которая покрывает территорию Дальнего Востока России с постоянным интервалом между узловыми точками ~500 метров. В процессе расчета интенсивности колебаний учитываются данные о локальных грунтовых условиях в каждой точке. Карта сейсмических воздействий строится с использованием методов средневзвешенного анализа, т.е. с учетом измеренных параметров сильных движений, поступивших от сети сейсмических станций.

Информация об интенсивности колебаний на базе координатной сетки применяется для оценки потенциальных повреждений, которые могут быть нанесены объектам путем расчета по параметрическим функциям, содержащимся в сейсмической базе данных проекта.

Информация о пиковых ускорениях грунта приводится к интенсивности ШСИ-17 на основе переходных коэффициентов, определенных в [ГОСТ Р 57546-2017]. Интенсивность в ближайших населенных пунктах дополнительно оценивается по шкале MSK-64 [Оскорбин Л.С., 1977; Федотов С.А., Шумилина Л.С., 1971, ГОСТ Р 57546-2017].

С помощью публичного информационного ресурса мы получаем обратную связь от населения в виде заполненных опросных листов «Ощутили землетрясение?». Опросные листы унифицированы по методике USGS «DYFI?». Это означает, что мы получаем макросейсмическую информацию в соответствии с Модифицированной шкалой Меркалли. Полученные оценки интенсивности находятся в открытом доступе на сайте сейсмологического сервиса.

Кроме того запущен Телеграмм бот, который осуществляет срочные уведомления о новых событиях.

Разработано новое мобильное приложение для ОС ANDROID (Eqalert).

Алексей Коновалов  
Заместитель директора по научной работе  
ООО «ГЕОФИЗТЕХ», кандидат физико-математических наук

**Литература**

1. Ханчук А.И., Коновалов А.В., Сорокин А.А. и др. Инструментальное и информационно-технологическое обеспечение сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России // Вестник ДВО РАН. 2011. No 3. С. 127-137.  
 2. Korolev, S. P., Sorokin, A. A., Verkhoturov, A. L., et al. Automated Information System for Instrument-Data Processing of the Regional Seismic Observation Network of FEB RAS // Seismic Instruments. 2015. Vol. 51, No. 3. P.209-218.  
 3. A. V. Konovalov, A. A. Stepnov and V. N. Patrikeev. SEISAN Software Application for Developing an Automated Seismological Data Analysis Workstation // Seismic Instruments. 2012. Vol. 48, No. 3. P.270-281.  
 4. Konovalov, A.V., Sychev, A.S. A calibration curve

of local magnitude and intermagnitude relations for northern Sakhalin // Journal of Volcanology and Seismology. 2014. Vol. 8, No. 6. P. 390-400. <https://doi.org/10.1134/S0742046314060050>  
 5. Stepnov A.A., Gavrilov A.V., Konovalov A.V., Ottmoller L. New Architecture of an Automated System for Acquisition, Storage, and Processing of Seismic Data // Seismic Instruments. 2014. Vol. 50, No. 1. P. 67-74.  
 6. Stepnov, A.A., Konovalov, A.V., Gavrilov, A.V. et al. Earthworm-based automatic system for real-time calculation of local earthquake source parameters // Seism. Instr. (2017) 53: 267. <https://doi.org/10.3103/S0747923917040107>  
 7. Konovalov, A.V., Stepnov, A.A., Safonov, D.A. et al. The Mw=5.8 14 August 2016 middle Sakhalin earthquake on a boundary between Okhotsk and

Eurasian (Amurian) plates // J Seismol (2018) 22: 943. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9744-y>  
 8. Коновалов А.В., Манайчев К.А., Степнов А.А., Гаврилов А.В. Региональная модель затухания сильных движений грунта для о. Сахалин // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 45, № 1. С.19-30. DOI: 10.21455/VIS2018.1-2.  
 9. Оскорбин Л.С. Уравнения сейсмического поля сахалинских землетрясений // Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 3-22.  
 10. Федотов С.А., Шумилина Л.С. Сейсмическая сотрясаемость Камчатки // Известия АН СССР. Серия Физика Земли. 1971. №9. С. 3-15.  
 11. ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. Москва, Стандартинформ, 2017. 28 с.



*17 августа 2018 года исполнилось 85 лет Эдуарду Ефремовичу Хачияну – классику современной теории сейсмостойкости, доктору технических наук, профессору, Заслуженному деятелю науки Республики Армения, Лауреату Государственной премии, академику НАН Республики Армения.*

## Уважаемый Эдуард Ефремович!

*Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС), редколлегия журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», коллеги и друзья поздравляют Вас с юбилейным днем рождения!*

**Примите наши искренние пожелания долгих и плодотворных лет жизни, крепкого здоровья, благополучия, любви родных и близких, благодарных учеников, дальнейших профессиональных успехов и открытий, мирного неба и процветания!**

Э.Е. Хачиян родился 17 августа 1933 года в Карабахе. В 1956 году окончил Ереванский государственный университет. С 1956 по 2002 гг. – заведующий лабораторией, заместитель директора по науке АрмНИИ сейсмостойкого строительства. 1972-1988 гг. – профессор Ереванского государственного университета архитектуры и строительства (ЕрГАСУ) и ЕГУ. С 1997 года и по настоящее время – заведующий кафедрой «Строительная механика» Национального университета архитектуры и строительства Республики Армения, главный научный сотрудник Института геологических наук НАН РА.

Сфера научных интересов Э.Е. Хачияна – прикладная сейсмология, строительная механика, теория колебаний, динамика сооружений, сейсмостойкое строительство.

Э.Е. Хачиян – автор более 265 опубликованных работ, в том числе 12 монографий, 5 авторских свидетельств, 15 нормативных документов и инструкций, 60 научных статей на английском языке, опубликованных в разных странах, а также член редколлегий многих известных научных журналов, в том числе, журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений».

Э.Е. Хачиян уже в 60-е годы прошлого столетия стал авторитетным ученым в области сейсмостойкого строительства. Все его работы базируются на тщательном изучении и анализе реальных землетрясений и ориентированы на практическое внедрение в сейсмостойкое строительство. Профессиональная деятельность Эдуарда Ефремовича построена на сочетании практических изысканий и глубоких теоретических исследований. А такие труды юбиляра, как «Некоторые прикладные задачи теории сейсмостойкости сооружений» и «Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения» давно стали настольными книгами у специалистов в области сейсмостойкого строительства.



*Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС), редколлегия журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» поздравляют доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки РФ, Почетного строителя, Почетного члена РААСН, главного научного сотрудника ОКС АО «ЦНИИПромзданий»*

## Эмиля Наумовича Кодыша с 85-летием со дня рождения!

### Уважаемый Эмиль Наумович!

**Желаем Вам отличного здоровья на долгие годы, дальнейших успехов в профессиональной деятельности, любви родных и близких, благополучия и процветания!**

Э.Н. Кодыш родился 30 октября 1933 г. в г. Москве. После окончания МГСУ в 1955 г. он 8 лет работал на строительных объектах г. Москвы. С 1963 г. работает в АО «ЦНИИПромзданий». Под его руководством и при непосредственном участии разработаны 18 серий типовых конструкций, в том числе серии многоэтажных зданий 1.020 и объединенная серия многопустотных плит 1.041. Э.Н. Кодышем опубликовано 308 работ, в том числе в 1997-2009 гг. – 95, получено 50 авторских свидетельств и патентов. Среди опубликованных работ – монографии «Расчет железобетонных конструкций по прочности, деформативности и трещиностойкости», «Промышленные многоэтажные здания из сборных железобетонных конструкций», «Учет влияния работы железобетонных конструкций в стадии монтажа на эксплуатационный период», «Проектирование зданий ж/д транспорта», «Проектирование многоэтажных зданий с ж/б каркасом для сейсмических районов» и др.

Результаты исследований использованы при разработке с его участием нормативных документов: СНиПов, пособий по проектированию. Научный стаж Кодыша Э.Н. составляет 48 лет. Он ведет педагогическую работу с 1985 г в МГСУ, МИИКХС. 10 лет заведовал кафедрой ПГС в РГОТУПС (сейчас МИИТ), а в настоящее время трудится там по совместительству профессором. В течение 20 лет Э.Н. Кодыш является председателем ГАК №1 МГСУ. Под его руководством защищено 12 кандидатских и две докторские диссертации. В течение многих лет Эмиль Наумович организует занятия по повышению квалификации специалистов Москвы и Московской области и сотрудников института. Отдел, в котором работает Э.Н. Кодыш, осуществляет проектирование и реконструкцию объектов, из которых особо можно выделить следующие: завод ТНК в Рязани, около 100 башен сотовой связи, здание Большого театра, здание МХАТ, комплекс зданий аэропорта Шереметьево 1 и 2, здания полигона Байконур, здания предприятия «Росавиакосмос», Московского планетария и др.

Кодыш Э.Н. имеет звания «Мастер спорта СССР», Заслуженный путешественник России. Он побывал во многих уникальных районах России, СНГ и других стран.

# РЕЗУЛЬТАТЫ АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

12-14 сентября 2018 г., Хабаровск



## **Межрегиональный научно-практический семинар «Результаты актуализации нормативной базы Российской Федерации в области строительства».**

Организаторами семинара выступили АО «НИЦ «Строительство», Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству (РАСС), Министерство строительства Хабаровского края.

В семинаре приняли участие 80 специалистов из Москвы, Хабаровского края, Приморского края, Сахалинской, Иркутской, Кемеровской областей.

С приветственным словом к участникам семинара обратился заместитель министра строительства Хабаровского края А.И. Селеменев. Он подчеркнул важность и своевременность проведения семинара, его большую практическую значимость для проектировщиков, экспертов, строителей. А.И. Селеменев представил присутствующим презентацию концепции дальнейшего архитектурного развития Хабаровского края.

С докладами выступили:

- **Кудрявцев С.А.**, проректор по научной работе ДВГУПС, д.т.н., профессор, руководитель Хабаровского представительства Российской Академии архитектуры и строительных наук:  
**«Оценка сейсмической опасности и сейсмическое микрорайонирование в г. Хабаровске»**
- **Смирнова Л.Н.**, ученый секретарь АО «НИЦ «Строительство» (представила доклад заместителя генерального директора АО «НИЦ «Строительство» по научной работе А.И. Звездова):  
**«Современное состояние и концепция дальнейшего развития нормативно-технических документов в Российской Федерации в области строительства»;**
- **Ведяков И.И.**, директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»:  
**«Новые нормативные документы ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» для проектирования уникальных зданий и сооружений»;**
- **Бубис А.А.**, заместитель руководителя ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»:  
**«Новая редакция СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах»;**
- **Гизятуллин И.Р.**, инженер ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»:  
**«Использование данных станций наблюдения за динамическим поведением зданий при разработке норм и проектировании сейсмостойких сооружений»;**
- **Мурый М.А.**, начальник отдела экспертизы строительных конструкций и планировочной организации земельных участков КГБУ «Госэкспертиза Хабаровского края»:  
**«Проектирование зданий и сооружений в сейсмически опасных районах».**

Дружественная и заинтересованная аудитория активно задавала вопросы, участвовала в обсуждении докладов. По итогам работы семинара, на основании предложений и замечаний участников, готовится Решение межрегионального научно-практического семинара.

# ВСЕУКРАИНСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ УКРАИНЫ»

10-14 сентября 2018 года



1. Пансионат «Совиньон» – место проведения конференции
2. Президиум пленарного заседания конференции
- Выступает директор НИИСК д. т. н. Фаренюк Г. Г.
3. Сборник тезисов докладов
4. Доклад академика Ш.А. Хакимова
5. На встрече с ректором ОГАСА проф. А.В. Ковровым

10-14 сентября 2018 года в городе Одессе состоялась XI Всеукраинская научно-техническая конференция «Строительство в сейсмических районах Украины», организованная Государственным Научно-исследовательским институтом строительных конструкций (НИИСК) при участии Одесской государственной академии строительства и архитектуры (ОГАСА, ректор проф. Ковров А.В.). В конференции приняли участие ведущие специалисты Украины, а также представители Испании, Казахстана, Узбекистана (академик Хакимов Ш.А.), Азербайджана, Грузии, Люксембурга.

Заседания конференции проводились в конференц-залах пансионата «Совиньон». Здесь же проживала большая часть участников. Для участников конференции были организованы обзорная автобусная и пешеходная экскурсии по Одессе – поразительно красивому городу с интересной и очень насыщенной историей.

Сейчас в НИИСКе (директор д.т.н. Фаренюк Г.Г., первый заместитель директора, д.т.н., проф. Немчинов Ю.И.) работают свыше 450 высококвалифицированных специалистов, включая 8 докторов и 55 кандидатов наук. Институт был основан в 1943 году. В нем работало много выдающихся украинских ученых, представляющих практически все разделы и школы строительной науки. Спектр выполняемых работ весьма значителен – от разработки нормативных документов в строительстве до проектно-конструкторских работ и способов защиты от коррозии.

При НИИСКе имеется ряд технических комитетов по нормированию в строительстве.

Специалистами Украины были сделаны доклады по применению Еврокодов в строительстве, новым конструктивным системам зданий и сооружений, сейсмоизолирующим конструкциям, нелинейным методам расчетов с применением программных комплексов.

Интересный доклад был представлен Уго Корресом Перрети (Испания) о деятельности Международной федерации железобетона в части разработки новых разделов Еврокода.

Было представлено несколько докладов по нормативным документам по сейсмостойкому строительству нового поколения. Здесь Украина значительно опережает другие постсоветские страны, внедряющие нормативные документы на основе Еврокодов.

Рассмотрены проблемы научного сопровождения проектирования зданий повышенной этажности, вопросы папортизации жилых зданий повышенной этажности.

Представителями ООО «ЛИРА САПР» представлен доклад по сравнительному анализу различных подходов по

расчету строительных конструкций. На примере расчета 16-ти этажной рамы рассмотрено 9 методик по определению сейсмических нагрузок и перемещений системы. В качестве основного фактора приняты суммарные сейсмические нагрузки. Здесь же надо отметить доклад по использованию нормативов EUROCODE и ДБН в ПК «ЛИРА САПР 2018». Интересный доклад посвящен реализации нелинейного расчета (PUSHOVER ANALYSIS) в программе ЛИРА 10.8.

Группой ведущих специалистов Украины был представлен комплексный доклад по выбору параметров, расчету и экспериментальным исследованиям эластомерных блоков для вибростойкости зданий и сооружений. Разработанные конструктивные решения были реализованы для виброзащиты зданий высотой до 27 этажей от воздействия поездов метрополитена и автотранспорта. Предложена достаточно универсальная система для защиты антропогенных объектов, как от сейсмических воздействий, так и от побочных динамических возмущений.

АО «КазНИИСА» сделаны доклады «Восстановление эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций предварительно напряженными фиброармированными пластиками» и «Анализ эффектов сейсмоизоляции на основе результатов записей инженерно-сейсмометрической службы на зданиях», которые вызвали значительный интерес аудитории. Много было ссылок на работы института в

области теории сейсмостойкости, вибрационных испытаний, нормативных документов, новых способов усиления конструкций.

По результатам работы конференции издан сборник тезисов докладов объемом 154 стр.

На встрече с ректором ОГАСА проф. Ковровым А.В. обсуждался вопрос о возможности подготовки специалистов в аспирантуре и докторантуре, актуальный вопрос публикации в журнале «Север» (Хорватия), входящем в базу Web of Science.

Конференция была прекрасно организована и прошла в творческой и дружественной атмосфере. Научный уровень конференции был весьма высоким. В сочетании с достаточно теплой водой Черного моря и не очень дождливой погодой у приехавших специалистов остались незабываемые впечатления, которые они увезли с собой в дальние и не очень края.

В заключение следует выразить благодарность сотрудникам ОГАСА доц. Шеховцову И.В., доц. Петраш С.В., чье заботливое отношение к участникам конференции помогало решать многие текущие вопросы. Следующая конференция состоится, по словам организаторов, через три года.

*Лалин В.А.*

*кандидат технических наук, Ученый секретарь  
АО «КазНИИСА», член-корреспондент МИА и НИИ РК*

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

### Текст:

1. **Объем статьи** не должен превышать **40 000** знаков.
2. **Количество авторов** статьи – не более 3-х.
3. **Сведения об авторе** должны содержать: ФИО, регалии, место работы и должность, почтовый и электронный адреса, контактный телефон **на русском и английском языках**. Необходима фотография в формате TIF, JPG.
4. **Ключевые слова** к статье\* должны быть **на русском и английском языках**.
5. **Аннотация** к статье должна содержать 100–250 слов **на русском и английском языках**. Аннотация на английском языке не должна полностью повторять текст аннотации на русском языке. Статья должна содержать: введение, цели задачи, методы, результаты, заключение.
6. Обязательно наличие **библиографического списка** с ссылками по тексту на русском (ГОСТ Р7.0.5–2008) и английском языках (или латиницей по правилам Scopus).
7. Обязательное приложение – **рекомендательное письмо** от организации, которую представляет автор, или **экспертное заключение** (для аспирантов или соискателей ученой степени кандидата наук).

### Иллюстрации:

1. **Рисунки** должны быть представлены отдельно в форматах файлов (под PC): **PDF, EPS, AI, CDR**;
2. **Фото** должны быть представлены для публикации в форматах файлов (под PC): **TIFF, JPG**;
3. **Разрешение** файлов – не менее **300 dpi**;
4. **Таблицы, схемы и диаграммы** должны быть встроены в статью и иметь связи (быть доступными для редактирования) с программой, в которой они созданы (**Excel**);
5. Обязательно наличие **подписей к иллюстрациям**, оформленных отдельным списком.
6. **Данные в таблицах** даются полностью **без сокращений**.
7. **Математические формулы и выражения** должны быть записаны в **Microsoft Word** или с помощью редактора **Microsoft Equation 3.0**.
8. **УДК статьи**.

Ждем ваши материалы по адресу:

**109456, а/я 29, г. Москва**  
или по e-mail: **info@raee.su**,  
т/ф.: **(499) 174–70–65**



**А.С. АЛЕШИН**

главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва

УДК 550.34

## О СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ГРУНТОВОЙ ТОЛЩИ

*Нормативная база сейсмического микрорайонирования России недавно пополнилась целым рядом документов нового поколения. В частности, был принят документ СП 283.1325800.2016. В нем для описания спектральных характеристик грунтовой толщи была использована величина максимума коэффициента динамичности  $b$ . Рамки нормативного документа не позволяли подробно описать способ получения и особенности использования этого параметра, в силу чего для изыскателей это оказалось непривычным новшеством. В статье подробно описано, как получена эта величина и как ею пользоваться. Особое внимание уделено учету нелинейности связи параметров грунта и сейсмических воздействий.*

**Ключевые слова:** сейсмическое микрорайонирование, сейсмические воздействия, грунтовая толща, спектр реакции, коэффициент динамичности, моделирование, нелинейные свойства.

### Введение

Внедрение в практику сейсмического микрорайонирования (СМР) новых идей и представлений оказалось сопряжено с этапом непонимания и неприятия. Старые, привычные представления кажутся априорно установленными, а их слом – недопустимым новаторством. Они понятны, с ними сжились, кажется, они были всегда... Для принятия нового требуется время, требуются усилия и доводы. Перед выходом в свет нормативного документа [1] основные идеи, входящие в него, уже были опубликованы в ряде статей [2-4] и докладов, что можно было рассматривать в качестве подготовительной работы, но, видимо, этого оказалось недостаточно, и новые понятия упомянутого документа были частью ученых восприняты «в штыки», вызвали прямую и

скрытую полемику. Автор не склонен все неприятие отнести за счет косности оппонентов. Возможно, и автору надо было найти более убедительные аргументы, не спешить с окончательными выводами. Но обстоятельства и время не предоставляли такой возможности. Теперь такая возможность появилась, и можно снова вернуться к изложению «новых» понятий и представлений.

По поводу грунтовых коэффициентов уже опубликована соответствующая «разъяснительная» работа [5]. Теперь пришла пора подробно разобраться со спектральными характеристиками грунтовых толщ. В основе настоящей статьи лежит методика компьютерного моделирования прямой задачи сейсмического микрорайонирования (СМР): по заданным параметрам грунтовой толщи построить реакцию сейсмического волнового поля на особенности грунтового массива. Такой способ решения многих проблем СМР представляется автору предпочтительным в сравнении с ранее используемым макросейсмическим подходом, как во временном отношении – не надо ждать очередного сильного землетрясения, так и в возможности использования результатов моделирования в интерактивном режиме. Разумеется, при этом не отвергается постулат, что окончательная проверка выводов моделирования (как вообще любого метода СМР) остается за материалами макросейсмического обследования последствий сильного землетрясения [6].

### Теоретические основы

Основная особенность методики моделирования заключается в выборе в качестве зондирующего воздействия короткого импульса, длительность которого определяется величиной  $\Delta\tau$  – временного интервала между равномерно расположенными точками отсчета акселерограммы, описывающей входное движение грунта.

Как известно [7], откликом линейной системы (в том числе и системы слоев грунта) на единичный импульс является импульсная реакция, спектр которой есть частотная характеристика системы. Преимуществом такого способа исследования частотных характеристик грунтового массива является то, что в данном случае спектр входного (возбуждающего) воздействия точно известен: в частотной характеристике короткого входного импульса длительности  $\tau$  присутствуют «все частоты» от нуля вплоть до частоты  $f = 1/\tau$ .

Действительно, рассмотрим короткий импульс, начинающийся при  $t = 0$  и заканчивающийся при  $t = \tau$ . Внутри интервала  $0 < t < \tau$  функция, описывающая форму импульса, положительна и обозначена через  $x(t)$ , а вне отмеченного выше интервала тождественно равна нулю. Спектр такого импульса выражается формулой

$$S(\omega) = \int_0^\tau x(t)e^{-j\omega t} dt,$$

Положим, что длительность импульса  $\tau$  очень мала, так что экспоненциальный множитель в подынтегральном выражении, принимающий значения от 1 до  $e^{-j\omega\tau}$ , можно приближенно считать равным единице. Тогда приведенное выше выражение можно записать как

$$S(\omega) \cong \int_0^\tau x(t) dt = q,$$

где через  $q$  обозначена площадь импульса. Получается, что короткий импульс имеет равномерный спектр, не зависящий от вида функции  $x(t)$ . Приведенное выше допущение  $e^{-j\omega\tau} \cong 1$  справедливо при  $\omega\tau \ll 1$ . Следовательно, спектральная плотность  $S(\omega)$  остается постоянной вплоть до частот, сравнимых по порядку величины с  $1/\tau$ . При этих частотах спектральная плотность  $S(\omega)$  начинает убывать. Таким образом, при длительности импульса  $\tau = 0,02$  с ширина спектра возбуждающего импульса имеет порядок 50 Гц, иными словами, полностью перекрывает полосу диапазона частот инженерной сейсмологии. Итак, в спектре входного импульса представлены все частоты инженерного диапазона. Отсюда следует вывод, что реакция системы грунтовых слоев на короткий импульс должна представлять спектр реакции. Нормированный на значение в «нулевом» периоде (практически на значение при минимальном

периоде) спектра реакции есть по определению коэффициент динамичности.

В настоящей работе моделировалась прямая задача сейсмического микрорайонирования. Определялись резонансные свойства рыхлого однородного слоя толщины  $h$ , лежащего на плоской поверхности жесткого полупространства при нормальном падении волны сдвигового типа. Параметры модели задаются семью величинами: скоростями и константами поглощения поперечных волн, и плотностями слоя  $(V_1, \theta_1, \rho_1)$  и полупространства  $(V_0, \theta_0, \rho_0)$  и мощностью слоя  $h$ . Параметры рыхлого слоя традиционно принято определять при инженерных изысканиях с помощью либо инженерно-геологических, либо сейсморазведочных исследований.

Еще одно важное замечание следует сделать в связи с линейностью спектра реакции относительно входного воздействия: увеличение амплитуды входного воздействия в  $k$  раз означает точно такое же увеличение амплитуды спектра реакции. При этом вид коэффициентов динамичности не изменяется. Сказанное иллюстрируется рис. 1, где представлены: а) спектры реакции на две амплитуды ускорений 0,1 g и 0,2 g и б) коэффициенты динамичности при тех же воздействиях. Очевидно разница в форме двух графиков: амплитуды спектров реакции различаются точно в два раза, в то время как графики коэффициентов динамичности полностью сливаются, что является следствием нормировки.

Если влияние грунтовых условий сводится к умножению каждого значения спектра реакции на постоянное значение, это означает, что частотная характеристика слоя грунта постоянна и действие ее на входной сейсмический сигнал подобно действию неискажающего фильтра. При этом коэффициент динамичности не изменяется. Только амплитудно-искажающая фильтрация грунтового массива существенна при исследовании влияния грунтовой толщи на сейсмический сигнал. Тем самым влияние грунтовых условий на параметры спектра реакции может быть корректно определено с помощью коэффициента динамичности.

#### Нормативные графики коэффициентов динамичности

Прежде чем рассмотреть результаты компьютерного мо-

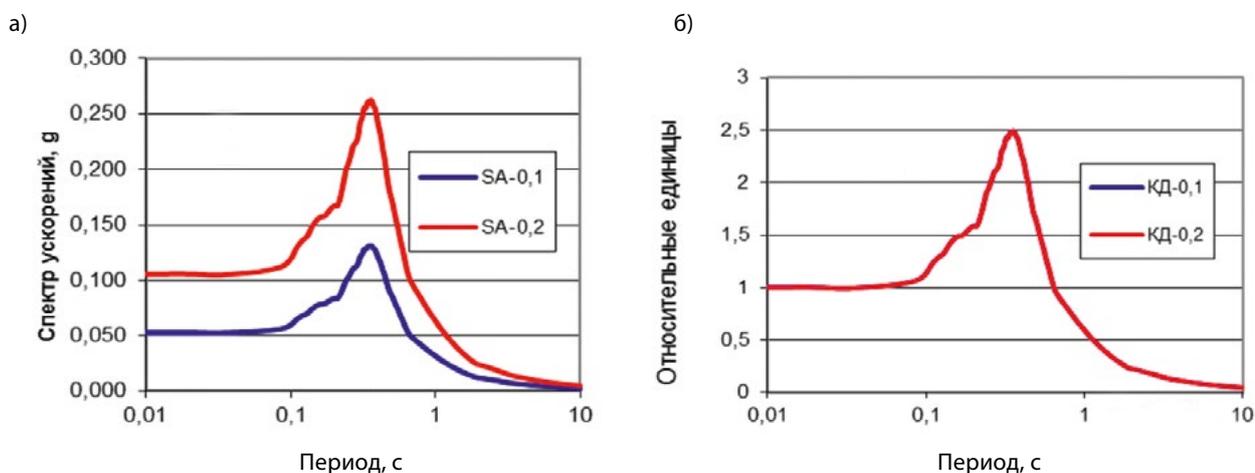


Рисунок 1 — Спектры реакции (а) и коэффициенты динамичности (б) при различных амплитудах воздействий

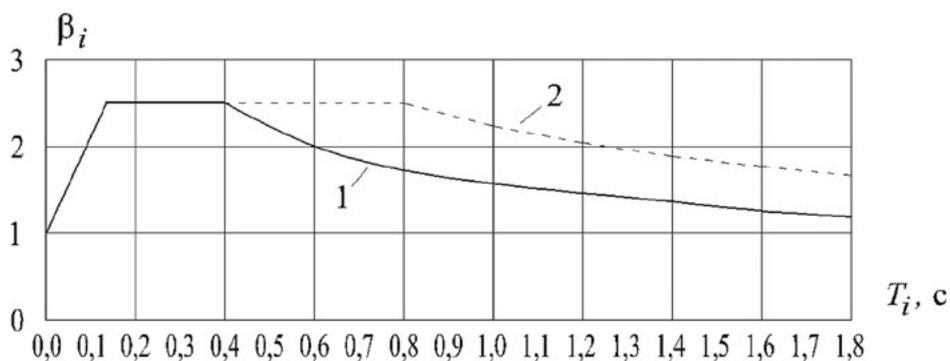


Рисунок 2 — Графики коэффициентов динамичности из [8]

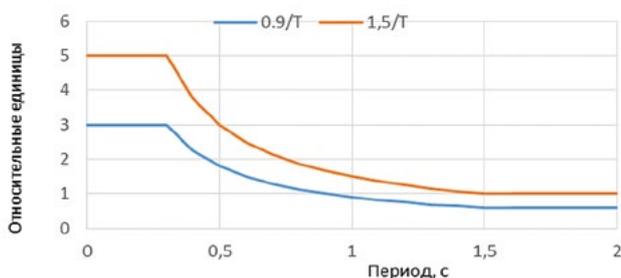


Рисунок 3 — Коэффициенты динамичности для двух типов сооружений

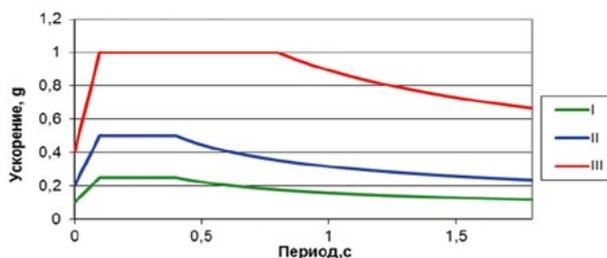


Рисунок 4 — Спектры реакции грунтовых категорий I – III из российских норм [8]

делирования рассмотрим нормативные способы и представления коэффициентов динамичности как в нынешнем документе [8], так и в более ранних его редакциях [9, 10], а также в зарубежных нормативных документах [11, 12]. Во всех перечисленных нормативных документах значение коэффициента динамичности фиксировано для всех грунтов, относящихся к одной определенной грунтовой категории. Вид графика коэффициента динамичности из действующих российских норм приведен на рис. 2.

Для грунтов категорий I и II по сейсмическим свойствам (кривая 1) при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с } \beta_i &= 1 + 15 T_i; \\ 0,1 \text{ с } < T_i < 0,4 \text{ с } \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,4 \text{ с } \beta_i &= 2,5(0,4 / T_i)^{0,5}; \end{aligned} \quad (3)$$

Для грунтов категорий III и IV по сейсмическим свойствам (кривая 2) при:

$$\begin{aligned} T_i \leq 0,1 \text{ с } \beta_i &= 1 + 15 T_i; \\ 0,1 \text{ с } < T_i < 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5; \\ T_i \geq 0,8 \text{ с } \beta_i &= 2,5(0,8 / T_i)^{0,5}. \end{aligned} \quad (4)$$

Во всех случаях значения  $\beta_i$  должны приниматься не менее 0,8.

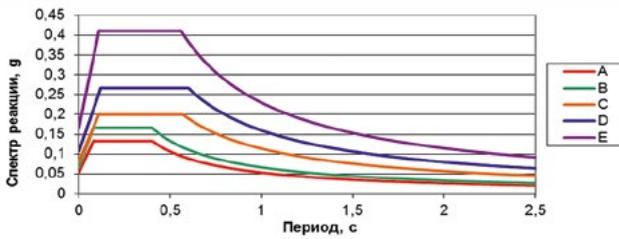
Относительно способа получения графиков коэффициентов динамичности в специальной литературе имеются весьма скудные сведения. Лишь в книге [13] приведено достаточно подробное описание порядка определения величины коэффициента динамичности в зависимости от параметров системы, в данном случае – для систем разных типов сооружений. На рис. 3 приведены два графика коэффициен-

та динамичности, соответственно для зданий промышленного и гражданского типа с законом изменения  $\beta = 0,9/T$ , где  $0,6 \leq \beta \leq 3$  и сооружений, обладающих малым затуханием, например, конструкций типа дымовых труб, мачт, башен и подобных сооружений, работающих в основном на изгиб. В этом случае значения  $\beta$  возрастут, и график нового коэффициента динамичности будет подобен предыдущему, но ординаты его примут несколько большие значения, а именно  $\beta = 1,5/T$ , где  $1 \leq \beta \leq 5$ .

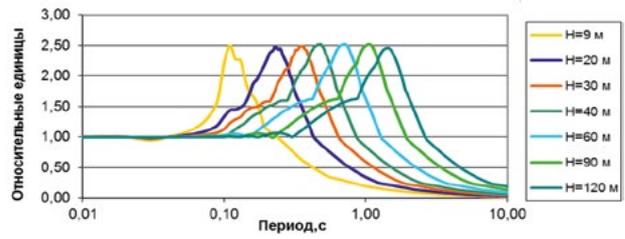
Понятно, что вид коэффициентов динамичности помимо типов сооружений зависит также от свойств грунтовой толщи. Отчасти это нашло отражение в виде рассмотренных ранее графиков коэффициента динамичности для двух типов грунтов: соответственно для категорий I и II – кривая 1 и категорий III и IV – кривая 2. Приведенные на рис. 2 графики нормативных зависимостей  $\beta_i$  лишь частично учитывают возможные эффекты, связанные с влиянием свойств грунтовой толщи на параметры сейсмических колебаний.

Помимо коэффициента динамичности сейсмические нагрузки в российских сейсмических нормах зависят от величины  $A$  – величины ускорения в уровне основания, принимаемой равной 1,0; 2,0; 4,0 м/с<sup>2</sup> для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов соответственно. Произведение коэффициента динамичности  $\beta$  на  $A$  есть спектр реакции. На рис. 4 приведены спектры реакции для грунтов категории I, II и III при исходном воздействии уровня 0,2 g (VIII баллов).

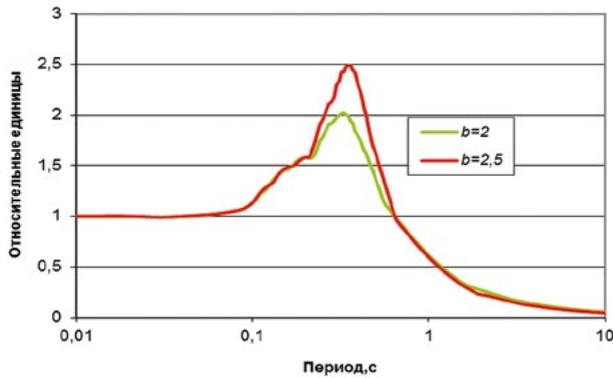
Аналогичные по смыслу графики из норм США приведены на рис. 5. При принципиальном сходстве обоих графиков представляет интерес анализ различий в отечественных и американских способах задания сейсмических нагрузок. На обоих графиках отмечается полка максимальных ускорений,



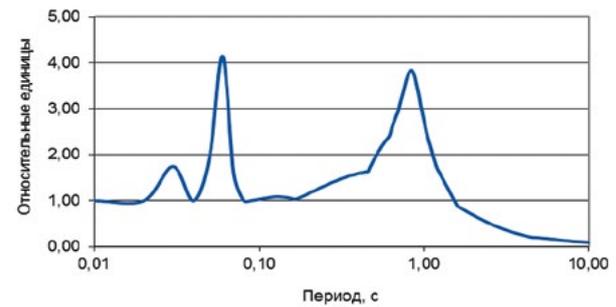
**Рисунок 5** — Спектры реакции из норм США [11]



**Рисунок 6** — Семейство графиков коэффициентов динамичности



**Рисунок 7** — Расчетные коэффициенты динамичности при различных соотношениях слоя и полупространства



**Рисунок 8** — График коэффициента динамичности модели грунтов Ленинкакана

но ширина полки не постоянна, а определяется категорией по сейсмическим свойствам грунтов. В российских нормах ширина полки одинакова для категорий грунтов I и II и несколько меняется для категорий III и IV. В американских нормах ширина полки одинакова для категорий грунтов A и B, а также одинакова для C и D, но заметно отличается для обеих отмеченных категорий. Подчеркнем, что американские категории A и B соответствуют российской категории I, а свойства грунтов категорий C и D соответствуют российской категории II «средних» грунтов. Понятно, почему эти категории в американских нормах совпадают, но непонятно почему в отечественных нормах ширина полки для категорий I и II одна и та же.

Попробуем разобраться в вопросе, как образуется полка, столь характерная в представлениях нормативных графиков коэффициента динамичности. Нормативный график представляет собой огибающую всех графиков, относящихся к определенной грунтовой категории, но различающихся как мощностями верхнего рыхлого слоя, так и параметрами слоя, не выходящими за рамки грунтовых категорий, но допускающих в рамках определенной категории довольно значительные вариации. Моделирование этого случая иллюстрируется рис. 6, на котором приведено семейство графиков коэффициентов динамичности при различной мощности рыхлого слоя, но с неизменными параметрами слоя и подстилающего полупространства – с теми же, что приведены выше для модели, представленной графиком рис. 2. Очевидно, что огибающая семейства полученных графиков будет иметь достаточно протяженную полку.

### Спектральные характеристики грунтовой толщи

Выше мы описали технику компьютерного моделирования

влияния спектральных характеристик грунтовой толщи на параметры сейсмического воздействия. Теперь пришло время показать и обсудить полученные результаты. На рис. 7 приведен вид спектра реакции и коэффициента динамичности для простейшей модели: слой рыхлого грунта мощностью 30 м с плотностью  $\rho = 1,8 \text{ м/см}^3$  и скоростью поперечной волны  $V_s = 350 \text{ м/с}$  лежит на жестком упругом полупространстве с плотностью  $\rho = 2,0 \text{ г/см}^3$  и скоростью поперечных волн  $V_s = 750 \text{ м/с}$ .

Максимум коэффициента динамичности  $b \approx 2,5$  близко соответствует отношению сейсмических жесткостей полупространства и слоя  $1500/630 \approx 2,4$ , а значение периода, при котором отмечается максимум коэффициента динамичности, примерно соответствует четверти длины волны в слое  $T \approx 0,34 \text{ с}$ . На этом же рис. 7 приведен коэффициент динамичности в случае отсутствия резонанса в системе рыхлый грунт на полупространстве при близком соотношении сейсмических жесткостей слоя и полупространства. В этом случае максимум коэффициента динамичности  $b \approx 2$ .

Полученный описанным способом коэффициент динамичности существенно отличается от формы кривых  $\beta$  и спектров реакции, приведенных выше в отечественных и зарубежных нормативных документах. Прежде всего отсутствует полка максимальных значений, и это понятно почему: ведь данный спектр характеризует конкретный грунтовой разрез, в то время как нормативный график есть суперпозиция всевозможных частных спектров. С другой стороны, как было показано ранее, максимум коэффициента динамичности может отличаться от нормативного значения 2,5 как в большую, так и меньшую сторону. Тем самым расчетный график коэффициента динамичности лучше, чем нормативный

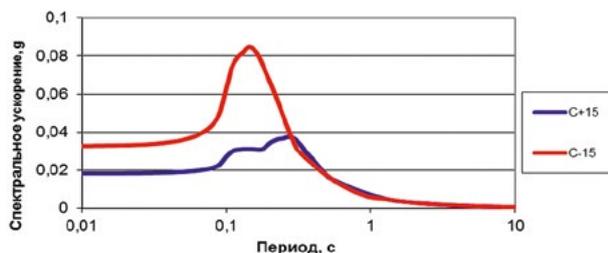


Рисунок 9 — Спектры реакции моделей C+15 и C-15

соответствует конкретной частотной характеристике реального грунтового массива, и соответствующая сейсмическая нагрузка, рассчитанная на основе коэффициента динамичности, будет лучше отображать реальную ситуацию.

Приращение сейсмической интенсивности за счет спектральных свойств грунтового массива может быть определено с помощью выражения:  $b/2 = 2,5 \Delta I$ . Коэффициент 2,5 взят в соответствии с данными новой шкалы сейсмической интенсивности ШСИ [14], согласно которой увеличению амплитуды ускорений в 2,5 раза отвечает увеличение сейсмической интенсивности на 1 балл. Отсюда, логарифмируя, получаем окончательное выражение:

$$\Delta I (\text{балл}) = 2,5 \lg b - 0,75$$

при  $b = 2$ ,  $\Delta I = 0$ ; при  $b = 4$ ,  $\Delta I = 0,75$ ; при  $b = 6$ ,  $\Delta I = 1,2$  балла.

Отметим также, что полученное приращение интенсивности за счет резонанса относится не ко всему инженерному диапазону частот (как, например, член, характеризующий сейсмическую жесткость грунтов), а только к тем частотам, которые лежат внутри интервала  $(f_0 - \Delta f \div f_0 + \Delta f)$  вблизи максимума, где ускорения не менее 0,5 от максимума. На это обстоятельство необходимо указывать в заключении относительно приращения сейсмической интенсивности и/или относительно суммарной сейсмической интенсивности.

В завершение этого раздела статьи еще раз подчеркнем, что мощность, на которую следует исследовать грунтовой массив, определяется четвертью длины волны для самого длинного периода, в свою очередь зависящего от собственных колебаний проектируемого сооружения.

В качестве поясняющего примера рассмотрим ситуацию, имевшую место в Ленинакане во время Спитакского землетрясения 1988 г. Для 12-этажных зданий, которые имели наибольшие разрушения, период собственных колебаний можно было оценить по формуле из документа [15]:  $T = 0,021 N$ , где  $N$  – высота здания. Отсюда при  $N = 40$  м получаем оценку периода собственных колебаний зданий  $T = 0,84$  с. По данным, приведенным в статье [16] средняя скорость поперечных волн слоя озерных глин в Ленинакане составила около 450 м/с, тем самым  $N = \lambda/4 = 450 \text{ м/с} \cdot 0,84 \text{ с} / 4 \approx 95$  м. График коэффициента динамичности модели грунтов Ленинакана приведен на рис.8. Максимум коэффициента динамичности, находящийся в области длинных периодов равен  $b = 3,8$ . Отсюда получаем оценку  $\Delta I = 2,5 \lg 3,8 - 0,75 \approx 0,7$  балла. Эта оценка справедлива для диапазона периодов  $0,66 \text{ с} \leq T \leq 1,0 \text{ с}$ .

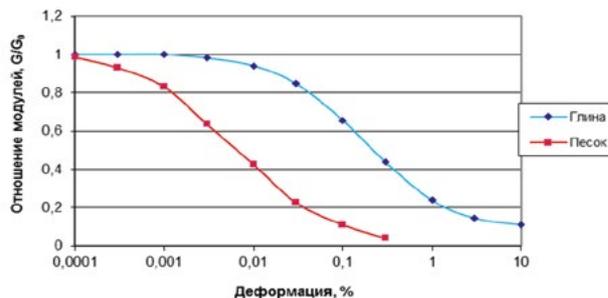


Рисунок 10 — Снижение модулей сдвига в глинах и песках

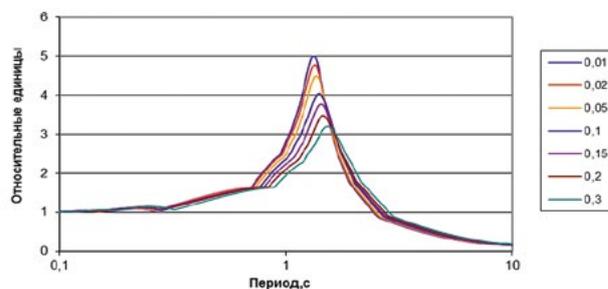


Рисунок 11 — Коэффициенты динамичности для нелинейной модели (глины)

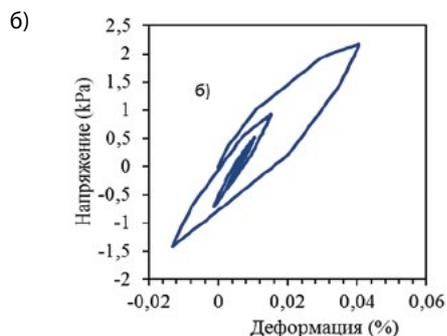
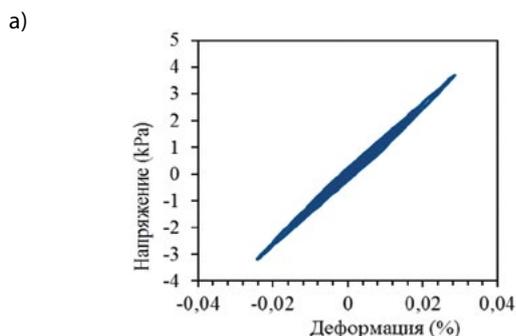
Таким образом, зная строение грунтов в Ленинакане до глубины 100 м и рассчитав частотную характеристику, можно было бы избежать (или по крайней мере уменьшить) страшные разрушения при землетрясении 1988 г.

### Структурный фактор

Резонансные явления зависят не только от контраста рыхлого верхнего слоя грунтов, но также от структуры слоев, слагающих грунтовую толщу. Значение средней сейсмической жесткости 30-метровой толщи, как следует из норматива [11], определяет отнесение грунта к одной определенной категории. Но этого оказывается недостаточно для однозначного определения формы графика коэффициента динамичности. В данном случае следует учесть то, что в книге [17] названо *структурным фактором*. Этим термином обозначается влияние на параметры сейсмических воздействий внутренней структуры массива грунта, т.е. порядок чередования слоев в массиве, который может быть произвольным, хотя средние величины скоростей и плотностей сохраняются.

Иллюстрация сказанного представлена на рис.9, где приведены два модельных примера. Параметры моделей грунтовой толщи представлены таблицей 1. Результаты моделирования представлены в виде спектров реакции на рис. 9.

Очевидно, что для моделей C+30 и C-30 различаются как вид спектральной кривой, так и, что особенно наглядно, уровень спектров. Для модели C+30 он примерно в 1,5 раза ниже, что объясняется строением грунтовой толщи: в строении модели C+30 присутствует инверсный низкоскоростной слой, и к тому же самая верхняя часть разреза в модели C+30 представлена слоем с повышенной сейсмической жесткостью. Тем самым сейсмическая волна, проходящая



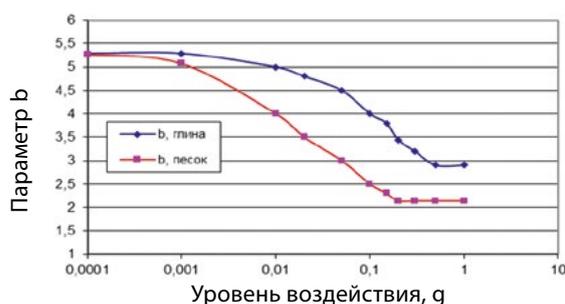
**Рисунок 12** — Графики зависимости "напряжение-деформация" для глин (а) и для песков (б)

снизу из жесткого полупространства, ослабляется ввиду двух факторов. Во-первых, на инверсной границе – кровле слоя с пониженной жесткостью – часть энергии отбрасывается назад в нижнее полупространство. Во-вторых, на кровле верхнего слоя колебания будут ниже именно в силу повышенной жесткости.

Таким образом, взамен грунтовых категорий основным понятием СМР, определяющим особенности инженерно-сейсмологических изысканий на изучаемой территории, предлагается использовать понятие *модель сейсмогрунтовых условий*. К этому понятию относятся все локальные особенности геологической обстановки, определяющие специфику сейсмических воздействий – их амплитуду и спектральный состав. При этом желательно представлять сейсмический разрез на глубину до скального фундамента или до регионального горизонта грунтов с достаточно высокой сейсмической жесткостью.

### Влияние нелинейности на спектральные характеристики грунтовой толщи

При сильных сейсмических воздействиях необходимо учитывать нелинейные свойства дисперсных грунтов. Сама по себе нелинейность связи «напряжение-деформация» вряд ли проявляется в частотно-зависимом затухании. Но сильные сейсмические воздействия влияют на тонкую структуру и свойства среды и через это влияют на частотно-зависимое поглощение. Проявление нелинейности в виде снижения



**Рисунок 13** — Зависимость параметра b от уровня сейсмических воздействий в дисперсных грунтах

модулей сдвига с ростом деформации, как показывает график рис. 10, более значительно для песков по сравнению с глинами.

Как влияют нелинейные процессы на вид графиков коэффициентов динамичности показывает рис. 11, где приведено несколько различных ветвей графика коэффициентов динамичности при разных уровнях сейсмического воздействия.

Модель среды во всех случаях одна и та же: слой рыхлого грунта с параметрами  $V_s = 100$  м/с и  $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup> мощностью 30 м лежит на упругом полупространстве с параметрами  $V_s = 1000$  м/с и  $\rho = 2,2$  г/см<sup>3</sup>. Параметры нелинейности соответствуют лабораторным данным, полученным при испытаниях глинистых грунтов. Индексами 0,01 ÷ 0,3 обо-

**Таблица 1** — Параметры моделей грунтовой толщи

Номер слоя	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Скорость $V_s$ , м/с	Мощность, м
модель С+15			
1	2,0	667	15
2	1,8	400	15
3	2,2	1000	∞
модель С-15			
1	1,8	400	15
2	2,0	667	15
3	2,2	1000	∞

значены амплитуды возбуждающего импульса в долях  $g$ . График коэффициента динамичности при амплитуде 0,01  $g$  близок к линейной модели. Хотя значение периода в целом сохраняется для разных амплитуд возбуждения, нелинейность несколько расширяет частотный диапазон и заметно понижает правый низкочастотный срез характеристики.

Нелинейность песков значительно выше, чем в глинах. Это, в частности, можно увидеть на графиках рис. 10, где спад отношения модулей сдвига  $G/G_0$  для песков начинается значительно ранее, чем для глин. Другой иллюстрацией сказанного является рис. 12, где приведены графики связи «напряжение-деформация» для глин – (а) и песков (б) при уровне возбуждения 0,1  $g$ .

Параметр  $b$ , который, как было показано выше, определяет резонансные свойства грунтовой толщи, заметно изменяется в дисперсных грунтах под влиянием достаточно интенсивных сейсмических воздействий. Это показывает рис. 13, где приведены результаты расчетов параметра  $b$  на моделях дисперсных грунтов.

Как видно из рисунка, на графиках отчетливо выделяются три характерные зоны – начальное плато, характеризующее линейной связью напряжений и деформаций при низком уровне сейсмических воздействий, конечное плато, соответствующее уровню насыщения, при котором величина  $b$  не изменяется, несмотря на увеличение уровня сейсмического воздействия, и третий участок – уменьшения  $b$  при росте уровня сейсмических воздействий. Значения  $b$  на уровне конечного плато зависят от свойств грунта. Можно предположить, что в этом диапазоне сейсмических нагрузок происходит окончательное уплотнение грунтового массива, и он (массив) снова становится упругим.

В целом, нелинейность уменьшает величину параметра  $b$  и соответственно снижает уровень резонансов в слое рыхлого грунта.

## Заключение

В заключение сформулируем основные результаты работы.

1. Разработана методика компьютерного моделирования прямой задачи СМР – рассчитать параметры сейсмического волнового поля по заданной модели грунтовой толщи. Возбуждение осуществляется стандартным способом с использованием короткого импульса заданной величины. В качестве отклика используется спектр реакции или его нормированный аналог – коэффициент динамичности.
2. Проанализированы способы задания нормативных значений коэффициента динамичности. Показано, что нормативные величины не перекрывают диапазон возможных вариаций как свойств сейсмических воздействий, так и реакций грунтового массива на эти воздействия. Значения максимума коэффициента динамичности могут значительно превышать нынешние нормативные значения 2,5.
3. В качестве характеристики спектральных свойств грунтовой толщи предложено использовать параметр  $b$  – максимум коэффициента динамичности.
4. Определено выражение, связывающее приращение сейсмической интенсивности со значением сейсмической жесткости грунтового массива и параметром  $b$ .
5. Показана важность учета внутренней структуры грунтового массива. Взамен грунтовых категорий основным понятием СМР, определяющим особенности инженерно-сейсмологических изысканий на изучаемой территории, предлагается использовать понятие модели сейсмогрунтовых условий.
6. Исследовано влияние нелинейности связи «напряжение-деформация» на спектральные характеристики грунтовой толщи при сильных сейсмических воздействиях. Показано, что нелинейность заметно уменьшает интенсивность резонансных процессов в грунтовом массиве.

## Литература

1. СП 283.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования.
2. Алешин А.С. Основные понятия сейсмического микрорайонирования: категория, балл, модель // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. №5. С.9-13.
3. Aleshin A.S "The paradigm of the seismic zonation continuity" // World Journal of Engineering and Technology, ISSN: 2331-4222). 2015. №3.Рр.338-343.
4. Алешин А.С. Основы континуальной теории сейсмического микрорайонирования// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015. №5. С.18-26.
5. Алешин А.С. О грунтовых коэффициентах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, 2018. №2. С.6-13.
6. Шебалин Н.В. О макросейсмической основе сейсмического микрорайонирования. В кн.:

Сейсмическое движение грунта. М.: Наука. 1970. 202 с.

7. Харкевич А.А. Теоретические основы радиосвязи. М.: Связьиздат. 1957. 348 с.

8. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. М., 2014.

9. СНиП II 8 - 78. М.: Стройиздат. 1977.

10. Нормы и правила строительства в сейсмических районах (СН 8-57). Стройиздат. 1957.

11. BSSC (BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL). 2003: NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Part 1: Provisions, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report FEMA 450), Washington, D.C., 356 p.

12. European Committee for Standardization. (2003). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions, and rules for buildings, EN 1998-1:2003, Brussels, 229 p.

13. Корчинский И.Л., Бородин Л.А., Гроссман

А.Б. и др. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа. 1971. 320 с.

14. Антикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование. 2012. 176 с.

15. Руководство по проектированию конструкций и технологии возведения монолитных бескаркасных зданий / ЦНИИЭП жилища Госгражданстроя. М.: Стройиздат. 1982. 216 с.

16. Сакс М.В., Штейнберг В.В. О частотной избирательности колебаний грунтов при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. // В кн. Оценка эффекта сильных землетрясений. Вопр. инж. сейсмол., вып.30. М.: Наука. 1989. С.164-166.

17. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. М.: Научный мир. 2017. 300 с.

Материалы хранятся по адресу: 123242, г. Москва, ул. Б.Грузинская, 10. ФГБУН ИФЗ РАН

---

**ALESHIN A., Chief researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, DSc (Doctor of Science in Physics and Mathematics)**

## ON THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL MASSIF

### Abstract

The regulatory framework for seismic microzoning in Russia has recently been supplemented by a number of new generation documents. In particular, the document SP 283.1325800.2016 was adopted. In it for the description of spectral characteristics of a soil thickness the value of a maximum of coefficient of dynamism  $b$  was used. The scope of the normative document did not allow to describe in detail the method of obtaining and features of the use of this parameter, which is why it turned out to be an unusual innovation for prospectors. The article describes in detail how this value is obtained and how to use it. The ways of setting the standard values of the dynamic coefficient are analyzed. It is shown that the standard values do not cover the range of possible variations in both the properties of seismic effects and the reactions of the soil mass to these effects. The values of the maximum coefficient of

dynamism can be significantly higher than the current normative values of 2.5. The importance of taking into account the internal structure of the soil mass is shown. Instead of soil categories the basic concept of construction, the defining features of engineering-seismological investigations in the study area, it is proposed to use the notion of model ground conditions. Special attention is paid to the consideration of nonlinear phenomena under strong seismic impacts. The effect of the nonlinearity of the stress-strain relationship on the spectral characteristics of the soil layer under strong seismic impacts is studied. It is shown that the nonlinearity significantly reduces the intensity of resonance processes in the soil massif.

**Keywords:** seismic microzoning, seismic effects, soil thickness, the response spectrum, the dynamic factor, modeling, non-linear properties.

### References

1. SP 283.1325800.2016. Ob'ekty stroitel'nye povyshennoy otvetstvennosti. Pravila seysmicheskogo mikrorayonirovaniya. (High critical building objects. Rules of seismic microzoning), Moscow: 2016.
2. Aleshin A.S. Osnovnye ponyatiya seismicheskogo mikrorayonirovaniya: kategoriya, ball, model'[Basic concepts of seismic microzoning: category, intensity degree, model]//Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy [Earthquake Engineering. Constructions safety]. 2013. N5, pp.9-13(Rus.).
3. Aleshin A.S. "The paradigm of the seismic zonation continuity" // World Journal of Engineering and Technology, ISSN: 2331-4222, 2015, 3, 338-343
4. Aleshin A.S. Osnovy kontinual'noy teorii seismicheskogo mikrorayonirovaniya (Fundamentals of continuum theory of seismic microzoning)//Earthquake Engineering. Constructions safety. 2015.N5. pp.18-26.
5. Aleshin A.S. O gruntovykh koeffitsientakh// Earthquake Engineering. Constructions safety. 2018.N2. pp.6-13.
6. Shebalin N.V. O makroseismicheskoy osnove seismicheskogo mikrorayonirovaniya (On the macroseismic basis of seismic microzoning). -In the book.: Seismic ground motion. M.: Nauka, 1970.
7. Kharkevich A.A, Teoreticheskiye osnovy radio-svyazi (Theoretical bases of radio), Moscow: Svyasizdat, 1957, 348 p.
8. Stroitel'nye Pravila. Stroitel'stvo v seismicheskikh rayonakh. SP 14.13330.2014 (Seismic Building Design Code) SP 14. 13330. 2014.
9. SNiP II-7-81. Construction in seismic areas. M.: Stroyizdat, 1982.
10. Norms and rules of construction in seismic areas (CH 8-57). Stroyizdat, 1957.
11. BSSC (BUILDING SEISMIC SAFETY COUNCIL). 2003: NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Part 1: Provisions, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report FEMA 450), Washington, D.C., 356 p.
12. European Committee for Standardization. (2003). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions, and rules for buildings, EN 1998-1:2003, Brussels, 229 p.
13. Korchinsky I.L., Borodin L. A., Grossman A. B., etc. Seysmostoykoye stroitel'stvo zdaniy (Earthquake-resistant construction of buildings). M., Vysshaya shkola, 1971. 320 pp.
14. Aptikaev F.F. Instrumental'naya shkala seismicheskoy intensivnosti (The instrumental seismic intensity scale), Moscow, Nauka i obrazovaniye, 2012, 176 p.
15. Rukovodstvo po proyektirovaniyu konstruktivnykh i tekhnologiy vozvedeniya monolitnykh beskarkasnykh zdaniy (Guidelines for the design of structures and technology of construction of monolithic frameless buildings). M., Stroyizdat, 1982. 216 p.
16. Saks M.V., Shteinberg V.V. O chastotnoy izbiratel'nosti gruntov pri Spitakskom zemletryaseni 7.12.1988 (About frequency selectivity of the soil oscillation during the Spitak earthquake 7.12.1988) Vopr. Inzh. Seismol., 1989, no. 30, pp. 164–166.
17. Aleshin A.S. Kontinual'naya teoriya seismicheskogo mikrorayonirovaniya (The continual theory of seismic microzoning). Moscow., Scientific World, 2017, 300 p.

---

**Для цитирования:** Алешин А.С. О спектральных характеристиках грунтовой толщи//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 16-23.

**For citation:** Aleshin A.S. On the spectral characteristics of the soil massif // Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 5, pp. 16-23. (In Russian).



**А. Г. ТЯПИН**  
доктор технических наук

АО «Атомэнергoproject», г. Москва

УДК 624.042.7

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО АСИМПТОТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ: РОЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОСНОВАНИЕМ

Комбинированный асимптотический метод (КАМ), разработанный для учета динамического взаимодействия сооружений с основанием при сейсмических воздействиях (SSI), традиционно применяется при расчете тяжелых и сравнительно жестких сооружений АЭС. Однако некоторые современные гражданские сооружения по своим параметрам (прежде всего, по размерам и массам) уже приближаются к сооружениям АЭС. Возникает вопрос о степени влияния и о необходимости учета эффектов SSI в расчетах подобных сооружений. В прошлой статье приведены результаты применения КАМ к расчету высотного сооружения на модельном однородном основании. В настоящей статье эти результаты анализируются с точки зрения вопроса о влиянии динамического взаимодействия с основанием на сейсмическую реакцию. Тот же вопрос можно переформулировать как вопрос о применимости расчета по схеме с защемленным фундаментом. Оказывается, этот вопрос следует ставить отдельно для горизонтально-качательных колебаний в двух вертикальных плоскостях, для вертикальных колебаний и для крутильных колебаний, если сооружение несимметрично. Роль SSI может быть разной (существенной или не существенной) для одного и того же сооружения в разных направлениях. Соответственно и метод расчета на защемленном фундаменте может быть применим в одних направлениях и не применим в других. Результаты проверялись по эмпирическим критериям применимости расчета на защемленном фундаменте, предлагаемым в атомных нормах. Они основаны на сравнении низших собственных частот податливого сооружения на жестком

основании и жесткого сооружения на податливом основании. Критерии подтверждаются полученными результатами, если проводить такое сравнение отдельно по направлениям. Если же проводить общее сравнение собственных частот, можно получить неправильный результат, и наш случай как раз дает тому показательный пример.

**Ключевые слова:** сейсмическая реакция, взаимодействие сооружений с основанием, комбинированный асимптотический метод, высотное здание.

**В** статье [1] представлен большой объем результатов, относящихся к расчету сейсмической реакции высотного сооружения с учетом его взаимодействия с грунтовым основанием различной жесткости. В настоящей статье эти результаты обсуждаются и анализируются.

Первый и главный вопрос: существенно ли влияет взаимодействие с основанием (SSI) на сейсмическую реакцию рассматриваемого сооружения? Можно ли вообще пренебрегать им и рассчитывать сооружение по схеме защемленного фундамента? Ответ на этот вопрос получился неоднозначным: степень влияния SSI оказалась разной для разных компонент воздействия и реакции. Горизонтальные компоненты реакции фундамента не очень сильно отличаются от горизонтальных компонент воздействия на свободной по-

верхности (см. рис.10 и 11 в [1]). С другой стороны, за счет податливости грунтового основания у фундамента появились вращательные компоненты реакции. Крутильная компонента не очень велика, но качательные компоненты более существенны. Судя по всему, именно они ответственны за заметные (кое-где более 20%) отклонения интегральных горизонтальных сил и качательных моментов под подошвой фундамента, вычисленных с учетом SSI, от соответствующих усилий, вычисленных по схеме защемленного фундамента (см. таблицу 1 в [1]). Справедливости ради следует отметить, что эти отклонения во всех случаях привели к уменьшению максимальных по модулю усилий. Также стоит отметить, что во всех случаях смягчение основания привело к уменьшению интегральных усилий. Так что можно высказать осторожное предположение о том, что с точки зрения горизонтально-качательной реакции расчет по схеме защемленного фундамента является консервативным. Впрочем, это предположение нуждается в дополнительном обосновании.

Причины, по которым для рассмотренного очень тяжелого сооружения и сравнительно податливого основания эффекты SSI не проявляются так, как это происходит с сооружениями АЭС [2], заключаются в совершенно другой податливости рассматриваемого сооружения. Об этом пойдет речь дальше.

Совершенно другая ситуация наблюдается по вертикали, причем эта ситуация намного привычнее для расчетчиков АЭС. Уже в спектрах ускорений на фундаменте (см. рис.13 в [1]) мы видим заметное влияние податливости основания: на каких-то частотах заметен резонанс (см. также рис.10 в [1]), положение которого зависит от жесткости грунтового основания. В закритической области спектры вертикальных ускорений реакции меньше спектров ускорений воздействия. С точки зрения интегральных вертикальных усилий под подошвой фундамента (см. таблицу 1 в [1]) податливость основания за счет упомянутого резонанса может привести к тому, что расчет по схеме защемленного фундамента окажется неконсервативным. В нашем случае это произошло для наиболее жесткого из трех рассмотренных грунтовых оснований. Впрочем, степень неконсерватизма оказалась не очень большой.

Посмотрим, как такие выводы соответствуют критериям наличия или отсутствия взаимодействия сооружений с основанием, приведенным в атомном стандарте [3]. Напомним, что авторы [3] предлагают рассчитать собственные частоты в двух вариантах. Первый вариант – это собственные частоты сооружения на защемленном фундаменте. Они уже получены при модальном анализе модели сооружения на защемленном фундаменте и приведены в [1]: первые частоты, соответствующие горизонтально-качательным формам, составили в двух главных вертикальных плоскостях соответственно 0,109 и 0,111 Гц, первая частота, соответствующая вертикальной форме, составила около 1,587 Гц. Второй вариант расчета собственных частот – это расчет собственных частот сооружения как жесткого целого на грунтовых пружинах, описываемых формулами для штампа на однородном полупространстве. Идея состоит в сопоставлении низших собственных частот для первого и второго вариантов.

Проведем соответствующие расчеты для среднего из трех грунтов, рассмотренных в [1]. При заданных скоро-

стях продольных и поперечных волн в грунте  $V_p = 1300$  и  $V_s = 400$  м/с [1] сначала определим по их отношению коэффициент Пуассона  $\nu$  из соотношения:

$$\frac{V_p^2}{V_s^2} = \frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu} \quad (1)$$

Отсюда  $\nu = 0,4477$ , что вполне реально для водонасыщенных осадочных грунтов. Далее вычислим поступательные и качательные жесткости грунтовых пружин согласно табличным формулам [3]. Модуль сдвига грунта равен

$$G = \rho V_s^2 = 2 \times (400)^2 = 0,32 \times 10^6 \text{ кПа} \quad (2)$$

Безразмерные коэффициенты для квадратного фундамента ( $B = L = 40$  м) равны  $\beta_x = 1,01$ ;  $\beta_z = 2,17$ ;  $\beta_\psi = 0,52$  [3]. Горизонтальная жесткость основания для штампа равна [3]

$$k_x = 2(1 + \nu) G \beta_x \sqrt{BL} = 37,43 \times 10^6 \text{ кН/м} \quad (3)$$

Это значение можно сравнить со значением действительной части соответствующего импеданса, вычисленного по программе SASSI в [1]: там для наименьшей частоты оно составило 40,86Е6 кН/м.

Вертикальная жесткость основания для штампа равна

$$k_z = \frac{G}{(1 - \nu)} \beta_z \sqrt{BL} = 50,29 \times 10^6 \text{ кН/м} \quad (4)$$

Это значение можно сравнить со значением действительной части соответствующего импеданса, вычисленного по программе SASSI в [1]: там для наименьшей частоты оно составило 57,9Е6 кН/м.

Качательная жесткость основания для штампа равна

$$k_\psi = \frac{G}{1 - \nu} \beta_\psi BL^2 = 1,9282 \times 10^{10} \text{ кН} \times \text{м} \quad (5)$$

Это значение можно сравнить со значением действительной части соответствующего импеданса, вычисленного по программе SASSI в [1]: там для наименьшей частоты оно составило 2,16Е10 кН м.

Во всех трех случаях табличные значения несколько меньше вычисленных. Это не должно пугать – точные значения зависят от частоты, и табличные значения призваны описать эффективную жесткость основания.

Теперь оценим собственные частоты жесткого сооружения на вычисленных грунтовых пружинах, предположив для простоты, что колебания разделяются на горизонтально-качательные, вертикальные и крутильные. Начнем с вертикальной частоты. Напомним [1], что масса  $m$  сооружения в нашем случае составляет 0,2248Е6 т.

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_z}{m}} = 2,38 \text{ Гц} \quad (6)$$

Эту частоту авторы [3] предлагают сравнить с первой частотой собственных колебаний податливого сооружения на защемленном фундаменте (мы помним, что она равна 1,587 Гц). Если частота жесткого сооружения на грунтовых пружинах превышает частоту податливого сооружения на защемленном фундаменте более чем в два раза, эффекты SSI считаются несущественными. Мы видим, что в нашем случае это не так:  $2,38/1,587=1,5$ , что меньше двух. Это означает, что эффектами SSI в нашем случае пренебрегать нельзя, – и дей-

ствительно, мы видели [1], что в вертикальном направлении они существенны (по крайней мере, по спектрам вертикальных ускорений).

Теперь обратимся к горизонтально-качательным формам колебаний. Для начала оценим т.н. «парциальные» собственные частоты, т.е. частоты в предположении об одномерности колебаний. Для оценки горизонтальной парциальной частоты достаточно использовать аналог (6) с заменой вертикальной грунтовой жесткости на горизонтальную:

$$f_x = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_x}{m}} = 2,05 \text{ Гц} \quad (7)$$

По аналогии можно рассчитать парциальную частоту чисто качательных колебаний. Момент инерции относительно подошвы составляет  $6,9832\text{E}9 \text{ т м}^2$  (это данные из программы ABAQUS).

$$f_{yy} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{\psi}}{I_{yy}}} = 0,2644 \text{ Гц} \quad (8)$$

Как видим, упрощенный расчет показывает, что качательная парциальная частота оказалась намного меньше, чем горизонтальная. При этом аномальной из этих двух частот является именно качательная: значение горизонтальной парциальной частоты 2,05 Гц (7) вполне привычно для расчетчиков АЭС.

Но это был упрощенный подход: он не учитывал связи между горизонтальными и качательными колебаниями. Этой связи нет в табличных формулах для жесткостей грунтовых пружин, но зато она есть в матрице инерции. Соответствующий элемент матрицы инерции равен  $M_{x,yy} = H_c m$ , где  $m$  – масса сооружения, а  $H_c$  – высота центра тяжести над подошвой фундамента, в нашем случае с учетом толщины плиты составляющая 146,58 м. Поэтому собственная частота связанных горизонтально-качательных колебаний должна определяться не по простым формулам (7,8), а из биквадратного уравнения (т.е. квадратного уравнения относительно квадрата неизвестного)

$$\det \begin{bmatrix} k_x - \omega^2 m & -\omega^2 M_{x,yy} \\ -\omega^2 M_{x,yy} & k_{\psi} - \omega^2 I_{yy} \end{bmatrix} = 0 \quad (9)$$

Вычисления дают значение низшей частоты 0,26295 Гц. Оно чуть меньше меньшего из двух «парциальных» значений (7,8), как и должно быть по физическому смыслу. Отметим также, что частота связанных горизонтально-качательных колебаний (0,26295 Гц) оказалась почти равна парциальной частоте чисто качательных колебаний (0,2644 Гц), а парциальная частота чисто горизонтальных колебаний оказалась примерно в восемь раз больше (2,05 Гц). Это означает, что в первой форме горизонтально-качательных колебаний сооружения на грунтовых пружинах качание фундамента будет проявляться намного существеннее, чем его горизонтальное смещение.

Вернемся к критерию важности эффектов SSI. Полученную выше собственную частоту надо сравнить с низшей частотой податливого сооружения на защемленном фундаменте в той же вертикальной плоскости. Отношение частот

$0,26295/0,11179=2,352$  оказалось больше двух, хотя и не много. Это говорит о том, что влияние SSI на горизонтально-качательные колебания не очень велико, что подтверждается результатами [1]. С другой стороны, превышение порогового значения не очень большое (2,35 против 2,0), да и само пороговое значение имеет эмпирическую природу. Это объясняет, почему в горизонтальных силах и моментах под подошвой (см. таблицу 1 в [1]) разница между вариантом защемленного фундамента и вариантом сооружения на среднем грунте все-таки достаточно заметна. Расчет на защемленном фундаменте оказался консервативным, но называть его очень точным нельзя.

Автор хотел бы высказать свое отношение к описанным выше критериям. Если присмотреться к ним внимательнее, то в них участвует динамическая инерция верхнего строения (определяемая податливостью и инерционностью верхнего строения) и податливость основания. Но все это относится к т.н. «инерционному взаимодействию» сооружения с основанием. Иными словами, на самом деле обсуждается вопрос, насколько колебания фундамента под инерционным сооружением будут отличаться от колебаний невесомого фундамента в отсутствие сооружения. При этом ничего не говорится о том, насколько колебания невесомого фундамента в отсутствие сооружения отличаются от колебаний свободной поверхности основания – это т.н. «кинематическое взаимодействие» сооружения с основанием. Если, как в нашем случае, фундамент – это просто жесткий штамп на поверхности горизонтально-слоистого (в нашем случае – вообще однородного) полупространства, то при вертикальной сейсмической волне невесомый жесткий поверхностный фундамент движется точно так же, как свободная поверхность основания, т.е. кинематическое взаимодействие никак не проявляется. Это соответствует и описанному выше подходу авторов норм [3], в которых формулы для жесткости основания в критериях взяты из решения задач о жестком штампе на поверхности полупространства. В этом простейшем случае все взаимодействие сооружения с основанием сведется к инерционному взаимодействию. Так что претензий к авторам [3] здесь нет.

Однако в реальном мире, как уже отмечалось в [1], никто не станет возводить высотное здание на нескальных грунтах без свай и без развитой подземной части. В этом случае кинематическое взаимодействие сооружения с основанием проявится существенно. Что будет с критериями, описанными выше? Жесткость основания можно посчитать и для заглубленного фундамента на сваях – приведенные выше простые формулы уже непригодны, но их можно заменить решением контактных задач. Получившиеся значения жесткостей будут больше тех, которые рассчитаны для поверхностного штампа. Это означает, что по горизонтали (а может быть, и по вертикали) приведенные выше критерии дадут отрицательный ответ о важности взаимодействия с основанием. Однако физический смысл этого ответа будет другим – такой ответ будет означать, что возведение податливого здания на фундаменте не поменяло колебания фундамента. Однако сами эти колебания фундамента будут отличаться от колебаний свободной поверхности основания в отсутствие сооружения из-за заглубления и наличия свай – здесь как раз проявится роль именно кинематического вза-

имодействия, о котором в критериях ничего не говорилось.

Напрашивается предложение (нуждающееся в проверке) о двухэтапном расчете. Сначала на первом этапе рассматривается только подземная часть – грунты, сваи и подвал. Исходное сейсмическое воздействие, заданное на свободной поверхности основания, пересчитывается к колебаниям фундаментной плиты. На втором этапе проводится стандартный расчет сооружения на защемленном фундаменте, но в качестве воздействия на фундамент вместо исходного воздействия, взятого со свободной поверхности основания, подается результат расчетов на первом этапе.

Другими словами, мы пришли к тому, что в предположении о жесткой фундаментной плите на заключительном этапе во всех случаях допустимо применять расчет по схеме защемленного фундамента. Весь вопрос в том, откуда брать движение этого фундамента, задаваемое в качестве кинематического воздействия (в альтернативном подходе – участвующее в определении сейсмических инерционных нагрузок). Здесь существуют три возможные ситуации. В самом простом случае это движение считается совпадающим с движением поверхности свободного основания, которое задается сейсмологами. В сущности, это подход общегражданских норм, соответствующий отсутствию эффектов взаимодействия сооружения с основанием. Вторая ситуация разбиралась только что. Движение фундамента отличается от движения свободной поверхности основания, но не зависит от свойств и вообще от наличия верхнего строения, а определяется заглублением фундамента и наличием свай. В этом случае проявляется одна из двух составляющих взаимодействия сооружения с основанием, а именно кинематическое взаимодействие. Наконец, третья ситуация, типичная для расчетов сооружений АЭС, заключается в том, что движение фундамента зависит и от подземной части, и от свойств верхнего строения. Эта ситуация применения комбинированного асимптотического метода.

Сделаем еще один комментарий. Как показано в [1], спектры горизонтальных колебаний фундамента в вариантах с защемленным фундаментом и с податливым основанием различаются совсем ненамного. Но качательные колебания фундамента, которых не было в расчете с защемленным фундаментом, приводят не только к появлению дополнительных качательных моментов, но и к появлению дополнительных горизонтальных усилий под фундаментной плитой. Поэтому разница между горизонтальными усилиями в разных вариантах основания намного больше, чем разница между горизонтальными ускорениями плиты в тех же вариантах основания.

Главный вывод из проделанного в настоящей статье анализа следующий. Критерии важности эффектов взаимодействия с основанием (иными словами, критерии при-

менимости расчета по схеме защемленного фундамента, где взаимодействие с основанием не учитывается), которые содержатся в атомных нормах, для рассмотренного высотного сооружения в целом подтвердились. Однако выяснилось, что их следует применять отдельно для горизонтально-качательных колебаний в двух вертикальных плоскостях, для вертикальных колебаний и для крутильных колебаний, если сооружение несимметричное. Дело в том, что роль взаимодействия с основанием (SSI) может быть разной (существенной или не существенной) для одного и того же сооружения в разных направлениях. Соответственно и метод расчета на защемленном фундаменте может быть применим в одних направлениях и неприменим в других. Если же проводить общее сравнение собственных частот, можно получить неправильный результат, и наш случай как раз дает тому показательный пример. Действительно, если сравнивать низшие собственные частоты, не обращая внимания на их физический смысл, то мы на практике будем сравнивать только горизонтально-качательные частоты (см. выше). Для них критерий отношения частот выполняется (это отношение больше двух), и мы сделаем вывод об отсутствии необходимости учитывать взаимодействие с основанием. При этом мы упустим существенное влияние SSI на вертикальные колебания, так что сделанный вывод будет ошибочным.

Что делать, если в каком-то направлении эффекты SSI оказались значимыми, а в других направлениях – нет (как в нашем случае)? Простейший ответ – учитывать SSI во всех направлениях. Однако если расчет проводится на три компоненты воздействия по очереди, то возможен вариант, когда расчет на горизонтальные компоненты выполняется по схеме защемленного фундамента, что позволит не проводить второй раз модальный анализ сложной модели с учетом податливости основания. Что касается вертикальной составляющей воздействия, то возможен упрощенный расчет. Впрочем, это заслуживает отдельного обсуждения.

Еще один вывод заключается в том, что рассмотренные критерии важности взаимодействия сооружения с основанием не затрагивают кинематического взаимодействия, т.е. изменения движения фундамента в отсутствие сооружения по сравнению с движением свободной поверхности основания. Такое изменение может быть существенным при наличии свай и при заглублении фундамента. Поэтому даже в том случае, когда рассмотренные критерии говорят о малой важности взаимодействия, надо дополнительно проверять, насколько изменилось движение фундамента после устройства подземной части.

Однако этим нетривиальные выводы из проделанного в [1] расчета не ограничиваются. Автор планирует продолжить обсуждение в следующих публикациях.

## Литература

1. Тяпин А.Г., Топорков А.С., Михайлов В.С. Применение комбинированного асимптотического метода для расчета высотного здания на сейсмическое воздействие: результаты // Сейсмостойкое строительство. Безопас-

ность сооружений. 2018. №4. С.32-43.

2. Тяпин А.Г. Учет взаимодействия сооружений с основанием при расчетах на сейсмические воздействия. Руководство по расчетам. М.: Издательство АСВ. 2014. 136 с.

3. *Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear*

*Structures and Commentary*. ASCE/SEI 4-16. Reston, Virginia, USA. 2017.

Материалы хранятся по адресу: 105005, г. Москва, Бакунинская ул., 7, стр. (АО «Атомэнергoproject») тел.: (499)267-35-03, e-mail: atyapin@bvcf

ТЯПИН А., D. Sc., JSC "Atomenergoproject", Moscow

## COMBINED ASYMPTOTIC METHOD IN SEISMIC ANALYSIS OF HIGH-RISE BUILDING: IMPACT OF SSI

### Abstract

Combined Asymptotic Method (CAM) has been developed and used for SSI analysis of stiff and heavy NPP structures. However, some of civil structures nowadays are comparable with NPP structures in terms of size and mass. The question is whether SSI is significant for such structures and whether it should be accounted for in the design process. In the previous paper the authors applied CAM to the seismic analysis of the high-rise structure resting on a sample homogeneous half-space modeling soil. In the present paper the results are investigated to estimate the overall impact of SSI or, in other words, the applicability of the fixed-base seismic analysis. It turns out that this question must be asked separately for separate directions of seismic response - horizontal & rocking in two different vertical

planes, vertical, and torsional (for non-symmetrical structures). Impact of SSI may be different for one and the same structure in different directions. Hence, fixed-base seismic analysis may be applicable in some directions and non-applicable in others. The results were checked against empirical criteria from nuclear ASCE Standard, based on the comparison of the first natural frequencies of flexible structure resting on rigid soil and of rigid structure resting on flexible soil. Criteria were confirmed, if the comparison is performed separately for different directions. Otherwise, if the comparison is performed for the whole set of frequencies, one can get wrong result. The considered case gives an example of such a situation.

**Keywords:** seismic response, soil-structure interaction, combined asymptotic method, high-rise building.

### References

1. Tyapin. A.G., Toporkov A.S., Mikhailov V.S. Application of the Combined Asymptotic Method to seismic analysis of high-rise building: results // Seismostoitkoe stroitel'stvo.

Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions Safety]. 2018. №4. Pp. 32-43. (In Russian)

2. Tyapin A.G. Seismic analysis of structures considering soil-structure interaction. Manual

for analysis. Moscow: ASV. 2014. 136 p. (In Russian)

3. Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary. ASCE/SEI 4-16. Reston, Virginia, USA. 2017.

**Для цитирования:** Тяпин А.Г. Применение комбинированного асимптотического метода для расчета высотного здания на сейсмическое воздействие: роль взаимодействия с основанием // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 24-28.

**For citation:** Tyapin A.G. Combined asymptotic method in seismic analysis of high-rise building: impact of SSI // Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 5, pp. 24-28. (In Russian).

## КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

### Тяпин А. Г. СОВРЕМЕННЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ ОТВЕТСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

М.: Издательство АСВ, 2018. 518 с.



В издательстве АСВ вышла в свет четвертая монография д. т. н. А.Г. Тяпина, на этот раз посвященная новым тенденциям в американских нормах расчета сооружений ядерных объектов на сейсмические воздействия. В 2017 году опубликована новая редакция стандарта ASCE4-16. Зная ту огромную роль, которую сыграла предыдущая редакция этого стандарта (ASCE4-98), автор полагает, что в ближайшие годы новая редакция также станет индустриальным стандартом по всему миру. С учетом большого количества зарубежных проектов Росатома, отечественным специалистам важно знать, какие новшества появились в новой редакции, чтобы работать с зарубежными заказчиками. Кроме того, ряд уникальных гражданских сооружений уже сопоставим с сооружениями

ядерных объектов по своим размерам, жесткостям и массам, поэтому нормы атомной отрасли в части сейсмических расчетов могут, по мнению автора, использоваться и для подобных гражданских объектов. Сравнительный анализ новых нормативных документов и документов прежнего поколения, проводимый автором в данной монографии, представляет интерес для студентов и аспирантов, готовящихся к работе в этой отрасли, а также для преподавателей строительных ВУЗов. По вопросам заказа монографии можно обращаться в издательство АСВ E-mail: iasv@iasv.ru, тел. 8(925)084-74-24.



**О.С. ЦАРЁВА**  
ассистент

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

УДК 528.06

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЯМ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИОННЫМИ МАРКАМИ

*В статье представлен анализ изменений расстояний между деформационными марками для определения деформаций зданий и сооружений. В частности, рассмотрено выявление относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками на примере деформации растяжения/сжатия, а также неравномерной осадки. Исследования выполнены при условии отсутствия опорных пунктов при наблюдениях. Выполнено теоретическое моделирование деформаций и разработан алгоритм их выявления и определения их количественного значения по изменениям расстояний, основанный на построении модели сети в виде линейной пространственной засечки и полигональной сетки треугольников.*

**Ключевые слова:** вектор смещения, относительные деформации, деформационная марка, здания, оценка деформаций, расстояния.

### Введение

Деформации можно оценивать различными способами [5-15]. В частности, в работе [6] выполняется оценка деформаций по расстояниям и их изменениям между рефлекторами и облучателями антенн. Выполним анализ расстояний и их изменений между деформационными марками для выявления относительных деформаций. Если исключить абсолютные смещения (оседания, крены и проч.), при которых деформационные марки, закрепленные на сооружении, взаимно не перемещаются, то и при относительных смещениях

могут быть такие из них, которые не изменят своего взаимного положения между смежными циклами наблюдений, а значит, не изменятся и длины между ними. Назовем их квазиопорными. Определить такие пункты можно, нормируя матрицу изменений расстояний ошибками их изменений [6]. Тогда относительно них можно определить векторы смещений всех остальных деформационных марок. Для этой цели целесообразно использовать треугольники, если оценка производится в каком-либо сечении (горизонтальной вертикальной или наклонной плоскостях) или тетраэдры, если схема расположения марок пространственная.

Рассмотрим сначала плоский вариант, при этом заметим, что не следует выбирать треугольники, в которых изменились длины всех сторон. На рис. 1 изображен треугольник, в котором из трех сторон две (показаны двойной линией) не изменили своей длины. Такая ситуация возможна, если между циклами измерений переместилась только точка С, или изменили свое положение сразу две точки (например, точки С и А). В первом случае (рис. 1, а) решением является точка пересечения вектора  $AC'$  с дугой окружности радиусом  $BC$  и оно единственное.

Во втором случае решение – это точки пересечения вектора  $A'C'$  с дугами двух окружностей. Но таких точек для отрезка длиной  $l$  может быть сколько угодно, поэтому и решений бесчисленное множество. Таким образом, в треугольнике приходится принимать неподвижными либо пару точек В и С, либо пару А и В (как видим, тоже неопределенность).

Если длина только одной стороны, например АВ, не изменилась, следует принять, что причина – смещение точки С, так как другие варианты не имеют единственного решения.

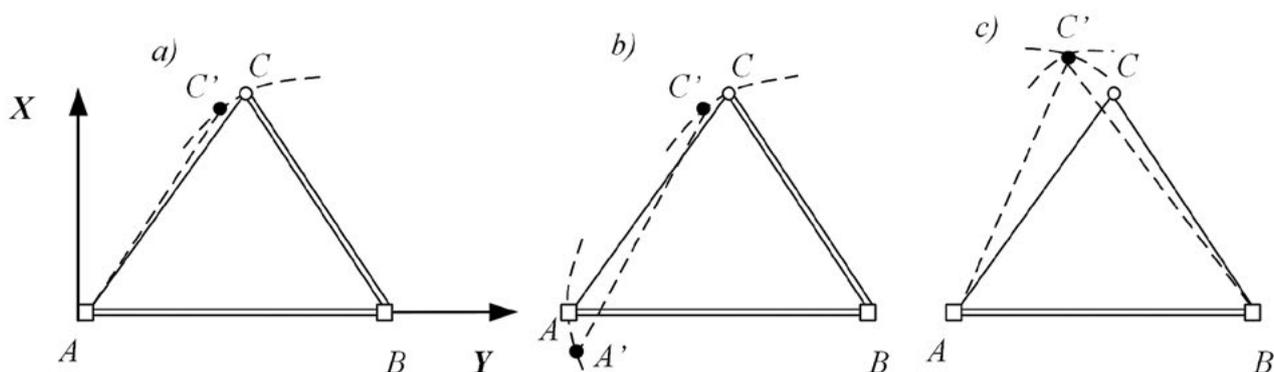


Рисунок 1 — Решение треугольников

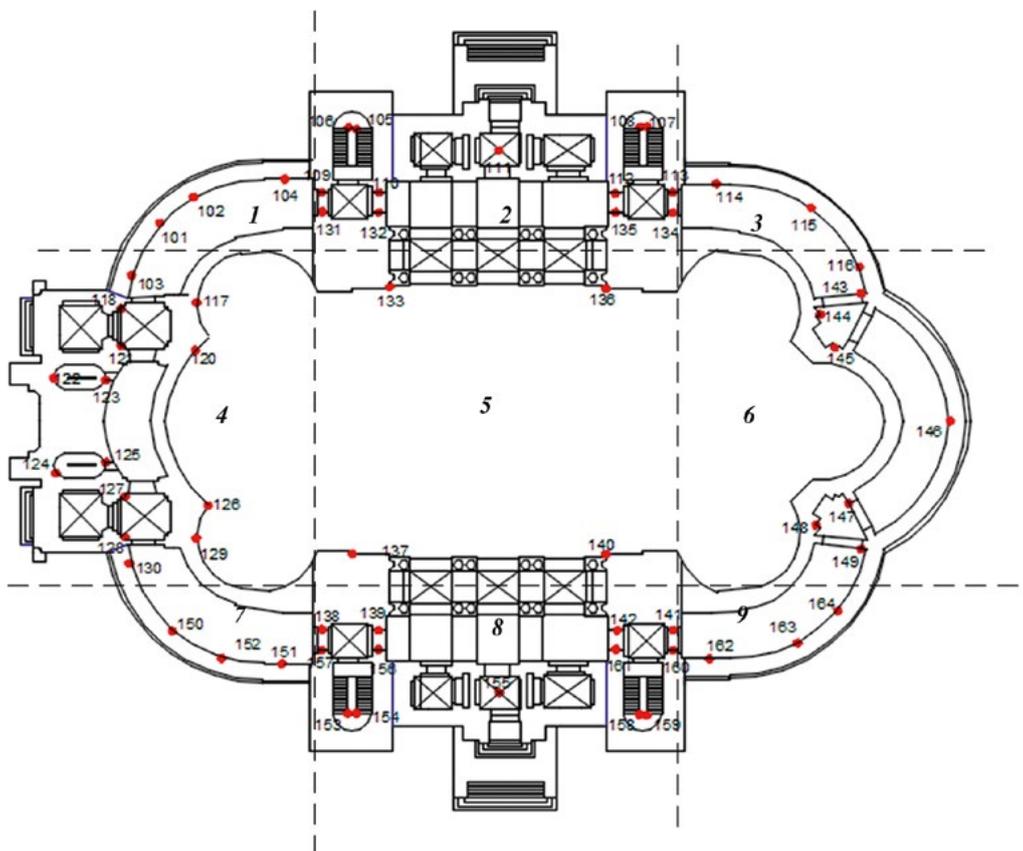


Рисунок 2 — План крестово-купольного храма, схема размещения марок 1-й уровень и разделение на блоки

При условии, что началом координат является точка А, а оси направлены как на рисунке, для определения координат точки С (или С') можно использовать известные соотношения (1):

$$X = \left( b^2 - \frac{(b^2 + c^2 - a^2)^2}{4c^2} \right)^{1/2}; Y = (b^2 - X^2)^{1/2} \quad (1)$$

Разность координат точек С и С' и будет равна смещениям последней в плоскости треугольника. Триангуляционную модель можно построить различными способами (Делоне, «жадная» триангуляция) [4].

Выполним исследование относительных деформаций с использованием полигональной сетки треугольников и пространственной линейной засечки на примере модели

зданий памятников культурного наследия в виде крестово-купольных храмов (рис. 2, 3). В строительной практике [2, 3] крестово-купольные храмы с четырьмя колоннами делят на 9 самостоятельных блоков – компартиментов (на рис. 2 они пронумерованы цифрами 1-9).

Добавим опорные пункты 1-3 к модели здания, показанной на рисунках 2 и 3. Зададим локальную прямоугольную систему координат модели здания памятника культурного наследия (рис. 4):

1. Начало системы координат совместим с опорным пунктом 1;
2. Ось Х совместим с опорным пунктом 2;
3. Опорный пункт 3 расположим в плоскости ХУ;
4. Ось Z направим вверх, чтобы координаты марок модели были положительны;

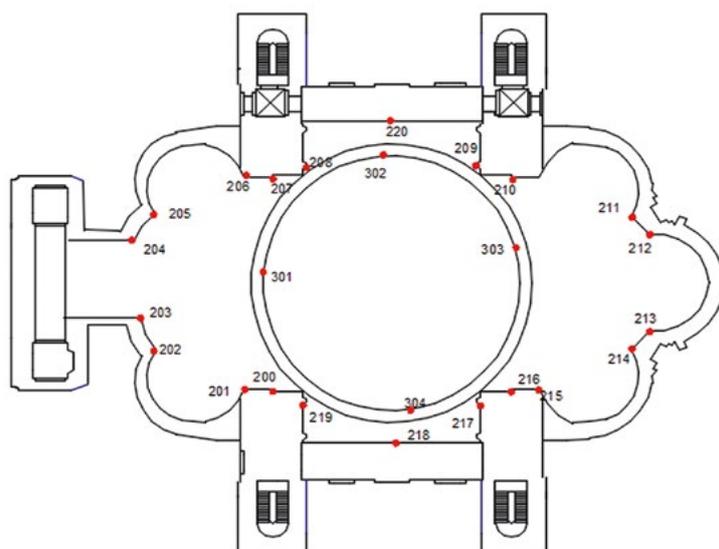


Рисунок 3 — Схема размещения марок 2-го и 3-его уровней

Таблица 1 — Координаты марок в системах координат треугольника и их изменения, мм

Номера марок	Координаты «идеальной» модели, мм		Координаты «текущей» модели, мм		Координаты вектора смещения	
	X	Y	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$
101	6131,22	12260,47	6139,22	12256,47	+8	-4
102	10817,55	6952,75	10812,55	6959,75	-5	+7
103	4523,39	2089,86	4533,39	2084,86	+10	-5
104	8532,19	2308,30	8538,19	2315,30	+6	+7

Таблица 2 — Координаты марок и их изменения, мм

Номера треугольников	Координаты исходных пунктов в треугольниках, мм			
	X	Y	X	Y
	206		117	
9	0	10445,41	0	0
	117		205	
4	0	4234,64	0	0
	206		205	
7	0	11192,06	0	0
	206		117	
10	0	10445,41	0	0

5. Масштабный коэффициент равен 1.

#### Исследование деформации растяжения/сжатия

Как известно [2, 3] деформация сжатия присуща аркам, по-

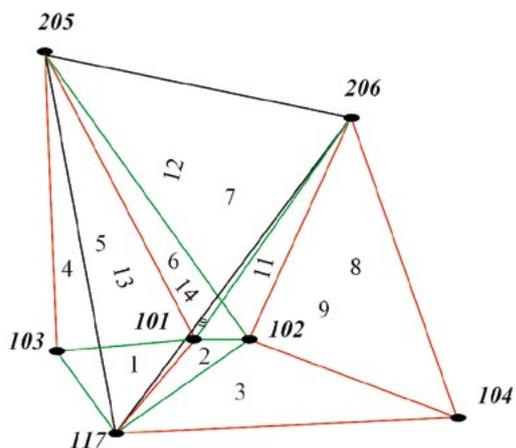
этому исследуем эту деформацию в арке блока №1. После искажения марок 101-104 деформацией получим следующие данные (табл. 1, рис. 5):

Так, треугольники №1-3 – расположены в горизонталь-

ной плоскости, №4-9 – в вертикальной плоскости, №10-14 – в наклонной плоскости. Интерес представляют треугольники № 4, 7, 9, 10, 11, 13, 14, в остальных треугольниках либо изменились все стороны, либо длины сторон остались без изменений (треугольник №12). Значит, изменили свое положение марки 101-104, так как другие варианты не имеют



**Рисунок 4** — Модель здания памятника в пространстве: 1-3 опорные пункты, 101-164 – деформационные марки



**Рисунок 5** — Полигональная сетка «текущей» модели при деформации растяжения/сжатия: красным цветом показано растяжение сторон, зеленым – сжатие

единственного решения. Определим координаты марок 101-104 «идеальной» и «текущей» моделей и векторы смещений этих марок по формулам 1 (рис. 6 и табл. 1):

Координаты стабильных марок в системе координат треугольника представлены в таблице 2:

Сделать предположение о виде деформации невозможно, так как векторы смещений представлены в различных системах координат. Для определения вида деформации необходимо привести полученные векторы в единую систему координат объекта. Рассмотрим преобразование координат на плоскости [16]:

Пусть  $K \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$  – вектор исходной системы координат треугольника;  $\bar{K} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}$  – вектор в единой системе координат всего объекта;  $K_0 \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$  – вектор смещений по осям координат начала второй системы относительно первой. Обозначим поворот осей новой системы координат относительно

старой через  $\omega$ . Матрица разворота осей  $P \begin{pmatrix} \cos \omega & \sin \omega \\ -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix}$ . Формулы перехода из одной системы координат в другую будут выглядеть следующим образом (2-4):

$$\bar{K} = P(K - K_0) \tag{2}$$

$$K = P^T \bar{K} + K_0 \tag{3}$$

$$X = (x - x_0) \cos \omega + (y - y_0) \sin \omega \tag{3}$$

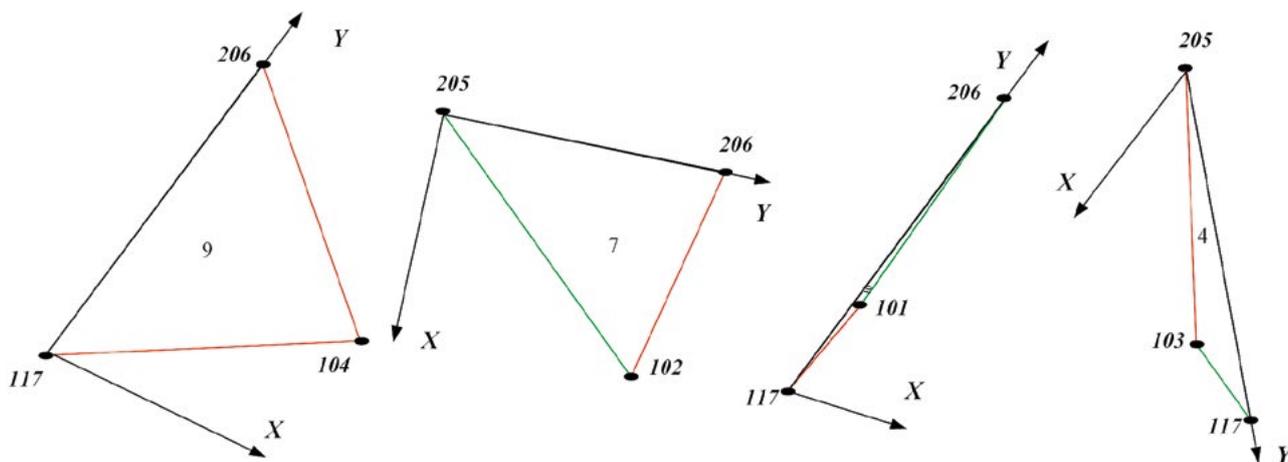
$$Y = (y - y_0) \cos \omega - (x - x_0) \sin \omega \tag{3}$$

Или при обратном переходе:

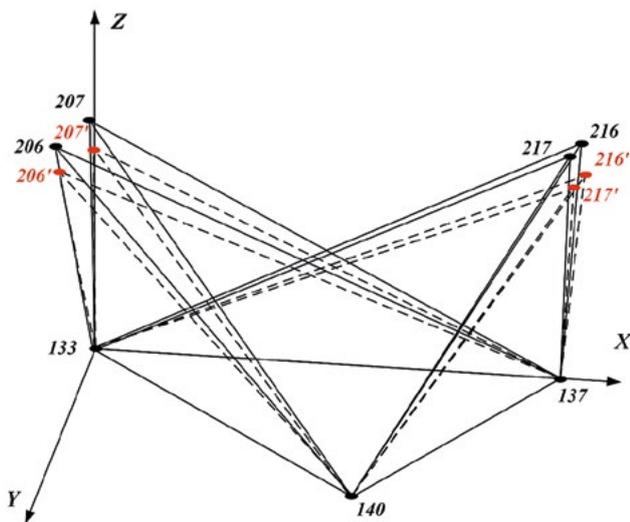
$$x = X \cos \omega - Y \sin \omega + x_0 \tag{4}$$

$$y = X \sin \omega + Y \cos \omega + y_0 \tag{4}$$

Отметим, что в нашем случае отсутствует изменение масштаба, поэтому для определения параметров перехода необходимо иметь как минимум координаты двух точек в исходной и преобразованной системах координат. Дважды решая обратную геодезическую задачу, находим дирекционный угол стороны в исходной и преобразованной си-



**Рисунок 6** — Линейная засечка при деформации растяжения/сжатия: красным цветом показано растяжение сторон, зеленым – сжатие



**Рисунок 7** — Тетраэдры, построенные на квазиопорных марках

стемах координат. Разность дирекционных углов даст угол поворота  $\omega$  одной системы координат относительно другой. Далее решая систему уравнений (2), находят вектор смещений по осям координат  $K_0 \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}$ . Рассмотрим преобразование плоских прямоугольных координат на примере треугольников №9 и №10 (рис. 5), у которых система координат общая. Возьмем марки 101 и 104. Решим обратную геодезическую задачу:

В системе координат треугольника:  $\alpha_{101-104} = 103^\circ 33' 48''$ .

В системе координат объекта:  $\alpha'_{101-104} = 108^\circ 42' 14''$ .

Угол поворота будет равен:  $\omega = 354^\circ 51' 35''$ .

Решая (4), получим  $x_0 = -54513,45 \text{ мм}$ ,  $y_0 = -4066,46 \text{ мм}$

Полученные параметры позволяют вычислить координаты марок 104 и 101 в единой системе координат объекта в текущем цикле наблюдений по формуле (3):

$$X_{101} = 58945,99 \text{ мм}; Y_{101} = 21690,66 \text{ мм}$$

$$X_{104} = 62226,97 \text{ мм}; Y_{104} = 12004,62 \text{ мм}$$

Подобным образом определим координаты остальных марок. Определим векторы смещений марок 101-104 в системе координат объекта (табл. 3)

Сравнивая данные таблиц 1 и 3 видим, что в результате преобразования координат векторы смещений остались равными между собой. Таким образом, можно сделать вывод о том, что произошла деформация переноса вдоль осей

X и Y, в частности растяжения/сжатия. Вычислим деформацию растяжения/сжатия  $\varepsilon$  по формуле (5):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (5)$$

где  $\Delta l$  – изменение расстояния,  $l$  – расстояние между марками.

$$\varepsilon_{103-101} = \frac{-2,2}{4,9} = 1 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{102-101} = \frac{-16,83}{2,1} = -7 \cdot 10^{-6};$$

$$\varepsilon_{102-104} = \frac{2,5}{8,3} = 3 \cdot 10^{-7}$$

Сравним полученные значения с допустимыми, установленными нормативными документами. Согласно [10]  $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$  при расстояниях 15-20 м. Полученные величины не превышают допустимое значение, значит, деформации строительных конструкций находятся в допустимых пределах.

#### Исследование деформации неравномерной осадки

Выполним исследование деформации неравномерной осадки с использованием линейной пространственной заделки (тетраэдров, построенных на квазиопорных марках). Допустим, в результате нормирования матрицы изменений расстояний ошибками изменений расстояний выявлены квазиопорные марки 133, 137 и 140. Исказим марки 206, 207, 216, 217 деформацией неравномерной осадки.

Построим тетраэдры с использованием квазиопорных марок (рис. 7):

Определить координаты X, Y, Z марок 206, 207, 216, 217 можно из решения системы трех квадратных уравнений вида (6):

$$L_i = \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2}, \quad (6)$$

где  $L_i$  – расстояние от опорных пунктов до пункта P,  $i = 1, 2, 3$ ,

Но, если выбрать систему координат, как это представлено на рисунке 7 (начало системы координат совмещено с точкой 133 и плоскость XY совпадает с плоскостью, содержащей опорные марки 133, 137 и 140), для которой  $X_1 = Y_1 = Z_1 = Y_2 = Z_2 = Z_3 = 0$ , то легко получить (7):

$$X = (L_1^2 + X_2^2 - L_2^2) / 2X_2 \text{ и } Y = (Y_3^2 - B + A) / 2Y_3 \quad (7)$$

**Таблица 3** — Координаты марок и их изменения в системе координат модели, мм

Номера марок	«Идеальная» модель		«Текущая» модель		Изменение координат, мм	
	X	Y	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$
101	58937,99	21694,66	58945,99	21690,66	+8	-4
102	60340,51	20081,55	60335,51	20088,55	-5	+7
103	54575,66	24062,74	54585,66	24057,74	+10	-5
104	62220,97	11997,62	62226,97	12004,621	+6	+7

**Таблица 4** — Координаты марок «идеальной» модели, мм

Номер марки	В единой системе координат объекта			В системе координат тетраэдра		
	X	Y	Z	X	Y	Z
133	4737,29	54389,88	201,8	0	0	0
137	3898,79	30943,96	228,8	23460,9	0	0
140	-14958,4	31570,74	462,2	23508,78	18868,97	0
206	8934,17	53929,9	18601,8	330,85	-3982,75	18450,30
207	5278,9	54542,9	18733,7	-151,01	-306,55	18537,30
216	-16595,38	31388,2	18566,1	23770,56	20722,15	18082,08
217	-14863,58	30584,7	18741,7	24511,88	18965,03	18278,57

**Таблица 5** — Координаты марок «текущей» модели в системе координат тетраэдра, мм

Номер марки	Координаты марок, мм			Изменение координат, мм		
	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
133	0	0	0	0	0	0
137	23460,9	0	0	0	0	0
140	23508,78	18868,97	0	0	0	0
206	330,85	-3982,75	18460,30	0	0	+10
207	-151,01	-306,55	18547,30	0	0	+10
216	23770,56	20722,15	18084,07	0	0	+2
217	24511,88	18965,03	18280,57	0	0	+2

**Таблица 6** — Координаты марок «текущей» модели в системе координат объекта, мм

Номер марки	Координаты марок, мм			Изменение координат, мм		
	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
206	8934,172	53929,895	18611,8	0	0	+10
207	5278,897	54542,939	18743,7	0	0	+10
216	-16595,381	31388,175	18568,1	0	0	+2
217	-14863,578	30584,651	18743,7	0	0	+2

В приведенных выше соотношениях (8):

$$A = L_1^2 - X^2, \quad B = L_3^2 - (X_3 - X)^2 \quad (8)$$

Координату Z проще всего вычислить, из уравнения (6) для расстояния L<sub>1</sub> (9):

$$Z = \sqrt{L_1^2 - X^2 - Y^2} \quad (9)$$

Вычислив координаты обеих точек (например, 206<sup>1</sup> и 206<sup>2</sup>), можно оценить и вектор смещения.

В единой системе координат объекта модели марки, изображенные на рисунке 7, имеют следующие координаты (табл.4):

После искажения марок деформацией неравномерной осадки получим следующие координаты «текущей» модели в системе координат тетраэдра (табл.5):

Для суждения о виде деформации выполним преобразование координат марок 206, 207, 216 и 217 «текущей» модели из системы координат тетраэдра в систему координат объекта. Формула преобразования координат выглядит следующим образом [1]:

$$\begin{pmatrix} XN \\ YN \\ ZN \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} XC \\ YC \\ ZC \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad (10)$$

где  $XC, YC, ZC$  – координаты точки в старой системе координат,  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  – координаты точки в новой системе координат,  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  – линейные элементы трансформирования систем координат при переходе из старой системы в новую систему;  $M$  – масштабный коэффициент трансформирования систем координат при переходе из старой системы в новую систему;  $a_{ik}$  – элементы ортогональной матрицы поворота. Используем метод преобразования, основанный на линейной процедуре [1]. В уравнение (10) вносится масштабный коэффициент и формируются три системы линейных уравнений (11-13):

$$Q \begin{pmatrix} Ma_{11} \\ Ma_{12} \\ Ma_{13} \\ \Delta X \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -XN_1 \\ -XN_2 \\ \dots \\ -XN_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{x1} \\ v_{x2} \\ \dots \\ v_{xn} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$Q \begin{pmatrix} Ma_{21} \\ Ma_{22} \\ Ma_{23} \\ \Delta Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -YN_1 \\ -YN_2 \\ \dots \\ -YN_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{y1} \\ v_{y2} \\ \dots \\ v_{yn} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$Q \begin{pmatrix} Ma_{31} \\ Ma_{32} \\ Ma_{33} \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -ZN_1 \\ -ZN_2 \\ \dots \\ -ZN_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_{z1} \\ v_{z2} \\ \dots \\ v_{zn} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Из всех трех систем матрица  $Q$  общая (14):

$$Q = \begin{pmatrix} XC_1 & YC_1 & ZC_1 & 1 \\ XC_2 & YC_2 & ZC_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ XC_n & YC_n & ZC_n & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Введем обозначения для векторов свободных членов (15):

$$\bar{L}_X = \begin{pmatrix} -XN_1 \\ -XN_2 \\ \dots \\ -XN_n \end{pmatrix}; \bar{L}_Y = \begin{pmatrix} -YN_1 \\ -YN_2 \\ \dots \\ -YN_n \end{pmatrix}; \bar{L}_Z = \begin{pmatrix} -ZN_1 \\ -ZN_2 \\ \dots \\ -ZN_n \end{pmatrix} \quad (15)$$

Из решения систем уравнений (11-13) по МНК получим девять элементов неортогональной матрицы и составляющие сдвигов по осям координат  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  (16):

$$\begin{pmatrix} Ma_{11} \\ Ma_{12} \\ Ma_{13} \\ \Delta X \end{pmatrix} = -(Q^T Q)^{-1} Q^T \bar{L}_X; \quad (16)$$

$$\begin{pmatrix} Ma_{21} \\ Ma_{22} \\ Ma_{23} \\ \Delta Y \end{pmatrix} = -(Q^T Q)^{-1} Q^T \bar{L}_Y;$$

$$\begin{pmatrix} Ma_{31} \\ Ma_{32} \\ Ma_{33} \\ \Delta Z \end{pmatrix} = -(Q^T Q)^{-1} Q^T \bar{L}_Z$$

В этом решении связь систем координат определяется двенадцатью параметрами – девятью элементами матрицы  $P$  (17):

$$P = \begin{pmatrix} Ma_{11} & Ma_{12} & Ma_{13} \\ Ma_{21} & Ma_{22} & Ma_{23} \\ Ma_{31} & Ma_{32} & Ma_{33} \end{pmatrix} \quad (17)$$

и параметрами сдвига  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ .

В частности, для марок модели 206, 207, 216, 217 матрица  $Q$  будет иметь вид:

$$Q = \begin{pmatrix} 330,85 & -3982,75 & 18450,3 & 1 \\ -151,01 & -306,547 & 18537,3 & 1 \\ 23770,56 & 20722,15 & 18082,08 & 1 \\ 24511,88 & 18965,03 & 18278,57 & 1 \end{pmatrix}$$

Векторы свободных членов:

$$\bar{L}_X = \begin{pmatrix} -8934,17 \\ -5278,9 \\ 16595,38 \\ 14863,58 \end{pmatrix};$$

$$\bar{L}_Y = \begin{pmatrix} -53929,9 \\ -54542,9 \\ -31388,2 \\ -30584,7 \end{pmatrix};$$

$$\bar{L}_Z = \begin{pmatrix} -18601,8 \\ -18733,7 \\ -18566,1 \\ -18741,7 \end{pmatrix}$$

Матрица  $P$  будет равна:

$$P = \begin{pmatrix} -0,036 & -0,999 & 0,012 \\ -0,999 & 0,036 & 0,001 \\ 0,001 & 0,012 & 0,999 \end{pmatrix};$$

Сдвиги:

$$\begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4737,33 \\ 54389,91 \\ 201,56 \end{pmatrix} \text{ мм}$$

Подставляя полученные значения в (10), получим координаты марок в единой системе координат объекта «текущей» модели (табл.6):

Сравнивая данные таблиц 5 и 6, видим, что изменения координат или векторы смещений равны между собой, это означает, что произошла деформация переноса вдоль оси Z. Поскольку векторы смещений разные по длине, и марки располагаются на пилонах, которые, согласно нагрузкам, получают наибольшую осадку, можно сделать вывод о том, что произошла деформация неравномерной осадки.

Вычислим относительную неравномерность осадок между марками 206 и 216  $\Delta S/L$ :

$$\Delta S_{216-206} / L = 8/34057 = 0,0002$$

Сравним полученную величину с предельной, установленной нормативными документами. Согласно [15] для III категории технического состояния зданий для памятников культурного наследия относительная разность осадок составляет 0,0007. Полученная величина не превышает допуск, значит деформации строительных конструкций находятся в допустимых пределах.

Исследование деформации изгиба выполняется аналогичным способом.

#### Выводы:

В результате исследований получены следующие выводы:

- Выполнено выявление относительных деформаций по изменениям расстояний при отсутствии опорных пунктов, в частности:
- Исследование относительных деформаций, таких как растяжение, сжатие, следует выполнять с использованием полигональной сетки треугольников;
- Исследование относительных деформаций изгиба и неравномерной осадки следует выполнять с использованием линейной пространственной засечки, построенной на квазиопорных марках;
- Для контроля выявления той или иной деформации следует выполнять преобразование координат. Если происходит деформация растяжения, сжатия, изгиба, неравномерной осадки, то векторы смещений при преобразовании координат остаются одинаковыми в любой системе координат.

#### Литература

1. Безменов В.М. Теоретические основы определения параметров преобразования пространственных геоцентрических систем координат. Казань, 2007. 28 с.
2. Бессонов Г.Б. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. М.: Объединение «Союзреставрация», 1989. 163 с.
3. Девина Р.А. Микроклимат церковных зданий [Электронный ресурс] // ARTConservation мастерская. М.: ГосНИИР, 2000. URL: <http://art-con.ru/node/2064> (дата обращения 20.09.2018).
4. Жихарев С.А. Моделирование рельефа в системе графин // Геоинформатика: Теория и практика. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1998. Вып. 1. С. 193-204.
5. Комиссаров Д. В., Иванов А.В. Обзор программных продуктов для обработки данных наземного лазерного сканирования // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр.: сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). Новосибирск: СГТА, 2005. Т. 1. С. 205–206.
6. Контроль сохранности положения элементов спутниковых антенных систем в период их наземной эксплуатации // 28-ая антенная конференция Европейского космического агентства, Нордвик, 2005 г.
7. Кукаренко И.С., Новоселов Д.Б. ПК CREDO для обработки наблюдений за кренами и осадками Спасо-Преображенского Собора в Новокузнецке // Геопрофи. 2015. N 5. С. 36-40.
8. МДС 13-22.2009. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений (2010) // ООО «ТЕКТОПЛАН». М.: ОАО «ЦПП».
9. Николаев С.А. Статистические исследования осадок инженерных сооружений. М.: Недра, 1983. 112 с.
10. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях (1998): утв. постановлением Госгортехнадзора России 16.03.98 г. № 13. СПб.: ВНИИИ.
11. П 87-2001. Рекомендации по проведению натуральных наблюдений за осадками грунтовых плотин (2001) // ОАО «ВНИИГ». СПб., 2001.
12. Руководство по геодезическим методам измерения горизонтальных смещений в основаниях сооружений (1960). М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.
13. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975). М.: Стройиздат (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова).
14. СО 153-34.21.322-2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадкой фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций (2005). М.
15. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений (2016). М.: АО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова).
16. Телеганов Н.А., Тетерин Г.Н. Метод и системы координат в геодезии: учеб. пособие. Новосибирск: СГТА, 2008. 143 с.

Материалы хранятся по адресу: 196143, Санкт-Петербург, ул. Алтайская, д. 33, кв. 75

TSAREVA O.S., assistant, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

## DETERMINATION OF RELATIVE DEFORMATIONS BY CHANGES IN DISTANCE BETWEEN THE DEFORMATION MARKS

## Abstract

The article is presented the analysis of changes distances between deformation marks for an estimation of stability of buildings and constructions. In particular, the investigation is considered of relative deformations from changes in distances between deformation marks on the example of deformation of tension / compression, and differential settlement. Studies were carried out under the condition that there were no support points for

observations. The theoretical modeling of deformations is performed and an algorithm for their detection and determination of their quantitative value from distance changes is developed, based on the construction of a network model in the form of a linear spatial intersection and a polygonal grid of triangles.

**Keywords:** displacement vector, relative deformation, deformation mark, buildings, evaluation of deformations, distances.

## References

1. Bezmenov V.M. Teoreticheskie osnovy opredeleniya parametrov preobrazovaniya prostranstvennykh geotsentricheskikh sistem koordinat. Kazan, 2007. 28 p. (In Russian)
2. Bessonov G.B. Issledovanie deformatsiy, raschet nesushchey sposobnosti i konstruktivnoe ukreplenie drevnykh raspornykh sistem. Moscow, obединenie «Soyuzrestavratsiya», 1989. 163 p. (In Russian)
3. Devina R.A. Mikroklimat tserkovnykh zdaniy [Microclimate of church buildings] [Electronic resource] // ARTConservation masterskaya. Moscow, GosNIIR, 2000. URL: <http://art-con.ru/node/2064> (data obrashcheniya 20.09.2018).
4. Zhikharev S.A. Modelirovanie reliefa v sisteme grafIn // Geoinformatika: Teoriya i praktika. Tomsk ed. Tomsk University, 1998. Release. 1. P. 193-204. (In Russian)
5. Komissarov D. V., Ivanov A.V. Obzor programnykh produktov dlya obrabotki danykh nazemnogo lazernogo skanirovaniya // GEO-Siberia-2005 Scientific cong. Sat materials in 7 tons. (Novosibirsk, April 25-29, 2005). Novosibirsk: SSGA, 2005. T. 1. p. 205-206.
6. Kontrol' sokhrannosti polozheniya elementov sputnikovyykh antenykh sistem v period ikh nazemnoy ekspluatatsii // 28th European Space Agency Antenna Conference, Nordvik, 2005.
7. Kukarenko I.S., Novoselov D.B. PK CREDO dlya obrabotki nablyudenykh za krenami i osadkami Spaso-Preobrazhenskogo Sobora v Novokuznetske // Geoprofi. 2015. N 5. p. 36-40. (In Russian)
8. MDS 13-22.2009. Metodika geodezicheskogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya vysotnykh i unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy (2010) // OOO «TEKTOPLAN». Moscow, OAO «TsPP». (In Russian)
9. Nikolaev S.A. Statisticheskie issledovaniya osadok inzhenernykh sooruzheniy. Moscow, Nedra, 1983. 112 p. (In Russian)
10. PB 07-269-98. Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornyykh razrabotok na ugol'nykh mestorozhdeniyakh (1998): approved. Resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia 16.03.98 №13. St. Petersburg: VNIMI, 211 p. (In Russian)
11. P 87-2001. Rekomendatsii po provedeniyu naturnykh nablyudenykh za osadkami gruntovykh plotin (2001) // OAO «VNIIG». St. Petersburg. (In Russian)
12. Rukovodstvo po geodezicheskim metodam izmereniya gorizonta'nykh smeshcheniy v osnovaniyakh sooruzheniy (1960). Moscow: NIIOSP them. N.M. Gersevanova. 80 p. (In Russian)
13. Rukovodstvo po nablyudenyam za deformatsiyami osnovaniy i fundamentov zdaniy i sooruzheniy (1975). Moscow: (Stroyizdat) NIIOSP them. N.M. Gersevanova, 1960. 80 p. (In Russian)
14. SO 153-34.21.322-2003. Metodicheskie ukazaniya po organizatsii i provedeniyu nablyudenykh za osadkoy fundamentov i deformatsiyami zdaniy i sooruzheniy stroyashchikhsya i ekspluatiruemykh teplovykh elektrostantsiy (2005). Moscow. (In Russian)
15. SP 22.13330.2016. The foundations of buildings and structures. – Moscow, JSC «SIC «Construction» (NIIOSP named after N.M. Gersevanov), 2016. – 220 p.
16. Teleganov N.A, Teterin G.N. Metod i sistemy koordinat v geodezii: studies. allowance. Novosibirsk: SSGA. 2008. 143 p. (In Russian)

**Для цитирования:** Царева О.С. Определение относительных деформаций по изменениям расстояний между деформационными марками // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 29-37.

**For citation:** Tsareva O.S. Determination of relative deformations by changes in distance between the deformation marks // Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 5, pp. 29-37. (In Russian).



## КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

### Е.Н. Курбацкий СПЕКТРЫ ФУРЬЕ И СПЕКТРЫ ОТВЕТОВ НА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ)

-М.:ЕАСА (Eurasian SEISMO Association): АНО «СРОСЭКСПЕРТИЗА»: "Onebook.ru", 2018.-156 с.

Монография д.т.н., профессора Е.Н. Курбацкого «Спектры Фурье и спектры ответов на землетрясения (теория и приложения)» представляет значительный интерес для специалистов, аспирантов и студентов соответствующих направлений подготовки. Монография состоит из введения, двух частей в 15 главах. По вопросам приобретения обращаться по телефону 8 (499) 174 70 65.



**А.В. МИНАСЯН**  
кандидат технических наук, заведующий сектором

ЦНИИСК им. А.В. Кучеренко, АО «НИЦ «Строительство»

УДК 624.042.8:69.0

## СПИТАКСКАЯ КАТАСТРОФА: МНЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТА

*В статье рассматривается мнение очевидца о последствиях Спитакского землетрясения. Анализируется поведение зданий и сооружений разной конструктивной схемы: низкая сейсмостойкость железобетонных каркасных зданий, высокая сейсмостойкость панельных зданий, а также сейсмостойкость каменных зданий и сооружений. Рассматриваются масштабы разрушения в разных городах Армении. Город Ленинакан (ныне г. Гюмри) находился в 40 км от очага землетрясения, а г. Кировакан (г. Ванадзор) – в 25 км. Однако, масштаб разрушений в Ленинакане значительно больше, чем в Кировакане в связи с тем, что часть города стоит на водонасыщенных глинистых грунтах, которые усиливают интенсивность сейсмического воздействия, кроме того, доминантные периоды колебаний зданий по 1, 2 и 3 форме совпали с периодом колебаний грунта. Это привело к «сейсмическому резонансу» и увеличило амплитуду колебания сооружений в несколько раз, что и стало одной из причин массового разрушения 9-10-этажных зданий.*

**Ключевые слова:** Спитакское землетрясение, сейсмостойкость панельных, каркасных и кирпичных зданий, усиление колебания грунта, Ленинаканское плато Армении.

### Введение

В ночь на 7-е декабря 1988 г. моросил дождь. Обычно в начале декабря в г. Ленинакане (ныне г. Гюмри) температура достигает 12-18 градусов ниже нуля, но в ту ночь температура была плюсовая. Возможно, это и был термический предвестник землетрясения.

Рано утром город утонул в сильном тумане, видимость была 4-5 метров. Был рабочий день. В перерыве автор статьи вышел с работы и в 11 часов 40 минут был на площади

им. Ленина. Туман стал более густой. И вдруг послышался тяжелый гул, а через 3-4 секунды земля начала колебаться. Я работал в лаборатории моделирования сейсмических процессов, поэтому сразу понял, что начинается очень сильное землетрясение. Посыпались стекла из оконных рам, асбестошиферное покрытие, падали карнизы зданий... На 5-7 секунде после начала землетрясения сейсмические толчки стали еще более интенсивными. На 8-10 секунде колебания толчки уменьшились, земля как будто успокоилась, но через четыре минуты и двадцать секунд вдруг послышался страшный гул и сильный воющий звук. Начались очень сильные сейсмические толчки, причем не только горизонтальные, но и вертикальные, и даже крутильные. Люди падали на землю. И вдруг я увидел волны на поверхности земли – они пришли со стороны г. Спитак. Сотрясение земли и толчки усиливались, и на моих глазах полностью разрушились здания «Детского мира», нового 3-этажного корпуса чулочной фабрики, шести и девятиэтажные железобетонные каркасные жилые дома. Это второе, более сильное землетрясение, продолжалось около 10-12 секунд.

Сразу после землетрясения туман исчез, появилось солнце. Однако город с трехсоттысячным населением стал руинами. Все улицы оказались под завалами, из под обломков виднелись машины. В северной части города полностью разрушились железобетонные каркасные здания, школы, политехнический институт, промышленные сооружения и т.д.

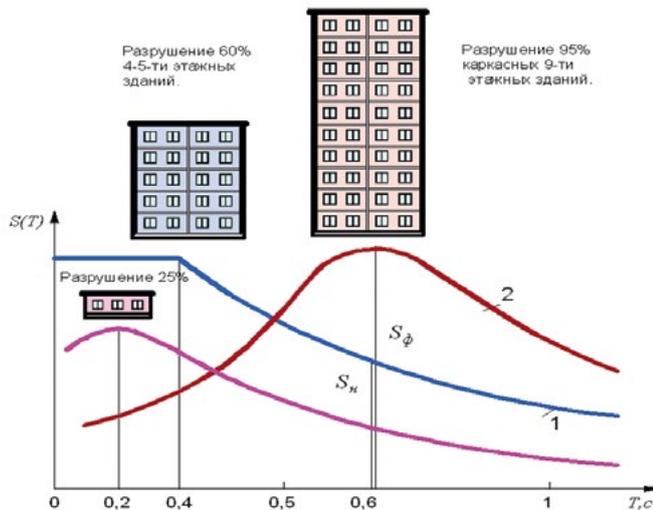
Сильные афтершоки Спитакского землетрясения продолжались еще около 6 месяцев, разрушая здания, находившиеся в предаварийном состоянии.

Последствия этого катастрофического землетрясения незабываемы...

**1. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г.** произошло в 7 ч. 41 мин. по Гринвичскому времени на севере



**Рисунок 1** — г. Ленинанкан, декабрь 1988г. а, б, в – типичное разрушение железобетонных каркасных зданий



**Рисунок 2** — Спектральные кривые воздействия: 1 – по СНиП 2 – Спитакского землетрясения 7.12.1988г., полученные ИФЗ АН РАН; 3 – Ленинанканского землетрясения 1926г, полученные ИГИС АН Армении



**Рисунок 3** — Устоявшее при землетрясении крупнопанельное здание серии 451 в Северо-западной части г. Ленинанкан

Армении, в 8 км северо-западной г. Спитак. Координаты эпицентра землетрясения:  $q=40^{\circ}54'$  и  $\lambda=44^{\circ}08'4$ , глубина залегания очага 12 км. Магнитуда землетрясения, по данным большого количества исследователей, была установлена равной 7 [1,2]. В исследовании последствий Спитакского землетрясения участвовали специалисты бывшего СССР – Армении, России, а также многих других стран – США, Японии, Франции [1-6]. Международная Конференция в Армении, в сентябре 1998 г. была посвящена 10-ой годовщине Спитакского землетрясения.

Перед 30-й годовщиной Спитакского землетрясения задумываешься – следует ли возвращаться к этой проблеме – к анализу последствий данной катастрофы. Безусловно – да, еще много раз специалисты в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства будут изучать уроки Спитакской катастрофы по следующим причинам:

- в Спитакском районе долгие годы, около 400 лет, не происходило землетрясений, поэтому, в соответствии с картами сейсмического районирования СССР, Спитак считался 7- балльной зоной;
- на разрушение зданий огромное значение оказали грунтовые условия местности.

Каркасные здания долгое время считались наиболее сейсмостойкими, в отличие от панельных, однако последствия землетрясения показали, что наоборот – более 90% каркасных зданий были полностью разрушены.

Данные специфические особенности уроков Спитакско-

го землетрясения должны учитывать специалисты в области сейсмологии, инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

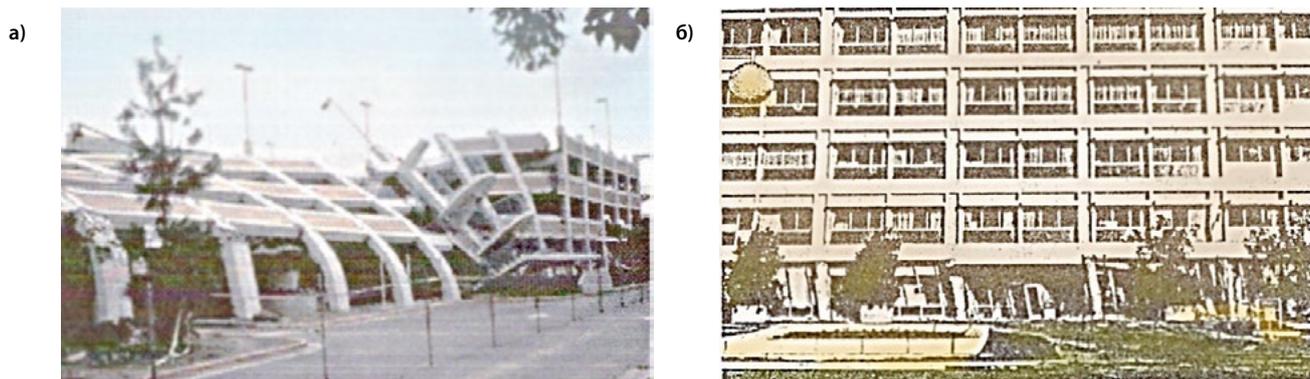
При Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. в Армении по официальным данным погибло 25 тысяч человек, из них: в Ленинанкане 14-15 тысяч, в Спитаке 5 тысяч, остальные в других городах и населенных пунктах [5].

Спитак находился практически в эпицентральной зоне, в городе обрушились почти все здания, сооружения и дома частного сектора.

По картам сейсмического районирования СССР максимальная интенсивность в г. Спитаке 7-8 баллов, однако интенсивность произошедшего землетрясения на 1-2 балла больше, это значит, что фактические сейсмические нагрузки в 2-4 раза больше ожидаемых, что и явилось основной причиной массового разрушения зданий.

Таким образом, в эпицентральной зоне – в районе Спитака – интенсивность оценивается в 9-10 баллов; в Ленинанкане, в 40 км от очага 8-9 и 9-10 баллов; в Кировакане, Степанаване, Калинино (Ташир) и Гукасяне 7-8 баллов; в Артике 7, в Арарате 5, в Ереване, на расстоянии 120 км от Спитака, интенсивность была примерно 5-7 баллов. В Мецаморе, где расположена Мецаморская АЭС, на расстоянии 110 км от очага – 5 баллов. Эти данные являются средними оценками. На отдельных площадках были существенные отклонения.

Самые близкие пункты, зарегистрировавшие землетрясения (записи акселерограмм) были в г. Гукасян – 35 км,



**Рисунок 4** — а - Потеря устойчивости здания с гибким нижним этажом во время землетрясения (Венесуэла)  
 б - Повреждение здания с гибким нижним этажом на ул. Победы, г. Ленинакан, во время Спитакского землетрясения: сдвиг верхних этажей относительно колонн 1-го этажа составляет 500 мм

г. Мецамор – 110 км и г. Ереван – 120 км от эпицентра. В сейсмической станции г. Ленинакана акселерограммы [1, 2, 3] не записаны (зашкаливали). Однако были сделаны записи колебаний многомаятниковыми сейсмографами академика А.Г. Назарова, которые дали возможность оценивать интенсивность сейсмического воздействия в г. Ленинакане.

Основной специфической особенностью Спитакского землетрясения является то, что оно произошло двумя, последовавшими один за другим, землетрясениями (толчками). Интенсивность этих толчков отличалась более чем в два раза. Данные подтверждает анализ записей землетрясения по составляющей В-З, полученной на сейсмической станции «Ленинакан», а также из записей по трем составляющим (В-З, С-Ю и вертикальные), полученных на инженерно-сейсмометрической станции в г. Гукасяне. Интенсивность основного первого Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 года в г. Ленинакане определена в соответствии с MSK-64 [2] по записям многомаятниковых сейсмографов, установленных на станциях инженерно-сейсмометрической службы: по улице Калинина, где максимальное отклонение составило 10 мм, что является нижним пределом 9 баллов; по улице Спандаряна, дом 24, где максимальное отклонение составило 15 мм, что является верхним пределом для 9 баллов, и по улице Ленинградян, дом № 5 (сейсмическая станция Института Геофизики и Инженерной Сейсмологии Академии наук Армении), где максимальное отклонение составило 18 мм, что является нижним пределом для 10 баллов.

Таким образом, в г. Ленинакане на здания и сооружения, запроектированные на расчетную сейсмичность 7-8 баллов, воздействовали два землетрясения интенсивностью 8-9 баллов. Первое землетрясение привело к сильному повреждению многочисленных зданий и сооружений, а второе землетрясение, более чем в два раза интенсивнее первого, полностью разрушило и обвалило пострадавшие здания и сооружения.

**2. Разрушение каркасных зданий** серии 111: в Ленинакане на расстоянии 40 км разрушено 95%, а в Кировакане на расстоянии 25 км выстояли все здания. Разрушение каркасно-каменных зданий в Ленинакане 62%, в Кировакане – 24%. Масштаб разрушений каменных домов (до 4-х этажей) примерно одинаков в обоих городах.

Основные причины разрушения каркасных зданий в г. Ленинакане:

1. Интенсивность землетрясения на Ленинаканском плато выше, чем расчетное значение по картам ОСР.
2. По исследованиям ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, ИФЗ РАН, ИГИС АН Армении, группы специалистов США и Японии, на Ленинаканском плато преимущественные разрушения связаны с появлением резонансных явлений – совпадением периодов собственных колебаний каркасных зданий с периодами максимальных амплитуд сейсмических толчков. Возможны также бифуркационные явления, когда амплитуда и фаза колебания основания от сейсмических воздействий совпадает с собственными колебаниями и фазой здания.  
 9-10-этажные каркасные здания серии 111 имели начальные периоды собственных колебаний 0,55-0,65с, которые увеличились в результате накопления повреждений под воздействиями двух последующих землетрясений (толчков). По мере вступления резонансных зон величины ускорений и сейсмические нагрузки могли в 4-8 раз превышать нормативные значения.
3. Сопоставительный анализ афтершоков в г. Ленинакане и в г. Степанаване (примерно на одинаковых расстояниях от эпицентра) показывает, что после вступления поперечной волны S амплитуда колебаний резко возрастает. При этом образуется интерференционный цуг с амплитудой в 4-6 раз больше с продолжительностью 10-30 с.
4. Значительные разрушения связаны с интенсивным вертикальным компонентом землетрясения. В 2-4 раза выше горизонтальные составляющие с сочетанием интенсивных вертикальных воздействий привели к превышению расчетных нагрузок в 4-8 раз.
5. Учитывая сравнительную длительность воздействия, а также фактически следовавшие одно за другим два землетрясения, здания и сооружения не могли противостоять катастрофе, даже при нормальном качестве строительства.

### **3. Высокая сейсмостойкость крупнопанельных зданий**

В г. Ленинакане, где полностью разрушились каркасные здания серии 111, шестнадцать девятиэтажных крупнопанельных зданий оказались почти совершенно неповрежденными (рис. 3) В г. Спитаке были два крупнопанельных пятиэтажных дома; среди массовых разрушений оба эти крупнопанельные здания сохранились. В связи с этим очень



**Рисунок 5.1** — Разрушение каменных зданий во время Спитакского землетрясения (г. Спитак)

важное значение имеет анализ причин высокой сейсмостойкости крупнопанельных зданий.

Основные причины сейсмостойкости крупнопанельных зданий серии 451:

1. Несущие и ограждающие конструкции крупнопанельных зданий (стеновые панели и плиты перекрытия) изготавливаются на заводе, имеющем совершенные технологические циклы по изготовлению бетона, арматурных каркасов и закладных деталей. В связи с этим панели заводского изготовления более качественные, чем конструкции, изготовленные на строительной площадке.
2. При воздействии сильных и разрушительных землетрясений конструкции панелей могут скользить по платформенным швам, создавая сухое трение, которое в значительной степени поглощает воздействие сейсмических толчков, уменьшает амплитуды колебаний конструкций.
3. Соединительные элементы железобетонных стеновых панелей и плит перекрытия при сильных землетрясениях могут деформироваться упругопластической стадией, и тем самым увеличить демпфирование колебаний и уменьшать энергию сейсмических воздействий, передающихся на здания и сооружения.
4. Крупнопанельное здание за счет своего конструктивного решения имеет значительный диапазон живучести. При разрушительных землетрясениях, если даже обрушится одна или несколько панелей, то это не приводит к полному разрушению здания. Кроме того, с выходом из строя одного или нескольких элементов происходит уменьшение сейсмических нагрузок. В то же время в зданиях в каркасном конструктивном решении разрушение одной колонны, особенно в нижнем этаже, может привести к частичному или полному разрушению здания в целом.
5. Крупнопанельные здания в связи с коробчатым и крестообразным расположением стеновых панелей, совместно с плитами перекрытия, имеют значительную жесткость, следовательно, высокие частоты собственных колебаний (малыми периодами). Крупнопанельные здания проектировались в соответствии с действовавшими нормами на сейсмическую нагрузку в 2-4 раза больше, чем гибкие каркасные здания.
6. Спитакское землетрясение имело значительную интенсивность вертикальной составляющей. Крупнопанельные здания имеют повышенную вертикальную жесткость, благодаря чему меньшую деформативность и большую устойчивость при вертикальных воздействиях.
7. При сейсмических воздействиях частичные повреждения, вертикальные, горизонтальные и косые трещины в



**Рисунок 5.2** — а, б – Разрушение каменных зданий во время Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г.



**Рисунок 5.3** — Разрушение каменного здания церкви Всеспасителя во время Спитакского землетрясения в г. Ленинакане (а) и вид после восстановления (б)

**Таблица 1** — Классификация зданий и сооружений по аналоговой шкале MSK-64

Тип зданий и сооружений	Характеристики конструктивных решений и несущих элементов
1	2
«А»	Одноэтажные постройки с несущими каменными стенами из рваного или груботесанного мелкоразмерного на известковом растворе без соблюдения правила кладки. Покрытия в основном деревянные, с отсутствием связей со стенами. Перемычки деревянные и каменные клинчатые, редко балочные со стержнями на известковой смеси. Дверные и оконные проемы маленькие.
«Б»	Одно-, двухэтажные здания из местных камней: туф, фельзит, правильной формы или чистотесанных типа «мидис» толщиной 40-80 см на цементном, известковом или сложном растворе. Перекрытия и покрытия из деревянных и железобетонных конструкций имеют связи с несущими стенами. Перемычки железобетонные или «клинчатые» – из туфа на цементном растворе. Фундаменты ленточные из бутовой кладки на цементном, известковом или сложном растворе. Перегородки из легкобетонных перегородочных плит.
«В»	Одно-, двух-, трехэтажные здания из местных нормированных крупноразмерных чистотесаных камней типа «мидис» или из камней стандартной («правильной») формы на нормальном цементном, известковом или сложном растворе. Качество кладки типа «мидис» и стандартной («правильной») формы нормальное: соблюдены правила выполнения кладки – перевязка швов и стыков; наличие сужьма и «гогора»; опорные постели камней кладки типа «мидис» ≈ 50мм. Толщина кладки стен больше 55-60 см. Фундаменты ленточные, рваный бут или базальт на цементно-песчаном растворе. Фундаменты расположены ниже отметки замерзания грунта. Перекрытия и покрытие в основном из железобетонных плит (сборных или монолитных) реже деревянных на балках. Перемычки над проемами из туфовых камней «клинчатого» типа на цементно-песчаном растворе и из монолитных сборных перемычечных балок.

панелях и платформенных швах являются системой включающихся связей, приводящих к адаптации и повышенной живучести крупнопанельных зданий.

#### 4. Сейсмостойкость зданий с гибким нижним этажом

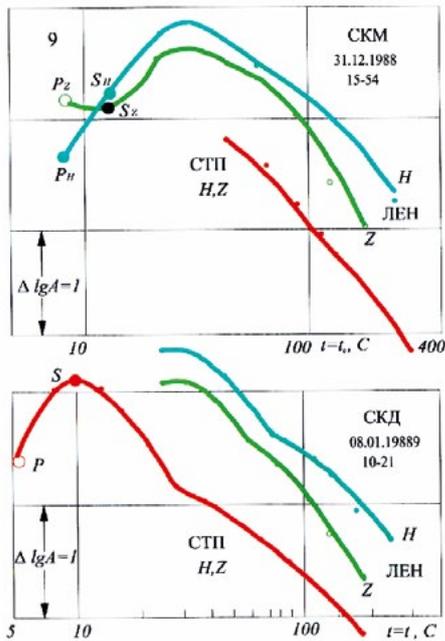
Анализ последствий Спитакского землетрясения показал низкую сейсмостойкость зданий с нижним гибким этажом.

Здания и сооружения с гибкими конструкциями нижних этажей начали строить во второй половине 30-х годов в США. Такие конструкции в основном представляли собой жилые и общественные здания, опирающиеся на колонны нижних этажей. В нижних этажах располагались офисные помещения, гаражи, банки, дома быта и другие учреждения. Требование открытого пространства нижних этажей диктовалось архитектурно-функциональным предпочтением, и такого решения добивались путем применения как несущих элементов в нижних этажах – колонн, пилонов, порталов, рам, арок и других подобных конструкций. В ряде случаев в сейсмоактивных районах гибкие конструкции нижних этажей считались элементами сейсмоизоляции, по этим соображениям во всем мире в городах и населенных пунктах возведены жилые и общественные здания с гибкими конструкциями нижних этажей.

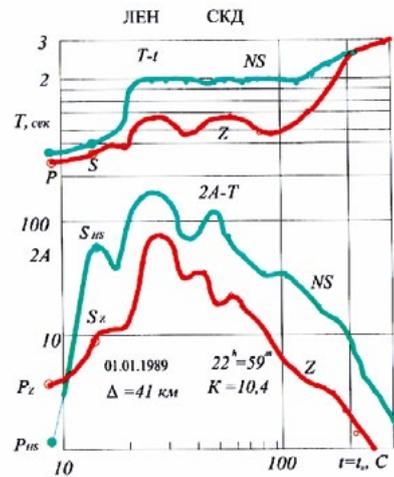
Здания с гибкими нижними этажами показали недостаточную сейсмостойкость при разрушительных землетрясениях в Венесуэле – 1966 г., Сан-Фернандо – 1971 г., Мехико – 1985 г., Лома-Приете – 1989 г., Кобе – 1995 г., в Турции, на Тайване и в Греции – 1999 г., в Индии – 2001 г., в Китае – 2008 г., в Японии 2011 г. Многочисленные факты свидетельствуют, что массовые разрушения произошли из-за гибких кон-

струкций нижних этажей. Результаты исследований показывают, что во многих случаях в нижних этажах как несущий элемент применялись тонкие железобетонные колонны. Несущая способность таких колонн при действии вертикальных и гравитационных сейсмических нагрузок значительно ниже, особенно при образовании трещин бетона и в зонах пластических шарниров арматуры. При многоциклических сейсмических колебаниях здания колонны нижних этажей теряют несущую способность и устойчивость.

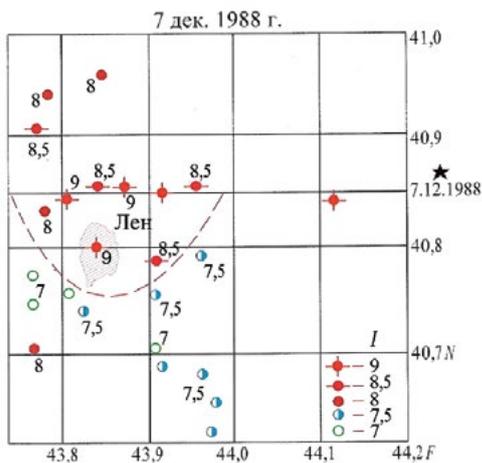
Во многих случаях верхние этажи оказались сейсмостойкими, а большие повреждения нижних этажей вызвали угрозу тотального разрушения всего здания. Анализ поведения зданий с нижними гибкими этажами (ярусами) в Ленинакане, а также во время вышеуказанных сильных землетрясений показывает, что в большинстве зданий горизонтальное перемещение на уровне перекрытия нижнего этажа может достичь 500 мм и больше, однако разрушение верхних этажей не происходит. Примером может служить 8-подъездный 5-этажный дом (с гибким 1 этажом) на ул. Победы в г. Ленинакане. При землетрясении горизонтальные перемещения на уровне перекрытий 1-го этажа достигли 450-500 мм. Однако разрушения верхних этажей не произошло. Аналогичное поведение проявило 5-ти этажное здание госпиталя с гибким нижним этажом во время разрушительного землетрясения в Калифорнии в 1989 г. Горизонтальные перемещения в верхних частях колонн 1-го этажа достигли 400-500 мм без разрушения верхних этажей. Этот анализ подтверждает весьма важный вывод о возможности применения широкого диапазона живучести зданий: сейсмоизоляции, включающимися и выключающимися связями, погло-



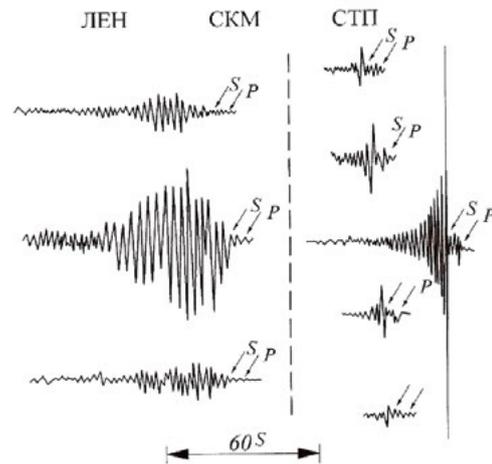
**Рисунок 6.1** — Сравнение огибающих записей афтершоков на станциях Лениканан и Степанаван приборами СКМ (вверху) и СКД (внизу). Крупными значками показаны вступления объемных P и S волн. Для огибающей станции Лениканан отдельно даны огибающие коды вертикальной Z (зеленый цвет, не залитые точки) и горизонтальной H (бирюзовый цвет, залитые точки) составляющей. На записях станции Степанаван уровень и форма огибающих коды всех трех компонент в среднем одинакова



**Рисунок 6.2** — Сравнение периодов (вверху) и амплитуд объемных волн и коды (внизу) вертикальной и горизонтальной компонент. Запись афтершока 1 января 1989 г. приборами СКД станции Лениканан



**Рисунок 6.3** — Карта макросейсмических проявлений при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. для Ширакской котловины и её окрестностей



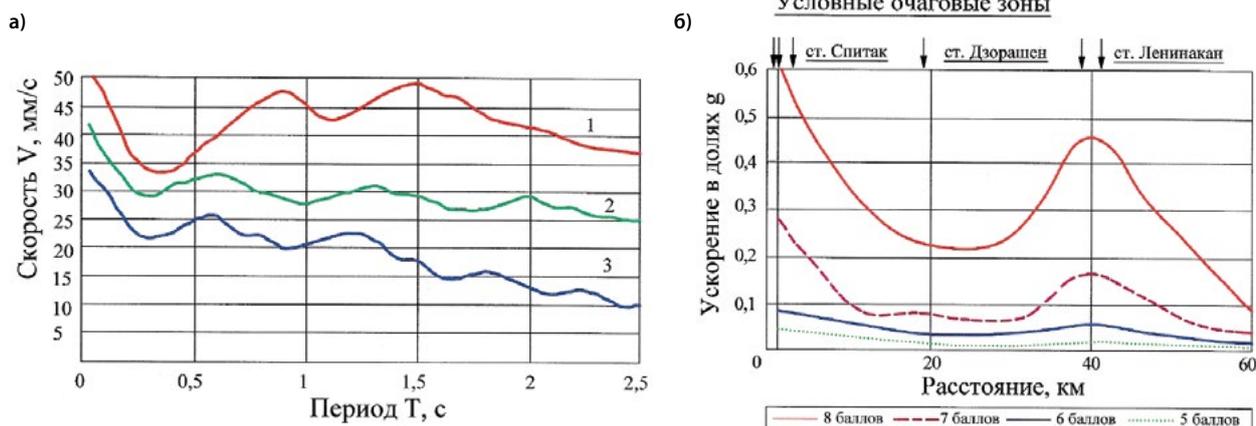
**Рисунок 6.4** — Образцы записей афтершоков Спитакского землетрясения приборами СКМ станций Степанаван (справа) и Лениканан (слева)

тительными элементами, сейсмоамортизаторами, упругими и качающимися опорами и многим другим.

В последние 30 лет в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко разработаны многочисленные системы сейсмозащиты зданий и сооружений, строящихся в сейсмоактивных районах (Айзенберг Я.М., Смирнов В.И., Мелентьев А.М. и другие). Ряд интересных специфических решений по сейсмоизолирующим опорам были предложены проф. Савиновым О.А., Уздиным

А.М.[20], Белаш Т.А. [21], (Россия) и проф. Мелкумян М.М. (Армения). Эти системы снижают горизонтальные сейсмические силы и, следовательно, перемещения, что приводит к увеличению надежности и сейсмостойкости здания с гибкими нижними ярусами, которые являются необходимыми объектами в градостроительстве.

Влияние грунтовых условий на интенсивность сейсмического воздействия имеет огромное значение для расчета



**Рисунок 6.5** — а – Спектры Спитакского землетрясения 1 – Ленинакан, 2 – Гукасян, 3 – Дилижан. Направление 3-В б – Зависимости А – Δ по направлению В-3

и проектирования атомных электростанций (АЭС). Работы в этом направлении ведутся в АО «Атомэнергопроект» проф. Саргсяном А.Е. [19].

На интенсивность сейсмического воздействия на Ленинанканском плато значительное влияние оказало влияние грунтовых условий основания. Об этом подробнее остановимся в разделе 6.

Грунтовые условия в г. Ленинакане сильно ухудшились. Повышение уровня грунтовых вод привело к промыванию больших рыхлых грунтов под слоем туфовых отложений. Это привело к усилению сейсмического воздействия. Американские ученые, работающие в эпицентральной зоне, зарегистрировали колебания с магнитудой  $\approx 4.5$  при афтершоке 31 декабря 1988 г. в г. Ленинакане и в Кета. Сопоставительный анализ спектральных кривых показал, что при периоде 1-2 с возрастание колебаний в Ленинакане доходит до 10-12 раз. Второй особенностью увеличения сейсмических воздействий является приближение (совпадение) периодов колебаний грунта и собственных периодов колебаний зданий и сооружений. Это условие отразилось на поведении 9-этажных каркасных зданий в г. Ленинакане. Из-за совпадения периодов колебаний грунта и каркасных зданий произошло резонансное явление, которое привело к тотальному разрушению каркасных зданий.

**5. Разрушение каменных зданий и оценка интенсивности Спитакского землетрясения по шкале MSK-64**

В связи с отсутствием полной инструментальной информации интегральная оценка интенсивности Спитакского землетрясения выполнена с учетом результатов макросейсмических интерпретаций сейсмического воздействия.

Макросейсмическое исследование выполнялось в соответствии со шкалой MSK-64 с учетом особенности повреждений и разрушений каменных зданий в гг. Ленинакане, Спитаке, Кировакане (рис. 5.1-5.3).

Основным предположением шкалы MSK-64 является условная инженерная интерпретация зданий без специальных антисейсмических мероприятий. Для зданий и сооружений, возводимых в Армении, аналоговая инженерная классификация шкалы MSK-64 приведена в таблице 1.

**6. Усиление колебаний на Ленинанканском плато Армении в зависимости от грунтовых условий**

Достоверная информация о сейсмическом событии

имеет решающее значение на всех этапах проектирования, возведения и эксплуатации сооружений. Неполнота реальных данных, определяющих характеристики сейсмических колебаний на конкретной площадке (направленность источника воздействия, слоистость строения, нелинейные, упругопластические, вязкие свойства грунта, рельеф местности, трещиноватость колеблющихся плит, глубина, геометрия очага и т.д.), в значительной степени снижает достоверность сейсмологической информации, и это должно учитываться при проектировании.

Многочисленные человеческие жертвы и массовые разрушения сооружений при Спитакском землетрясении обусловлены недооценкой интенсивности сейсмического воздействия [5]. До землетрясения Спитакский район считался 6-7-балльным, а после землетрясения – 9 и более балльной интенсивности. Аналогичная картина выявлена после землетрясений в Грузии в 1991 г., в Нефтегорске в 1995 г. и т.д.

В методологическом подходе с точки зрения механики твердых деформируемых тел и конструкций проблема сейсмостойких сооружений вполне разрешима, если известны параметры колебаний грунта в функции от времени и соотношения между напряжениями и деформациями материала конструкции. По этим соображениям проф. С.В. Медведев предложил при оценке сейсмической интенсивности принимать максимальное относительное отклонение линейного осциллятора при периоде свободных колебаний  $T=0,25$  с и логарифмическом декременте 0,5 с. М.А. Садовский на основе серии экспериментальных исследований установил связь между интенсивностью воздействия и величинами массовой скорости сейсмозвращения волн. Осуществляя мощные взрывы, он получил зависимости для определения скорости колебания с массой заряда и расстоянием до взрыва [10].

В связи с тем, что инерционная сейсмическая сила прямо зависит от ускорения основания, Канкани за меру сейсмической интенсивности предложил принять максимальное сейсмическое ускорение. А.Г. Назаров при оценке сейсмической интенсивности предложил принять реакции линейных осцилляторов с различными периодами свободных колебаний. Здесь мерой сейсмической интенсивности землетрясения является функция, которая называется при-

веденным сейсмическим ускорением или реакцией. Им же построен многоятниковый сейсмометр, состоящий из набора горизонтальных и вертикальных линейных осцилляторов, демпферы которых обеспечивают изменения логарифмического декремента колебания в пределах 0,3-0,4 [11]. Однако все рассмотренные величины и их максимальные значения недостаточны для полного представления сейсмического воздействия и анализа динамического поведения сооружения.

На втором этапе представления сейсмического воздействия широкое распространение получили реальные акселерограммы землетрясения (Дж. Хаузнер, А.Г. Назаров [11]); ввиду отсутствия полной сейсмологической информации статистические модели сейсмического воздействия (Я.М. Айзенберг [8], В.В. Болотин, А.М. Жаров). Причем, случайная  $\Phi$  и нормированная корреляционная функция  $K$  представляются часто в виде [8]:

$$\begin{aligned} \Phi(t, \omega_j) &= \varepsilon_j e^{\delta t} G_j \Phi(t, \omega_j) \\ K(\tau, \omega_j; \varepsilon_j) &= e^{-a_j |\tau|} (\cos \omega_j \tau + a_j \sin \omega_j \tau / \omega_j) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\omega_j$  – несущая частота  $j$ -го процесса;  $a_j$  – характеризует быстроту убывания процесса,  $G_j$  – дисперсия процесса,  $\varepsilon_j$  – характеризует огибающую  $j$ -го процесса;  $\Phi$  – нормированная функция, характеризуется тем, что ее дисперсия  $(-\infty, +\infty) \rightarrow 1$ . Анализ выборки акселерограмм с параметром  $\omega_j$  показывает, что расчетные множества случайных процессов могут быть характеризованы параметрами:  $\varepsilon_j, \tau_j$  и  $a_j$ , аргументами которых являются несущие частоты  $\omega_j$ , или периоды  $T_j = 2\pi\omega_j^{-1}$ .

Статистический анализ литературных данных и подавляющее большинство практических предложений специалистов в СССР, США, Японии и др. стран показывает, что сейсмический эффект обратно пропорционален  $T^n$  (где  $n$  колеблется в диапазоне  $1/4 \leq n \leq 1$ ), и может быть представлен:

$S_c = C/T^n$  – где  $C$  – некоторая постоянная величина;  $S_c$  – сейсмический эффект, пропорциональный ускорениям колебания грунта.

К таким выводам пришли Блюм Дж., Хаузнер Дж., Дженинг Р., Канаи К., Назаров А.Г., Айзенберг Я.М., Корчинский И.Л. и многие другие исследователи. За последние несколько лет возник повышенный интерес к энергетическим критериям сейсмических воздействий и сейсмостойкости сооружений.

Основой таких исследований служит интенсивность по Ариасу:

$$I_A = \int_0^t \ddot{u}_0(t) dt \quad (2)$$

где  $\ddot{u}_0(t)$  – зависимость сейсмического ускорения от времени.

При расчете сейсмического риска для уникальных строительных объектов А.В. Сувиловой предложено перейти к вероятной оценке параметров колебания грунта на возможных ситуациях за проектный период службы сооружения [12]. Максимальная амплитуда ускорения в долях  $g$  на расстоянии  $\Delta = 6-100$  км была рассчитана по формулам:

$$\begin{aligned} A_{max} &= 0,06 MR - 0,22 \pm 0,17 \\ \lg A_{max} &= 0,19 MR - 2,29 \pm 0,36 \end{aligned} \quad (3)$$

Вблизи разлома дня определения максимального ускорения, когда эпицентрального расстояние  $\Delta = 0$ , Сид предложил следующие формулы [8]:

$$\begin{aligned} A_s &= 0,09 MR - 0,27 \pm 0,22; \\ \lg A_s &= 0,18 MR - 1,72 \pm 0,28. \end{aligned} \quad (4)$$

Максимальная амплитуда ускорения (в долях  $g$ ) на гипоцентрального расстоянии  $D = 25$  км по данным Н.В. Шебалина [14] определяется:

$$\begin{aligned} A &= 0,11 MR - 0,48 \pm 0,11; \\ \lg A &= 0,39 MR - 3,29 \pm 4,2 \end{aligned} \quad (5)$$

Необходимо отметить, что даже при достаточных объемных выборках, расчеты по формулам (3)-(5) приводят к существенно разным результатам. Так, обработка данных 50 акселерограмм [12] существенно искажает картину, и видоизмененное уравнение принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} A_{max} &= 0,02 MR - 0,06 \pm 0,06 \\ \lg A_{max} &= 0,06 MR - 0,1 \pm 0,13 \end{aligned} \quad (6)$$

Группы зависимостей  $A-MR$  и  $\lg A-MR$  можно продолжить, приведя аналогичные формулы и других авторов. Однако, анализ сильных и разрушительных землетрясений, произошедших за последние 10-15 лет, показывает, что любые зависимости  $A-MR$ ,  $\lg A-MR$  и  $T_{max}-MR$ , свойственны только изучаемым группам акселерограмм, рельефу местности, локальным условиям грунта, особенностям строения, пути распространения сейсмических волн и т.д.

В результате изучения последствий Спитакского землетрясения и последующих нескольких десятков афтершоков было установлено следующее максимальное амплитудное значение ускорений колебаний грунта:

$$\begin{aligned} \lg A_{max} &= 0,21 MR - 2,2 \pm 0,45; \\ \lg A &= 0,71 gr + 0,25 M \pm 1,55, r \leq 40 \text{ км} \end{aligned} \quad (7)$$

где  $A_{max}$  – максимальное значение ускорения ( $m/c^2$ );  $tA$  – длительность интенсивности ускорения, с.

Объем разрушений в Ленинанкане значительно выше, чем можно было ожидать, исходя из магнитуды MLN и макросейсмической магнитуды MMC [8]. MMC определяются макросейсмические обследования последствий землетрясений в населенных пунктах с учетом региональных кривых затухания. В соответствии с исследованиями ИФЗ РАН затухание макросейсмической интенсивности в Закавказье происходит сильнее, чем в Средней Азии и на Балканах (рис. 6.1-6.4).

По зависимости  $I(R)$  для Спитакского землетрясения следует, что MMC=7,8 и на расстоянии 35 км ожидается  $I = 7,6$  балла.

Для землетрясений Кавказа корреляционная связь MMC и магнитуды связана формулой:

$$MMC = 1,12 MLN + 0,20 \quad (8)$$

Результаты по этой зависимости на 1 единицу больше, чем аналогичные соотношения для Средней Азии:

$$MMC = 1,19 MLN - 1,10 \quad (9)$$

и на Балканах:

$$MMC = 1,20 MLN - 0,76 \quad (10)$$

В соответствии (3) для Спитакского землетрясения MMC должно быть 8,0, а ожидаемая интенсивность для Ленинанкана 7,8 балла.

Реальная интенсивность в Ленинакане была около 9 баллов.

На рис. 6.5а приведены спектры колебания землетрясения 06.10.1991 г. в районе Амассии на границе Турции и Армении, полученные сейсмическими станциями ИГИС НАН Армении и геологической службы США [15].

Как видно из графиков, ординаты спектров колебаний в г. Ленинакане значительно выше, чем в некоторых зонах, близких к очагу землетрясения.

На рис. 6.5 б приведены зависимости ускорения грунта от эпицентрального расстояния.

Результаты получены на основе использования реальных записей последующих афтершоков Спитакского землетрясения на сейсмических станциях Ленинакан, Спитак, Мармашен, Дзорашен, Кети, Гукасян, Айгабац и т.д.

Анализ результатов исследований показывает, что при использовании даже верхней границы формулы (5), на Ленинаканском плато реальные колебания грунта значительно усилены (на графике получены пики – «полюсы» ускорения), на полосе 0,5-1,5с периодов колебаний грунта. К аналогичным выводам пришли Карапетян Б.К., Геодакян Э.Г., Халтурин В.И., Айзенберг Я.М., Агбабян М.С., Борчердт Р.Д., Кюрегян А.Д., Филсон Дж.Р. и др. [4, 15].

Местные геологические условия в значительной степени влияли на характеристики сейсмических воздействий. Было установлено, что в неконсолидированных водонасыщенных отложениях часто развивались резонансные и

бифуркационные колебания. Для таких отложений уровни сейсмических воздействий могут быть в несколько раз больше и по амплитуде и по продолжительности колебания. На Ленинаканском плато интенсивность воздействия значительно больше, чем в других населенных пунктах (г. Кировакан и т.д.), которые расположены ближе к очагу Спитакского землетрясения и последующих афтершоков. Этот факт является одной из основных причин массового разрушения зданий и сооружений в г. Ленинакане. Усиление интенсивности воздействия землетрясений было установлено также при землетрясении в г. Скопье в 1976 г. в полосе – 0,4-1,0 с; в Мехико в 1985 г. в 1,5-3 с; в Сан-Франциско в 0,7-1,2 с и т.д.

Таким образом, при разработке нормативных документов необходимо ввести уточнения вариации интенсивности сейсмического воздействия с учетом реальных данных о колебаниях грунта вследствие произошедших землетрясений в отдельных населенных пунктах, в зависимости от дальних и близких очагов и в зафиксированной полосе частот. В ряде случаев при проектировании уникальных объектов (АЭС, высоких контрфорсных плотин и т.д.) оценки вариации параметров и полосы резонансных частот колебаний грунта могут быть установлены экспериментально, на основе возбуждения пакета замедленных взрывов на разных расстояниях от строительной площадки. Разработать конструктивные решения обеспечивающие живучесть высотных зданий и ответственных сооружений [20-27].

## Литература

1. Armenia Earthquake Reconnaissance. Report. Earthquake Spectra, August, 1989. С.29.
2. Карапетян Б.К. Результаты изучения Спитакского землетрясения и перспективы дальнейших исследований // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С. 9-11.
3. Айзенберг Я.М. Развитие конструкций и норм антисейсмического проектирования. Москва, ВНИИТПИ. 1997. С. 34-35.
4. Халтурин В.И., Шомахамадов А.М., Геодакян Э.Г., Саргсян Н.М., Мхитарян Л.А. Усиление интенсивности колебаний в Ленинакане. Тр. ИФЗ АН СССР. 1991. №32. С. 77-86.
5. Айзенберг Я.М. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Некоторые уроки и выводы // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С.6-9.
6. Мелкумян М.Г. II Международная конференция по сейсмической опасности и снижению сейсмического риска, посвященная 10-ой годовщине Спитакского землетрясения (15-21.09.1998 г., г. Ереван, Армения) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С.44-47.
7. Мхитарян Л.А., Мхитарян Д.А. Анализ инженерно-сейсмометрических данных сильных землетрясений, зарегистрированных в 1991-92 годах на территории Армении// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №1. С.18-19.
8. Айзенберг Я.М. Модель сейсмостойкого воздействия для расчета сооружений при неполной сейсмологической информации. Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. С.170-178.
9. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Стройиздат, 1962. 284 с.
10. Садовский М.А. Сейсмика взрывов и сейсмология // Физика Земли. 1987. № 11. С. 34-42.
11. Назаров А.Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван: Изд. АН Арм. ССР, 1959. 286 с.
12. Сувилова А.В. и др. Об оценке параметров движения грунта при расчетах сейсмического риска. Сейсм. шкала и методы измерения сейсм. интенсивности. М.: Наука, 1975. С. 143-148.
13. Seed H.B. et al. Influence of Soil Conditions on Ground Motions During Earthquakes // J. Soil Mech and Found. Div. ASCE, 1969 vol.95, N5. Pp. 99-138.
14. Шебалин Н.В. Распределение степеней повреждения зданий и использование его для оценки балльности/ В кн. Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: «Наука», 1975-6. С.253-266.
15. Agbajian M.S. et al. Armenia earthquake reconnaissance report. Los-Angeles, 1989. 195 p.
16. Долгая А.А., Индейкин А.А. Статистический анализ интенсивности по Ариасу и скорости для реальных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2000. №2. С. 32-34.
17. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками. Автореф. докт. дисс. М., 1996. 43 с.
18. Чернов Ю.К. (1984). Закономерности изменения спектра колебаний грунта в ближней зоне землетрясения // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 25. С. 16-28.
19. Саргсян А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций. М., 2013. 549 с.
20. Уздин А.М. Развитие идей О.А. Савинова в области сейсмоизоляции зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №2. С.36-38.
21. Белаш Т.А., Альберт И.У. Сопоставительный анализ сейсмостойкости зданий с различными системами сейсмоизоляции // Сейсмостойкое строительство. М.: ВНИИТПИ. 1995. Вып. 4.С. 30-34.
22. Айзенберг Я. М., Смирнов В. И., Минасян А. В. Сейсмоамортизация особо ответственного технологического оборудования

атомных станций// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. №4. С. 18-22.

23. Айзенберг Я. М., Минасян А. В. Исследование сейсмоамортизации фильтра и теплообменника АЭС // Сейсмостойкое строительство. 1988. №2. С. 9-11.

24. Минасян А. В. Комплексное резервирование спектральной живучести уникальных сооружений при чрезвычайных динамиче-

ских, сейсмических и техногенных воздействиях// Вестник «НИЦ «Строительство». Исследования по теории сооружения. 2011. №3-4. С. 157-171.

25. Айзенберг Я. М., Смирнов В.И., Минасян А. В. Неупругие демфирующие элементы связи для сейсмозащиты безригельных каркасов// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2001. №2. С. 38-39.

26. Пономарев О.И., Минасян А.В. Повышение

надежности и динамической живучести уникальных объектов в сейсмоактивных районах// Строительная механика и расчет сооружений. 2011. №3. С. 59-65.

27. Минасян А.В. «Сейсмоизолирующий экран» АС №1423694. Бюлл. открытый и изобретений.

Материалы хранятся по адресу: 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6. АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

**MINASYAN A., Candidate of Technical Sciences, Head of sector, JSC Research Center of Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko**

## SPITAK CATASTROPHE: EXPERT OPINION

### Abstract

In the article of the Spitak Earthquake are estimated. The following is a part of a structured scheme: low seismicity of the glacier beds, high seismicity of panels, as well as seismicity of the earthquake zones and coordination. Scale of destruction in different towns of Armenia is being examined. The city of Leninakan (Gyumri) has landed at 40 km from the village of Spitak, and the city of Kirovakan (Vanadzor) in 25km. However, the scale of destruction in Leninakan is much larger than in Kirovakan due to

the fact that part of the city is located on water-saturated clay soils, which increase the intensity of seismic action, in addition, the dominant periods of oscillations of buildings in forms 1, 2 and 3 coincided with the period of ground vibrations. This was a "seismic resonance" and amplified the amplitude of the oscillation process, which is one of the 9-10 erosional disintegration of the mass disintegration.

**Keywords:** Spitak Earthquake, Seismicity of panels, frames and bricks, increase of quenching at the Leninakan Plateau Armenia.

### References

1. Armenia Earthquake Reconnaissance. Report. Earthquake Spectra, August, 1989, P.29.
2. Karapetyan B.K. Rezul'taty izucheniia Spitakskogo zemletryaseniia i perspektivy dal'neyshikh issledovaniy // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P. 9-11. (In Russian).
3. Eisenberg J.M. Razvitie konstruksii i norm antiseismicheskogo proektirovaniia. Moskva, VNIINTPI. 1997. P. 34-35. (In Russian).
4. Khalturin V.I., Shomakhmadov A.M., Geodakyan E.G., Sargsyan N.M., Mkhitarian L.A. Usilenie intensivnosti kolebaniy v Leninakane. Tr. IFZ AN SSSR. 1991. №32. P. 77-86. (In Russian).
5. Eisenberg J.M. Spitakskoe zemletriasenie 7 dekabria 1988 g. Nekotorye uroki i vyvody // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P. 6-9. (In Russian).
6. Melkumyan M.G. II Mezhdunarodnaia konferentsiia po seismicheskoi opasnosti i snizheniiu seismicheskogo riska, posviashchennaia 10-oi godovshchine Spitakskogo zemletriaseniia (15-21.09.1998 g., g. Yerevan, Armeniia) // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P.44-47. (In Russian).
7. Mkhitarian L.A., Mkhitarian D.A. Analiz inzhenerno-seismometricheskikh dannykh

- sil'nykh zemletriaseni, zaregistrirrovannykh v 1991-92 godakh na territorii Armenii // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. №1. P.18-19. (In Russian).
8. Eisenberg J.M. Model' seismostoi kogo vozdeistviia dlia rascheta sooruzhenii pri nepolnoi seismologicheskoi informatsii. Seismicheskai a shkala i metody izmereniia seismicheskoi intensivnosti. M. : Nauka, 1975. P.170-178. (In Russian).
9. Medvedev S.V. Inzhenernaia seismologii a. M.: Stroi izdat, 1962. 284 p. (In Russian).
10. Sadvoskii M.A. Seismika vzryvov i seismologii a // Fizika Zemli. 1987. № 11. P. 34-42. (In Russian).
11. Nazarov A.G. Metod inzhenernogo analiza seismicheskikh sil. Yerevan: Izd. AN Arm. SSR, 1959. 286 p. (In Russian).
12. Suvilova A.V. i dr. Ob otsenke parametrov dvizheniia grunta pri raschetakh seismicheskogo riska. Seism. shkala i metody izmereniia seism. intensivnosti. M.: Nauka, 1975. P. 143-148. (In Russian).
13. Seed H.B. et al. Influence of Soil Conditions on Ground Motions During Earthquakes// J. Soil Mech and Found. Div. ASCE, 1969 vol.95, N5. Pp. 99-138.
14. Shebalin N.V. Raspredelenie stepeni zdanii i ispol'zovaniia ego dlia otsenki ball'nosti / V kn. Seismicheskai a shkala i metody izmereniia

- seismicheskoi intensivnosti. M.: Nauka, 1975-6. P.253-266. (In Russian).
15. Agbabayan M.S. et al. Otchet razvedki zemletriaseni v Armenii [Armenia earthquake reconnaissance report]. Los-Andzheles, 1989. 195 p. (In English).
16. Dolgaya A.A., Indeykin A.A. Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2000. №2. P. 32-34. (In Russian).
17. Zaalishvili V.B. Seismicheskoe mikrorai onirovanie na osnove analiza nelineinykh svoistv gruntov iskusstvennymi istochnikami. Avtoref. dokt. diss. M., 1996.43 p. (In Russian).
18. Chernov Yu.K. (1984). Zakonomernosti izmeneniya spektra grunta v blizhnei zone zemletriaseniia // Voprosy inzhenernoi seismologii. Vyp. 25. P. 16-28. (In Russian).
19. Sargsyan A.Ye. Dinamika i seismostoi kost' sooruzhenii atomnykh stantsii. M., 2013. 549 p. (In Russian).
20. Uzdin A.M. Razvitie idei O.A. Savinova v oblasti seismoizoliatsii zdanii i sooruzhenii // Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2011. №2. P.36-38. (In Russian).
21. Belash T.A., Al'bert I.U. Sopostavitel'nyi analiz seismostoi kosti zdanii s razlichnymi sistemami seismoizoliatsii // Seismostoi koe stroitel'stvo [Earthquake engineering]. M. : VNI-

INTPI. 1995. Vyp. 4. P. 30-34. (In Russian).

22. Eisenberg J. M., Smirnov V. I., Minasyan A. V. Seismoamortizatsiia osobo otvetstvennogo tekhnologicheskogo oborudovaniia atomnykh stantsii // Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety]. 1999. N 4. P. 18-22. (In Russian).

23. Eisenberg J. M., Minasyan A. V. Issledovanie seismoamortizatsii fil'tra i teploobmennika AES // Seismostoiroe stroitel'stvo [Earthquake engineering]. 1988. №2. P. 9-11. (In Russian).

24. Minasyan A. V. Kompleksnoe rezervirovanie spektral'noi zhivuchesti unikal'nykh sooruzhenii pri chrezvychainykh dinamicheskikh, seismicheskikh i tekhnogennykh vozdeistviyakh // Vestnik «NITS» Stroitel'stvo ». Issledovaniia po teorii sooruzhenii. 2011. №3-4. P.157-171. (In Russian).

25. Eisenberg J. M., Smirnov V.I., Minasyan A. V. Neuprugie dempfriuiushchie elementy-sviasi dlia seimozashchity bezrigel'nykh karkasov // Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineer-

ing. Constructions safety]. 2001. №2. P.38-39. (In Russian).

26. Ponomarev O.I., Minasyan A.V. Povysenie nadezhnosti i dinamicheskoi zhivuchesti unikal'nykh ob'ektov v seismoaktivnykh raionakh // Stroitel'naia mekhanika i raschet sooruzhenii [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2011. № 3. P. 59-65. (In Russian).

27. Minasyan A.V. «Seismoizoliruiushchii ekran» AS №1423694. Bull. otkrytii i izobretenii. (In Russian).

**Для цитирования:** Минасян А.В. Спитакская катастрофа: мнение специалиста // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 5. С. 38-48.

**For citation:** Minasyan A.V. Spitak catastrophe: expert opinion // Seismostoiroe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 5, pp. 38-48. (In Russian).



**Ведяков И. И., Райзер В. Д.**  
**НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.**  
**Теория и расчет**  
 Научное издание, – М.: Издательство АСВ, 2018. – 414с.

ВЫШЛО В СВЕТ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ «НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ТЕОРИЯ И РАСЧЁТ»

При поддержке АО «НИЦ «Строительство» вышло в свет научное издание «Надёжность строительных конструкций. Теория и расчёт» авторов И. И. Ведякова – директора ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», доктора технических наук, профессора, Почётного строителя России и В. Д. Райзера – инженера-строителя, доктора технических наук, профессора.

Книга написана для широкого круга специалистов строительной отрасли. В ней представлены современные методы анализа надёжности сооружений. Особое внимание авторы уделяют расчёту строительных конструкций, который «...должен в полной мере базироваться на теории надёжности, основанной на вероятностных методах». Это позволяет дать более объективную оценку

конструкции с точки зрения ее пригодности к нормальной эксплуатации.

Также в книге подробно рассказывается об основных положениях теории надёжности строительных конструкций, приводится анализ метода предельных состояний, предложения по совершенствованию методов нормирования расчетов на основе вероятностных подходов.

Наиболее важными авторы считают проблемы безопасности, риска, оптимального уровня надёжности сооружений. В связи с этим ими рассмотрены вероятностные модели климатических и технологических нагрузок, механических свойств конструкций, описаны современные методы вычисления вероятности отказа.

Пристальное внимание уделяется анализу надёжности многоэлементных систем, вероятностному методу предельного равновесия. В книге рассмотрены вероятностные проблемы устойчивости конструкций; исследуется влияние коррозионного износа на надёжность, анализируется надёжность конструкций при эксплуатации.

Книга предназначена для инженеров-проектировщиков, специалистов по оценке недвижимости, а также для студентов и аспирантов строительных ВУЗов.



КИОДЖИ СЮЭХИРО, профессор.

«Инженерная сейсмология»

Издательство «Экономическая жизнь»

1935 г.

#### ОТ РЕДАКЦИИ

*В 1935 году в издательстве «Экономическая жизнь» вышла в свет книга японского ученого, профессора Киоджи Сюэхиро «Инженерная сейсмология». В предисловии к русскому переводу профессор В.О. Цшохер и инженер В.А. Быховский писали: «Появление книги в русском переводе должно рассматриваться как явление чрезвычайной важности в области изучения сейсмических сил и можно только пожалеть, что она не выпущена раньше».*

*Сегодня эта замечательная книга стала библиографической редкостью. В стремлении исправить это положение редакция журнала приняла решение опубликовать на страницах журнала три лекции (три части книги), и переиздать этот выдающийся труд отдельным изданием.*

## ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ. ЛЕКЦИЯ 2

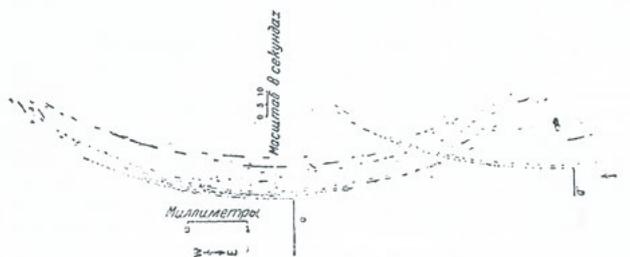
### СОДЕРЖАНИЕ

Отличительные признаки основных данных, требуемых инженерами и геофизиками, изложены в этой лекции. Обычные типы сейсмографов совершенно непригодны для записи колебаний сильных землетрясений непосредственно в эпицентральной зоне, ибо они должны быть также достаточно чувствительными для записи отдаленных колебаний. В этой лекции поставлена проблема сейсмографа и экселерографа для измерения «мощных движений», что обеспечит инженерам наилучшие возможности в получении ценных данных.

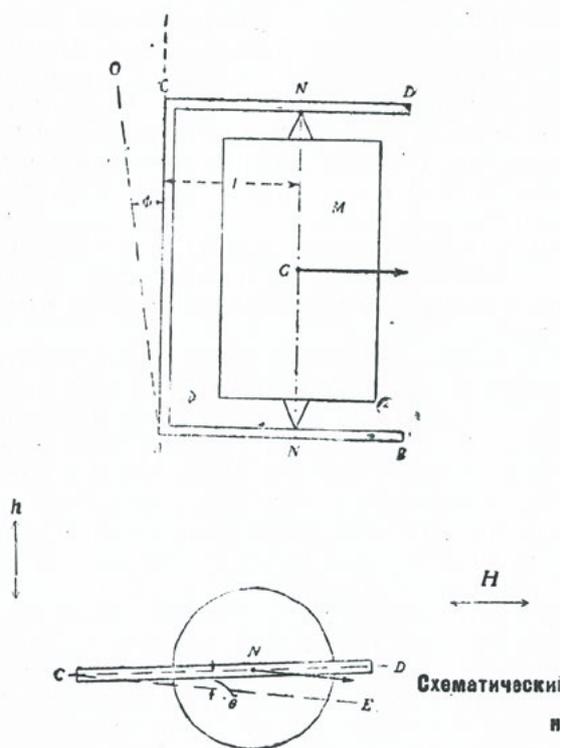
На основе наблюдений и изучения землетрясения 1923 г. в Токио доктор Сюэхиро пришел к заключению, что в настоящее время при постройке сооружений следует руководствоваться величиной ускорения  $0,15 g$ , несмотря на то, что имелось обилие фактов, указывающих на еще большие уско-

рения, встречавшиеся в эпицентральной зоне. Однако, так как даже в сейсмических странах любое сооружение подвергается вероятно разрушительным землетрясениям только раз или два раза за время своего существования, вопросы экономии приобретают большое значение. Несмотря на то, что землетрясение 1923 г. было наиболее сильным из всех отмеченных историей землетрясений, сооружения, спроектированные при учете сейсмического коэффициента  $0,1 g$  оказались вполне сейсмостойкими.

Лекция содержит сравнительные иллюстрации одновременных записей вибрографов в зданиях и в прилегающем грунте. Анализатор сейсмических колебаний, работающий по принципу селекции резонанса, как в измерителе частоты Hartmann'a, изобретен доктором Сюэхиро. Записи, получаемые его прибором, обнаруживают преобладающие периоды колебаний, свойственные исследуемой местности.



**Рисунок 20** — Частичная запись землетрясения в Иду, полученная в районе эпицентра



**Рисунок 21** — Схематический чертеж горизонтального маятника Ивинга

При проектировании сооружений весьма важно учесть отношение между периодом колебаний, свойственным сооружению и грунту, воздействие грунта на затухание колебаний и взаимодействие между грунтом и фундаментом сооружения. Эти проблемы фактически не поддаются математическому расчету, но одним из осуществимых решений являются опыты с моделями, спроектированными при условии удовлетворения законов динамического подобия. Отмечаются опыты с моделями деревянных зданий.

### Введение

Точные сейсмометрические данные одинаково важны и геофизику и инженеру-строителю: однако требования последних к ним неодинаковы. Первый, особенно если он европеец, стремится наблюдать различные фазы и формы волн землетрясения с целью определения границ расположения его источника, скорости распространения сейсмических волн и изучения характера различных напластований, образующих земную кору и т. д. Для инженера-строителя в

сейсмических странах большинство подобных данных не имеет большого значения, хотя косвенно и они могут его интересовать. Продолжительность предварительных колебаний перед землетрясением, например, весьма интересует геофизиков, однако инженеры-строители обыкновенно равнодушны к этому вопросу. Инженеру крайне необходимы сведения об интенсивности и характере основных движений при разрушительных землетрясениях.

Работа по сейсмометрическому наблюдению обыкновенно находится в руках геофизика, который естественно пользуется сейсмографом, соответствующим интересующим его объектам наблюдений, а именно—приборами, обладающими высокой чувствительностью и незначительной устойчивостью. Совершенно естественно поэтому, что всякий раз, когда происходит сильное землетрясение, записывающее перо всех сейсмографов, установленных в интенсивных сейсмических районах, как только начинаются главные колебания землетрясения, выходит за пределы записывающего барабана. Таким образом в лучшем случае получается запись только предварительного колебания. Колебания записывающего пера вне барабана обыкновенно принимаются как признак сильного землетрясения. По этим причинам до сих пор мы не имеем ни одной полной и заслуживающей доверия диаграммы разрушительного землетрясения, полученной при помощи сейсмографа, установленного вблизи эпицентра, не говоря в настоящее время об экселерографах, которые для инженеров имеют гораздо большее значение, нежели сейсмографы.

Под «сейсмографами» я подразумеваю такие приборы, у которых период собственных колебаний длиннее, чем периоды любых сейсмических движений и которые предназначены для записи только периодов самих сейсмических движений. Под «экселерографами» я подразумеваю такие приборы, у которых период собственных колебаний короче периода любых сейсмических движений и которые предназначены для непосредственной записи ускорений, производимых этими движениями.

Таким образом величины ускорений, приписываемые минувшим сильным землетрясениям, простые догадки; об их величине обычно судили на основании опрокинутых и смещенных надгробных памятников и других подобных явлений. Ясно, что такие методы слишком грубы и иногда даже вводят в заблуждение: во-первых, трение твердых тел, подверженных сложным вибрациям, не может быть определено; и, во-вторых, как правило, в самом начале разрушительного землетрясения при близком и неглубоком расположении гипоцентров движение начинается внезапно. Рис. 20 изображает частичную запись недавнего землетрясения в Иду, на которое я уже ссылался, полученную в эпицентральной области. Хотя явно отрывистое движение в самом начале землетрясения частично может быть вызвано внезапным освобождением регистрирующего механизма сейсмографа от начального трения или игрой (капризами) механизма, однако едва ли можно сомневаться в большей или меньшей отрывистости в начале сейсмического движения.

Импульсивное движение в начале сильного землетрясения эпицентральной области весьма ясно проявилось во время землетрясения в Таджики (Таджима) в 1925 г. Во время этого землетрясения в одной сельской начальной школе в районе

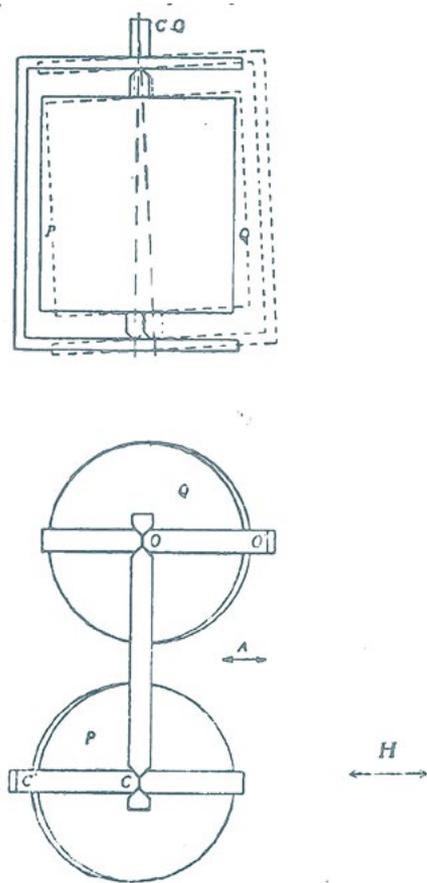


Рисунок 22 — Схема спаренных маятников Ивинга

эпицентра сбережения школьников в виде медных монет хранились в пустой жестяной коробке с крышкой. Школьный учитель заметил, что в тот момент, когда началось землетрясение, монеты отшвырнули крышку и выскочили из жестяной коробки, которая осталась на своем месте. Это явление указывает, что в начале движения вертикальное ускорение было больше чем  $g$ , т. е. больше ускорения силы тяжести. Тем не менее здание школы (двухэтажный деревянный дом) сравнительно хорошо выдержало землетрясение, хотя оно и потерпело некоторые более или менее сильные повреждения.

Движение импульсивного характера, вроде удара молота, может вызвать смещение или опрокидывание мелких твердых предметов, но очевидно оно не может быть причиной разрушения сооружений, обладающих большей или меньшей упругостью. В некоторых случаях интенсивность сильного землетрясения, определенная указанным способом, может быть как раз и представлена таким начальным ускорением, однако оно не представляет собой ту данность, в которой так срочно нуждаются инженеры-сейсмологи.

Поэтому данные об интенсивности землетрясения должны быть получены научным путем на основании заслуживающих доверия записей, сделанных соответствующими приборами. Некоторые записи были получены при помощи сейсмографа в 1923 г. при землетрясении в Куанто, которое было уже подробно мною описано; если эти записи заслуживают доверия, они дадут ценные сведения, оставляя в стороне основной вопрос о ценности сейсмограмм, о чем будет речь в дальнейшем.

## I. Сейсмографы для «сильных колебаний»

Прежде чем приступить к исследованию этих записей, рассмотрим кратко, какие требования необходимо предъявить сейсмографу для измерения сильных колебаний, с тем чтобы выяснить, с одной стороны, правильно ли были сконструированы и поэтому являются ли пригодными те приборы, которые регистрировали сильное землетрясение, а, с другой стороны, какова должна быть будущая конструкция такого инструмента.

### 1) Тип.

Сначала рассмотрим тип приборов. Среди горизонтальных сейсмографов введенный проф. Ивингом тип с горизонтальным маятником имеет наибольшее применение. В обычном употреблении едва ли можно сомневаться в преимуществах типа сейсмографа, введенного проф. Ивингом, но для измерения землетрясений необычной силы остается желать много лучшего.

Теперь выясним, годен ли прибор, сконструированный по такому принципу, для измерения сильных землетрясений или нет.

Как я уже писал в другом месте, горизонтальный маятник перестает быть верным регистратором, если он подвержен большому ускорению в горизонтальном направлении перпендикулярно движению, которое прибор должен регистрировать.

Изобразим свободное колебание горизонтального маятника Ивинга (Ewing) (рис. 21) следующей формулой:

$$I(\text{ай}) \frac{d^2\theta}{dt^2} + Mg\phi l(\text{эл}) \theta = 0, \quad (1)$$

где  $I(\text{ай})$  – момент инерции маятника (включая все его части) относительно оси вращения  $AC$ ;

$M$  – масса маятника;

$l$  – расстояние до центра тяжести от оси вращения;

$\phi$  – наклон оси вращения к вертикали;

$\theta$  – угол качания плоскости  $CD$ , проходящей через центр относительно положения равновесия  $CE$ .

Когда прибор подвержен гармоническому колебанию (при максимуме ускорения  $a$  и угловой частоте  $p$ ) в продольном направлении ( $H$ ) горизонтально, то, как установлено, движение маятника может быть выражено уравнением:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \{p_0 + p_1(l(\text{эл})^{2i\tau} + l(\text{эл})^{-2i\tau})\} \cdot \theta = 0, \quad (2)$$

где

$$\tau = \frac{p}{2} \cdot t; \quad p_0 = \frac{Mg\phi l(\text{эл})}{I(\text{ай}) \left(\frac{p}{2}\right)^2};$$

$$p_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{M\alpha(\text{альфа}) l(\text{эл})}{I(\text{ай}) \left(\frac{p}{2}\right)^2}; \quad i = \sqrt{-1}$$

Уравнение (2) является особой формой уравнения Хилля, названного по имени известного американского астронома G. W. Hill'a. Это сравнение весьма важно в астрономии, где важнейшие исследования сделаны с его помощью. Оно введено во многие учебники, трактующие о дифференциальных уравнениях высших степеней. Поэтому нет необходимости излагать его здесь. Следует однако отметить, что из дифе-

рещиального уравнения (2) можно сделать такой вывод, что когда продольное ускорение велико, горизонтальный маятник теряет устойчивость, и это становится особенно очевидным, когда частота продольного движения составляет половину собственной частоты прибора. Запись при таких обстоятельствах очевидно неверна.

Такое поведение горизонтального маятника Ивинга не требовало бы специального рассмотрения в случае обычного сейсмографа для измерения отдаленных землетрясений, но при конструировании сейсмографа для измерения сильных колебаний оно весьма важно.

Для устранения этой нежелательной особенности горизонтального маятника Ивинга проще всего увеличить период его собственного колебания, сохранив соответственно его устойчивость. Наиболее простой способ одновременно удовлетворить этим двум противоположным требованиям, это – увеличение размеров прибора. Другой, менее простой, но практический метод, предложен мною. Он состоит в том, чтобы устроить рядом спаренные горизонтальные маятники Ивинга одинаковой конструкции в противоположных направлениях и параллельно друг к другу, с тем чтобы рамы из брусков, поддерживающие маятники, были связаны парной связью над основными осями прибора (рис. 22). Когда такая система подвергается возрастающему колебанию в продольном направлении, ясно, что случайная неустойчивость одного из маятников компенсируется увеличенной устойчивостью другого и этим самым устраняется нежелательное движение прибора.

2) Длина рычага.

Для обычных сейсмографов длина плеча не существенна, но в случае сейсмографа для измерения сильных колебаний этим обстоятельством нельзя пренебрегать. Надо заметить, что когда сейсмограф с коротким плечом подвержен вибрации с большой амплитудой, его поведение не подчиняется уже более теории вынужденного гармонического колебания, так как тогда оно относится уже к категории вынужденного псевдогармонического колебания. Не прибегая к математике можно убедиться в том, что, если амплитуда землетрясения соизмерима с длиной плеча, нечувствительность маятника по отношению к внешнему движению едва ли могла бы иметь место.

По этой причине плечо должно быть достаточно длинным; но следует иметь в виду, что чем длиннее плечо, тем больше чувствительность прибора к раскачиванию почвы, так что слишком большая длина нежелательна; 1 метр или около того оказываются подходящей длиной рычага.

Кроме этих основных условий имеется несколько второстепенных, но не менее важных условий, которые следует соблюдать при конструировании сейсмографа для измерения сильных колебаний.

1. Прибор должен быть приспособлен для записи максимальной амплитуды вибрации грунта, равной по крайней мере 30 см.
2. Все части прибора должны быть достаточно прочными и твердыми.
3. Запись движения не должна быть увеличена, а наоборот, должна быть уменьшена примерно на половину.
4. Маятник должен быть достаточно тяжел, так чтобы препятствовать затормаживанию вследствие трения записывающего пера и других частей.

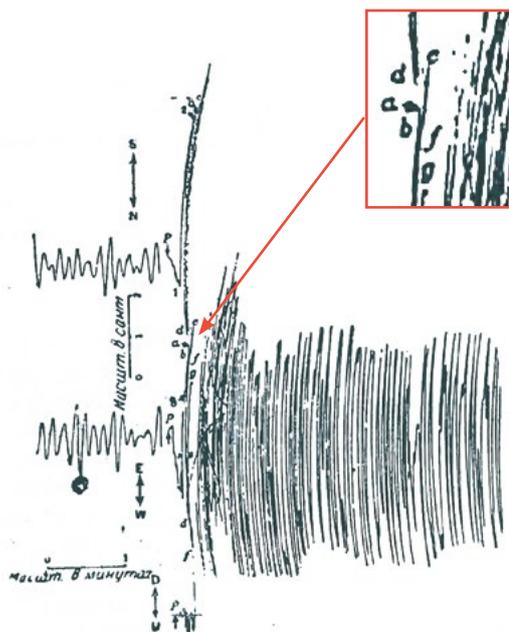


Рисунок 23 — Сейсмограмма землетрясения 1923 г., полученная горизонтальным маятником Ивинга

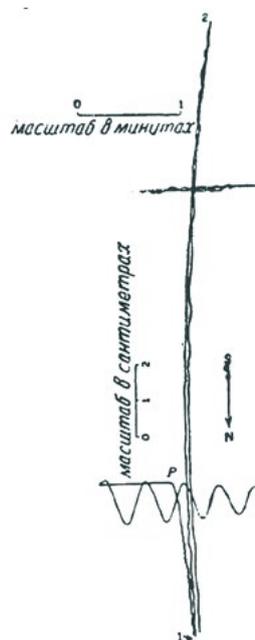
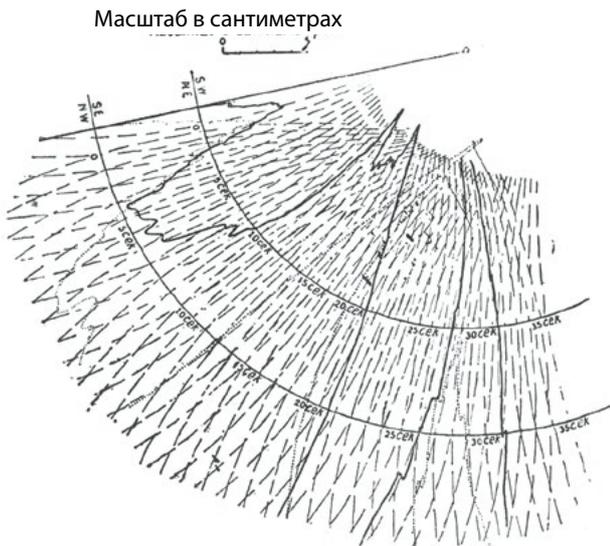


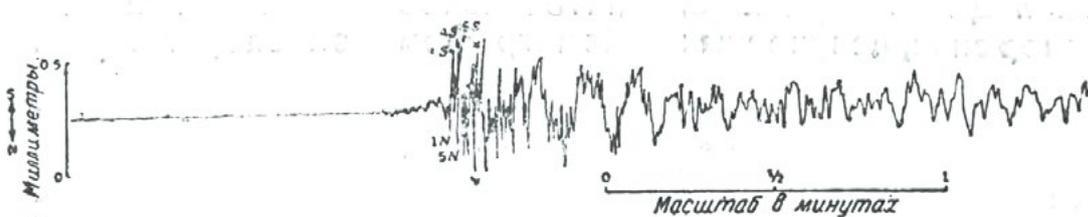
Рисунок 24 — Сейсмограмма землетрясения 1923 г., полученная старинным горизонтальным маятником Омори

5. Период собственных колебаний маятника должен быть достаточно длинным; однако, если это достижимо только за счет значительной потери устойчивости, то период собственных колебаний маятника до некоторой степени должен быть принесен в жертву устойчивости.
6. Особое внимание надо обратить на конструкцию оси подвешивания; она должна быть такой, чтобы соединение не нарушалось при мощном толчке. Рекомендуется применение шарикоподшипников, погруженных в смазочное масло.
7. Регистрирующий барабан должен быть достаточно широк по обоим концам, чтобы обеспечить полную запись землетрясения даже тогда, когда оно случится в начале или в конце записи.

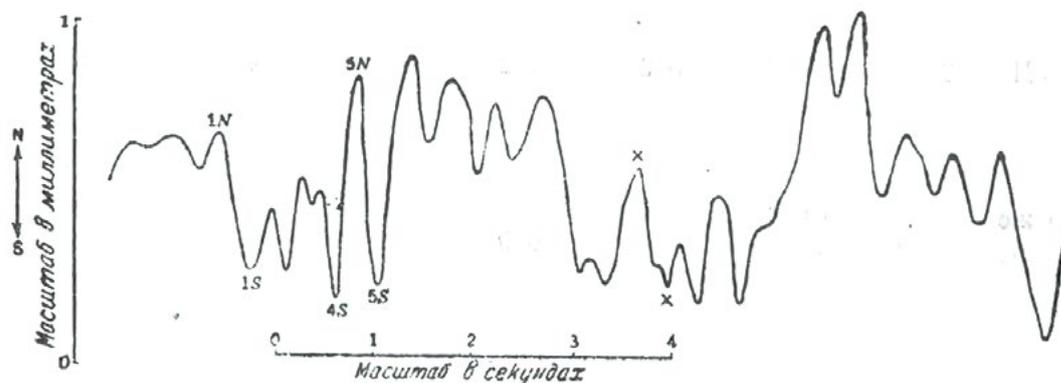


**Рисунок 25** — Сейсмограмма землетрясения 1923 г., полученная старинным сейсмографом Ивинга

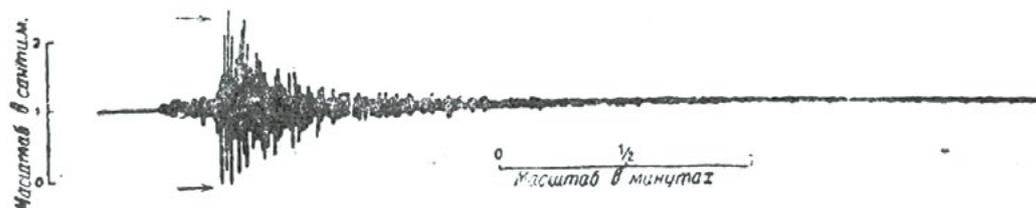
8. Чувствительный глушитель часто бывает причиной затруднений.
9. Применение часового механизма для вращения регистрирующего барабана не рекомендуется, однако если его употребление неизбежно (например, для сейсмографов, применяемых в сельских районах), скорость вращения должна регулироваться тормозом, действующим токами Фуко, или другим подходящим регулятором, но не воздушным тормозом.
10. Для получения диаграммы с расширенной шкалой времени (в отличие от сжатой шкалы) угловая скорость регистрирующего барабана должна быть максимальной (по крайней мере 12 см в минуту); хотя бы только для этой цели рекомендуется применение электрического мотора с равномерным движением для вращения барабана. Излишне говорить, что в этом случае электрический ток не следует брать из городской сети.
11. Пусковое устройство для регистрирующего барабана не удобно для вычисления периода колебания в силу возрастания скорости барабана при пуске. В случае же его применения регистрирующее перо или луч света (но не барабан)



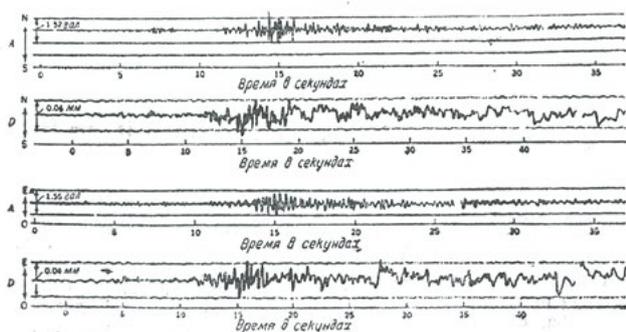
**Рисунок 26** — Сейсмограмма, записанная обычным сейсмографом



**Рисунок 27** — Сейсмограмма, записанная обычным сейсмографом с быстро вращающимся регистрирующим барабаном



**Рисунок 28** — Экселерограмма, записанная оптическим экселерографом Ишимото



**Рисунок 29** — Сравнение сейсмограммы и экселерограммы, полученной механическим экселерографом Ишимото

должны регулироваться пусковым механизмом. Я имел два неудачных опыта из-за пусковой системы. Однажды ночью легкий предварительный толчок, предшествовавший главному колебанию, спустил регистрирующую установку (описываемую ниже в лекции III), прежде чем она могла записать главный толчок. В другой раз ночью отдаленное землетрясение явилось причиной такого же преждевременного пуска, так что запись главного колебания не была получена.

12. Время должно отмечаться независимо от регистрирующего пера. Одновременное использование регистрирующего пера также для отсчета времени нежелательно.
13. Плита основания прибора должна быть прочно прикреплена к основанию болтами или другим способом.
14. Прибор должен быть хорошо защищен от повреждения его падающими обломками.

Выше мною просто перечислены необходимые предосторожности и предложения, насколько это позволило мое знание, полученное из опыта. Поэтому я опасаясь, что другие не менее важные мероприятия не упомянуты.

**II. Интенсивность разрушительного землетрясения 1923 г.**

После того как мы описали, какие необходимые требования предъявляются к сейсмографу для измерения сильных дви-

жений, возвратимся к вопросу об интенсивности землетрясения 1923 г.

Правда, некоторые записи этого землетрясения, как об этом упомянуто выше, были произведены, но все они были неудачны, будучи или неполными или ненадежными. В то время, к сожалению, мы кроме того не имели ни сейсмографов, удовлетворяющих уже перечисленным необходимым условиям, ни экселерографов. Тем не менее для сравнения я продемонстрирую несколько диаграмм, полученных сейсмографами. Одна из них дана (рис. 23) сравнительно непрерывной записью, которая оказалась тем не менее дефектной.

Рассматриваемая запись получена сейсмографом, особенности которого нижеследующие:

1. Тип – горизонтальный маятник Ивинга.
2. Длина плеча – 20 см.
3. Вес маятника – 2,1 кг.
4. Период собственных колебаний маятника – 10 сек.
5. Барабан приводится в движение часовым механизмом, регулируемым стерженьком.
6. Глушитель-флюгер, погруженный в масляную ванну.
7. Степень увеличения – в два раза.
8. Скорость барабана – 4 см в минуту.

Из сказанного мною ранее следует, что во многих отношениях этот прибор не был годен для регистрации сильных землетрясений и особенно такого землетрясения, какое было в 1923 г., когда главные колебания обладали громадными амплитудами и длинными периодами.

Тем не менее проф. Имамура, после тщательного исследования этих записей, пришел к заключению, что в начале основных колебаний (отмечено fg на рис. 23) полная амплитуда была около 9 см, а период – около 1,3 сек., откуда исчисленное ускорение оказывается равным примерно одной десятой (0.1) ускорения силы тяжести. К сожалению, однако острое пера североюжного (№ 5) компонента не только соскочило после нескольких раскачиваний основного сотрясения, но и запись другого компонента указывает, что

**Таблица 1** — Наблюдения Ф. Омори над полуразрушительными землетрясениями в Токио 8.12.21 г. и 14.01.23 г.

Наименование места	Вост. запад компонент				Северо-южный компонент			
	двойная амплитуда (в см)	период (в сек)	ускорение (в см/сек <sup>2</sup> )	отношение ускорения	двойная амплитуда (в см)	период (в сек.)	ускорение (в см/сек <sup>2</sup> )	отношение ускорения
Землетрясение 8 декабря 1921 г.								
Хонго (верхняя часть города)	5,0	3,6	8	1	3,0	1,7	20	1
Хитотсубаши (нижняя часть города)	6,6	3,2	13	1,6	3,5	1,6	27	1,4
Землетрясение 14 января 1923 г.								
Хонго	1,3	1,4	13	1	1,4	1,3	16	1
Хитотсубаши	1,8	1,3	21	1,6	1,4	0,9	34	2,4

сейсмическое движение превзошло максимальный предел амплитуды доступной для записи. Ценность записи все же несомненна, хотя она и не в состоянии дать нам сведений, столь необходимых для инженерного дела, не говоря уже об основном вопросе – о самих сейсмограммах, как таковых.

Эта запись неоценима для геофизиков, так как предварительная часть полностью записана. Действительно, на основе этой записи в течение получаса после возникновения землетрясения проф. Имамура уверенно определил расположение его источника и объяснил природу землетрясения для всеобщего сведения.

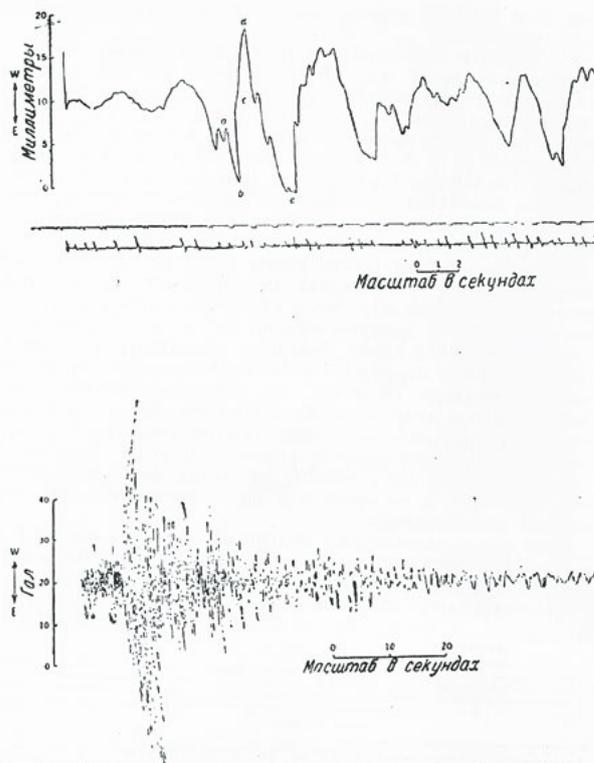
Обратимся теперь к другой записи, полученной сейсмографом, более подходящим для регистрации сильного землетрясения (рис. 24).

Прибор имел следующие показатели:

1. Тип – горизонтальный маятник Омори.
2. Длина рычага – 1 м.
3. Вес маятника – 15 кг.
4. Период собственных колебаний маятника – 40 сек.
5. Барабан приводится в движение часовым механизмом, регулируемым воздушным тормозом.
- 5а. Глушитель отсутствовал.
6. Увеличение – в 1,5 раза.
7. Скорость барабана – 4 см в минуту.

Этот прибор по всей видимости более подходил для регистрации сильного толчка, чем описанный выше. В самом деле, удачные записи многих других сильных землетрясений в прошлом доказали его пригодность; к сожалению, однако перо соскочило с барабана в начале основного движения. Следует однако особо отметить, что согласно записи уже при первом колебании землетрясения амплитуда одного компонента движения составляла около 17 см (возможно раскачивание почвы могло в некоторой мере повлиять на запись; однако, так как период прибора был весьма большой, влияние раскачивания на запись сравнительно быстрых вибраций земли было вероятно незначительно). Ускорение этого движения, согласно вычислению, не было большим, составляя около 15 гал. ( $15 \text{ см/сек}^2$ ), период определяется в 4,9 сек., в предположении, что движение было простым гармоническим (это допущение является еще вопросом, хотя оно общепринято). Поскольку еще мне не изменяет память, последующие волны имели вероятно еще большие амплитуды. На первый взгляд можно усомниться в вероятности появления такого сильного движения, однако другая запись (рис. 25), полученная старинным и менее надежным сейсмографом Ивинга с дисковым регистратором, в действительности подтвердила эту большую амплитуду. Кроме того тот факт, что полная амплитуда (как это зарегистрировано в Токио) землетрясения в Иду в 1930 г. составляла 15 см, подтверждает вывод, что появление такой большой амплитуды, как вышеупомянутая, не невозможно.

Что касается записи сейсмографом Ивинга, она практически непрерывна от начала и до конца, исключая промежутки, когда перо соскакивало с регистрирующего диска и этим прерывалась запись. Хотя прибор с самого начала предназначался для применения в качестве сейсмографа для измерений сильных сейсмических движений, он имел несколько недостатков. Наиболее серьезным недостатком являлось отсутствие устройства для записи времени, поми-

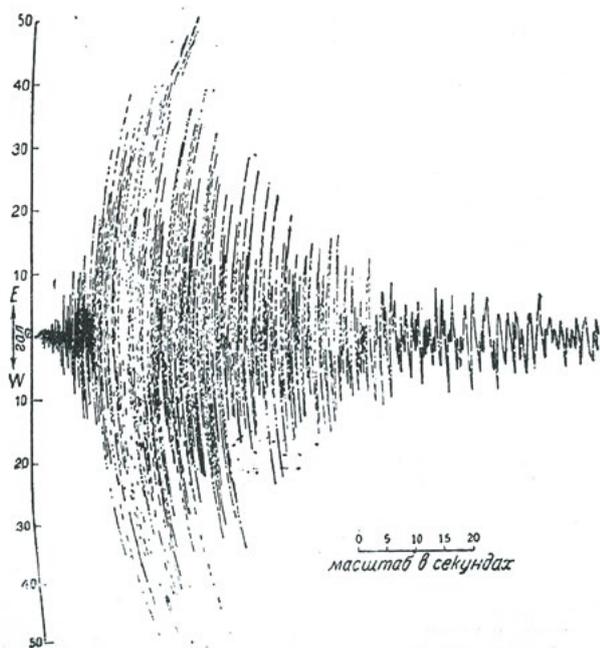


**Рисунок 30** — Сейсмограмма и экселерограмма землетрясения 17 июня 1931 г.

мо общей дефектности механизма, приводящего в движение регистрирующий диск. Кроме того периоды собственных колебаний маятников были сравнительно коротки – только около 7 сек. Поэтому ускорение, исчисленное при его помощи, ненадежно. Пренебрегая этими дефектами, при грубом вычислении обычным путем, пользуясь амплитудой и периодом главного движения и принимая, что движение было простым гармоническим, в результате ускорение движения, отмеченное на записи (А), можно считать равным примерно 120 гал., или 0,12 г.

Между тем, как это мы увидим ниже, максимальное ускорение сейсмического движения и период, вызывающий это максимальное ускорение, как правило, (особенно при сильном землетрясении), не возникает при главном движении. Наоборот, они возникают при второстепенных движениях, которые накладываются на главное, или при той части цикла главного движения, которая в действительности не гармонична. Точное определение такого ускорения и его периода по обычной сейсмограмме весьма затруднительно, если не невозможно. Этот факт сам по себе достаточно убеждает в том, что в инженерной сейсмометрии необходимо применять правильно сконструированные экселерографы; излишне говорить, что неправильно сконструированный экселерограф также бесполезен, как и обычный сейсмограф. Так как это является одним из самых важных вопросов, я в дальнейшем остановлюсь на нем подробнее. По этой причине, а также потому, что прибор был дефектен, вычисленная интенсивность не может быть принята за основу при проектировании сооружений.

Теперь посмотрим, что подсказывает в этом отношении наш предшествующий опыт. Наиболее важным предшествующим опытом является полуразрушительное земле-



**Рисунок 31** — Экселерограмма полуразрушительного землетрясения 21 сентября 1931 г. в районе горы Чичибу, в 60 км к сев.-зап. от Токио

трясение, происшедшее в Токио 20 июня 1894 г. Отличная запись этого землетрясения получена в Хонго (Hongo), расположенном в высокой части Токио; его основные движения были весьма просты по характеру. По этой записи покойный проф. Омори вычислил максимальное ускорение в верхней части города, равное приблизительно 0,05 g. Им также вычислено максимальное ускорение около 0,1 g в нижней части города, расположенной на рыхлом аллювии. Последнее значение возможно менее правильно, чем первое, так как оно получено просто на основании явления опрокидывания столбов и надгробных камней.

Установлено, что интенсивность землетрясений в нижней части города в 1,5-2 раза превышает интенсивность в верхней части. Этот факт не является опровержением вычисления проф. Омори. Далее, разрушения зданий, причиненные большим землетрясением 1923 г. в верхней части города, были несколько значительней, нежели разрушения в нижней части во время полуразрушительного землетрясения 1894 г. По этому факту можно также прийти к выводу, что

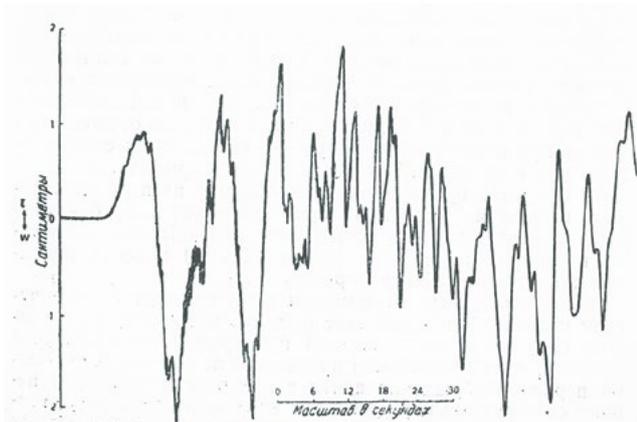
максимальное ускорение большого землетрясения в верхней части города составляло около 0,15 g. В соответствии с моим опытом в Хонго в момент наивысшей интенсивности толчка я ощущал интенсивность точно такую, какую ощущаешь в автомобиле, движущемся с умеренной скоростью по плохо мощеной дороге или в трамвае, умеренное ускорение которых, согласно измерению, произведенному проф. Ишимото и Назу при помощи экселерографа, составляет от 0,15 до 0,20 g. Итак, к сожалению, ни один регистрирующий прибор не дал надежной записи большого землетрясения 1923 г., так что истинная величина его максимального ускорения остается неизвестной, но по видимому вычисленная величина дает представление о порядке величины ускорения и нам ничего не остается, как принять его равным 0,15 g или немного более и принять к руководству при проектировании сейсмостойких зданий, памятуя в то же время, что та часть Токио, где наблюдалось сейсмическое движение, не являлась частью, подвергнувшейся наибольшему разрушению. Имеется много доказательств, свидетельствующих, что движение имело еще большее ускорение в эпицентральной области.

Особенно прискорбно, что абсолютно никаких сведений не получено об интенсивности большого землетрясения в районе нижней части города, где расположены сравнительно высокие современные каменные здания. Хотя все усилия Назу, сотрудника нашего института (тогда ассистента проф. Имамура), были направлены к тому, чтобы сравнить интенсивность одного и того же землетрясения в районах Токио, в нижней части города (по преимуществу аллювий) с интенсивностью в верхней части (по преимуществу диллювий) посредством одновременного измерения последующих толчков большого землетрясения в различных пунктах столицы, наблюдения обнаружили, что ни периоды, ни амплитуды в этих двух различных районах не находились в каком-либо определенном отношении; вообще говоря, вычисленные ускорения приблизительно на 50-100% оказались сильнее в районах нижней части города, чем в районах верхней части. Наблюдения покойного проф. Омори над полуразрушительными землетрясениями в Токио 8 декабря 1921 г. и 14 января 1923 г. дали подобные же результаты. Данные этих наблюдений даются в таблице 1.

Что касается этих данных, надо сказать, что по причинам, указанным ниже, интенсивность ускорения, вычисленная по

**Таблица 2** — Сравнение интенсивностей максимального ускорения, полученных сейсмографом и экселерографом

Землетрясение в Токио	Максимальные колебания, полученные сейсмографами					
	Полная амплитуда (в см)	Период (в сек)	Вычисл. ускорение (в гал.)	Скорость барабана	Полная амплитуда (в см)	Ускорение (в гал.)
20/VIII – 30 г.	0,042 (4S-5N)	0,30	9,2	медленное	4,14	5,6
Это же землетрясение	0,064 (4S-5N)	0,46	5,9	быстрое		



**Рисунок 32** — Сейсмограмма землетрясения 21 сентября 1931 г., полученная прибором Омори для записи сильных движений

сейсмограмме, редко правильна, так что отношения только что упомянутых интенсивностей ускорений являются просто качественными. Согласно самому последнему исследованию этой проблемы проф. Ишимото при помощи экселерографов отношение интенсивностей ускорений в низких местах к интенсивности на возвышенных местах зависит от характера землетрясения; например, при землетрясениях с медленным колебанием это отношение колеблется от 1,5 до 3, в то время как при быстром колебании это же отношение равно единице (1) или немногим более единицы. Итак, можно считать установленным, что интенсивность обычных землетрясений сильнее в низкой части города, чем в возвышенной. Однако я не могу дать правильного отношения интенсивностей большого землетрясения 1923 г. Это отношение должно бы сильно отличаться от отношения при обычных землетрясениях.

Распределение разрушенных деревянных домов во время большого землетрясения указывает, что отношение его интенсивностей в этих двух частях города также следовало этому же правилу. Интенсивность в низких частях оказалась намного сильнее, нежели в районах верхней части города, расположенной на диллювии.

Таким образом имеются все основания утверждать, что ускорение большого землетрясения в рыхлом аллювии в Токио достигло чудовищной интенсивности, примерно 0,2 g или более (осторожно приняв, скажем, 1,5 за отношение интенсивностей, только что упомянутое). Поэтому, памятуя, что столица расположена на некотором расстоянии от эпицентрального района, мы почти безошибочно можем принять, что ускорение в наихудшей местности вдоль побережья бухты Сагами, которая считалась центральным районом землетрясения, составляло более 0,3 g.

### III. Сейсмический коэффициент и недостаток сейсмических данных

Построить сооружение, могущее выдержать огромное ускорение в 0,3 g или более, при достаточном запасе прочности очевидно является делом величайшей трудности, если оно вообще выполнимо. Факты говорят, что здание, даже в наиболее сейсмическом районе, подвергается разрушительным землетрясениям по видимому только раз или самое большее два раза за свое существование. Поэтому слишком

большая прочность является только расточительностью. Принимая во внимание, что Токио не наихудшая местность, мне кажется, что правильно сконструированное здание, могущее выдержать горизонтальное ускорение в 0,15 g, при разумном коэффициенте запаса прочности благополучно может противостоять разрушительным землетрясениям с интенсивностью, равной землетрясению 1923 г., которое было наиболее сильным в истории землетрясений.

Наш собственный строительный код предусматривает горизонтальное ускорение 0,1 g, однако некоторые инженеры этим сейсмическим коэффициентом не удовлетворены и добровольно его увеличивают.

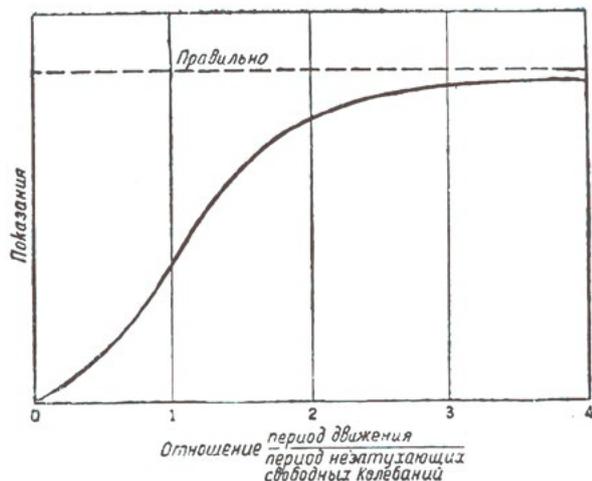
Однако, вследствие недостатка надежных сведений об интенсивности разрушительных землетрясений, я не могу это положительно утверждать. Пока мы не получим научно обоснованных данных об интенсивности и периоде разрушительных землетрясений, мы сможем конструировать сейсмостойкое здание только по допущениям, основанным на этих довольно неосновательных предположениях.

Для практической цели более ценным, чем какой-либо другой аргумент, является тот факт, что здания, спроектированные на основе 0,1 g (или около того), прекрасно выдержали такое землетрясение. В инженерном проектировании нет ничего важнее практических данных. В кораблестроении мы конструируем морской корабль в предположении, что максимальный изгибающий момент, которому корабль подвергается, возникает, когда корабль находится на «стандартной волне» (трохоидальная волна, имеющая длину корабля и высоту равную (1/20) одной двадцатой его длины), мало что зная о тех действительных волнах, с которыми ему придется столкнуться. Продолжительный опыт говорит в пользу такого предположения при условии, что мы правильно назначили «рабочее напряжение».

Если такой практический метод конструирования корабля оказывается успешным, почему бы нам не применить этот же метод в конструировании сейсмостойких сооружений? Конечно количество данных в кораблестроении несравнимо больше. Весьма вероятно, что и в данную минуту где-нибудь на океане прочность кораблей подвергается испытанию в борьбе с тяжелым штормом.

К счастью для человечества и к сожалению для сейсмологов землетрясения не случаются так часто, как спуск на воду кораблей, и поэтому наши данные в этой области весьма скудны. Наиболее современные металлокаркасные и железобетонные здания пока еще только два раза были подвержены сильным землетрясениям в истории сейсмологии – в Сан-Франциско, Калифорния, и в Токио; однако, к величайшему сожалению для науки, в обоих случаях до нас дошли лишь весьма незначительные данные об интенсивности этих землетрясений. Поэтому мы не можем воспользоваться практическими данными, полученными благодаря этим землетрясениям.

Во всяком случае мы крайне нуждаемся в большом количестве данных. Инженеры-сейсмологи должны построить сейсмографы и экселерографы для измерений сильных движений и после размещения их в сейсмических областях терпеливо ожидать будущего поступления ценных данных. Если однако условия не позволяют установить оба прибора в одном и том же месте, то надо отдать предпочтение экселе-



**Рисунок 33** — Зависимость между отношением периодов движения к периоду собственных колебаний экселерографа и показанием прибора

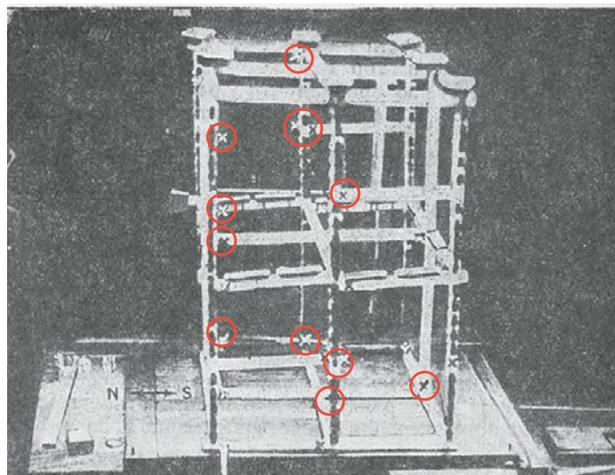
рографам. Кроме того эти приборы должны устанавливаться на участках, на которых расположены важнейшие здания, а не на специально избранных устойчивых грунтах, как это обычно делают.

В Японии со времени землетрясения 1923 г. в кругах сейсмологов остро ощущалась потребность в регистраторах сильных землетрясений. В настоящее время не только наш Институт, но также некоторые главные обсерватории снабжены сейсмографами, предназначенными для регистрации сильных землетрясений; однако, к сожалению, ни один из приборов, предназначенных для этой цели, не оборудован во всех отношениях. Например, во время недавнего землетрясения в Иду установленный в области эпицентра для измерения сильного движения сейсмограф оказался неподходящим не только вследствие чрезмерного увеличения (в 2 раза), но и потому, что предусмотренная для него максимальная амплитуда была слишком мала.

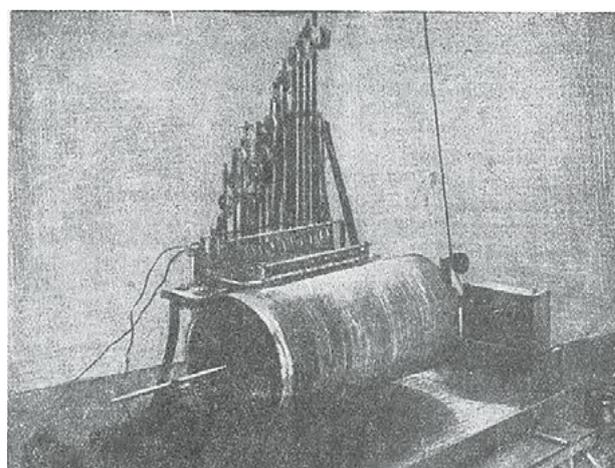
Эта неудача заставила нас взяться за это дело более серьезно, и д-р Окада (Dr. Okada), директор Центральной метеорологической обсерватории, пытается установить среди его основных наблюдательных станций более совершенные сейсмографы для измерения сильных движений. Что касается меня, то наш Институт изготовляет не только сейсмографы для измерений сильных движений, но также и экселерографы, отвечающие только что перечисленным требованиям. Так как при современном состоянии развития сейсмологии мы не можем предсказать, где произойдет ближайшее сильное землетрясение, то мы бессильны выбрать подходящее место для их установки. Если случится, что сильное землетрясение произойдет в том районе, где установлены эти сейсмографы и экселерографы, я вполне уверен, что неудача не повторится.

### III. Экселерографы

До сих пор мною рассматривался главным образом регистратор сейсмического движения, но, как я уже на основании имеющегося опыта отмечал, экселерограф, непосредственно регистрирующий ускорение землетрясения, имеет для нас большее значение; так как сейсмические волны, особенно вблизи источника землетрясения, далеко не про-



**Рисунок 34** — Механическая модель каркасно-деревянного здания (X указывает место разрушения)



**Рисунок 35** — Анализатор сейсмического колебания, сконструированный доктором Сюэхио

стого гармонического типа, то ускорение, исчисленное по обычной формуле, а именно:

$$\text{амплитуда} \left( \frac{2\tau}{\text{период}} \right)^2,$$

почти не имеет физического смысла. Больше того, в ряде случаев форма волны настолько прерывна, что даже определение самих амплитуд и периодов становится невозможным.

Надо также помнить, что максимальное ускорение часто возникает при второстепенных движениях, при сравнительно малой амплитуде, короткими периодами, которые легко затемняются главным движением. Подобными случаями особенно подчеркивается потребность в экселерографе.

Нет надобности описывать здесь принцип экселерографа, так как он описан в ряде современных учебников по сейсмологии; однако не лишено интереса для вас посмотреть некоторые результаты сравнения интенсивности максимального ускорения землетрясений, полученной непосредственно экселерографом и вычисленной по записям сейсмографа (см. табл. 2).

Применен был экселерограф, сконструированный проф. Ишимото; особенности его нижеследующие:

1. Тип – обращенный маятник и оптическая запись.
2. Вес маятника – 3,2 кг.
3. Период собственных колебаний без затухания – 0,08 сек.
4. Уменьшение значения ( $\text{см}/\text{сек}^2$ ) затухающего качания – около 30.
5. Оптическое увеличение колебания центра маятника в 1700 раз.

1 см амплитуды на записи соответствует  $2,7 \text{ см}/\text{сек}^2$ . Впоследствии этот прибор был приспособлен для инженерных исследований. Для этой цели увеличение было понижено до пределов, требующихся для механической записи, а период собственных колебаний маятника соответственно увеличен. Его особенности нижеследующие:

1. Период собственных качаний без затухания – 0,15 сек.
2. Затухание близко к критическому.
3. Постоянная показаний – 1 см, приблизительно  $10 \text{ см}/\text{сек}^2$ .

Теперь конструируется прибор для регистрации сильных землетрясений с постоянной показаний в  $1 \text{ см} = 50 \text{ см}/\text{сек}^2$ .

Для сравнения на рис. 26, 27, 28 показаны записи упомянутого в таблице 2 землетрясения, полученные оптическим экселерографом Ишимото, обычным сейсмографом и сейсмографом этого же типа, но с быстро вращающимся барабаном. На рис. 26 и 27 знаком 4 S – 5N отмечены колебания, по которым вычислены значения ускорения в таблице 2. Из таблицы 2 видно, что значение, вычисленное по диаграмме со сжатой шкалой времени, т. е. при медленном вращении барабана (верхний ряд), совершенно ошибочно, в то время как вычисленное по диаграмме с расширенной шкалой времени при быстром вращении барабана (средний ряд) менее ошибочно. Это обстоятельство также указывает на то, что быстро вращающийся барабан в сейсмографе весьма желателен, если он используется для получения данных, нужных для инженеров.

Но и такой сейсмограф не может в некоторых случаях осуществить нашей цели. В предыдущем изложении мною иллюстрировались записи одного землетрясения, сейсмические волны которого состояли из сравнительно регулярных рядов почти гармонических движений, и поэтому без особой погрешности мог быть применен обычный метод вычисления ускорения. Надо помнить, что даже в таком исключительно благоприятном случае, обычная сжатая диаграмма (при скорости записи менее  $6 \text{ см}/\text{сек}$ ) может привести к ошибочному результату. В качестве другого примера для сравнения я приведу сейсмограмму землетрясения и его же акселерограмму, записанную механическим экселерографом Ишимото (рис. 29). Это землетрясение показало те характерные черты, которые обычно наблюдаются, а именно: главное движение имеет большую амплитуду, но сравнительно длинный период и на них накладываются второстепенные движения. Очевидно, что точное вычисление ускорения, равно и «периодов ускорения» (промежутков между двумя последовательными максимумами ускорения), почти невозможно. Таким образом сейсмограф почти бесполезен для определения двух важных моментов, столь необходимых инженеру, в то время как их можно определить при помощи экселерографа.

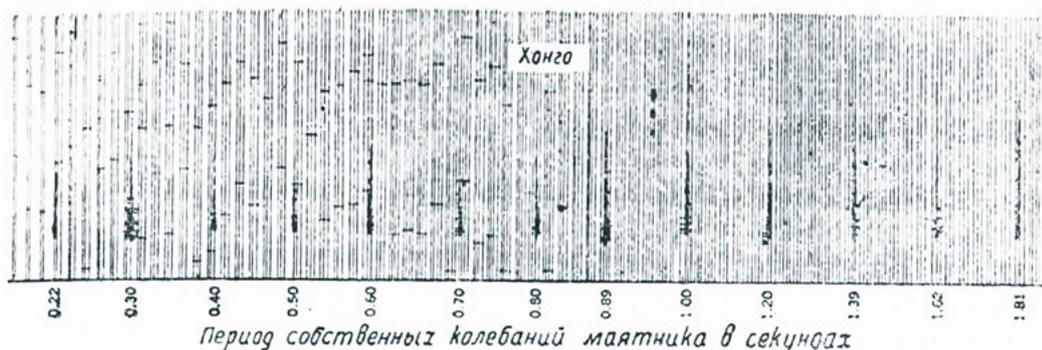
Хотя эти экселерографы только недавно установлены в нашем Институте, так как последующие толчки большого

землетрясения 1923 г. в последнее время часто происходили в прилегающем к области разрушения районах, нам все же удалось получить при их помощи ценные сведения о двух весьма сильных землетрясениях. Одно сильное землетрясение произошло 17 июня 1931 г., с эпицентром около 40 км к северу от Токио. Диаграмма его ускорения, записанная механическим экселерографом Ишимото воспроизведена на рис. 30. На рис. 30 также показана запись сейсмографа, оборудованного автоматическим пуском и дающего расширенную диаграмму. Из рисунка видно, что резкое движение, вызывавшее максимальное ускорение, не является явно основным движением, подобно bcde, но более вероятно, что оно вызвано второстепенным движением, ab, или той частью основного движения, bc, на которую, весьма вероятно, наложилось второстепенное движение. Тем не менее даже по этой расширенной диаграмме (рис. 30) весьма трудно вычислить и интенсивность и период ускорения. Еще более трудно сделать вычисление по обычной сжатой сейсмограмме. Так, один опытный сейсмолог вычислил по записи сейсмографа, применяемого геофизиками, максимальное ускорение этого землетрясения равным 25 гал. и его период – 2,1 сек. Между тем в действительности максимальное ускорение его северо-южного компонента движения составляло 43 гал., а его период – 0,4 сек., как это зарегистрировано экселерографом, тщательно выверенным как статически, так и динамически.

Другое землетрясение, экселерограмма которого была удачно записана в нашем Институте, произошло 21 сентября 1931 г. в районе горы Чичибу на Сев. Мусаши, около 60 км к северо-западу от Токио. Это землетрясение было полуразрушительным и в районе аллювия причинило гибель 16 чел. и разрушило 76 домов; однако в районе, более близком к эпицентральной области, имеющем грунт твердого палеозоического образования, никаких несчастных случаев не было отмечено. Это землетрясение вызвало весьма сильное колебание в Токио, хотя никаких серьезных повреждений в Токио не произошло, если не считать нескольких трещин мостовой в низменных местах.

Экселерограмма этого землетрясения воспроизведена на рис. 31 для сравнения с сейсмограммой (рис. 32), полученной регистратором сильных движений Омори. Надо отметить, что это землетрясение произошло в жаркий день, в виду чего масляный глушитель экселерографа оказался несколько непригодным, но не в такой степени, чтобы сделать запись ненадежной. Рисунок показывает, что восточно-западный компонент ускорения составляет около 70 гал., а его период около 0,4 сек. Сейсмограмма однако не дает полезных сведений, если не считать величины смещения грунта во время главного движения, примерно в 3,5 см. Интересно отметить, что в Токио не было никаких разрушений, несмотря на то, что ускорение достигло такой интенсивности, при которой восточно-западный компонент составил 70 гал., а другой компонент – 60 гал. (экселерограмма северо-южного компонента не показана).

Хотя относительная фаза компонентов ускорения не могла быть обнаружена, так как барабан экселерографа вращался медленно и таким образом интенсивность максимально-равнодействующего ускорения осталась неизвестной, все же несомненно, что эта интенсивность ускорения была в пределах от 70 до 92 гал. ( $\sqrt{70^2 + 60^2}$ ).



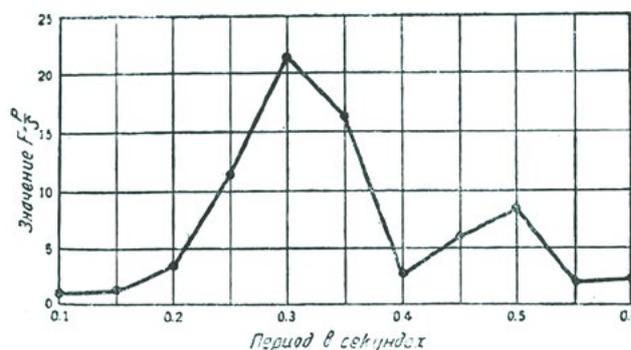
**Рисунок 36** — Типовая запись анализатора колебаний Сюэхири в Хонго, в верхней части Токио

Эта интенсивность соответствует силе – IX баллов по сейсмической шкале Канкани (Cancani). Поэтому, если бы сейсмологи оказались правы, это землетрясение должно было бы вызвать катастрофу, но на самом деле катастрофы не было. Указанный факт достоин специального внимания инженеров-сейсмологов.

Таким образом моя точка зрения, что ускорение большого землетрясения 1923 г. в верхней части города Токио составляло более 0,15 g, в противоположность общему утверждению, что оно составляло 0,1 g, по видимому подтверждается данными наблюдения описанного выше землетрясения. Ко времени этого землетрясения в низменной части был установлен другой подобный экселерограф, но к несчастью он не мог дать записи вследствие поломки регистрирующего пера от толчка, подтверждая этим самым тот факт, что интенсивность в нижней части города была значительно сильнее, чем в верхней части.

Надо отметить, что не только воспроизведенные записи (рис. 29, 30, 31) этих трех землетрясений, но и все записи ускорения, полученные до сих пор, указывают на то явление, что период ускорения не совпадает с периодом движения, как это очевидно из сейсмограммы. Это вполне естественно, если принять во внимание только что сказанное о главных и второстепенных сейсмических движениях. При определении интенсивности землетрясения обычно дается амплитуда и период самого выдающегося движения; но, как правило, такое движение не вызывает максимального ускорения и оно редко проявляется в экселерограмме, как преобладающий компонент ускорения.

Кроме того в соответствии с нашим опытом в верхней части Токио (Хонго), где расположен наш Институт, весьма вероятно, что при всех землетрясениях период ускорения основного движения оставался в пределах примерно от 0,3 до 0,4 сек., не взирая на то, что период главных волн основного движения изменяется в широких пределах. Это ясно видно из рис. 29, 30 и 31. В виду этого следует отметить, что Хонго обычно подвержено микродрожаниям в обыкновенное время, и во время землетрясений обычными движениями с периодом в 0,3 сек или около этого; этот-то период преимущественно и проявляется в ускорениях. Поэтому, хотя я и не могу этого утверждать положительно, сейсмические движения с преобладающим ускорением вызываются по всей вероятности обычными движениями, присущими этому району.



**Рисунок 37** — Распределение различных периодов колебаний (F = распространенность колебаний, P = период, S = стандартный период в 0,3 сек)

Чтобы проверить, следуют ли тому же правилу другие районы, недавно был установлен экселерограф Ишимото в Марюнучи (Marunouchi), деловом центре Токио, расположенном в низменной части, где мною изучались колебания в грунте как в обычное время, так и во время землетрясений. Так как мы еще не получили достаточного количества экселерограмм в этом районе, еще слишком рано делать какие-либо положительные выводы; однако почти с уверенностью можно сказать, что эти выводы не будут противоречить результатам исследований в возвышенной части города. Весьма важно отметить, что в низменной части период ускорения землетрясения примерно «умеренной» интенсивности нередко близок к 0,7 сек, в то время как при незначительных землетрясениях, принадлежащих к классу «слабых», период ускорения обычно 0,2 сек или 0,4 сек, соответственно их интенсивности. Эти три различных периода соответствуют периодам обычного движения грунта.

Таким образом на основе новейшего опыта мы должны радикально изменить наши взгляды на сейсмические движения. Амплитуда и период главных основных движений, полученные по сейсмограмме, вообще не имеют большого значения для инженера. Необходимыми для него данными являются ускорение и его период, непосредственно записанные экселерографом, приспособленным для инженерных целей.

Здесь я подчеркиваю: «экселерограф, приспособленный для инженерных целей», потому что наша цель осуществима только при помощи экселерографов, обладающих соответствующими свойствами. Так как ускорение гармонических

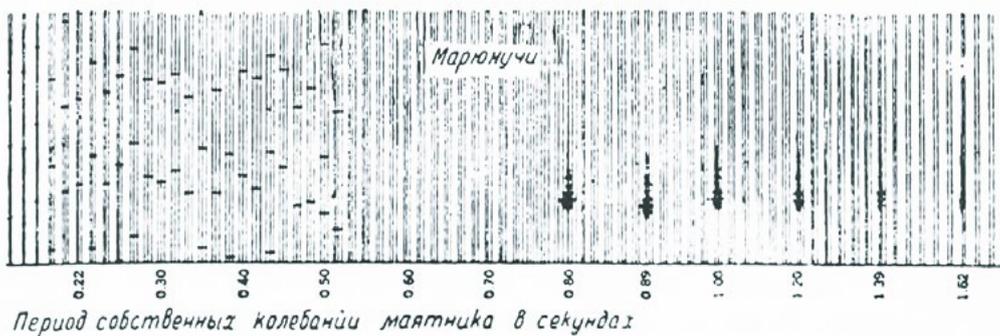


Рисунок 38 — Типовая запись анализатора вибраций Сюэхиро в Марюнучи в низкой части Токио

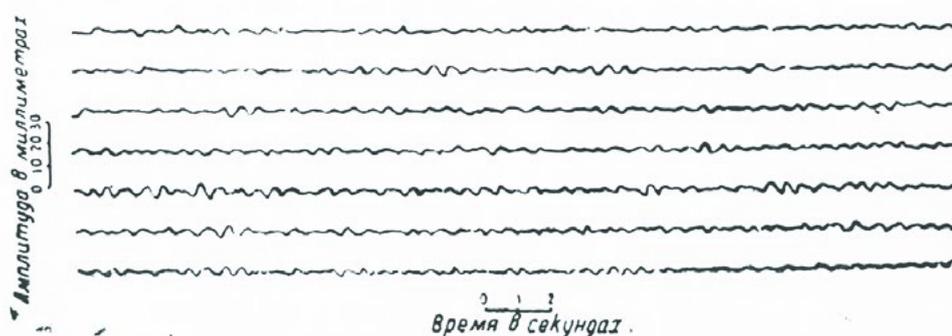


Рисунок 39 — Запись микровибрации в низкой части Токио микровибрографом Ишимото

движений обратно пропорционально квадрату их периодов, может случиться, особенно при землетрясении близкого и не глубокого источника, что движения, обладающие весьма короткими периодами (менее 0,1 сек) вызовут максимальное сейсмическое ускорение.

Далее, элементарный принцип вынужденных гармонических колебаний подсказывает нам, что экселерограф, имеющий глушитель, составляющий примерно 0,7 критического значения, даст практически правильное показание, если только период возбуждения почти в два раза превосходит период собственных незатухающих колебаний прибора; а также, что он дает уменьшенное показание более быстрых движений. В основных чертах это показано на рис. 33. Поэтому, если использован экселерограф, имеющий весьма короткий период собственных колебаний, какой иногда применяется для геофизических исследований, тогда полученная запись может быть только рядом исключительно резких волн, делая обнаружение более важных компонентов практически невозможным.

Колебания, обладающие крайне короткими периодами, не представляют интереса для инженеров-строителей, в то время как движения, обладающие несколько более длинными периодами, большими чем 0,3 сек или около этого, являются весьма важными. Поэтому для инженерных целей должны применяться экселерографы, обладающие соответствующим периодом 0,15 сек или около этого; если применяются экселерографы с другим периодом, то запись движений, в которой мы заинтересованы, будет замаскирована менее важными быстрыми движениями и она окажется

такой же плохой, как и сжатая запись сейсмографа, в которой, наоборот, важные волны затемняются **медленными** главными движениями.

Возвратимся к обсуждаемому вопросу. Общий вопрос о таком обычном движении находится «все еще в подсознании». Для нас весьма серьезен тот факт, что период ускорения землетрясений в возвышенной части Токио находится по большей части в пределах от 0,3 до 0,4 сек. Особенно важно это потому, что каменные здания в возвышенной части, будучи обыкновенно трех или четырехэтажными, имеют обычно, как это будет показано ниже, период собственных колебаний того же порядка и значения, что и у землетрясений. Нас также смущает то обстоятельство, что низменная часть в Токио, где расположены сравнительно высокие восьми и более этажные здания, часто имеет период ускорения около 0,7 сек, так что период свободного колебания таких зданий, если только они не построены особенно прочно, почти совпадает с периодом ускорения грунта.

Я недостаточно осведомлен о характере сейсмических движений в Соединенных Штатах. Вероятно он не очень отличается от характера сейсмических движений в Японии. Если это так, то небоскребы, имеющие обыкновенно большой период собственных колебаний, более 2 сек, в этом отношении имеют значительные преимущества. Я не вижу причины, почему они иногда умышленно строились более упругими, невзирая на то, что они сами по существу своему упруги.

Тем не менее я хочу подчеркнуть, что применение экселерографа крайне необходимо для получения инженерных данных о землетрясении; для нашей цели он намного

превосходит сейсмограф. Несомненно, что последующее изучение сейсмологии при помощи экселерографа может дать нам открытия, которые заставят нас изменить некоторые из общепринятых взглядов. Чтобы экспромтом на примере показать ошибочность одного взгляда, я возьму хорошо известную сейсмическую шкалу Канкани, дающую сейсмические ускорения и соответствующее им повреждение зданий. Доверие некоторых сейсмологов к этой шкале интенсивности настолько велико, что они до смешного искажают вычисления ускорения с целью привести их в соответствие со шкалой. Интенсивности ускорения, даваемые средней частью шкалы, исчислялись вероятно по главному движению, зарегистрированному в сейсмограмме, и поэтому являются весьма мало ценными. Шкала должна быть пересмотрена. В отношении рассматриваемой проблемы я высоко оцениваю работу проф. Ишимото по конструированию простого экселерографа и по разработке им ценных данных по инженерной сейсмологии.

Изобретенный Вудом (Wood) и Андерсоном (Anderson) в Соединенных Штатах Америки сейсмограф оказывается одним из лучших приборов для применения в качестве экселерографа, и я очень рекомендую его распространение для установки во всех сейсмических районах как непосредственно на грунте, так и в основных зданиях.

#### V. Период собственного колебания грунта

Едва ли есть необходимость утверждать, что период сейсмического движения или, более точно, период ускорений играет важную роль в разрушительном действии землетрясения на здания и другие сооружения. Поэтому важно исследовать период обычного движения, свойственного грунту как в обычное время, так и во время землетрясений, если только подобное движение действительно существует. На первый взгляд покажется весьма странным говорить о периоде колебания грунта, когда грунт практически имеет неограниченное протяжение во всех направлениях, но если мы вспомним, что грунт такого района, как Токио, осадочного образования и состоит из многих напластований, то нетрудно будет понять существование периода движения, свойственного этому району. В своем математическом труде, озаглавленном «Возможность свободного колебания поверхностного слоя, возбужденного сейсмическими волнами», проф. Сезава (K. Sezawa) показал, что движения могут иметь собственный период колебаний, свойственный поверхностному слою слоистой земной коры, а также, что этот период зависит от характера земной коры, образующей наложения, а также от толщины поверхностного слоя. Эту возможность подтверждает не только математическое решение, но и наблюдения фактически показали существование этих обычных движений грунта.

Для установления преобладающего периода землетрясения в какой-либо местности мною применялся мною же спроектированный анализатор сейсмических вибраций. Этот прибор работает по принципу отбора колебаний посредством резонанса, как и хорошо известный измеритель частоты Гартмана (Hartmann). Как показано на рис. 35 анализатор состоит из некоторого числа соединенных маятников, имеющих различные периоды собственных колебаний; самый короткий из периодов составляет 0,2 сек, а самый

длинный – 1,8 сек; все они установлены бок о бок в одном ряду вдоль барабана. Каждый маятник снабжен отдельным водяным глушителем, заглушающим свободное колебание, а каждый глушитель приспособлен таким образом, чтобы производить практически одинаковое увеличение амплитуды резонирующей вибрации каждым из записывающих перьев. Прибор, показанный на рис. 35, хотя и весьма неуклюж по внешнему виду, все же работает удовлетворительно. Нами предпринято конструирование нового прибора меньших размеров и более совершенного по внешнему виду.

Типовая запись этого прибора, полученная в Хонго, показана на рис. 36.

На этой диаграмме числа показывают периоды собственных колебаний маятников. Запись ясно доказывает, что преобладает только движение, имеющее период 0,3 сек и что это движение вероятно гармонического типа. Другие движения дают просто незаметные, неправильные зазубренные неровности. Эта картина характерна для всех землетрясений в Хонго, независимо от их интенсивности и отдаленности от источника.

Поэтому можно прийти к заключению, что этот район обладает периодом собственных колебаний равным около 0,3 сек. Когда мы с проф. Ишимото измеряли колебание низких монолитных зданий ртутным трубчатый микровибрографом, сконструированным нами, мы получали одновременно записи микродрожаний грунта, на котором находились здания. В одном случае мы получили запись микродрожаний в северной части Хонго. Анализируя те части записи, которые не были нарушены сильным уличным движением, я получил кривые, показывающие частоту движений, имеющих различные периоды; одна из кривых показана на рис. 37. Диаграмма показывает, что движение с периодом 0,3 сек, имеет максимальную частоту. Подобное же наблюдение было произведено позднее проф. Ишимото и проф. Такахаши при помощи микровибрографа Ишимото в парке нашего Института, расположенном в 2 км к югу от упомянутого места. Там наблюдалось точно такое же поведение грунта.

Таким образом можно отметить, что Хонго в повышенной части Токио имеет обычное движение с периодом около 0,3 сек как в обыкновенное время, так и во время землетрясений, и весьма вероятно, что преобладающие ускорения в землетрясениях обязаны этим движениям.

Мною закончены такие же наблюдения в Марюучи в пониженной части Токио. Там обстоятельства не так просты, как в Хонго. Анализатор сейсмической вибрации указывает, что преобладающими периодами в землетрясениях являются обыкновенно периоды от 0,7 до 0,9 сек (в записи, показанной на рис. 38, преобладает период 0,8 сек). Это вполне соответствует тому, что период ускорения умеренных землетрясений в этом районе иногда бывает около 0,7 сек или более; однако, как показано на рис. 39 (являющемся репродукцией записи микродрожания, полученной проф. Такахаши, Сато (Sato) и мною при помощи микровибрографа Ишимото) преобладающий период микродрожания в этом районе составляет от 0,4 до 0,45 сек, что равно почти половине преобладающего периода во время землетрясения. На это накладываются некоторые движения, имеющие меньшие амплитуды и периоды, варьирующие от 0,2 до 0,3 сек. Памятуя, что периоды ускорения слабых землетрясений в

нижней части Токио составляют иногда от 0,2 до 0,4 сек, можно прийти к выводу, что, смотря по обстоятельствам, второстепенные и третьестепенные свободные колебания этого района вызваны слабыми, но резкими землетрясениями.

Итак, этот район замечателен тем, что здесь существуют второстепенные и третьестепенные собственные колебания, имеющие собственные частоты, превосходящие в 2–3 раза колебания, являющиеся там по видимому основными. Подобное поведение грунта не вытекает из математического решения для упругого грунта, данного проф. Сезава. Так как район был когда то болотистым, и почва еще и теперь илистая, то ее справедливо считать полужидкой. Если это так, то район Токио, в котором весьма неправильны поверхностные и глубинные напластования, должен был бы иметь сложную периодичность гармонического порядка, точь в точь как вода в резервуаре. По моему вычислению основное колебание имеет период около 0,8 сек, но этот период слишком велик, чтобы он мог быть вызван уличным движением или другими незначительными возбудителями; и только в случае сейсмических возбуждений, имеющих период около 0,8 сек, ясно обнаруживаются основные колебания. Я не имею возможности однако углубляться дальше в этот вопрос и оставляю его освещение компетентным исследователям.

Единственно, что я хочу подчеркнуть, это то, что каждая местность во время землетрясения имеет свое собственное свободное колебание и мы должны относиться к этому с большим вниманием.

## VI. Измерение напряжения в зданиях во время землетрясений

Относительно расчета прочности зданий и других сооружений во время землетрясения я предпочел бы ничего не говорить, ибо эта страна (Америка) является родиной большинства расчетных методов. Однако, какой выработанный метод мы бы ни применили, делом величайшей трудности является вычисление точных напряжений и деформаций, возбужденных данной сейсмической силой в элементах сложного статически неопределимого сооружения, особенно, когда такое сооружение имеет диагональные связи, внутренние стены и т. п.

Кроме того важным является рассмотрение других значительных моментов, например, отношение между пе-

риодом собственных колебаний сооружения и периодом ускорения, затухание колебаний, взаимодействие между фундаментом сооружения и основанием и т. д. (некоторые из этих вопросов будут служить темой нашей III лекции). Если мы примем в соображение все эти обстоятельства, мы должны будем прийти к выводу, что точный расчет сооружения на прочность фактически невозможен.

Шагом вперед в этом направлении является производство опытов с моделями, удовлетворяющими закону динамического подобия. Я произвожу теперь опыты по простым деревянным рамным сооружениям на динамической модели, сделанной из смеси парафина и других материалов (см. рис. 34). Предварительный отчет об этих опытах опубликован.

Опыты еще не закончены и многое еще надлежит выяснить, но мне кажется, что на успех есть большая надежда. Что же касается сооружений из составных материалов, например, железобетонных и каркасно-стальных кирпичных сооружений, я не уверен в успешности опытов с моделями.

Другое дело, возможное в сейсмической области, это – установка некоторого числа тензометров в типовых зданиях и одновременное производство наблюдений экселерографом.

Такие наблюдения нам могут показать, что пока наблюдаемые напряжения не выходят за пределы упругости, они по известному ускорению могут быть вычислены. К счастью, период ускорения во всех районах практически постоянен. Поэтому мы можем вычислить, при какой интенсивности землетрясения в элементах конструкции превышает предел упругости (в стальных сооружениях) или появляются трещины (в каменных сооружениях), хотя по понятным причинам мы не можем подсчитать силы, вызывающей разрушения стальных сооружений; для этого расчеты равным образом невозможны.

Я сожалею, однако, что будучи весьма занят происшедшими недавно одно за другим сильными землетрясениями, о чем мною упоминалось в лекции I, я не мог полностью посвятить свои исследования разрешению этих проблем. В настоящее время я имею только один тензометр, установленный в низком деревянном здании. Данные о таком здании вам явно бесполезны, но я намерен вскоре распространить измерение деформаций на многоэтажные здания и я надеюсь, что в ближайшее же время я буду в состоянии опубликовать данные, касающиеся таких зданий.



## ПАМЯТИ КИРИЛЛА ЛЕВИ



В Иркутске 13 октября 2018 года на 72-м году жизни скончался доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент Российской академии естественных наук, профессор, руководитель научного направления в институте, крупный специалист в области кайнозойской геодинамики, сейсмогеодинамики литосферы континентов, неотектоники и современной геодинамики, заведующий лабораторией кайнозоя Института земной коры СО РАН, профессор ИГУ и ИРНИТУ Кирилл Леви.

Кирилл Георгиевич Леви автор и соавтор более 220 научных работ, в том числе восемь неотектонических карт, 14 монографий. Внес существенный вклад в методическую основу неотектоники. В 1995 году по инициативе Леви геофизиками ИЗК СО РАН была разработана прикладная научно-техническая программа «Сейсмобезопасность Сибири». В 2002-2006 годах участвовал в обсуждении различных вариантов прокладки нефте- и газопроводов в Восточной Сибири. В 2006-2007 го-

дах Кирилл Георгиевич совместно с сотрудниками лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН развивал идеи оценки риска деформаций и разрушения строительных сооружений различного назначения. С 2000 года он вместе с созданным им неформальным междисциплинарным коллективом исследователей из Иркутского научного центра СО РАН, ИГУ и ИРНИТУ разрабатывал новое научное направление «гелиогеодинамика».

Светлая память о Кирилле Георгиевиче Леви навсегда сохранится в сердцах всех, кому посчастливилось работать с ним – высоким профессионалом и прекрасным человеком.

*Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС)  
Редколлегия журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений».*



# 30 YEARS AFTER THE SPITAK EARTHQUAKE: EXPERIENCE AND PERSPECTIVES

## International Conference

*December 03-07, 2018, Yerevan, Armenia*

### Dear colleagues,

The Organizing Committee announces "Thirty years after the Spitak Earthquake: Experience and Perspectives" International Conference dedicated to the devastating earthquake of 1988, which occurred in the north of Armenia. The Conference will take place in Yerevan on December 03-07, 2018.

The social shock caused by the Spitak earthquake brought seismological and geodynamic studies and seismic hazard and risk assessment in Armenia up to a new level. It served also an impetus to develop up-to-date studies on active tectonics and paleoseismology in the country and promoted international cooperation.

The Conference aims to bring together leading scientists as well as young scholars to present reports and exchange their experiences, as well as discuss recent innovations and further challenges in this field.

The conference will also include a visit to Gyumri and the epicentral zone. Approved abstracts will be published.

\* Attached you can find the expression of interest form. Please fill in the form and return it to [spitak1988@geology.am](mailto:spitak1988@geology.am) before April 15, 2018

### CONFERENCE ORGANIZERS

National Academy of Sciences(NAS)

Institute of Geological Sciences (IGS NAS)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov (IGES NAS)

Ministry of Emergency Situations(MES)

Seismic Protection Territorial Survey SNCO (SPTS MES)

State Urban Development Committee adjunct to the government of the Republic of Armenia

International Science and Technology Center (ISTC) in Armenia

United Nations Development Programme (UNDP) State Committee of Science(SCS) of the Ministry of Education and Science

Georisk Scientific Research CJSC

Armenian Association of Seismology and Physics of the Earth (AASPE)

### CONFERENCE TOPICS

1. The 1988 Spitak earthquake: field observations in the epicentral area; present-day seismicity of the region; new studies and results after 30 years;
2. Seismological and geophysical studies; seismotectonics, paleoseismology, archeoseismology, and earthquake engineering;
3. Geo-hazards, seismic risk assessment and seismic resilience;
4. Studies of social and cultural effects of strong earthquakes;
5. Strategy and international cooperation on disaster risk reduction.

Official Language of the Conference is English

Abstract submission procedure and details on presentations will be provided later.

### CONFERENCE SCHEDULE

- December 03, 2018-Arrival to Yerevan
- December 04, 2018-Opening and General Session
- December 05-06, 2018-Conference section sessions by topics
- December 07, 2018-Visit to Gyumri and the epicentral zone, Departure

### IMPORTANT DATES

- May 30, 2018-Deadline for submission of expression of interest form
- June 30, 2018- Deadline for abstract submission
- July 31, 2018- Notification of abstract acceptance and start of registration
- October 30, 2018- Closure of early-bird registration for the conference, accompanying participant's early-bird online registration fee payment

**For further inquiries, feel free to contact the Organizing Committee Contact at:**

**E-mail: [spitak1988@geology.am](mailto:spitak1988@geology.am)**

**Phone: +374 10524426**



St. Petersburg, 1-6 July, 2019



# 16 WCSI | 16th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures



RESEARCH CENTER OF CONSTRUCTION  
Joint Stock Company

