

**Сәулет, қала құрылысы және құрылыс  
саласындағы мемлекеттік нормативтер  
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ӘДІСТЕМЕЛІК ҚҰЖАТ**

**Государственные нормативы в области  
архитектуры, градостроительства и строительства  
МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК-ГЕОЛОГИЯЛЫҚ  
ЖӘНЕ СЕЙСМОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫНА САЙ КЕЛЕТІН  
СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕЛЕРДІ АНЫҚТАУҒА ҚАТЫСТЫ  
ҰСЫНЫСТАР**

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК,  
СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ И  
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Ресми басылым  
Издание официальное

**Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс,  
тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын  
басқару комитеті**

**Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и  
управления земельными ресурсами  
Министерства национальной экономики Республики Казахстан**

**Астана 2015**

## АЛҒЫ СӨЗ

- 1 **ӘЗІРЛЕГЕН:** «ҚазҒЗСТҚСИ» РМК
- 2 **ҰСЫНҒАН:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің Техникалық реттеу және нормалау басқармасы
- 3
- 4 **ҚАБЫЛДАНҒАН ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛГЕН МЕРЗІМІ:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің 2014 жылғы 29-желтоқсандағы № 156-НҚ бұйрығымен 2015 жылғы 1-шілдеден бастап
- 5 **ОРНЫНА:** Алғаш рет іске қосылған

## ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1 **РАЗРАБОТАН:** РГП «КазНИИССА»
- 2 **ПРЕДСТАВЛЕН:** Управлением технического регулирования и нормирования Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан
- 3 **ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:** Приказом Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства Национальной экономики Республики Казахстан от 29.12.2014 № 156-НҚ с 1 июля 2015 года
- 4 **ВЗАМЕН:** Введен впервые

Осы мемлекеттік нормативті ҚР сәулет, қала құрылысы және құрылыс істері жөніндегі Уәкілетті мемлекеттік органының рұқсатынсыз ресми басылым ретінде толық немесе ішінара қайта басуға, көбейтуге және таратуға болмайды.

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства РК.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СОДЕРЖАНИЕ .....                                                                                                                      | III |
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                         | IV  |
| 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....                                                                                                              | 1   |
| 2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....                                                                                                          | 2   |
| 3. ТРЕБОВАНИЯ К КАРТАМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ<br>РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН .....                                             | 2   |
| 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ<br>СВОЙСТВАМ.....                                                                  | 3   |
| 5. ПАРАМЕТРЫ СПЕКТРОВ УПРУГОЙ РЕАКЦИИ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И<br>ВЕРТИКАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ .....                             | 4   |
| 6. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗДАНИЙ И<br>СООРУЖЕНИЙ.....                                                                 | 8   |
| 7. СОЧЕТАНИЕ ЭФФЕКТОВ ОТ РАЗНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СЕЙСМИЧЕСКОГО<br>ВОЗДЕЙСТВИЯ.....                                                        | 9   |
| 8. ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕКЦИИ ЗАТУХАНИЯ $\eta$ .....                                                                             | 9   |
| 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ГРУНТА .....                                                                                                  | 10  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А (ИНФОРМАЦИОННОЕ) ПОЛОЖЕНИЯ EN 1998-1:2004,<br>ПОДЛЕЖАЩИЕ МОДИФИКАЦИИ ИЛИ СОПРОВОЖДЕНИЮ<br>АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ПРАВИЛАМИ..... | 11  |

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Рекомендации одобрены для применения при составлении Национальных Приложений к СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций» и «Пособия по определению расчетных сейсмических нагрузок на здания и сооружения» (к СН РК EN 1998-1:2004/2011):

- решением Ученого Совета РГП «КазНИИССА» № от « » октября 2011 г.;
- решением Научно-технического Совета Агентства по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Казахстан №\_\_\_\_ от «\_\_» ноября 2011 года.

Интеграция Казахстана в европейскую и мировую экономики сопряжена с необходимостью гармонизации его нормативной базы в области строительства с европейской нормативной базой.

Ключевым элементом гармонизации Казахстанского и Европейского технического нормирования в строительстве является обеспечение возможности применения в Республике Казахстан Европейских норм проектирования в строительстве — Еврокодов.

Принятые в Европейском Союзе Еврокоды внедряются в странах-членах ЕС с учетом «различий в географических или климатических условиях или в образе жизни, а также разных уровней безопасности, которые могут превалировать на национальном, региональном или местном уровне».

Определение уровней безопасности и надежности строительства, включая аспекты долговечности и экономии, находятся в компетентности государства, внедряющего Еврокоды. Еврокоды «признают ответственность разрешительных органов каждой страны-члена и гарантируют их права по определению на национальном уровне величин, имеющих отношение к вопросам безопасности, которые могут варьировать в разных государствах.

Следует учитывать, что инвестиционные проекты с участием европейского капитала подвергаются экспертизе страховых компаний. Отмеченный фактор особое значение имеет для объектов возводимых в сейсмических районах, но зарубежные страховые компании зачастую не могут страховать проекты, связанные с объектами строительства, потому что им не понятны требования наших стандартов и СНиПов. Поэтому гармонизация и взаимоувязка казахстанских и европейских технических норм в строительстве — это вопрос привлечения не только иностранных компаний и технологий, но и иностранных инвестиций.

Защита населения Казахстана, проживающего в сейсмически опасных районах, относится к одной из приоритетных задач государства. Мероприятия, обеспечивающие минимизацию последствий сильных землетрясений, в наиболее сконцентрированном виде содержатся в нормах по проектированию и строительству зданий и сооружений в сейсмических районах.

В настоящее время в Республике Казахстан действуют правила проектирования и строительства в сейсмических районах, изложенные в СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах».

Настоящие Рекомендации позволяют:

а) адаптировать положения СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций» к геологическим и сейсмологическим условиям Республики Казахстан;

б) гармонизировать положения СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций» с положениями СНиП РК 2.03-30-2006.

Настоящие Рекомендации разработаны РГП «КазНИИССА» в рамках научно-исследовательских работ, выполняемых по республиканской бюджетной программе 003 «Совершенствование нормативно-технических документов в сфере архитектурной, градостроительной и строительной деятельности» на основании договора № 003-З-М/4 от 23.02.2011 г. с Агентством по делам строительства и жилищного хозяйства Республики Казахстан.

Положения настоящих Рекомендаций основываются на результатах инженерного анализа зарубежных норм сейсмостойкого строительства и исследованиях, выполненных в РГП «КазНИИССА».

Обоснование положений, приведенных в «Рекомендациях по определению сейсмических нагрузок, соответствующих инженерно-геологическим и сейсмологическим условиям Республики Казахстан», изложено в Пояснительной записке, прилагаемой к настоящим Рекомендациям.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**1.1.** Настоящие Рекомендации предназначены для составления и подготовки к внесению на утверждение Национальных Приложений к СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций» и «Пособия по определению расчетных сейсмических нагрузок на здания и сооружения» (к СН РК EN 1998-1:2004/2011).

**1.2.** Настоящие Рекомендации составлены:

а) в порядке оказания научно-методической помощи составителям Национальных Приложений к СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций» и «Пособия по определению расчетных сейсмических нагрузок на здания и сооружения» (к СН РК EN 1998-1:2004/2011).

б) с целью адаптации положений СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций» к геологическим и сейсмологическим условиям Республики Казахстан;

в) с целью гармонизации апробированных и оправдавших себя на практике положений СНиП РК 2.03-30-2006 с положениями СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций».

**1.3.** Положения настоящих рекомендаций должны соблюдаться при составлении Национальных Приложений к следующим частям СН РК EN 1998 Еврокод 8. «Проектирование сейсмостойких конструкций»:

– к части СН РК EN 1998-1, содержащей общие положения и требования, относящиеся к расчету и проектированию зданий;

– к части СН РК EN 1998-2, содержащей специальные требования, относящиеся к мостам;

– к части СН РК EN 1998-3, содержащей требования для оценки сейсмостойкости и к реконструкции существующих сооружений;

– к части СН РК EN 1998-4, содержащей специальные требования, относящиеся к силосам, резервуарам и трубопроводам;

– к части СН РК EN 1998-5, содержащей специальные требования, относящиеся к фундаментам, подпорным стенкам и геотехническим аспектам;

– к части СН РК EN 1998-6, содержащей специальные требования, относящиеся к башням, мачтам и дымовым трубам.

**1.4.** Положения настоящих рекомендаций должны соблюдаться при составлении «Пособия по определению расчетных нагрузок на здания и сооружения» (к СН РК EN 1998-1:2004/2011).

**1.5.** Положения, приведенные в настоящих Рекомендациях содержат предложения, сформулированные по результатам анализа:

а) положений Еврокода 8, регламентирующих принципы составления карт сейсмического зонирования национальных территорий; современных карт сейсмического зонирования (районирования) национальных территорий, принятых в странах Европейского Союза, СНГ и в ряде других стран мира;

б) современных норм сейсмостойкого строительства, принятых в странах Европейского Союза, СНГ и в ряде других стран мира;

в) результатов исследований, выполненных в РГП «КазНИИССА».

**1.6.** Настоящие Рекомендации вступают в действие только после из согласования Агентством по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Казахстан.

Положения настоящих Рекомендаций могут корректироваться по согласованию с РГП «КазНИИССА».

## **2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

**Карта  $I_{500}$**  – карта общего сейсмического зонирования, составленная для уровня вероятности возникновения и возможного превышения сейсмических эффектов в течение 50-летних интервалов времени 10% (иначе – для периода повторяемости землетрясений примерно 500 лет);

**Карта  $I_{2500}$**  – карта общего сейсмического зонирования, составленная для уровня вероятности возникновения и возможного превышения сейсмических эффектов в течение 50-летних интервалов времени 2% (иначе – для периода повторяемости землетрясений примерно 2500 лет);

**$P_{NCR}$**  – референтная вероятность того, что сейсмическое воздействие будет превышено за 50-летний интервал времени;

**$T_{NCR}$**  – референтный период повторяемости сейсмического воздействия;

**$S$**  – коэффициент, характеризующий влияние грунтовых условий на интенсивность сейсмического воздействия.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К КАРТАМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**3.1.** В нормы Республики Казахстан, гармонизированные с положениями Еврокода 8, предлагается включить два комплекта карт ОСЗ. В каждый комплект должны входить две карты.

**3.2.** Показатели сейсмической опасности, представленные на картах комплекта №1, должны:

а) относиться к «средним» грунтам по сейсмическим свойствам, для поверхностных 30-метровых толщ которых типичны скорости распространения поперечных волн от 250 до 550 м/с;

б) характеризовать сейсмическую опасность территории Республики Казахстан целочисленными баллами по СН РК 2.03-28-2004 «Шкала для оценки интенсивности землетрясений MSK- 64 (K)»;

в) характеризовать сейсмическую опасность территории Республики Казахстан на двух уровнях вероятности возникновения и возможного превышения сейсмического эффекта в течение 50-летних интервалов времени:

10% — период повторяемости сейсмических сотрясений примерно 500 лет ( $I-1_{500}$ );

2% — период повторяемости сейсмических сотрясений примерно 2500 лет ( $I-1_{2500}$ ).

**3.3.** Показатели сейсмической опасности, представленные на картах комплекта №2, должны:

а) относиться к скальным и скально-подобным геологическим формациям, для поверхностных 30-метровых толщ которых типичны скорости распространения поперечных волн  $\geq 800$  м/с (грунты типа А по Еврокоду 8);

б) характеризовать сейсмическую опасность территории Республики Казахстан в интервалах пиковых ускорений (в долях  $g$ ) колебаний скальных и скально-подобных грунтов;

в) характеризовать сейсмическую опасность территории Республики Казахстан на двух уровнях вероятности возникновения и возможного превышения сейсмического эффекта в течение 50-летних интервалов времени:

10% — период повторяемости сейсмических сотрясений примерно 500 лет ( $I-2_{500}$ );

2% — период повторяемости сейсмических сотрясений примерно 2500 лет ( $I-2_{2500}$ ).

**3.4.** Референтное пиковое ускорение грунта  $a_{gR}$  следует определять по картам общего сейсмического зонирования территории Республики Казахстан, составленным для скальных и скально-подобных геологических формаций (грунтовые условия типа А по СН РК EN 1998-1:2004/2012)

**3.5.** В качестве значения референтного пикового ускорения грунта  $a_{gR}$  следует принимать наибольшее из двух значений:

- значения, определенного по карте  $I_{500}$ ;
- значения, определенного по карте  $I_{2500}$  и уменьшенного в 1,5 раза.

**3.6.** Значения  $a_{gR}S$ , как правило, следует определять по картам сейсмического микрорайонирования (СМР) конкретных населенных пунктов или территорий. Карты СМР, как и карты ОСЗ, должны быть составлены для двух уровней вероятности возникновения и возможного превышения сейсмических эффектов в течение 50-летних интервалов времени — 10% и 2%. Применение значений  $a_{gR}$ , определенных по картам ОСЗ, допускается только в случае отсутствия карт СМР. Порядок определения значений  $a_{gR}S$  по картам СМР должен соответствовать п.2.3 настоящих Рекомендаций.

Примечание. До введения в действие карт ОСЗ и СМР, значения  $a_{gR}$  и  $a_{gR}S$  следует принимать на основании адресных технических условий.

## **4. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ**

**4.1.** Грунтовые условия площадок строительства следует классифицировать по сейсмическим свойствам в соответствии с данными таблицы 4.1.

**Таблица 4.1 Категории стратиграфических профилей по сейсмическим свойствам**

| Категория стратиграфического профиля по сейсмическим свойствам | Грунты стратиграфического профиля (описательные данные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Параметры                                        |                                                                  |                                                                  |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $V_{s,30}$<br>(м/с)                              | $N_{SPT,30}$                                                     | $C_{u,30}$                                                       |
| IA                                                             | Скальные грунты всех видов неветрелые или слабоведрелые с маломощным (до 5 м) покровом рыхлых отложений.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $V_{s,30} \geq 800$                              | -                                                                | -                                                                |
| IB                                                             | Скальные грунты всех видов неветрелые или слабоведрелые с маломощным (до 5 м) покровом рыхлых отложений, кроме отнесенных к категории IA. Скальные грунты ветрелые (обломочная зона) с маломощным покровом (до 5 м) рыхлых отложений. Крупнообломочные грунты преимущественно из магматических пород (более 70%), плотные (плотность грунта $\rho \geq 2,2$ т/м <sup>3</sup> , содержание песчано-глинистого заполнителя до 30%, перекрытые маломощным покровом (до 5,0 м) рыхлых отложений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $V_{s,10} \geq 350$<br>$550 \leq V_{s,30} < 800$ |                                                                  |                                                                  |
| II                                                             | Скальные грунты ветрелые (обломочная зона) с маломощным покровом (до 5 м) рыхлых отложений, кроме отнесенных к категории IB. Крупнообломочные грунты преимущественно из магматических пород (более 70%), плотные (плотность грунта $\rho \geq 2,2$ т/м <sup>3</sup> , содержание песчано-глинистого заполнителя до 30%, перекрытые маломощным покровом (до 5,0 м) рыхлых отложений, кроме отнесенных к категории IB. Скальные грунты сильноветрелые; крупнообломочные грунты преимущественно из осадочных пород (более 70%) не зависимо от содержания заполнителя. Крупнообломочные грунты всех видов с содержанием заполнителя более 30%. Пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные независимо от степени водонасыщения. Пески крупные и средней крупности средней плотности малой и средней степени водонасыщения. Пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности, малой степени водонасыщения. Глинистые грунты с показателем текучести $\leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ – для глин и суглинков и $e < 0,7$ – для супесей. | $V_{s,10} \geq 250$<br>$270 \leq V_{s,30} < 550$ | До проведения специальных исследований показатель не применяется | До проведения специальных исследований показатель не применяется |

**Таблица 4.1 Категории стратиграфических профилей по сейсмическим свойствам (продолжение)**

| Категория стратиграфического профиля по сейсмич | Грунты стратиграфического профиля (описательные данные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Параметры                            |                                                                  |                                                                  |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $V_{S,30}$<br>(м/с)                  | $N_{SPT,30}$                                                     | $V_{S,30}$<br>(м/с)                                              |
| III                                             | Пески рыхлые независимо от степени водонасыщения и крупности. Пески крупные и средней крупности средней плотности водонасыщенные. Пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности средней степени водонасыщения и водонасыщенные.<br>Глинистые грунты с показателем текучести $>0,5$ независимо от значения коэффициента пористости. Глинистые грунты с показателем текучести $\leq 0,5$ при значении коэффициента пористости $e \geq 0,9$ – для глин и суглинков, и $e \geq 0,7$ – для супесей. | $V_{S,10} < 250$<br>$V_{S,30} < 270$ | До проведения специальных исследований показатель не применяется | До проведения специальных исследований показатель не применяется |

Примечания. 1. Скорости  $V_{S,10}$  и  $V_{S,30}$  характеризуют средние значения скоростей распространения поперечных волн в 10-ти и 30-ти метровых поверхностных толщах, считая от планировочной отметки.

2. При оценке сейсмических свойств глинистых и песчаных грунтов, находящихся в водонасыщенном состоянии, следует использовать описательные данные. При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов категорию стратиграфического профиля следует определять в зависимости от свойств грунта в замоченном состоянии.

3. В случае отсутствия данных о значениях показателя текучести или влажности глинистых грунтов, стратиграфические профили при уровне грунтовых вод выше 5 м относятся к категории III по сейсмическим свойствам.

4. Стратиграфические профили могут быть отнесены к категориям IБ и II в том случае, если оба экспериментально установленных значения скоростей распространения поперечных волн –  $V_{S,10}$  и  $V_{S,30}$  – не менее значений, указанных в табл. 1.4. Если один из показателей экспериментально установленных значений скоростей распространения поперечных волн в поверхностной толще –  $V_{S,10}$  или  $V_{S,30}$  – имеет значение меньше, чем указанное в табл. 1.4, то стратиграфический профиль следует относить к категории более неблагоприятной по сейсмическим свойствам.

## 5. ПАРАМЕТРЫ СПЕКТРОВ УПРУГОЙ РЕАКЦИИ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

5.1. Параметры спектров упругой реакции  $S_e(T)$  горизонтальных составляющих сейсмического воздействия определяются следующими выражениями (см. рис. 5.1):

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (5.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (5.2)$$

$$T \geq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (5.3)$$

$S_e(T)$  – спектр упругой реакции;

$T$  – период колебаний линейной системы с одной степенью свободы;

$a_g$  – проектное ускорение грунта типа грунта А ( $a_g = \gamma_I a_{gR}$ );

$T_B$  – нижний предел периода на постоянном участке графика спектральных ускорения;

$T_C$  – верхний предел периода на постоянном участке графика спектральных ускорений;

$S$  – коэффициент, характеризующий тип грунта;

$\eta$  – показатель коррекции затухания; для 5%-го вязкого затухания  $\eta = 1$ .

Значения  $T_B$ ,  $T_C$  и  $S$  приведены в таблицах 3.2.1 и 3.2.2 соответственно.

Таблица 5.1: Значения  $T_B$  и  $T_C$

| Категория грунтов по сейсмическим свойствам | $T_B$<br>(сек) | $T_C$<br>(сек) |
|---------------------------------------------|----------------|----------------|
| IA                                          | 0,15           | 0,44           |
| IB                                          | 0,15           | 0,44           |
| II                                          | 0,25           | 0,64           |
| III                                         | 0,375          | 0,96           |

Таблица 5.2: Значения коэффициента  $S$

| Категория грунтов по сейсмическим свойствам | $S$ при значениях $a_g$<br>(в долях $g$ ) |     |     |     |     |         |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------|
|                                             | $\leq 0,1$                                | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | $> 0,5$ |
| IA                                          | 1,0                                       | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0     |
| IB                                          | 1,2                                       | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0     |
| II                                          | 1,6                                       | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0     |
| III                                         | 2,4                                       | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,1     |

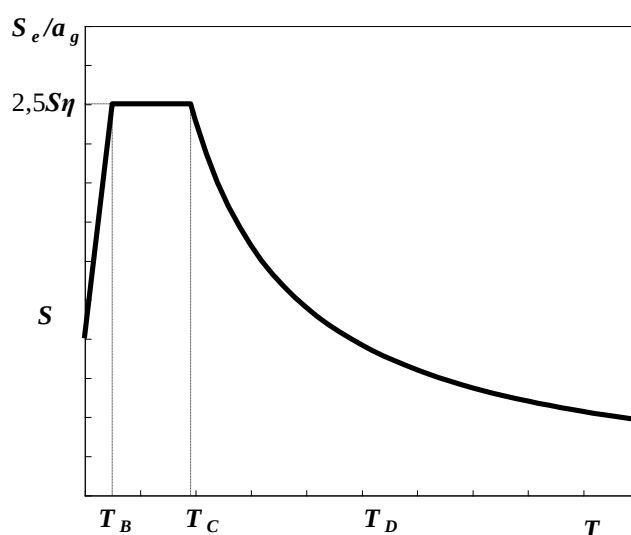


Рис. 5.1 Спектр реакции горизонтальных составляющих сейсмических воздействий

5.2. На картах общего сейсмического зонирования должно быть указано, что значения  $a_g$  характеризуют эффективные значения пиковых ускорений на наиболее

интенсивной компоненте горизонтального сейсмического воздействия, ориентированной на горизонтальной плоскости случайным образом.

**5.3.** Параметры спектров упругой реакции  $S_e(T)$  вертикальных составляющих сейсмического воздействия определяются следующими выражениями (см. рис. 5.2):

$$0 \leq T \leq T_{Bv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_{Bv}} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (5.4)$$

$$T_{Bv} \leq T \leq T_{Cv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (5.5)$$

$$T_{Cv} \leq T \leq T_{Dv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot 2,5 \left[ \frac{T_{Cv}}{T} \right]^k \quad (5.6)$$

$$T \geq T_{Dv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_{Cv} T_{Dv}}{T^2} \right]^k \quad (5.7)$$

Значения  $a_{vg}/a_g$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  и  $T_D$  и  $S$  приведены в таблице 5.3.

**Таблица 5.3 – Значения параметров, описывающих спектры упругой реакции вертикальных составляющих сейсмического воздействия**

| Категория грунтов по сейсмическим свойствам | $a_{vg}/a_g$ при |                         |              | $T_{Bv}$<br>(сек) | $T_{Cv}$<br>(сек) | $T_{Dv}$<br>(сек) | $K$        |
|---------------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|
|                                             | $a_g \leq 0,12g$ | $0,12g < a_g \leq 0,4g$ | $a_g > 0,4g$ |                   |                   |                   |            |
| <b>IA</b>                                   | <b>0,7</b>       | <b>0,8</b>              | <b>0,9</b>   | <b>0,05</b>       | <b>0,13</b>       | <b>0,9</b>        | <b>0,5</b> |
| <b>IB</b>                                   | <b>0,7</b>       | <b>0,8</b>              | <b>0,9</b>   | <b>0,05</b>       | <b>0,13</b>       | <b>0,9</b>        | <b>0,5</b> |
| <b>II</b>                                   | <b>0,7</b>       | <b>0,8</b>              | <b>0,9</b>   | <b>0,10</b>       | <b>0,20</b>       | <b>1,3</b>        | <b>0,5</b> |
| <b>III</b>                                  | <b>0,7</b>       | <b>0,8</b>              | <b>0,9</b>   | <b>0,10</b>       | <b>0,30</b>       | <b>2,1</b>        | <b>0,4</b> |

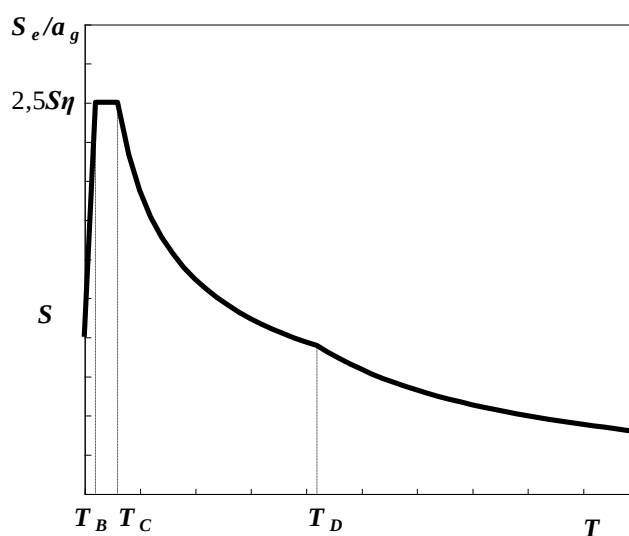


Рис. 5.2 Спектр реакции вертикальных составляющих сейсмических воздействий

## 6. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

6.1. Таблицу 4.3 EN 1998-1:2004 следует дополнить таблицей 6.1.

6.2. Значения коэффициентов ответственности зданий и сооружений следует принимать в соответствии с таблицей 6.2.

**Таблица 6.1. Классификация зданий по ответственности**

| <b>Классы ответственности</b> | <b>Здания и сооружения</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                             | Объекты пониженной ответственности – здания и сооружения с проектным сроком эксплуатации до 30 лет, повреждения которых не представляют угрозы для безопасности людей, не сопровождаются порчей ценного оборудования, не вызывают прекращения непрерывных технологических процессов и/или загрязнения окружающей среды (небольшие одноэтажные сельскохозяйственные и складские сооружения, временные одноэтажные сооружения, легкие открытые летние павильоны).                                                                               |
| II                            | Объекты нормальной ответственности – обычные жилые, административные, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения высотой до 5 этажей включительно с проектным сроком эксплуатации до 50 лет включительно.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| III                           | Объекты повышенной ответственности – здания и сооружения с проектным сроком эксплуатации 50 лет и с большим скоплением людей:<br>А – здания школ, детских садов, больниц и им подобные; монументальные и уникальные здания и сооружения и т.п., высотой не более 5 этажей;<br>Б – здания высотой более 5 этажей.                                                                                                                                                                                                                              |
| IV                            | Объекты особой ответственности – здания и сооружения, функционирование которых необходимо в постсейсмический период для гражданской защиты населения (больницы с травматологическими, хирургическими и кардиологическими отделениями, пожарные депо, электростанции, правительственные здания повышенной ответственности); автомобильные и железнодорожные мосты, уникальные и монументальные объекты с проектным сроком эксплуатации 100 лет; здания музеев, памятники, представляющие большую историческую и художественную ценность и т.п. |

**Таблица 6.1 – Значения коэффициентов ответственности зданий и сооружений**

| Классы ответственности | Значения коэффициентов $\gamma_I$         |                                                                                           |
|------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                      | 0,8                                       |                                                                                           |
| II                     | 1                                         |                                                                                           |
| III                    | A                                         | $\gamma_I = 1,2 + 0,06T \leq 1,5$<br>где: $T$ – период колебаний здания по основному тону |
|                        | B                                         | $\gamma_I = 1 + 0,06(n-5) \leq 1,8$ ,<br>где: $n$ – количество надземных этажей в здании  |
| IV                     | $1,5 \leq \gamma_I = 1,4 + 0,1T \leq 1,9$ |                                                                                           |

**Примечание 1.** А – здания школ, детских садов, больниц и им подобные; монументальные и уникальные здания и сооружения и т.п., высотой не более 5 этажей;

**Примечание 2.** Б – жилые, общественные, административные и производственные здания высотой более 5 этажей.

## 7. СОЧЕТАНИЕ ЭФФЕКТОВ ОТ РАЗНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**7.1.** Раздел 4.3.3.5.1 EN 1998-1:2004 следует дополнить альтернативным подходом, к определению эффектов воздействия, обусловленных одновременным действием двух горизонтальных составляющих сейсмического воздействия на «правильные» здания и сооружения.

Эффекты одновременного действия двух горизонтальных составляющих сейсмического воздействия, могут быть вычислены с использованием двух следующих выражений:

$$\sqrt{E_{Edx}^2 + (0,75E_{Edy})^2} \quad (7.1)$$

$$\sqrt{(0,75E_{Edx})^2 + E_{Edy}^2} \quad (7.2)$$

**7.2.** Раздел 4.3.3.5.1 EN 1998-1:2004 следует дополнить альтернативным подходом, к определению эффектов воздействия, обусловленных одновременным действием трех составляющих сейсмического воздействия на «правильные» здания и сооружения.

Эффекты одновременного действия трех составляющих сейсмического воздействия, могут быть вычислены с использованием двух следующих выражений:

$$\sqrt{E_{Edx}^2 + (0,75E_{Edy})^2 + E_{Edz}^2} \quad (7.3)$$

$$\sqrt{(0,75E_{Edx})^2 + E_{Edy}^2 + E_{Edz}^2} \quad (7.4)$$

## 8. ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕКЦИИ ЗАТУХАНИЯ

**8.1.** Выражения для определения значения коэффициента коррекции затухания  $\eta$  ((3.6) в EN 1998-1) следует дополнить альтернативными выражениями:

при  $T \leq 0,1$  сек

$$\eta = 1 + (\gamma - 1) \frac{T}{0,1}; \quad (8.1)$$

при  $0,1 \leq T \leq 1$  сек

$$\eta = \gamma; \quad (8.2)$$

при  $T > 1$  сек

$$\eta = \gamma(1/T)^\lambda \quad (8.3)$$

В формулах (П.1) - (П.3):

$$\gamma = 1 + \frac{0,05 - \xi}{0,05 + 2\xi - 3\xi^2} \quad (8.4)$$

$$\lambda = \frac{0,05 - \xi}{0,33 + 9\xi} \quad (8.5)$$

где  $\xi$  – коэффициент вязкого демпфирования конструкции в долях от максимального.

**8.2.** Область применения выражения (3.6) EN 1998-1 следует ограничить.

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ГРУНТА

**9.1.** Смещение грунта, соответствующие расчетному ускорению грунта, следует определять (учитывая, что форма спектра реакции в ускорениях в НП изменена) с помощью выражения

$$d_g = 0,075 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad (9.1)$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(информационное)

### Положения EN 1998-1:2004, подлежащие модификации или сопровождению альтернативными правилами

В настоящем приложении приведены лишь некоторые положения EN 1998-1-1 – EN 1998-1-4, подлежащие модификации или сопровождению альтернативными правилами.

Ряд других положений будет проанализирован в процессе составления «Пособия по определению расчетных сейсмических нагрузок». К таким положениям в частности относятся следующие положения EN 1998-1:2004.

**П1.1.** Согласно пункту 3.2.2.4(1) EN 1998-1:2004 минимальное число форм колебаний, которое необходимо учесть при расчете здания с применением пространственной расчетной модели должно удовлетворять двум следующим условиям

$$k \geq 3 \cdot \sqrt{n} \quad \text{и} \quad T_k \leq 0,2 \text{ с,}$$

где

$k$  – количество учтенных форм колебаний;

$n$  – количество этажей над фундаментом или жестким основанием;

$T_k$  – период колебаний по  $k$ -ой форме.

Имеющиеся данные свидетельствуют, что первое условие может быть применимо только по отношению к зданиям и сооружениям, рассчитываемым с применением расчетных схем в виде консольного стержня, закрепленного в основании.

Второе условие может быть применимо (в некоторых случаях) только к объектам с периодами колебаний по основному тону не более 0,6...0,8 сек.

**П1.2.** Согласно пунктам раздела 4.3.3.5.2 EN 1998-1:2004 вертикальную составляющую сейсмического воздействия следует учитывать при расчете: горизонтальных конструкций с пролетами более 20 метров; горизонтальных консольных конструкций длиной более 5 метров; балок, поддерживающих колонны; элементов систем сейсмоизоляции.

Перечень случаев, при которых вертикальная составляющая сейсмического воздействия должна учитываться, следует расширить. Положения раздела 4.3.3.5.2 следует распространить на кирпичные здания, на здания повышенной этажности и некоторые другие.

**П1.3.** Для определения сейсмических нагрузок на неструктурные элементы здания (перегородки, стены и др.) в EN 1998-1:2004 предусмотрена следующая формула (4.25):

$$S_a = \alpha \cdot S [3(1 + z/H)/(1 + (1 - T_a/T_1)^2) - 0,5],$$

где

$\alpha$  – отношение расчетного ускорения грунта типа А,  $a_g$ , к ускорению свободного падения  $g$ ;

$S$  – коэффициент, учитывающий грунтовые условия;

$T_a$  – период колебаний по основному тону неструктурного элемента;

$T_1$  – период колебаний по основному тону здания в рассматриваемом направлении;  
 $z$  – высота расположения неструктурного элемента над уровнем фундамента.

Приведенная формула не соответствует результатам многочисленных испытаний перегородок и стен в системах зданий. Методика определения сейсмических нагрузок на неструктурные элементы, принятая в СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах», позволяет получать более реалистичные результаты.

**П1.4.** В уточнении нуждаются все эмпирические формулы, приведенные в разделе 4.3.3.2.2 и предназначенные для определения периодов колебаний зданий по основному тону.

Значения периодов колебаний зданий, определяемые по эмпирическим формулам, следует увязать:

- с конструктивными решениями зданий, типичными для Республики Казахстан;
- с наличием или отсутствием в зданиях заполнения и его типом;
- со значениями периодов колебаний зданий, определяемыми методами строительной механики.

**П1.5.** Значения периодов колебаний зданий, определяемые по эмпирическим формулам, следует также увязать с приведенными ниже положениями EN 1998-1:2004:

- В бетонных, составных сталежелезобетонных и каменных зданиях жесткость несущих элементов должна в общем случае оцениваться с учетом эффекта трещинообразования. Такая жесткость должна соответствовать переходу арматуры в состояние текучести.
- За исключением случаев, когда выполняется более точный расчет элементов с трещинами, свойства упругой податливости и жесткости на сдвиг бетонных и каменных элементов можно принять равными половине соответствующей жесткости элементов без трещин.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ответственный исполнитель,  
РГП «КазНИИССА»,  
канд. техн. наук

Все разделы

И.Е. Ицков

Соисполнители

Центр сбора и обработки  
специальной сейсмической  
информации «Института ГИ НЯЦ» РК,  
доктор физ.-мат. наук

Карты ОСЗ

Н.Н. Михайлова

ТОО «КазГИИЗ»  
канд. техн. наук

Классификация  
грунтов по  
сейсмическим  
свойствам

В.М. Белослюдцев  
В.В. Шестаков

## ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                                        | 16  |
| 1. РЕКОМЕНДАЦИИ ЕВРОКОДА 8 ПО КЛАССИФИКАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЙ .....                                                                     | 19  |
| 2. ОПИСАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ЕВРОКОДЕ 8 .....                                                                                             | 30  |
| 3. ГРАФИКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИНАМИЧНОСТИ .....                                                                                                          | 33  |
| 3.1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАПИСИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ГРУНТОВ, ПРИНЯТЫЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ОБОБЩЕННЫХ ГРАФИКОВ $\beta(T)$ .....                             | 36  |
| 3.2. ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ВЫБОРОК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ГРАФИКОВ $\beta(T)$ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ..... | 42  |
| 3.3. ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ГРАФИКОВ $\beta(T)$ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ .....                                                     | 63  |
| 3.4. ПОСТРОЕНИЕ ОБОБЩЕННЫХ ГРАФИКОВ $\beta(T)$ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ .....                                                       | 73  |
| 4. НОРМИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПОПРАВОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДЕМПФИРОВАНИЯ .....                                                                               | 76  |
| 5. КЛАССЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗДАНИЙ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ .....                                                                                | 79  |
| 6. СМЕЩЕНИЯ ГРУНТА, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРОЕКТНЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ .....                                                                        | 87  |
| 7. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА $S$ , УЧИТЫВАЮЩЕГО ГРУНТОВЫЕ УСЛОВИЯ.....                                                                                   | 96  |
| 8. СПОСОБЫ КОМБИНИРОВАНИЯ УСИЛИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ ПРИ УЧЕТЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....                                  | 99  |
| БИБЛИОГРАФИЯ.....                                                                                                                                    | 107 |

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа выполнена на основании договора № 003-3-М/4 от 23.02.2011 г. с Агентством по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Казахстан и является составной частью научно-исследовательских работ, выполняемых РГП «КазНИИССА» по республиканской бюджетной программе 003 «Совершенствование нормативно-технических документов в сфере архитектурной, градостроительной и строительной деятельности».

**Основная цель настоящей работы** – гармонизация положений, подлежащих включению в национальные нормы Республики Казахстан по сейсмостойкому строительству, с положениями Еврокода 8.

Первые национальные нормы Республики Казахстан «Строительство в сейсмических районах» были введены в действие в 1998 году. Эти нормы значительно повысили проектную антисейсмическую надежность новых зданий и сооружений, по сравнению с надежностью, соответствовавшей ранее действовавшим нормам СССР.

В последующем первые национальные нормы РК были актуализированы и в настоящее время они действуют как СНиП РК 2.03-30-2006 «Строительство в сейсмических районах».

Интеграция Казахстана в европейскую и мировую экономики сопряжена с необходимостью гармонизации его нормативной базы в области строительства с европейской нормативной базой.

В рамках настоящей работы:

- рассмотрены и проанализированы положения Еврокода 8, регламентирующие порядок определения расчетных сейсмических нагрузок на проектируемые здания и сооружения;
- разработаны положения, подлежащие включению в национальные нормы РК.

При выполнении настоящей работы учитывались положения научно-технического отчета «Разработка рекомендаций по содержанию карты сейсмического зонирования территории Республики Казахстан, соответствующей научно-методическим основам Еврокода 8 (РГП «КазНИИССА»; июнь, 2011 г.).

### Состояние вопроса

Ключевым элементом гармонизации Казахстанского и Европейского технического нормирования в строительстве является обеспечение возможности применения в Республике Казахстан Европейских норм проектирования в строительстве — Еврокодов.

Защита населения Казахстана, проживающего в сейсмически опасных районах, относится к одной из приоритетных задач государства. Мероприятия, обеспечивающие минимизацию последствий сильных землетрясений, в наиболее сконцентрированном виде содержатся в нормах по проектированию и строительству зданий и сооружений в сейсмических районах.

Составление норм, регламентирующих правила проектирования и строительства в сейсмических районах, представляет собой весьма сложную задачу, т.к. ее решение

осуществляется в условиях недостаточной полноты сейсмологической информации и ограниченности сведений о работе зданий и сооружений при реальных сейсмических воздействиях.

Большая неопределенность параметров потенциально возможных сейсмических воздействий и действительных свойств материалов и конструкций в системе зданий и сооружений, не дает полной уверенности в том, что объекты, даже запроектированные в полном соответствии с требованиями норм, будут гарантированы от неблагоприятных последствий.

Задача составления норм для сейсмоопасных регионов осложняется и другими факторами. Нормативные документы, регламентирующие правила строительства в сейсмических районах (как и строительства в обычных условиях), в известной мере, должны учитывать интересы всех участников строительного процесса (заказчиков, проектировщиков, строительных подрядчиков) и экономические возможности общества.

При составлении норм «Строительство в сейсмических районах», по сути, необходимо решить какие именно компромиссы могут быть допустимы для минимизации ущерба от возможных землетрясений при минимизации затрат на антисейсмические мероприятия.

Ответственность за «оптимальность и своевременность» этих компромиссов, несут директивные органы, вводящие в действие строительные нормы и правила, через которые осуществляется практическая реализация государственной политики, направленной на обеспечение безопасности населения и снижение уязвимости зданий и сооружений при землетрясениях.

В тоже время, приоритеты при составлении строительных норм и правил всегда должны отдаваться правам и охраняемым законом интересам потребителей строительной продукции, общества и государства.

В пояснительной записке к нормам АТС 3-06, составленным технологическим советом и ассоциацией инженеров-строителей Калифорнии (США) в 1978 г., отмечается, что: «Безопасность людей при разрушительном землетрясении является высшим соображением при проектировании зданий».

Именно на этом принципе базируются все составители современных норм, несущие, в конечном счете, полную ответственность за действенность нормативного документа, представляемого в государственные органы на утверждение.

Концепция, положенная в основу всех норм, разрабатывавшихся в течение последних тридцати с лишним лет и примиряющая, в определенной степени, интересы заказчиков, участников строительного процесса и общества, в кратком виде формулируется следующим образом.

В зданиях и сооружениях, построенных в сейсмически опасных районах, после сильного землетрясения, соответствующего по интенсивности (в баллах) сейсмичности площадки строительства, могут быть допущены остаточные деформации, трещины, повреждения отдельных элементов и т.п., затрудняющие нормальную эксплуатацию объектов, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования.

При этом подразумевается, что слабые землетрясения здания и сооружения должны переносить без повреждений, а землетрясения средней силы – без заметных

повреждений несущих конструкций, но с некоторыми повреждениями ненесущих конструкциях (например, перегородок).

Эта концепция была положена в основу положений СНиП II-7-81, действовавших на территории Республики Казахстан до 1998 года, и положений СНиП РК 2.03-30-2006, действующих в настоящее время. Присутствует эта концепция и в Еврокоде 8.

Гармонизация норм Республики Казахстан с Еврокодом 8 представляет собой комплекс задач, правильное решение которых должно не только сблизить технические законодательства Казахстана и ЕС, но и стимулировать научно-технический прогресс в сейсмостойком строительстве.

Необходимо отметить, что к настоящему времени даже странам Евросоюза не удалось достичь полной гармонизации своих норм сейсмостойкого строительства. Кардинальные различия между расчетными положениями национальных норм разных европейских стран противоречат философии Европейского экономического сообщества, но на сегодняшний день не устранены.

В полном объеме рекомендации Еврокода 8, как правило, соблюдают страны, территории которых характеризуются умеренной и низкой сейсмической опасностью или страны, не уделявшие ранее особого внимания проблемам сейсмостойкого строительства.

Большинство Европейских стран, территории которых подвержены сильным землетрясениям (например, Италия, Испания, Португалия), не принимают в своих нормах или национальных приложениях к Еврокоду 8 многие параметры, предложенные в этом документе.

Все предложения по гармонизации положений Еврокода 8 и СНиП РК 2.03-30-2006, приведенные в настоящем отчете, основаны на критическом анализе положений этих документов, результатах изучения ряда современных норм развитых стран, а также на данных, полученных в процессе исследований, проведенных в РГП «КазНИИССА» за последние годы и в рамках настоящей работы.

# 1. РЕКОМЕНДАЦИИ ЕВРОКОДА 8 ПО КЛАССИФИКАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЙ

Рекомендации Еврокода 8 по классификации поверхностных толщ грунтов по сейсмическим свойствам содержатся в п. 3.1.2 EN 1998-1:2004 «Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий».

## 3.1.2 Идентификация типов оснований

(1) Основания типа А, В, С, D и Е описаны стратиграфическими профилями и параметрами, приведенными в Таблице 3.1 и ниже. Приведенные описания могут быть использованы для оценки влияния местных грунтовых условий на особенности проявления сейсмических воздействий. Это также может быть выполнено, дополнительно принимая во внимание влияние глубокой геологии на сейсмическое воздействие.

Примечание. Схема классификации основания, рассчитанная на глубокую геологию, может быть установлена в Национальном Приложении конкретной страны, включая значения параметров  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  и  $T_D$ , устанавливающие спектры упругой реакции для горизонтальных и вертикальных воздействий согласно 3.2.2.2 и 3.2.2.3.

Таблица 1.1 (EN 1998-1:2004, таблица 3.1)

| Тип основания | Описание стратиграфического профиля                                                                                                                                                       | Параметры             |                            |                |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|
|               |                                                                                                                                                                                           | $v_{s,30}$<br>(м/с)   | $N_{SPT}$<br>(ударов/30см) | $C_u$<br>(кПа) |
| А             | Скальная или другая скальноподобная геологическая формация, содержащая не более 5 м более слабого материала у поверхности                                                                 | >800                  | -                          | -              |
| В             | Отложения очень плотного песка, гравия либо очень твердой глины, мощностью не менее нескольких десятков метров, характеризующиеся постепенным увеличением механических свойств по глубине | 360-800               | >50                        | >250           |
| С             | Глубокие отложения плотного или среднеплотного песка, гравия либо твердой глины, мощностью от нескольких десятков до многих сотен метров                                                  | 180-360               | 15-50                      | 70-250         |
| Д             | Отложения грунта, от несвязного до среднесвязного, (с некоторыми мягкими связными слоями или без них) либо преимущественно связного грунта, от мягкого до твердого                        | <180                  | <15                        | <70            |
| Е             | Профиль грунта, состоящий из поверхностного аллювиального слоя со значениями $v_s$ типа С или D и мощностью от 5 м до 20 м, под которым залегает более жесткий материал с $v_s > 800$ м/с |                       |                            |                |
| $S_1$         | Отложения, состоящие или содержащие слой мощностью не менее 10 м либо мягкие глины/илы с высоким показателем пластичности ( $PI > 40$ ) и высоким содержанием воды                        | <100<br>(индикативно) | -                          | 10-20          |

*продолжение*

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |  |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| $S_2$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Отложения способных к разжижению грунтов, чувствительных глин или любые другие грунтовые профили, не включенные в типы А – Е или $S_1$ . |  |  |  |
| <p>(2) Площадка должна быть классифицирована по значению средней скорости поперечной волны <math>v_{s,30}</math>, если это возможно. В противном случае должно быть использовано значение <math>N_{SPT}</math>.</p> <p>(3) Средняя скорость поперечной волны <math>v_{s,30}</math> должна быть вычислена согласно выражению:</p> $v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} \quad (3.1)$ <p>где <math>h_i</math> и <math>v_i</math> означают толщину (в метрах) и скорость распространения поперечной волны (с уровнем деформаций сдвига <math>10^{-5}</math> или меньше) для <math>i</math>-й формации или слоя из общего числа <math>N</math> слоёв, присутствующих по глубине 30м.</p> <p>(4) Для площадок с особыми типами грунтов <math>S_1</math> или <math>S_2</math> требуются специальные исследования для определения сейсмического воздействия. Для этих типов грунтов и, в частности, для <math>S_2</math> должно приниматься во внимание возможность их разрушения при сейсмическом воздействии.</p> <p>Примечание. Особое внимание следует уделять грунтам типа <math>S_1</math>. Такие грунты обычно имеют очень низкое значение <math>v_s</math>, низкое внутреннее затухание и аномально широкую область линейного поведения и поэтому могут вызывать аномальное усиление сейсмического воздействия на площадке и эффекта взаимодействия грунта и конструкции (см. раздел 6 EN 1998-5:2004). В этом случае должно быть выполнено специальное исследование по определению параметров сейсмического воздействия для выявления зависимости спектра реакции от толщины мягкого слоя глины/отложения, значения <math>v_s</math>, а также от разницы жесткостей этого слоя и подстилающих слоев.</p> |                                                                                                                                          |  |  |  |

Из табл. 3.1 EN 1998-1:2004 видно, что описание свойств грунтов, образующих поверхностные грунтовые толщи, носит в EN 1998-1:2004 весьма общий характер.

В качестве наиболее надежного показателя сейсмических свойств площадок строительства предлагается рассматривать значения средних скоростей распространения поперечных волн в верхних 30-метровых поверхностных толщах (пункт 4.2.2(4)Р EN 1998-5:2009 и пункт 3.1.2(2) EN 1998-1:2004). Применение для оценки сейсмических свойств стратиграфических профилей грунта значений  $V_{s,30}$  основано на корреляции фазовых скоростей волн Релея и скоростей распространения поперечных волн в 30-метровой поверхностной толще.

В качестве дополнительных показателей в табл. 3.1 EN 1998-1:2004 приведены показатели испытаний грунтов на пенетрацию ( $N_{SPT}$  – количество ударов при стандартном испытании на погружение) и значения недренированной прочности на сдвиг ( $C_U$ ) связных грунтов.

Использование для классификации площадок строительства результатов испытаний грунтов на пенетрацию (значений  $N_{SPT}$ ) допускается при отсутствии данных о значениях  $V_{s,30}$ .

В EN 1998-1:2004 нет указаний о том, на каких глубинах от дневной поверхности Земли должны определяться значения  $N_{SPT}$  и  $C_U$ . В нормах некоторых стран (например, Италии) значения  $N_{SPT}$  и  $C_U$  следует определять как средние для верхней 30-метровой толщи (выражений 1.1 и 1.2)

$$N_{SPT,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}} \quad (1.1) \quad C_{U,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,K} \frac{h_i}{C_{U,i}}} \quad (1.2)$$

Классификация поверхностных грунтовых толщ по сейсмическим свойствам, рекомендованная в EN 1998-1:2004, кардинально отличается от классификации, принятой в СНиП РК 2.03-30-2006 (табл. 1.2).

Таблица 1.2 (СНиП РК 2.-3-30-2006, таблица 4.1)

| Категория грунта по сейсмическим свойствам | Грунты                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                                          | Скальные грунты всех видов неветрелые и слабоветрелые (коэффициент выветрелости не более 0,5); крупнообломочные грунты преимущественно из магматических пород (более 70%), плотные (плотность грунта $\rho \geq 2,2$ т/м <sup>3</sup> ), содержащие до 30% песчано-глинистого заполнителя, неводонасыщенные.<br>Скорость распространения поперечных волн $V_s \geq 650$ м/с.                                                                                                                                                                                     |
| II                                         | Скальные грунты ветрелые и сильноветрелые (коэффициент выветрелости более 0,5), кроме отнесенных к категории I; крупнообломочные грунты, кроме отнесенных к категории I; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глин и суглинков и $e < 0,7$ - для супесей.<br>Скорость распространения поперечных волн $V_s$ от 250 до 650 м/с.  |
| III                                        | Пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности водонасыщенные; пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности, а также пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,5$ , независимо от коэффициента пористости; глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ – для глин и суглинков, и $e \geq 0,7$ – для супесей.<br>Скорость распространения поперечных волн $V_s \leq 250$ м/с. |

В нормах РК грунтовые профили подразделяются по сейсмическим свойствам только на три категории, а среди показателей свойств грунтов отсутствуют такие показатели как  $N_{SPT}$  и  $C_U$ .

Необходимо отметить, что данные о значениях показателей  $N_{SPT,30}$  и  $C_{U,30}$  в настоящее время в РК отсутствуют полностью.

Для проверки возможности применения в сейсмических зонах РК классификации, рекомендуемой EN 1998-1:2004, были изучены имеющиеся экспериментальные данные о скоростях распространения поперечных волн в поверхностных 30-метровых толщах грунтов, типичных для Алматинского региона. Количество этих данных крайне незначительно для проведения детального статистического анализа, но предварительные выводы на их основании могут быть сделаны.

Измерения скоростей распространения поперечных волн в поверхностных толщах грунтов и изучение геологического строения этих толщ проводились специалистами ТОО «КазГИИЗ» и ДГП «Институт геофизических исследований» РГП «Национальный ядерный центр» РК. Обработка и интерпретация результатов измерения скоростей осуществлялась в РГП «КазНИИССА».

Данные о строении поверхностных толщ грунтов, отнесенных в соответствии с табл. 1.2 к грунтам категории I, и о скоростях распространения поперечных волн в этих толщах представлены на рис. 1.1-1.8 и в таблице 1.3.

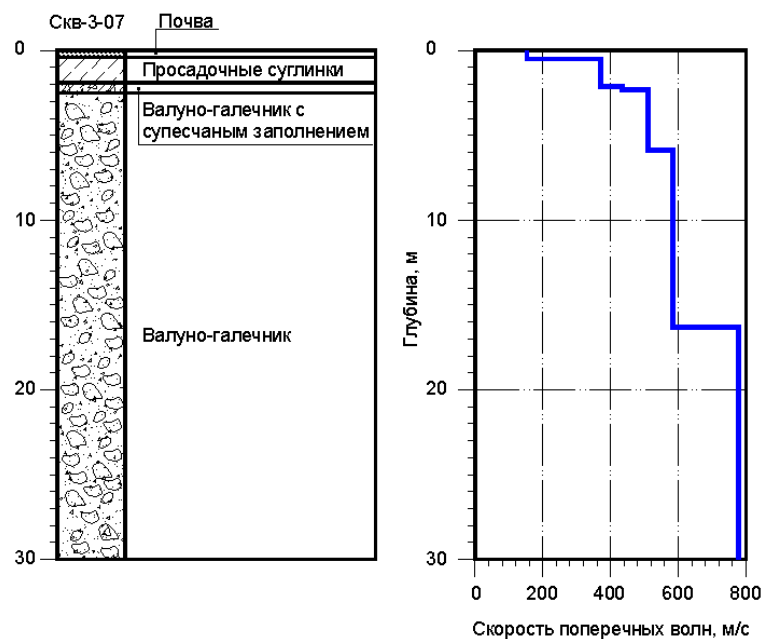


Рис. 1.1. Скорость распространения поперечных волн в 30-метровой поверхностной толще грунтов площадки №2

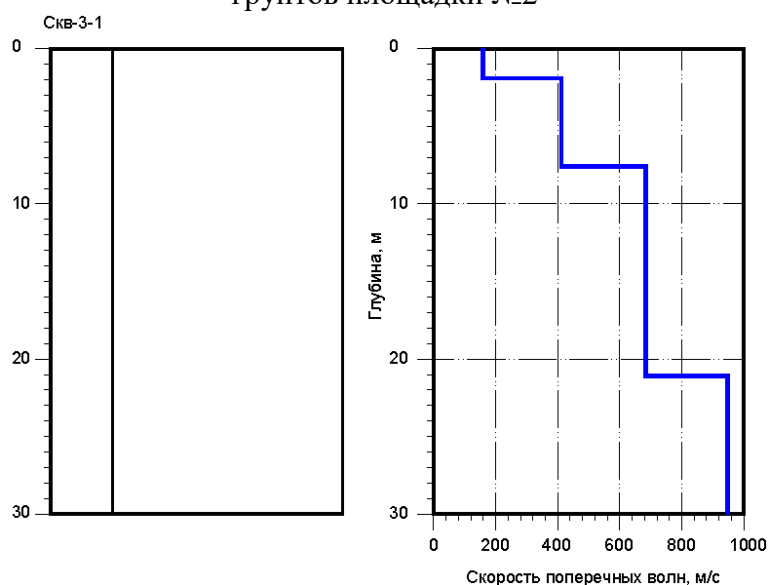


Рис. 1.2. Скорость распространения поперечных волн в 30-метровой поверхностной толще грунтов площадки №3

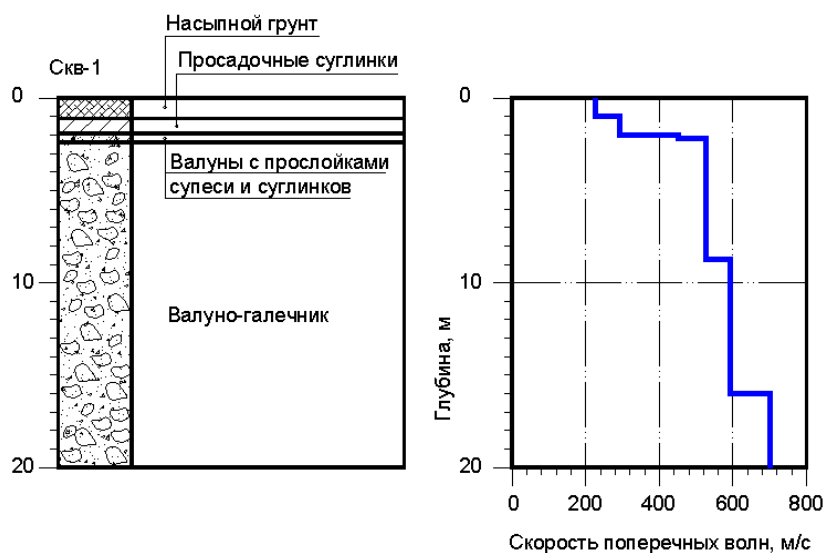


Рис. 1.3. Скорость распространения поперечных волн в 20-метровой поверхностной толще грунтов площадки №4

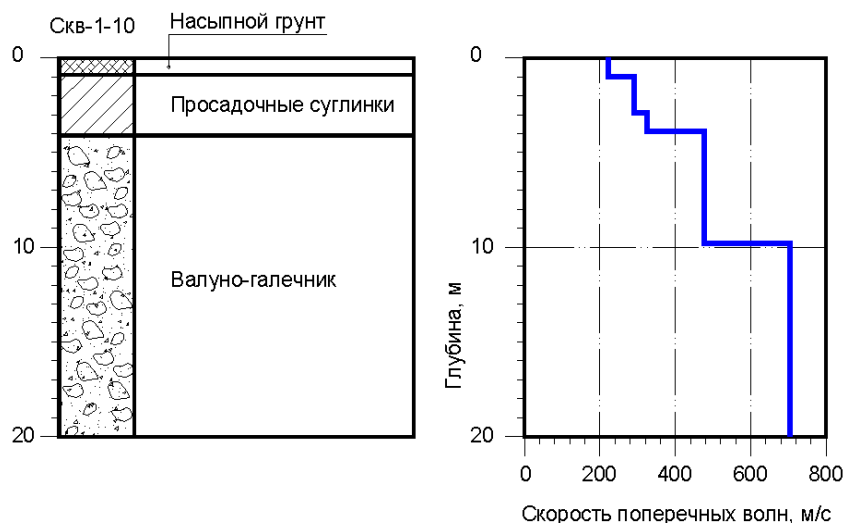


Рис. 1.4. Скорость распространения поперечных волн в 20-метровой поверхностной толще грунтов площадки №5

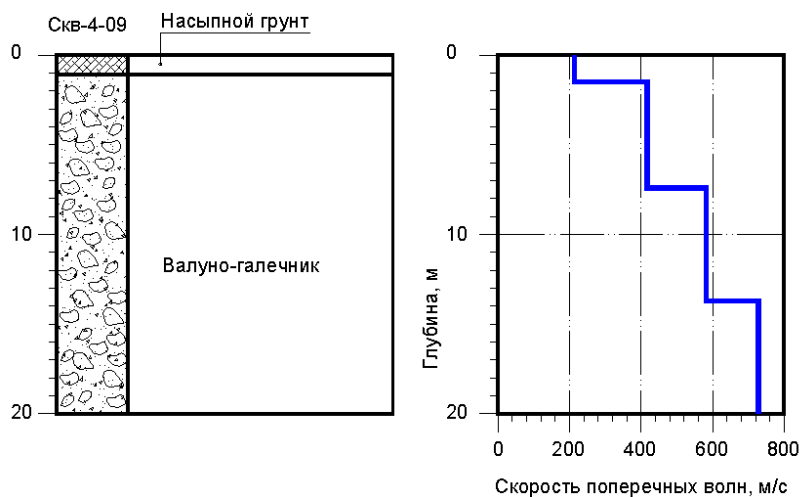


Рис. 1.5. Скорость распространения поперечных волн в 20-метровой поверхностной толще грунтов площадки №6

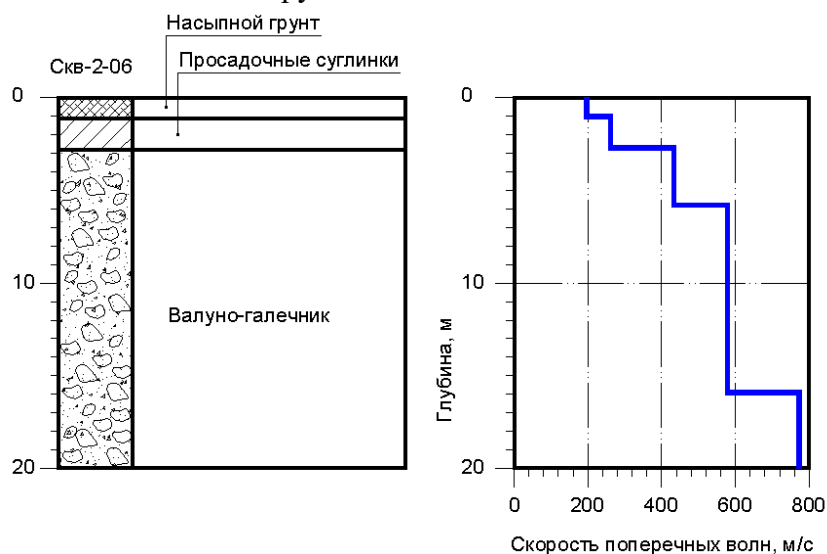


Рис. 1.6. Скорость распространения поперечных волн в 20-метровой поверхностной толще грунтов площадки №7

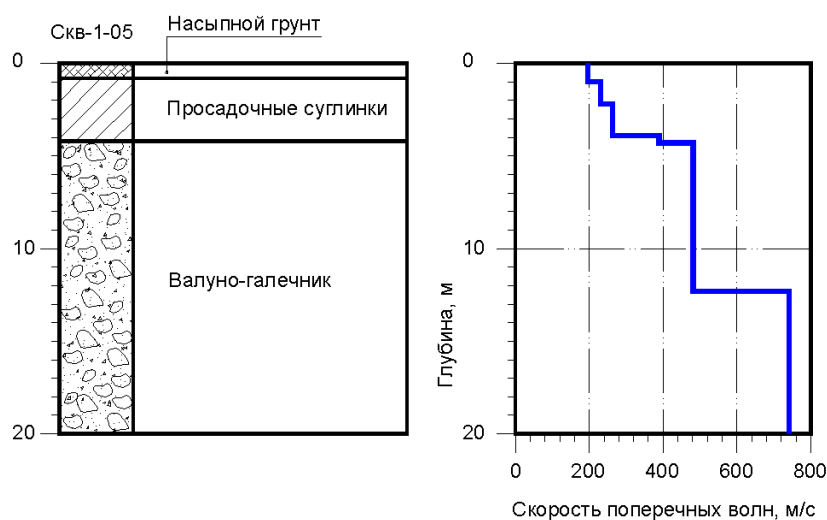


Рис. 1.7. Скорость распространения поперечных волн в 20-метровой поверхностной толще грунтов площадки №8

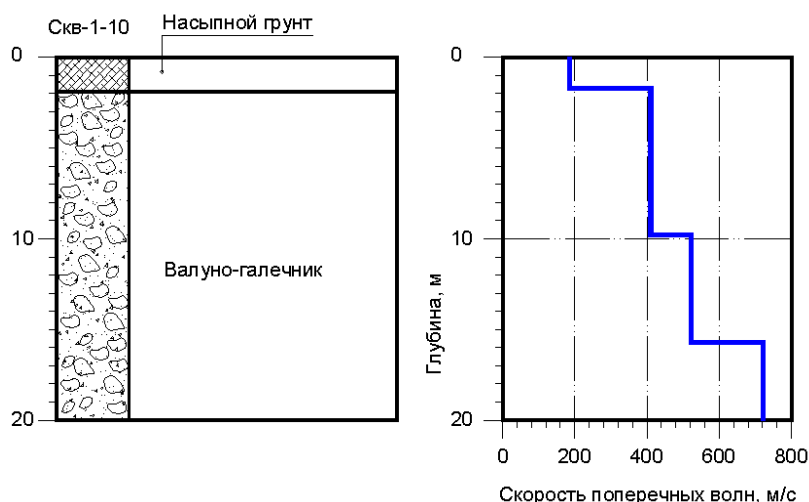


Рис. 1.8. Скорость распространения поперечных волн в 30-метровой поверхностной толще грунтов площадки №9

Таблица 1.3

| № площадки | Расположение площадки                     | Скорости распространения поперечных волн |                  |                  |
|------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|------------------|------------------|
|            |                                           | $V_{S,10}$ (м/с)                         | $V_{S,20}$ (м/с) | $V_{S,30}$ (м/с) |
| 1          | Сев. пр. Аль-Фараби, зап. р. Есентай      | 477                                      | 592              | 663              |
| 2          | Южнее пр. Аль-Фараби, зап. р. Есентай     | 386                                      | 531              | 593              |
| 3          | Сев. пр. Аль-Фараби, вост. ул. Сейфуллина | 337                                      | 441              | 532              |
| 4          | Пр. Аль-Фараби, уг. ул. Водозаборная      | 437                                      | 517              | 580-610*         |
| 5          | Пр. Абая, уг. ул. Мирзояна                | 370                                      | 487              | 560-580*         |
| 6          | Пр. Абая, 159                             | 390                                      | 492              | 560-590*         |
| 7          | Ул. Бухар Жирау, вост. р. Есентай         | 386                                      | 482              | 550-580*         |
| 8          | Ул. Толе би, восточнее ул. Яссауи         | 337                                      | 470              | 542-570*         |
| 9          | Ул. Алимжанова, 51                        | 331                                      | 433              | 510-530*         |

Примечание. \* — отмеченные значения  $V_{S,30}$  получены путем экстраполяции экспериментальных данных. При экстраполяции значения скорости распространения поперечных волн в нижнем 10-метровом слое 30-метровой толщи принимались от 770 до 950 м/с, что соответствует результатам измерений скоростей в 30-метровых толщах.

Данные о строении поверхностных толщ грунтов, отнесенных в соответствии с табл. 1.2 к грунтам категорий II и III, и скоростях распространения поперечных волн в этих толщах представлены на рис. 1.9 и 1.10 соответственно и в таблице 1.4.

Из представленных данных следует, что средние скорости распространения поперечных волн в 30-метровых толщах грунтов, отнесенных в СНиП РК 2.03-30-2006 к категории I по сейсмическим свойствам, как правило, находятся в пределах 550-650 м/с и лишь на некоторых площадках могут несколько превышать 650 м/с.

В соответствии с количественными значениями  $V_{S,30}$ , приведенными в табл. 1.1, поверхностные толщи со скоростями распространения поперечных волн 550-600 м/с относятся к стратиграфическим профилям типа В. К этому же типу профиля относятся

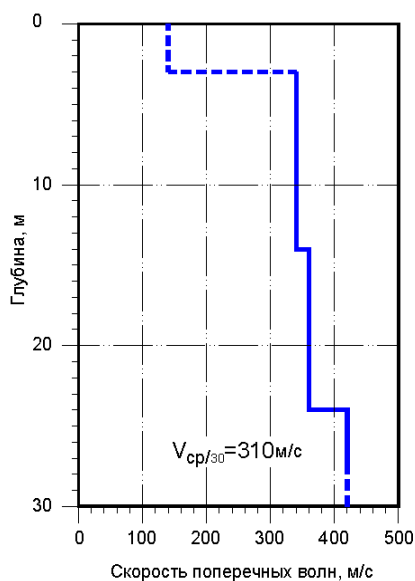
грунтовые толщи со скоростями распространения поперечных волн 600-800м/с и 360-550 м/с.

Столь широкий диапазон значений скоростей  $V_{S,30}$  (от 360 до 800 м/с), соответствующих одному типу грунта по сейсмическим свойствам, вызвал обоснованные сомнения, потребовавшие проведения соответствующих исследований.

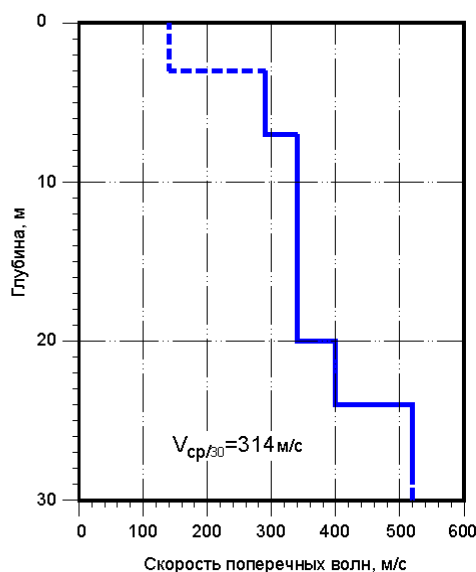
В процессе исследований было установлено, что обобщенные графики коэффициентов динамичности  $\beta(T)$ , построенные для стратиграфических профилей со скоростями  $V_{S,30}$ :

- 800...550 м/с – кардинально отличаются от графиков  $\beta(T)$ , построенных для стратиграфических профилей со скоростями  $V_{S,30}$  равными 360...550 м/с;
- 550...360 м/с – практически совпадают с графиками  $\beta(T)$ , построенными для стратиграфических профилей со скоростями  $V_{S,30}$  равными  $V_{S,30}$  275...550 м/с.

Скв.1



Скв.2



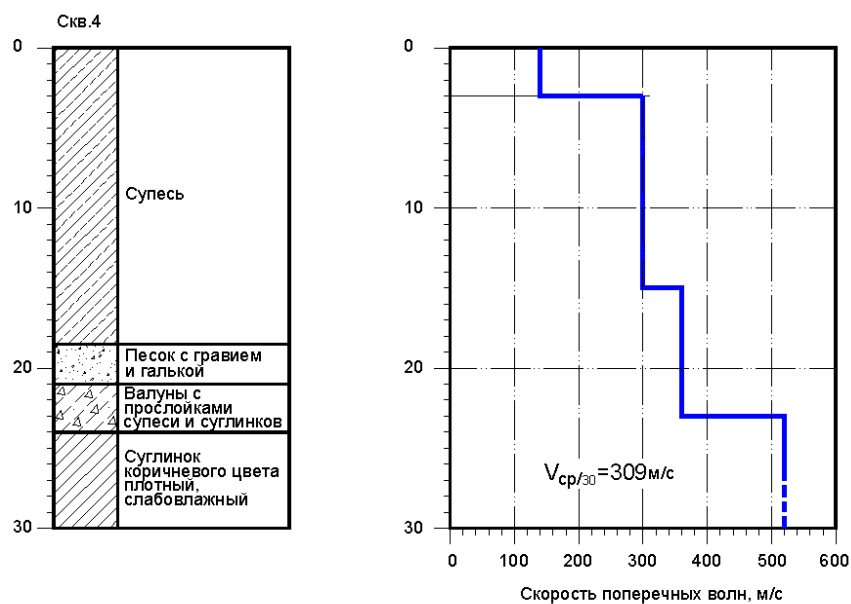


Рис. 1.9. Скорость распространения поперечных волн в 30-метровой поверхностной толще грунтов вблизи площадки ТЭЦ-2

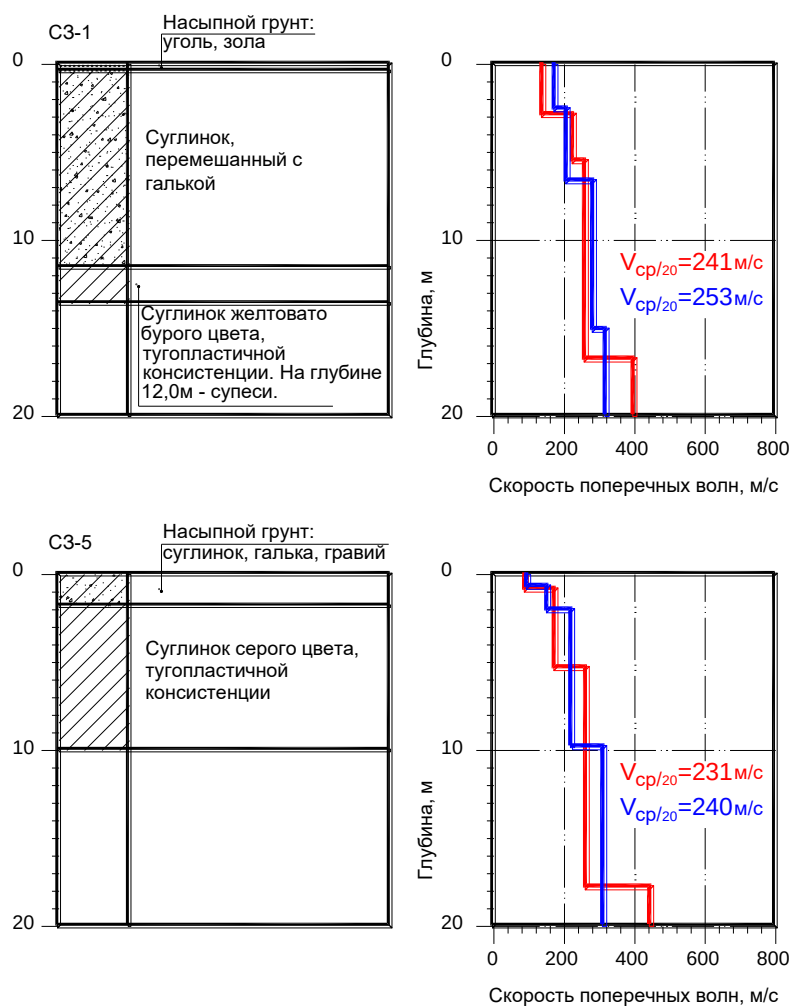


Рис. 1.10. Скорость распространения поперечных волн в 20-метровой поверхностной толще грунтов вблизи площадки ТЭЦ-1

Таблица 1.4

| Расположение площадки | Скважина | Скорости распространения поперечных волн |                  |                  |
|-----------------------|----------|------------------------------------------|------------------|------------------|
|                       |          | $V_{S,10}$ (м/с)                         | $V_{S,20}$ (м/с) | $V_{S,30}$ (м/с) |
| ТЭЦ-2                 | Скв. 1   | 238                                      | 284              | 310              |
|                       | Скв. 2   | 227                                      | 272              | 314              |
|                       | Скв. 4   | 223                                      | 265              | 309              |
| ТЭЦ-1                 | СЗ-1(X)  | 204                                      | 241              | 277-285*         |
|                       | СЗ-1(Y)  | 217                                      | 253              | 272-289*         |
|                       | СЗ-5(X)  | 193                                      | 231              | 267-277*         |
|                       | СЗ-5(Y)  | 195                                      | 240              | 261-284*         |

Примечание. \* — отмеченные значения  $V_{S,30}$  получены путем экстраполяции экспериментальных данных. При вычислении первого значения  $V_{S,30}$  скорость распространения поперечных волн  $V_S$  в нижнем 10-метровом слое 30-метровой толщи принималась равной значению  $V_S$  на глубине 20 м; при вычислении второго значения  $V_{S,30}$  величина  $V_S$  в нижнем 10-метровом слое принималась равной 450 м/с.

Исходя из имеющихся данных специалистами ТОО «КазГИИЗ», РГП «Национальный ядерный центр» и РГП «КазНИИССА» предложена классификация грунтов по сейсмическим свойствам, приведенная в табл. 1.5.

Примечание. Экспериментальные данные о скоростях распространения поперечных волн в стратиграфических профилях категорий II и III, в настоящее время малочисленны. Выводы, сделанные на их основании, в последующем, возможно, потребуют уточнения.

Таблица 1.5

| Категория стратиграфического профиля по сейсмическим свойствам | Грунты стратиграфического профиля (описательные данные)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Параметры                                        |              |            |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|------------|
|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $V_{S,30}$ (м/с)                                 | $N_{SPT,30}$ | $C_{U,30}$ |
| IA                                                             | Скальные грунты всех видов неветрелые или слабоветрелые с маломощным (до 5 м) покровом рыхлых отложений.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $V_{S,30} \geq 800$                              | -            | -          |
| IB                                                             | Скальные грунты всех видов неветрелые или слабоветрелые с маломощным (до 5 м) покровом рыхлых отложений, кроме отнесенных к категории IA. Скальные грунты выветрелые (обломочная зона) с маломощным покровом (до 5 м) рыхлых отложений. Крупнообломочные грунты преимущественно из магматических пород (более 70%), плотные (плотность грунта $\rho \geq 2,2$ т/м <sup>3</sup> , содержание песчано-глинистого заполнителя до 30%, перекрытые маломощным покровом (до 5,0 м) рыхлых отложений | $V_{S,10} \geq 350$<br>$550 \leq V_{S,30} < 800$ |              |            |

продолжение

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                  |                                                                  |                                                                  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| II  | <p>Скальные грунты выветрелые (обломочная зона) с маломощным покровом (до 5 м) рыхлых отложений, кроме отнесенных к категории IB. Крупнообломочные грунты преимущественно из магматических пород (более 70%), плотные (плотность грунта <math>\rho \geq 2,2</math> т/м<sup>3</sup>, содержание песчано-глинистого заполнителя до 30%, перекрытые маломощным покровом (до 5,0 м) рыхлых отложений, кроме отнесенных к категории IB. Скальные грунты сильновыветрелые; крупнообломочные грунты преимущественно из осадочных пород (более 70%) не зависимо от содержания заполнителя.</p> <p>Крупнообломочные грунты всех видов с содержанием заполнителя более 30%.</p> <p>Пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные независимо от степени водонасыщения. Пески крупные и средней крупности средней плотности малой и средней степени водонасыщения. Пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности, малой степени водонасыщения.</p> <p>Глинистые грунты с показателем текучести <math>\leq 0,5</math> при коэффициенте пористости <math>e &lt; 0,9</math> – для глин и суглинков и <math>e &lt; 0,7</math> – для супесей.</p> | $V_{S,10} \geq 250$<br>$270 \leq V_{S,30} < 550$ | До проведения специальных исследований показатель не применяется | До проведения специальных исследований показатель не применяется |
| III | <p>Пески рыхлые независимо от степени водонасыщения и крупности. Пески крупные и средней крупности средней плотности водонасыщенные. Пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности средней степени водонасыщения и водонасыщенные.</p> <p>Глинистые грунты с показателем текучести <math>&gt; 0,5</math> независимо от значения коэффициента пористости. Глинистые грунты с показателем текучести <math>\leq 0,5</math> при значении коэффициента пористости <math>e \geq 0,9</math> – для глин и суглинков, и <math>e \geq 0,7</math> – для супесей.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $V_{S,10} < 250$<br>$V_{S,30} < 270$             | До проведения специальных исследований показатель не применяется | До проведения специальных исследований показатель не применяется |

Примечания: 1. При оценке сейсмических свойств грунтов, находящихся в водонасыщенном состоянии, следует использовать описательные данные.

2. В случае отсутствия данных о значениях показателя текучести или влажности глинистых грунтов, стратиграфические профили при уровне грунтовых вод выше 5 м относятся к III категории по сейсмическим свойствам.

3. При прогнозировании подъема уровня грунтовых вод и обводнения грунтов категорию грунта следует определять в зависимости от свойств грунта в замоченном состоянии.

4. Стратиграфические профили могут быть отнесены к категориям IB и II, если оба экспериментально установленных значения скорости распространения поперечных волн в поверхностной толще –  $V_{S,10}$  и  $V_{S,30}$  – не менее значений, указанных в табл. 1.4.

5. Если один из показателей экспериментально установленных значений скорости распространения поперечных волн в поверхностной толще –  $V_{S,10}$  или  $V_{S,30}$  – имеет значение меньше, чем указанное в табл. 1.4, то стратиграфический профиль следует относить к категории более неблагоприятной по сейсмическим свойствам.

В предложенной классификации:

- выделена категория грунта (IA); грунт этой категории будет принят в качестве «эталонного» при составлении карт общего сейсмического зонирования территории Республики Казахстан;
- выделена категория грунта (IB), которая охватывает практически все типа жестких и прочных грунтов, типичных для сейсмоопасных регионов Казахстана;
- достаточно четко разделены грунты категорий II и III по сейсмическим свойствам.

Более детальная классификация грунтов по сейсмическим свойствам может быть дана в специальных нормативных документах по проведению изысканий на площадках строительства и при сейсмическом микрозонировании.

## 2. ОПИСАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ЕВРОКОДЕ 8

В рамках EN 1998 движение поверхности грунта (основания) при землетрясении описывается спектром реакции в ускорениях, построенным в предположении линейно-упругого деформирования систем с одной степенью свободы – далее «спектр упругой реакции».

В соответствии с пунктом (1)P EN 1998-1:2004 спектр упругой реакции  $S_e(T)$  для горизонтальных составляющих сейсмического воздействия определяется следующими выражениями (см. рис. 1.1):

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (2.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (2.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (2.3)$$

$$T_D \leq T \leq 4c : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (2.4)$$

где:

$S_e(T)$  – спектр упругой реакции;

$T$  – период колебаний линейной системы с одной степенью свободы;

$a_g$  – проектное ускорение грунта типа грунта A ( $a_g = \gamma_I a_{gR}$ );

$T_B$  – нижний предел периода на постоянном участке графика спектральных ускорения;

$T_C$  – верхний предел периода на постоянном участке графика спектральных ускорений;  
 $T_D$  – величина, определяющее начало диапазона постоянных смещений спектра реакции;  
 $S$  – коэффициент, характеризующий тип грунта;  
 $\eta$  – показатель коррекции затухания; для 5%-го вязкого затухания  $\eta = 1$ .

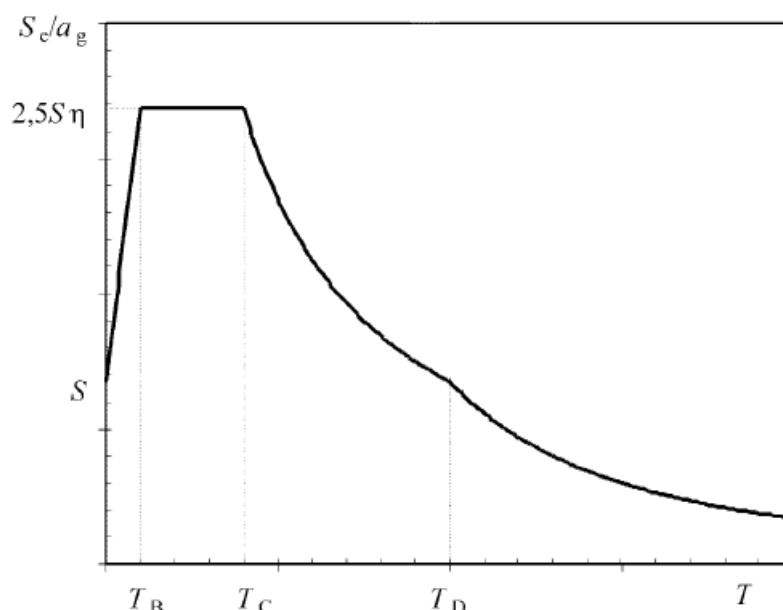


Рис. 2.1. Спектр упругой реакции для горизонтальных сейсмических воздействий

Спектр упругой реакции  $S_{ve}(T)$  для вертикальных составляющих сейсмического воздействия определяется в EN 1998-1:2004 из выражений:

$$0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right] \quad (2.5)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \quad (2.6)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot 3,0 \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (2.7)$$

$$T_D \leq T \leq 4c : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (2.8)$$

Стандарт EN 1998-1:2004 рекомендует использовать два типа спектров реакции: Тип 1 и Тип 2. Если землетрясения, представляющие наибольшую сейсмическую опасность, имеют магнитуду поверхностных волн  $M_s$  более 5,5, то рекомендуется принять спектр Типа 1. Если землетрясения, представляющие наибольшую сейсмическую опасность имеют магнитуду поверхностных волн  $M_s$  не более 5,5, то рекомендуется принять спектр Типа 2.

Значения периодов  $T_B$ ,  $T_C$  и  $T_D$  и показатель свойств грунта  $S$ , описывающие формы спектров реакции для горизонтальных сейсмических воздействий, зависят от типа грунта. Для пяти типов грунта А, В, С, D и Е рекомендованные значения параметров  $S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  и  $T_D$  даны:

- для спектра Типа 1 – в табл. 2.1;
- для спектра Типа 2 – в табл. 2.2.

Таблица 2.1. Рекомендуемые значения параметров, описывающих спектры упругой реакции Типа 1 для горизонтальных составляющих сейсмического воздействия

| Тип грунта | $S$  | $T_B(s)$ | $T_C(s)$ | $T_D(s)$ |
|------------|------|----------|----------|----------|
| <b>A</b>   | 1,0  | 0,15     | 0,4      | 2,0      |
| <b>B</b>   | 1,2  | 0,15     | 0,5      | 2,0      |
| <b>C</b>   | 1,15 | 0,20     | 0,6      | 2,0      |
| <b>D</b>   | 1,35 | 0,20     | 0,8      | 2,0      |
| <b>E</b>   | 1,4  | 0,15     | 0,5      | 2,0      |

Таблица 2.2. Рекомендуемые значения параметров, описывающих спектры упругой реакции Типа 2 для горизонтальных составляющих сейсмического воздействия

| Тип грунта | $S$  | $T_B(s)$ | $T_C(s)$ | $T_D(s)$ |
|------------|------|----------|----------|----------|
| <b>A</b>   | 1,0  | 0,05     | 0,25     | 1,2      |
| <b>B</b>   | 1,35 | 0,05     | 0,25     | 1,2      |
| <b>C</b>   | 1,5  | 0,10     | 0,25     | 1,2      |
| <b>D</b>   | 1,8  | 0,10     | 0,30     | 1,2      |
| <b>E</b>   | 1,6  | 0,05     | 0,25     | 1,2      |

Значения параметров спектров реакции для вертикальных сейсмических воздействий, не зависят от типа грунта. Рекомендованные значения параметров  $T_B$ ,  $T_C$  и  $T_D$  спектров реакции вертикальных сейсмических воздействий приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Рекомендуемые значения параметров, описывающих спектры упругой реакции Типа 1 и Типа 2 для вертикальных составляющих сейсмического воздействия

| Спектр       | $a_{vg}/a_g$ | $T_B(s)$ | $T_C(s)$ | $T_D(s)$ |
|--------------|--------------|----------|----------|----------|
| <b>Тип 1</b> | 0,90         | 0,05     | 0,15     | 1,0      |
| <b>Тип 2</b> | 0,45         | 0,05     | 0,15     | 1,0      |

В национальное приложение, если принята во внимания глубокая геология, могут быть включены спектры реакции, отличающиеся от спектров, рекомендованных в EN 1998-1:2004.

Значение показателя коррекции затухания  $\eta$  может быть определено из выражения:

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55 \quad (2.9)$$

Для удобства сопоставления показателей, используемых для определения расчетных сейсмических нагрузок на здания и сооружения в Еврокоде 8 и действующих нормах Республики Казахстан, опишем спектры упругой реакции  $S_e(T)$  и  $S_{em}(T)$  выражениями:

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \beta(T) \quad (2.10)$$

$$S_{ev}(T) = a_{vg} \cdot \beta(T) \quad (2.11)$$

где:

$\beta(T)$  – коэффициент динамичности;

$a_g$  – проектное ускорение грунта типа A ( $a_g = \gamma_I a_{gR}$ );

$a_{gR}$  – референтное пиковое ускорение грунта типа A в горизонтальном направлении;

$a_{vg}$  – проектное ускорение грунта в вертикальном направлении;

$\gamma_I$  – показатель ответственности здания или сооружения;  
 $S$  – коэффициент, характеризующий тип грунта.

Значения коэффициента динамичности  $\beta_h(T)$  для горизонтальных и вертикальных сейсмических воздействий, при  $\eta=1$ , могут быть определены из выражений 2.12 – 2.15:

$$0 \leq T \leq T_B : \beta_h(T) = 1 + (\beta_{h\max} - 1,0) \cdot \frac{T}{T_B} \quad (2.12)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \beta_h(T) = \beta_{h\max} \quad (2.13)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \beta_h(T) = \beta_{h\max} \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (2.14)$$

$$T_D \leq T \leq 4c : \beta_h(T) = \beta_{h\max} \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (2.15)$$

Принятые изменения в описаниях спектров упругой реакции  $S_e(T)$  и  $S_{em}(T)$  не влияют на конечные результаты их вычислений, но позволяют сопоставить параметры расчетных сейсмических воздействий, рекомендованные в Еврокоде 8, с параметрами, принятыми в действующих нормах Республики Казахстан.

### 3. ГРАФИКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИНАМИЧНОСТИ

Исследования спектров реакции сейсмических воздействий начались в середине 20-х годов прошлого века и продолжаются в настоящее время.

Основы теории описания сейсмических воздействий на здания и сооружения с помощью спектров реакции были заложены в трудах зарубежных ученых К. Сюзхиро, Х. Беньоффа, М. Био, Д. Хадсона, Г. Хаузнера, Н. Ньюмарка и др. В СССР подобным исследованиям были посвящены работы К.С. Завриева, Б.К. Карапетяна, И.Л. Корчинского, С.В. Медведева, А.Г. Назарова, Ш.Г. Напетваридзе, С.В. Полякова, А.П. Синицина, Э.Е. Хачияна, В.В. Штенберга и многих других.

Термины «коэффициент динамичности» и «график коэффициентов динамичности» ввел в расчетные положения норм по сейсмостойкому строительству И.Л. Корчинский. Под коэффициентом динамичности И.Л. Корчинский предложил понимать безразмерный коэффициент, характеризующий динамический эффект сейсмического воздействия на реакцию осциллятора с заданными значениями периода собственных колебаний и затухания.

В нормах СССР коэффициент динамичности трактовался как отношение максимального ускорения осциллятора к максимальному ускорению основания, а график коэффициентов динамичности  $\beta(T)$  – как изображение безразмерного спектра, полученного делением абсолютных значений ординат спектра реакции в ускорениях на максимальное значение ускорений основания.

В некоторых нормах стран СНГ и во многих зарубежных нормах вместо термина «график коэффициентов динамичности» используется термин «нормализованный спектр воздействия», под которым понимается безразмерный спектр реакции, ординаты которого нормализованы по максимальному ускорению основания  $A_{\max}=1$ .

Разные термины, применяемые по отношению к безразмерным спектрам, не влияют на их смысл и результаты построения. В обоих случаях безразмерные спектры

характеризуют соотношения максимальных амплитуд ускорений сейсмических колебаний осцилляторов и основания как функцию периодов собственных колебаний осцилляторов. Иначе говоря, они показывают распределение модулей максимальных ускорений осцилляторов по периодам  $T$ .

С прикладной точки зрения концепция определения расчетных сейсмических нагрузок с помощью коэффициентов динамичности вполне оправдана и согласуется с положениями ряда нормативных документов (например, СНиП «Нагрузки и воздействия»), предусматривающих возможность замены инерционных сил, возникающих в сооружениях при динамических воздействиях, условными статическими нагрузками.

График коэффициентов динамичности  $\beta(T)$ , построенный И.Л. Корчинским на основании ряда теоретических допущений и в условиях крайне ограниченного количества инструментальных данных, был более полувека назад включен в СН 8-57 «Нормы и правила строительства в сейсмических районах».

В СНиП II-A.12-69 «Строительство в сейсмических районах» этот график был несколько скорректирован, а в СНиП II-7-81 заменен тремя графиками, каждый из которых соответствовал определенной категории грунтов по сейсмическим свойствам.

Дифференциация графиков коэффициентов динамичности по грунтовым условиям, безусловно, явилась важнейшим шагом в развитии теории сейсмостойкости и практики проектирования. Однако параметры графиков  $\beta(T)$ , включенных в СНиП II-7-81, основывались не столько на фактических данных о сейсмических воздействиях, сколько на необходимости сохранения преемственности между старыми и новыми нормами в части уровня расчетных сейсмических нагрузок на проектируемые объекты и минимизации затрат на их антисейсмическое усиление. По этим причинам графики  $\beta(T)$ , принятые в СНиП II-7-81 для грунтов категорий I и II по сейсмическим свойствам, мало отличались от графика  $\beta(T)$ , принятого в СНиП II-A.12-69.

В национальных нормах стран СНГ, разрабатывавшихся в новых экономических условиях и при наличии более обширной инструментальной и макросейсмической информации, эта преемственность была нарушена – графики коэффициентов динамичности существенно видоизменились.

Параметры графиков  $\beta(T)$ , принятых в нормах, действовавших и действующих на территории Республики Казахстан, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

| Наименование норм    | Период действия норм    | Значения коэффициентов $\beta(T)$ для категорий грунтов по сейсмическим свойствам |                                            |                                            |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                      |                         | I                                                                                 | II                                         | III                                        |
| СН 8-57              | 09.08.1957 - 01.03.1963 | $\beta=0,9/T \quad 3 \geq \beta \geq 0,6$                                         |                                            |                                            |
| СНиП II-A.12-62      | 01.03.1963 - 01.07.1970 |                                                                                   |                                            |                                            |
| СНиП II-A.12-69      | 01.07.1970 - 01.01.1982 | $\beta=1/T \quad 3 \geq \beta \geq 0,8$                                           |                                            |                                            |
| СНиП II-7-81         | 01.01.1982 - 01.07.1998 | $\beta=1/T$<br>$3 \geq \beta \geq 0,8$                                            | $\beta=1,1/T$<br>$2,7 \geq \beta \geq 0,8$ | $\beta=1,5/T$<br>$2 \geq \beta \geq 0,8$   |
| СНиП РК В.1.2-4-98   | 01.07.1998 - 01.03.2002 | $\beta=1,2/T$<br>$2,5 \geq \beta \geq 0,8$                                        | $\beta=1,8/T$<br>$2,5 \geq \beta \geq 1,0$ | $\beta=2,4/T$<br>$2,5 \geq \beta \geq 1,2$ |
| СНиП РК 2.03-04-2001 | 01.03.2002 – 01.07.2006 |                                                                                   |                                            |                                            |
| СНиП РК 2.03-30-2006 | 01.07.2006 -            |                                                                                   |                                            |                                            |

Графики коэффициентов динамичности, содержащиеся в современных нормах, обычно базируются на довольно обширных мировых данных и распространяются на крупные административно-территориальные единицы (страна, департамент) или даже на крупные географические районы Земли.

Принятые в строительных нормах графики  $\beta(T)$  (или спектры реакции) не характеризуют все аспекты вероятностной природы сейсмических воздействий на каждой конкретной строительной площадке и не предназначены для этого. Гипотетическую возможность проявления на конкретной строительной площадке различного рода локальных эффектов и возникновения экстремальных ситуаций при необходимости следует учитывать путем применения в соответствующих расчетах региональных моделей сейсмических воздействий, имеющих обоснованные отличия от стандартных.

Создание региональных моделей сейсмического воздействия является возможным в тех случаях, когда для конкретного региона (желательно для каждой строительной площадки) достаточно надежно выявлены основные сейсмогенерирующие зоны, спрогнозированы магнитуды и механизмы ожидаемых землетрясений, определена сейсмическая опасность рассматриваемой строительной площадки и хорошо изучены ее инженерно-геологические условия. Кроме того, для обоснованного выбора исходных предпосылок и проверки согласованности построенных теоретических моделей воздействий с фактическими данными предпочтительно иметь реальные записи сильных землетрясений, зарегистрированные на данной площадке. Не отвергая научной значимости исследований в данном направлении, отметим, что попытки их практического приложения, за редким исключением, наталкиваются на отсутствие требуемой исходной информации.

Учитывая, что накопление исходной информации, необходимой для построения региональных моделей сейсмических воздействий, является процессом весьма дорогостоящим и растянутым во времени, наиболее актуальной задачей сегодняшнего дня следует считать уточнение стандартных графиков коэффициентов динамичности и методики перехода от них к графикам  $\beta(T)$ , предназначенным для расчетов ответственных и особо ответственных объектов.

Графики коэффициентов динамичности  $\beta(T)$ , принятые в первых национальных нормах Республики Казахстан – СНиП РК В.1.2-4-98 «Строительство в сейсмических районах», базировались на исследованиях, выполненных в 1995-1998 годах в РГП «КазНИИССА» (Михайлова Н.Н., Ицков И.Е. /1/). В последующем, по мере накопления инструментальных записей сильных землетрясений, стандартные графики  $\beta(T)$ , принятые в нормах Казахстана, неоднократно перепроверялись /2, 3/. Каких-либо оснований для корректировки их параметров обнаружено не было и они, без изменений, были включены в ныне действующие нормы СНиП РК 2.03-30-2006.

Дополнительные исследования параметров графиков  $\beta(T)$ , выполненные в рамках настоящей работы, проведены в связи с предстоящей гармонизацией норм РК «Строительство в сейсмических районах» с Еврокодом 8.

Кроме того, графики  $\beta(T)$ , принятые в СНиП РК 2.03-30-2006, были построены по данным о динамическом эффекте землетрясений в диапазоне периодов от 0 до 3 секунд. Указанный диапазон имел существенный запас по отношению к экспериментальным и

расчетным значениям периодов колебаний абсолютного большинства объектов, представленных в застройке сейсмических районов РК и СССР в конце XX века. Однако в последние годы структура застройки сейсмических районов РК существенно изменилась. Началось проектирование и строительство объектов с большими периодами колебаний (зданий повышенной этажности и высотных сооружений башенного типа, сейсмоизолированных сооружений, протяженных мостов), а также особо ответственных объектов, подлежащих прямым динамическим расчетам. Как следствие появилась необходимость уточнения параметров стандартных графиков  $\beta(T)$  в области периодов более 3 сек.

Процесс построения стандартных (нормативных) графиков  $\beta(T)$  обычно включает в себя два основных этапа:

- построение обобщенных графиков коэффициентов динамичности, огибающих с заданной вероятностью неперевышения множество индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , объединенных по некоторым общим признакам в независимые выборки;
- привязку обобщенных графиков коэффициентов динамичности к особенностям нормативной методики определения расчетных сейсмических нагрузок и, по возможности, к региональным очаговым и геологическим условиям рассматриваемой территории.

### **3.1. Инструментальные записи сейсмических движений грунтов, принятые при построении обобщенных графиков $\beta(T)$**

Поскольку в сейсмоопасных районах Республики Казахстан до настоящего времени не были инструментально зарегистрированы сильные движения грунтов при землетрясениях, для построения обобщенных графиков  $\beta(T)$  были привлечены инструментальные записи, полученные в других географических районах Земли.

Считается, что чем больше записей землетрясений будет учтено при построении обобщенных графиков  $\beta(T)$ , тем меньше вероятность того, что при каждом новом землетрясении значения коэффициентов динамичности, соответствующие этим графикам, будут превышены.

Не отрицая справедливость этого утверждения, заметим, что круг потенциально возможных эффектов землетрясений весьма обширен и его разумные ограничения, обусловленные спецификой решаемой задачи, позволяют без ущерба для достоверности получаемых результатов сконцентрировать внимание на вопросах, представляющих наибольший практический интерес.

В настоящей работе для построения обобщенных графиков  $\beta(T)$  было привлечено более 240 трехкомпонентных инженерно значимых инструментальных записей колебаний грунта, описывающих сейсмические воздействия, представляющие реальную опасность для объектов строительства. Инструментальные записи землетрясений заимствовались из баз данных «Strong motion PEER», «KIK-NET», «K-NET», «ISNM», «European Strong-Motion Database» и некоторых других.

Как и в предыдущих исследованиях из перечисленных баз данных заимствовались инструментальные записи:

- полученные при неглубоких землетрясениях с магнитудами  $M_w \geq 6,5$ ;
- с максимальными значениями ускорений, по крайней мере, по одному из двух горизонтальных направлений, не менее  $0,07g$ ;
- сопровождавшиеся сведениями о грунтовых условиях в пунктах их регистрации и очаговых характеристиках землетрясений.

Наиболее принципиальное различие между подходом к формированию выборок инструментальных записей землетрясений, принятым в предыдущих исследованиях и в настоящей работе, заключалось в следующем.

В предыдущих исследованиях [1-3 и др.] в состав сформированных выборок было включено много инструментальных акселерограмм, зарегистрированных приборами аналогового типа. Эти акселерограммы, для устранения низкочастотных искажений, вызванных дрейфом нуля при протяжке пленки и ее короблением при проявке, а также для подавления низкочастотных шумов, возникающих при расчетном определении скоростей и смещений, перед включением в базы данных подвергались фильтрации. Типичные частоты среза верхних частот, в большинстве случаев, принимались  $0,2 \dots 0,3$  Гц. Это означает, что в исходных записях практически полностью подавлялись сигналы с периодами более  $3,3 \dots 5,0$  сек и частично – сигналы с периодами более  $2,5 \dots 3,5$  сек. Причем, сигналы с указанными периодами подавлялись вне зависимости от того, являлись они следствием искажений или характеризовали действительный характер колебаний грунта.

Для иллюстрации возможных последствий фильтрации инструментальных записей на форму графиков коэффициентов динамичности на рис. 3.1.1 показаны графики  $\beta(T)$ , построенные по записям, обработанным с помощью фильтра Баттерворта 4-го порядка при частотах среза верхних частот  $0,01$  Гц,  $0,1$  Гц,  $0,2$  Гц и  $0,3$  Гц. Принятые записи были зарегистрированы в двух ортогональных направлениях цифровой станцией НКД105 при землетрясении Tokachi-oki (Япония, 26.09.2003 г.).

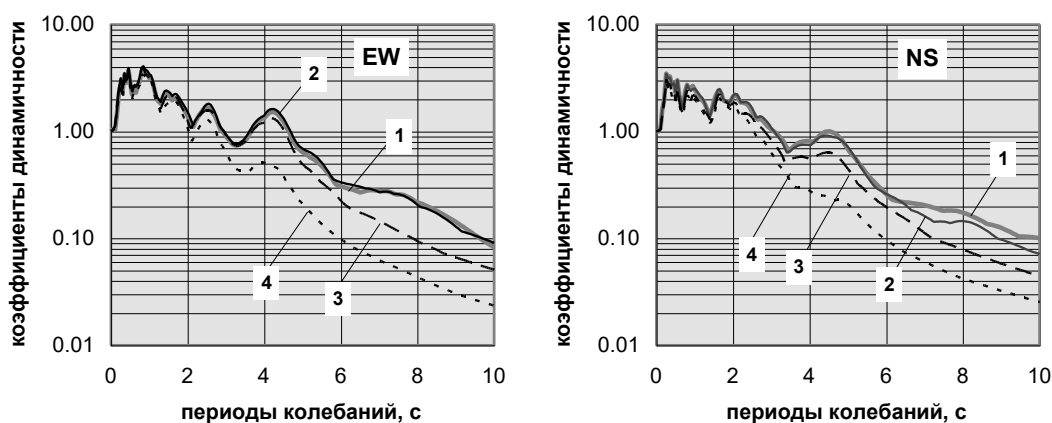


Рис. 3.1.1. Графики  $\beta(T)$ , построенные по инструментальным записям землетрясения Tokachi-oki (ст. НКД105), обработанным с помощью фильтра Баттерворта 4-го порядка с частотой среза верхних частот  $0,01$  Гц (1),  $0,1$  Гц (2),  $0,2$  Гц (3) и  $0,3$  Гц (4)

Из рис. 3.1.1 видно, что корректировка инструментальных записей, не учитывающая действительный спектральный состав колебаний грунта, может привести к существенной недооценке значений коэффициентов динамичности в области больших периодов.

Принимая во внимание этот факт в состав новых выборок, предназначенных для построения обобщенных графиков  $\beta(T)$ , включались только те инструментальные записи, при корректировке которых примечались фильтры с частотой среза верхних частот не более 0,1...0,12 Гц.

Согласно [4] и нашим данным по таким записям можно строить графики  $\beta(T)$ , объективно характеризующие динамический эффект землетрясений в диапазоне периодов до 5-6 секунд. Для больших значений периодов величины коэффициентов динамичности могут оказаться несколько заниженными, т.к. фильтры с частотой среза верхних частот 0,1 Гц будут частично подавлять сигналы с частотами до 0,14 – 0,15 Гц.

Заметим, что построение обобщенных графиков коэффициентов динамичности, объективно характеризующих динамический эффект землетрясений на периодах более 3 сек, стало возможным только в настоящее время, после накопления инструментальных записей сильных движений грунта, зарегистрированных цифровыми сейсмостанциями, позволяющими получать информацию без искажений, свойственных аналоговым приборам. Общие сведения о трехкомпонентных записях горизонтальных сейсмических колебаниях грунта, привлеченных для построения обобщенных графиков коэффициентов динамичности, приведены в табл. 3.1.1.

Данные табл. 3.1.1 свидетельствуют о крайне неравномерном распределении по регионам мира инструментальных данных о сейсмических колебаниях грунтов при сильных землетрясениях. Примерно 42% привлеченных записей было зарегистрировано при землетрясениях, произошедших на территории США, 35% – на территории острова Тайвань, около 9% – на территории Турции и около 9% – на территории Японии. На долю всех остальных регионов приходится примерно 5% записей. Более 75% инструментальных записей было зарегистрировано при шести сильных землетрясениях Chi-Chi, Loma Prieta, Northridge, Landers, Kocaeli и Tokachi-oki.

Таблица 3.1.1

| №  | Наименование землетрясения | Страна          | $M_w$ | Глубина очага (км) | Дата       | Кол-во записей |
|----|----------------------------|-----------------|-------|--------------------|------------|----------------|
| 1  | Kern County                | США, Калифорния | 7,36  | 16                 | 21.07.1952 | 1              |
| 2  | Sitka                      | США, Аляска     | 7,68  | 29                 | 30.07.1972 | 1              |
| 3  | Friuli                     | Италия          | 6,5   | 5,1                | 06.05.1976 | 1              |
| 4  | Газли                      | Узбекистан      | 6,8   | 18,2               | 17.05.1976 | 1              |
| 5  | Tabas                      | Иран            | 7,35  | 5,8                | 16.09.1978 | 3              |
| 6  | Imperial Valley            | США, Калифорния | 6,53  | 10                 | 15.10.1979 | 11             |
| 7  | Trinidad                   | США, Калифорния | 7,20  | 15,1               | 08.11.1980 | 3              |
| 8  | Irpina                     | Италия          | 6,9   | 9,5                | 23.11.1980 | 3              |
| 9  | Nahanni                    | Канада          | 6,76  | 8                  | 23.12.1985 | 3              |
| 10 | Superstition Hills         | США, Калифорния | 6,54  | 9                  | 24.11.1987 | 1              |
| 11 | Loma Prieta                | США, Калифорния | 6,93  | 17,5               | 18.10.1989 | 35             |
| 12 | Manjil                     | Иран            | 7,37  | 19                 | 20.06.1990 | 1              |
| 13 | Cape Mendocino             | США, Калифорния | 7,01  | 9,6                | 25.04.1992 | 4              |
| 14 | Landers                    | США, Калифорния | 7,28  | 7                  | 28.06.1992 | 15             |
| 15 | Northridge                 | США, Калифорния | 6,69  | 17,5               | 17.01.1994 | 20             |
| 16 | Kobe                       | Япония          | 6,9   | 17,9               | 16.01.1995 | 5              |
| 17 | Gulf of Aqaba              | Израиль         | 7,20  | 12,5               | 22.11.1995 | 1              |
| 18 | Taiwan                     | Тайвань         | 7,30  | 15                 | 14.11.1996 | 5              |
| 19 | Kocaeli                    | Турция          | 7,51  | 15                 | 17.08.1999 | 14             |

продолжение

|                                |             |                 |      |     |            |     |
|--------------------------------|-------------|-----------------|------|-----|------------|-----|
| 20                             | Chi-Chi     | Тайвань         | 7,62 | 6,8 | 20.09.1999 | 81  |
| 21                             | Hector Mine | США, Калифорния | 7,13 | 5   | 16.10.1999 | 7   |
| 22                             | Duzce       | Турция          | 7,14 | 10  | 12.11.1999 | 7   |
| 23                             | Denali      | Аляска          | 7,9  | 4,9 | 03.11.2002 | 3   |
| 24                             | Tokachi-oki | Япония          | 8,3  | 27  | 26.09.2003 | 17  |
| Всего двухкомпонентных записей |             |                 |      |     |            | 242 |

Абсолютное большинство привлеченных записей (около 90%) было получено при землетрясениях, произошедших после 1988 года. То есть в период времени, когда для регистрации сейсмических колебаний грунта применялись аналоговые приборы последнего поколения и современные цифровые станции. Порядка 70% привлеченных записей было получено цифровыми станциями.

Инструментальные записи, привлеченные для построения обобщенных графиков  $\beta(T)$ , в зависимости от поверхностных грунтовых условий в пунктах регистрации были разделены на четыре независимые группы. Классификация грунтов по сейсмическим свойствам соответствовала предложениям ТОО «КазГИИЗ» и РГП «КазНИИССА» к проекту новых норм РК, гармонизированных с Еврокодом 8 (см. раздел 1 настоящего отчета).

Данные о количестве пунктов регистрации, расположенных в разных грунтовых условиях, характеризующихся интервалами средних скоростей распространения поперечных волн в пределах 30-метрового поверхностного слоя ( $V_{S/30}$ ), приведены на рис. 3.1.2.

В первую группу вошли двухкомпонентные записи станций, находившихся на грунтах категории IA по сейсмическим свойствам (14 шт), во вторую – на грунтах категории IB (35 шт) и в третью и четвертую – на грунтах категорий II (132 шт) и III (61 шт) соответственно. Отметим, что выборки акселерограмм, сформированные для грунтов категорий II и III, можно считать достаточно представительными для определения параметров обобщенных графиков  $\beta(T)$ . Выборка, сформированная для грунтов категории IA, относительно малочисленна и не образует статистически значимого ансамбля. К результатам, полученным на ее основе, следует относиться с определенной осторожностью.

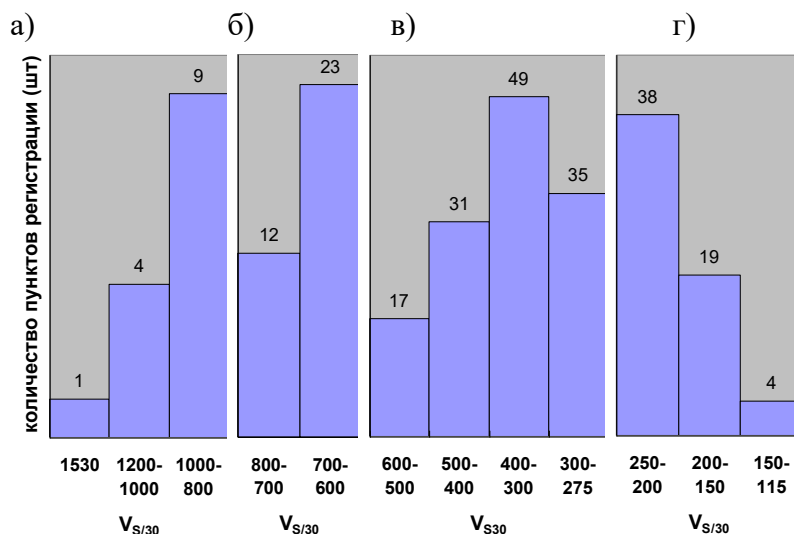


Рис. 3.1.2. Данные о количестве пунктов регистрации, расположенных на грунтах категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г)

Влияние других факторов на параметры обобщенных графиков  $\beta(T)$  учитывалось включением в состав каждой выборки возможно большего количества записей, полученных при землетрясениях с разными очаговыми характеристиками, с разной длительностью, на разных площадках и на разных расстояниях от линий разломов.

Некоторые данные об очаговых характеристиках землетрясений, при которых были получены инструментальные записи, приведены на рис. 3.1.3 и 3.1.4.

На рис. 3.1.4 типы механизмов очагов условно обозначены следующим образом: 1 – горизонтальный сдвиг (Strike Slip); 2 – нормальный сброс (Normal); 3 – взброс или обратный сброс (Reverse, Thrust); 4 – диагональный взброс или взбросо-сдвиг (Oblique Reverse). Сведения о кратчайших расстояниях от пунктов регистрации акселерограмм до линий проявления разломов на дневной поверхности даны на рис. 3.1.5, а о максимальных амплитудах привлеченных акселерограмм – на рис. 3.1.6.

Из рис. 3.1.3 – 3.1.5 видно, что примерно 70% инструментальных записей, вошедших в сформированные выборки, были зарегистрированы при сильных землетрясениях с механизмами очагов, типичными для землетрясений, прогнозируемых в Алматинском регионе – взбросовыми и взбросо-сдвиговыми.

Не менее 90% пунктов регистрации, зафиксировавших сейсмические колебания грунтов категорий IB и II, располагалось на расстояниях от разломов не более 80 км, а не менее 70% – на расстояниях не более 40 км. В выборке, сформированной для грунтов категории III, примерно 65% записей было зарегистрировано на расстояниях от разломов не более 80 км и 45% – на расстояниях до 40 км.

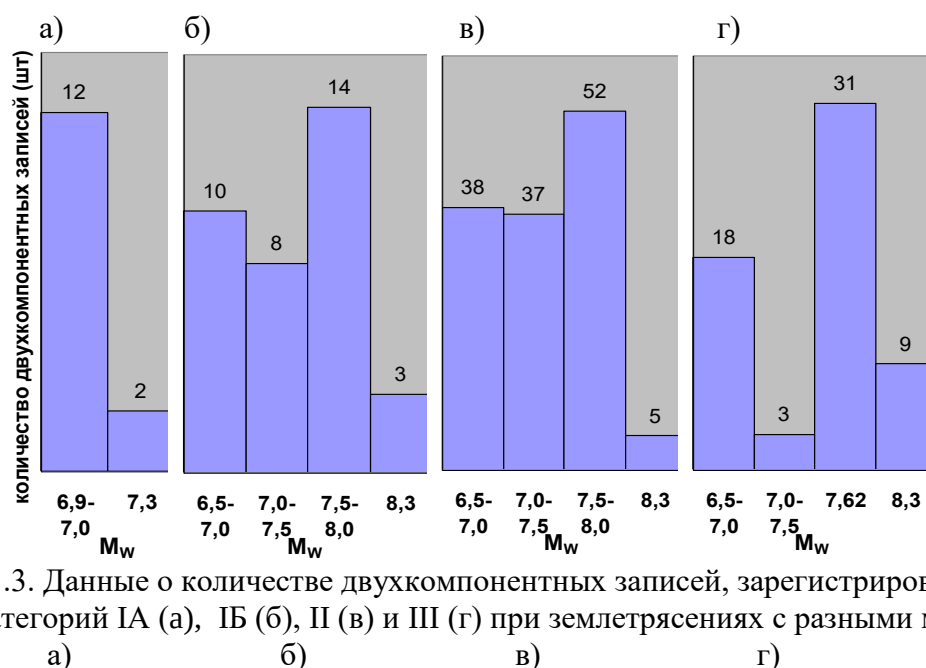


Рис. 3.1.3. Данные о количестве двухкомпонентных записей, зарегистрированных на грунтах категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г) при землетрясениях с разными магнитудами

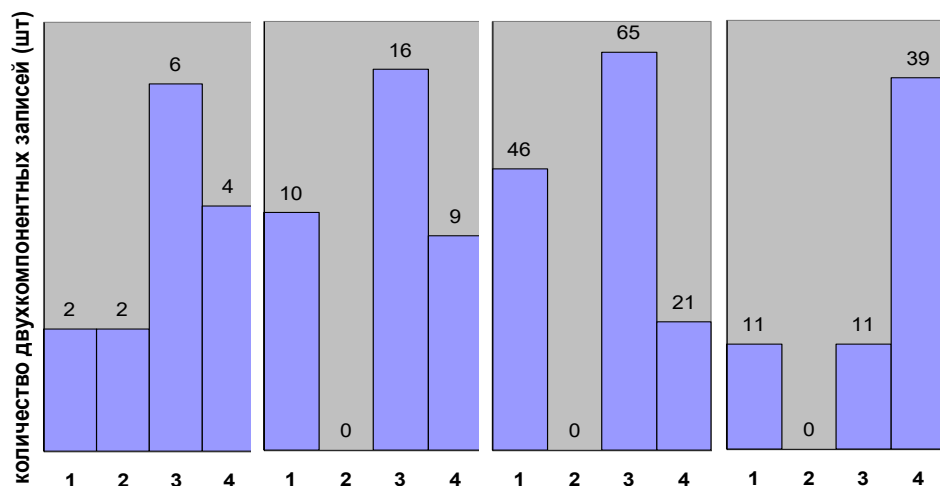


Рис. 3.1.4. Данные о количестве двухкомпонентных записей, зарегистрированных на грунтах категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г) при землетрясениях с разными механизмами очагов

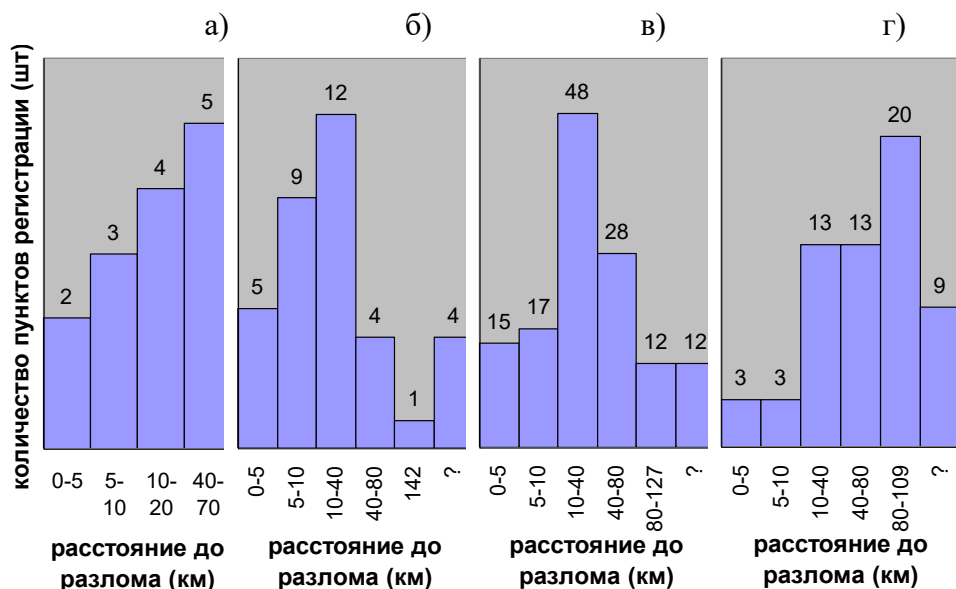


Рис. 3.1.5. Данные о расстояниях от линий разломов до пунктов регистрации инструментальных записей на грунтах категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г)

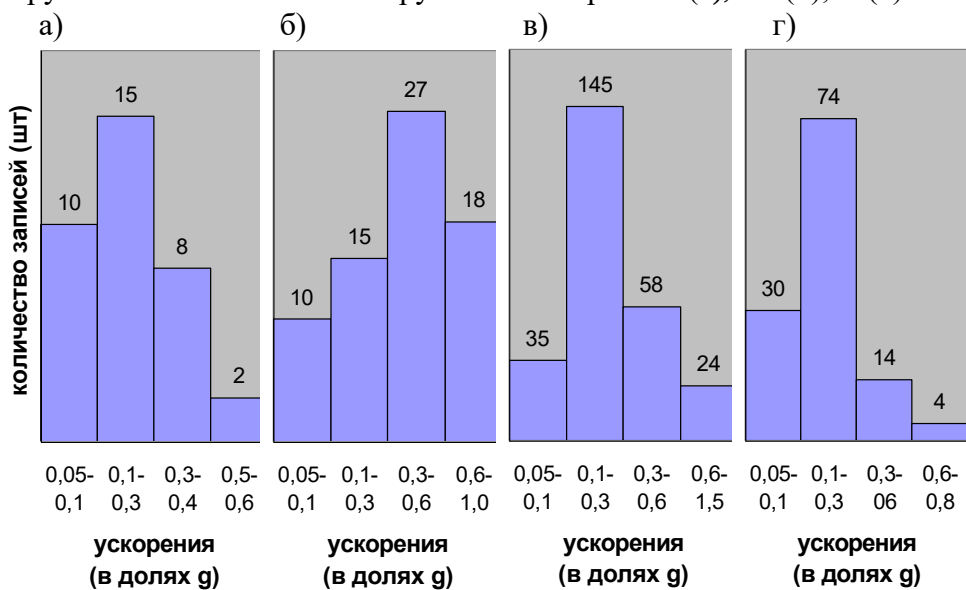


Рис. 3.1.6. Данные о максимальных амплитудах акселерограмм, зарегистрированных на грунтах категорий IА (а), IБ (б), II (в) и III (г)

Из 484 акселерограмм, принятых для построения графиков коэффициентов динамичности для горизонтальных составляющих колебаний грунта (рис. 3.1.6), около 85% записей имели максимальные значения ускорений более 0,1g.

Напомним, что выборки инструментальных записей, сформированные для обоснования параметров трех графиков  $\beta(T)$ , включенных в СНиП II-7-81 (редакция 1982 года), содержали всего 55 акселерограмм, 30 из которых имели максимальные амплитуды от 0,004g до 0,03g и только одна – более 0,2g /5/.

### 3.2. Подходы к формированию выборок, предназначенных для построения обобщенных графиков $\beta(T)$ для горизонтальных сейсмических воздействий

Построению обобщенных графиков  $\beta(T)$  для грунтов категорий IА, IБ, II и III предшествовало построение индивидуальных графиков  $\beta(T)$  и формирование из них соответствующих выборок.

Динамический эффект каждого рассматривавшегося сейсмического события характеризовался двумя индивидуальными графиками  $\beta(T)$ , описывающими параметры этого события на двух горизонтальных ортогональных осях, по которым осуществлялась инструментальная регистрация колебаний основания.

Индивидуальные графики  $\beta(T)$  строились по обычной процедуре – путем численного интегрирования дифференциального уравнения движения рассчитывались вынужденные относительные колебания осцилляторов в системе координат, связанной с движущимся основанием. Дифференциальное уравнение движения имеет вид:

$$m\ddot{x} + 2\xi\omega_0\dot{x} + \omega_0^2 x = -\ddot{x}_0(t), \quad (1.1)$$

где:  $\omega$  – круговая частота собственных колебаний осциллятора ( $\omega=2\pi/T$ );  $T$  – период собственных колебаний осциллятора в сек);  $\xi$  – относительное затухание осциллятора в процентах от критического.

Периоды собственных колебаний осцилляторов варьировались в диапазоне от 0,01 до 10 сек с шагом от 0,01 до 0,05 сек. Значение относительного затухания осцилляторов  $\xi$ , как и во всех исследованиях подобного рода, было принято равным 5% от критического. Закон колебаний основания задавался с помощью акселерограмм, инструментально зарегистрированных при землетрясениях.

Выборки данных, используемые для построения обобщенных графиков  $\beta(T)$ , соответствующих разным грунтовым условиям, могут формироваться в соответствии с разными подходами. Единый общепризнанный (нормативно узаконенный) подход к формированию выборок в настоящее время отсутствует.

В проведенных исследованиях было применено пять подходов к формированию выборок данных, предназначенных для построения обобщенных графиков  $\beta(T)$ . Специфические особенности этих подходов рассмотрены ниже.

#### **Первый подход**

При первом подходе динамический эффект каждого сейсмического процесса характеризуется в сформированных выборках одним индивидуальным графиком  $\beta(T)$ ,

построенным с помощью акселерограммы, инструментально зарегистрированной на наиболее интенсивной горизонтальной компоненте, под которой обычно понимается компонента с наибольшим значением пикового ускорения.

Применение первого подхода к построению обобщенных графиков  $\beta(T)$  связано с тем, что в шкалах сейсмической интенсивности макросейсмические эффекты землетрясений обычно идентифицируется со значениями максимальных амплитуд колебаний грунтов, инструментально зарегистрированными на более интенсивной компоненте.

### ***Второй подход***

При втором подходе динамический эффект каждого сейсмического процесса характеризуется в сформированных выборках двумя индивидуальными графиками  $\beta(T)$ , построенными с помощью акселерограмм, инструментально зарегистрированными на горизонтальных ортогональных компонентах. Индивидуальные графики  $\beta(T)$ , построенные по записям одного процесса в разных направлениях, рассматриваются в сформированных выборках как статистически независимые.

Второй подход к формированию выборок наиболее часто применяется в исследованиях, посвященных построению обобщенных графиков  $\beta(T)$  /6/. В частности он был применен при построение нормативных графиков  $\beta(T)$ , принятых в СНиП РК В.1.2-4-98.

### ***Третий подход***

При третьем подходе динамический эффект каждого сейсмического процесса описывается одним графиком, представляющим собой кривую, огибающую сверху два индивидуальных спектра реакции, построенных с помощью инструментальных записей на ортогональных компонентах, и нормализованную по максимальному ускорению на наиболее интенсивной компоненте.

Третий подход к формированию выборок применялся в исследованиях, посвященных построению обобщенных графиков  $\beta(T)$  для Еврокода 8 /7, 8/.

### ***Четвертый подход***

При четвертом подходе динамический эффект каждого сейсмического процесса описывается одной кривой, огибающей сверху два индивидуальных спектра реакции, построенных с помощью акселерограмм, вычисленных для двух ортогональных направлений, по которым максимальные амплитуды сейсмического процесса на горизонтальной плоскости имели одинаковые значения. Нормализация огибающей осуществляется по вычисленному ускорению, одинаковому на обоих направлениях.

Акселерограммы с одинаковыми максимальными амплитудами ускорений на ортогональных осях определялись по результатам изучения распределения величин максимальных ускорений сейсмического процесса по полярным направлениям на горизонтальной плоскости (подробнее – см. ниже).

Четвертый подход к составлению выборок был разработан в процессе выполнения исследований по настоящей работе.

### ***Пятый подход***

При пятом подходе динамический эффект каждого сейсмического процесса описывается в сформированных выборках одной кривой, огибающей сверху два

индивидуальных графика  $\beta(T)$ , построенных с помощью инструментальных акселерограмм, зарегистрированных по ортогональным осям и, как правило, имеющих разные значения максимальных амплитуд.

Пятый подход к формированию выборок применялся в исследованиях, посвященных построению нормативных графиков  $\beta(T)$  для проекта МСН СНГ «Строительство в сейсмических районах» /2/.

Выборки графиков  $\beta(T)$ , сформированные в соответствии с подходами 1, 2, 3, 4 и 5, показаны на рис. 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4 и 3.2.5 соответственно.

Из рис. 3.2.1 – 3.2.5 видно, что значения коэффициентов динамичности, приведенные в каждой выборке, имеют очень большой разброс. Для иллюстрации степени разброса значений коэффициентов динамичности, на рис. 3.2.6 были сопоставлены области, содержащие 50% данных, включенных в выборки, сформированные с применением второго и четвертого подходов. Выше и ниже границ этих областей в каждой выборке находилось по 25% данных о значениях коэффициентов динамичности.

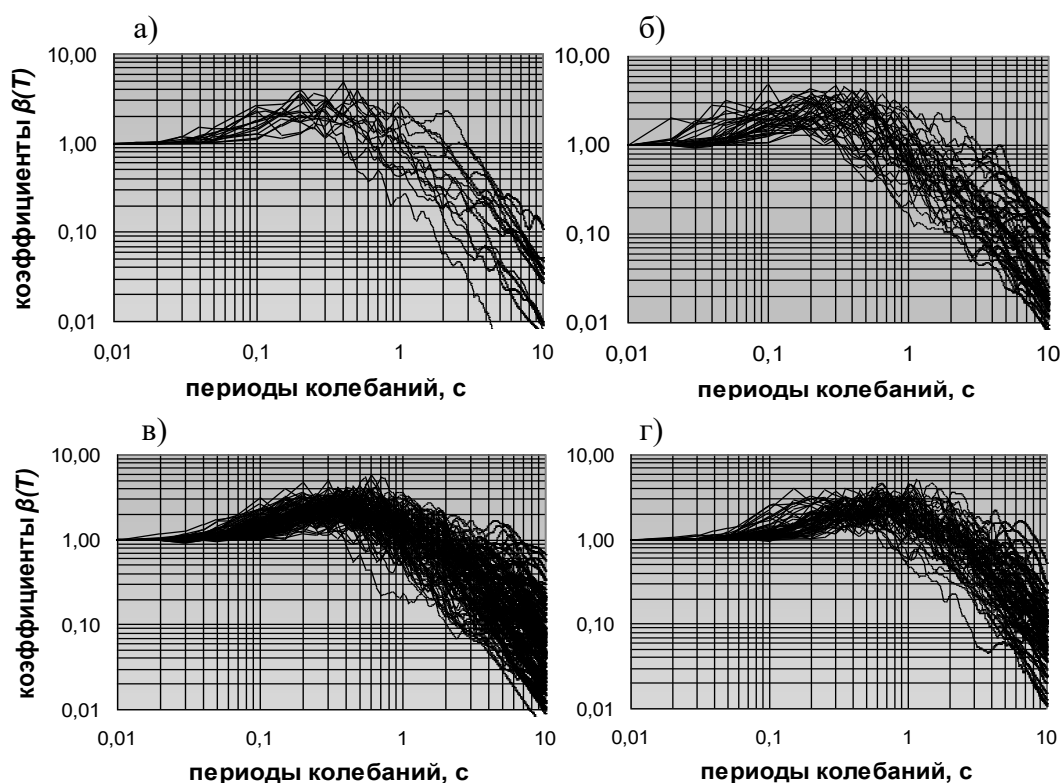


Рис. 3.2.1. Выборки, сформированные для грунтов категорий IА (а), IБ (б), II (в) и III (г) в соответствии с первым подходом

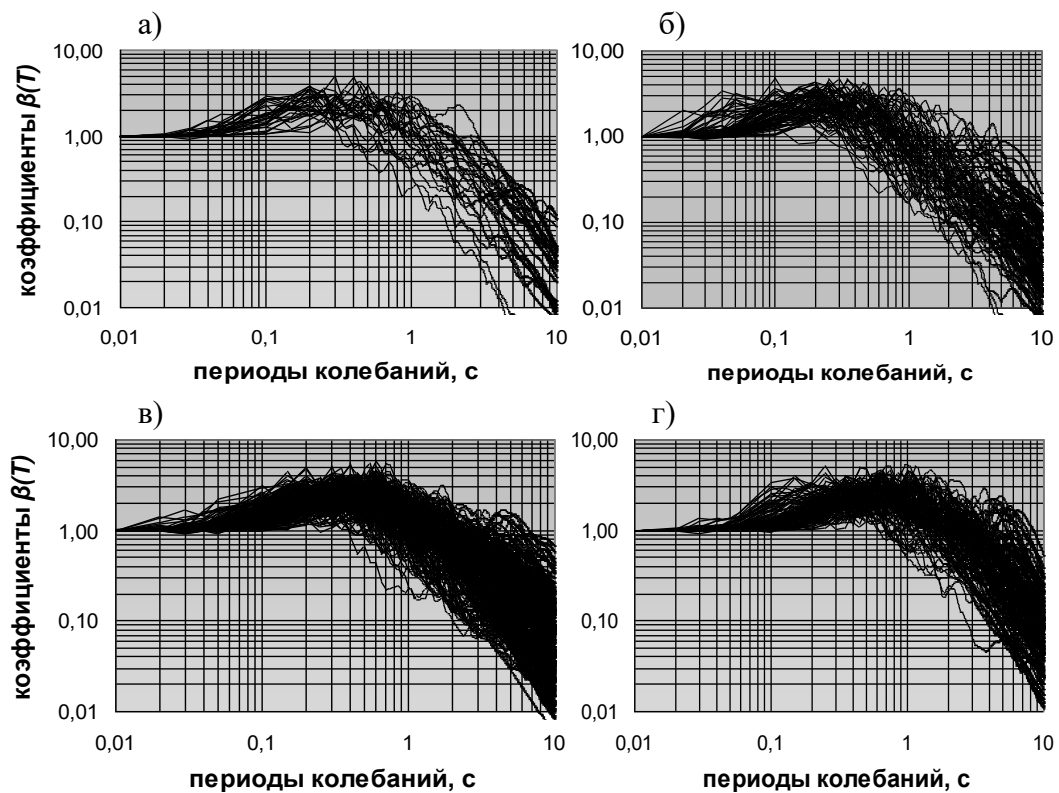


Рис. 3.2.2. Выборки, сформированные для грунтов категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г) в соответствии со вторым подходом

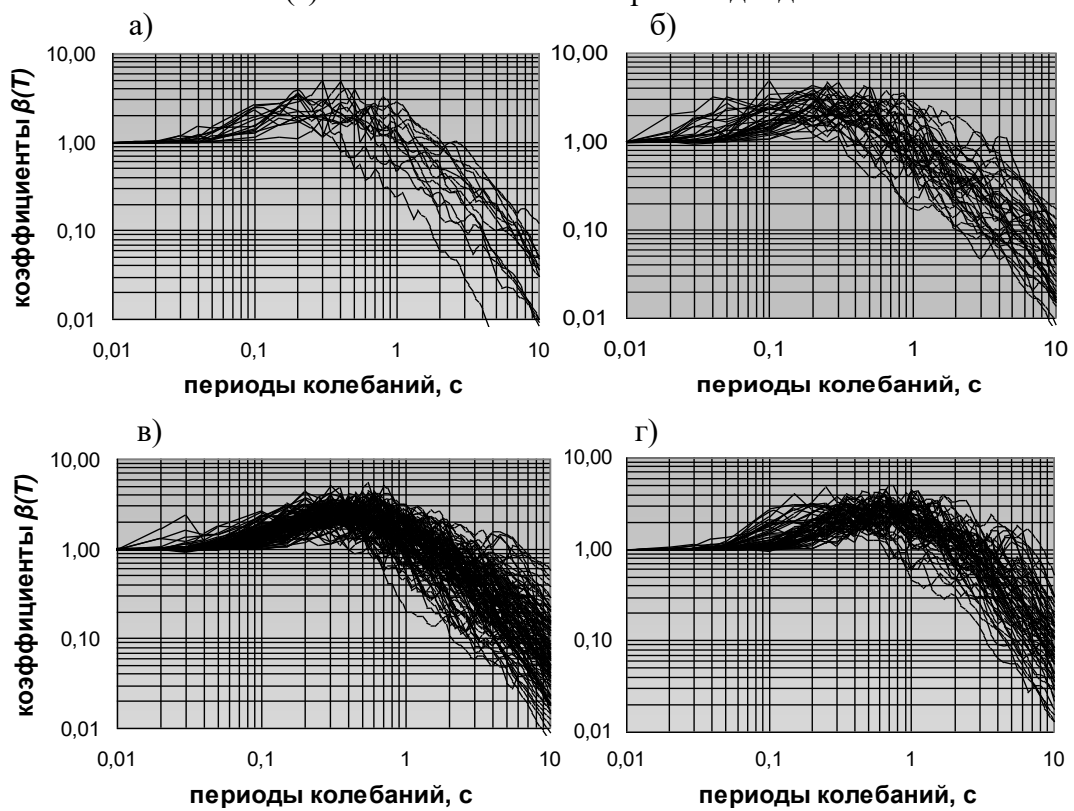


Рис. 3.2.3. Выборки, сформированные для грунтов категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г) в соответствии с третьим подходом

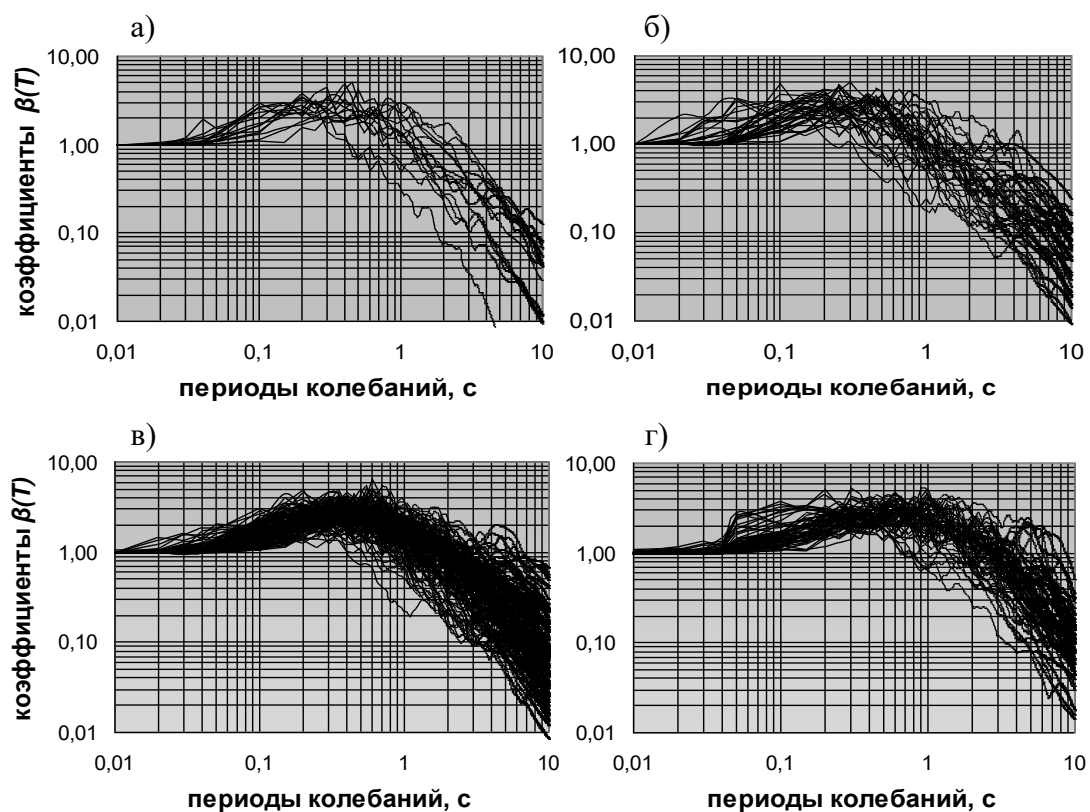


Рис. 3.2.4. Выборки, сформированные для грунтов категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г) в соответствии с четвертым подходом

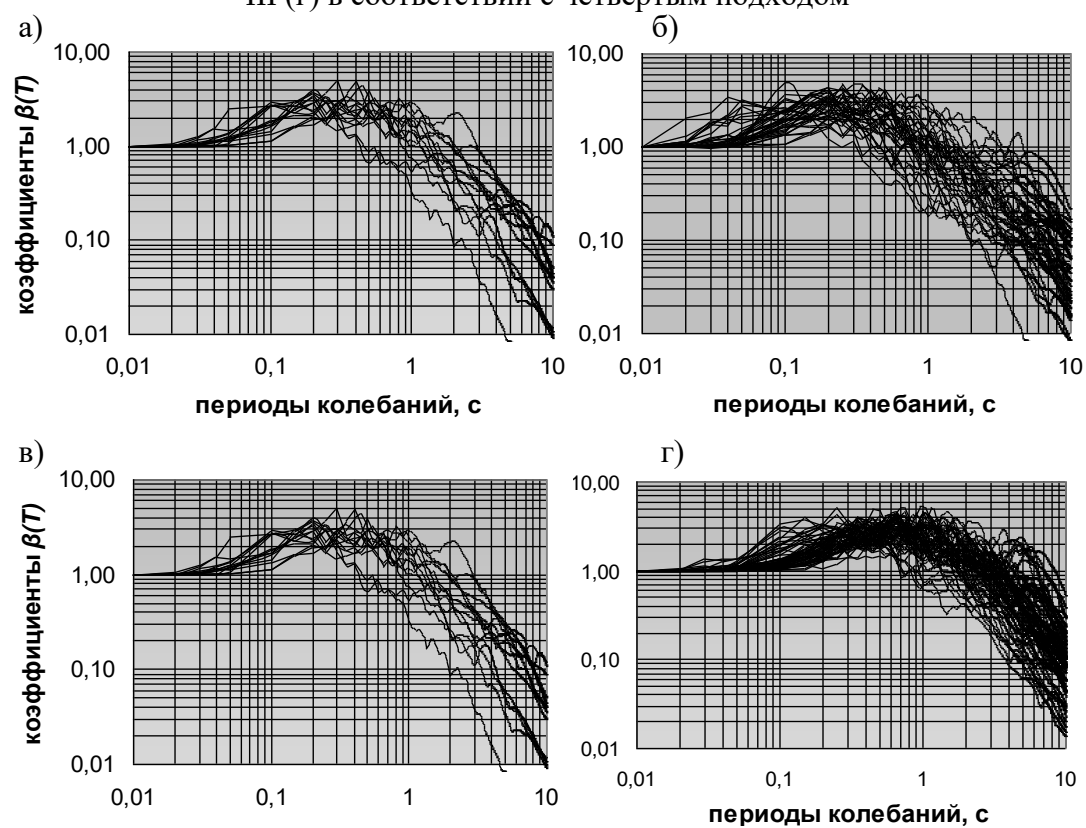


Рис. 3.2.5. Выборки, сформированные для грунтов категорий IA (а), IB (б), II (в) и III (г) в соответствии с пятым подходом

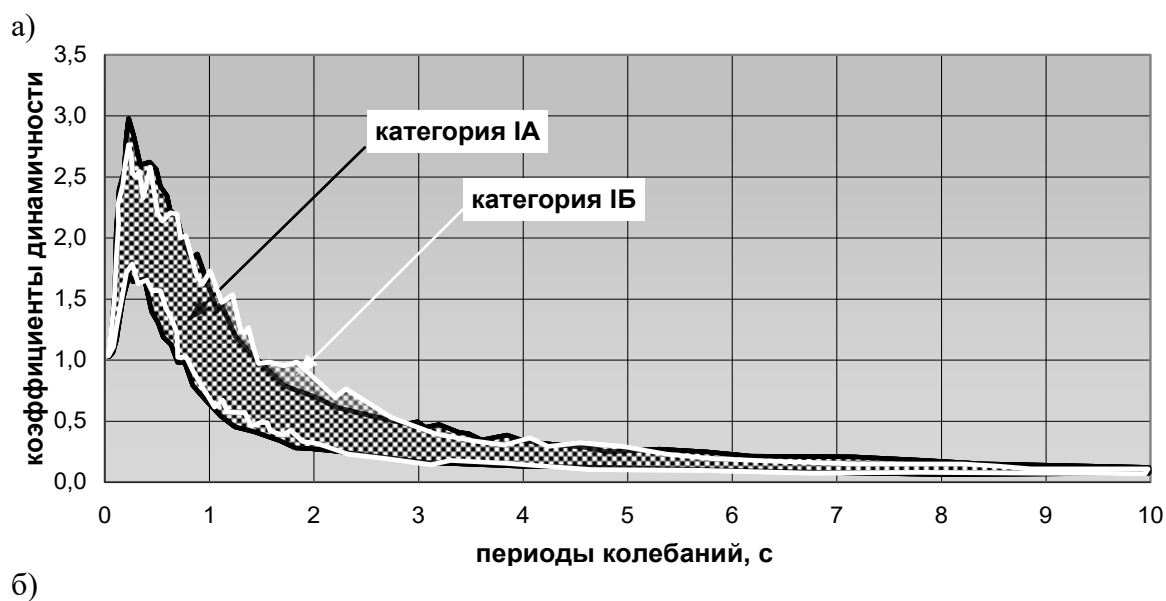
Сопоставление областей, содержащих 50% данных, показывает, что динамический эффект землетрясений:

- на грунтах категорий IА и IБ, при прочих равных условиях, должен быть примерно одинаков;
- на грунтах категорий IБ, II и III существенно разный, но явно выраженные границы наблюдаются только между областями данных о динамическом эффекте землетрясений на грунтах категорий IБ и III.

Большой разброс значений коэффициентов динамичности в сформированных выборках объясняется не только довольно условной классификацией грунтов по сейсмическим свойствам в пунктах регистрации.

Специалисты, изучавшие степень влияния различных факторов на форму спектров реакции, на первые места, помимо поверхностных грунтовых условий, как правило, ставят параметры очагов землетрясений, свойства среды на пути распространения сейсмических волн, рельеф местности, расположение пунктов регистрации относительно очагов и др.

Определенное влияние на степень разброса коэффициентов динамичности оказывает также тот факт, что двухкомпонентные инструментальные записи, зарегистрированные при сейсмическом событии на горизонтальной плоскости и использованные для построения индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , представляют собой разложение сейсмического воздействия по двум ортогональным осям, ориентированным на горизонтальной плоскости случайным образом (например, по сторонам света).



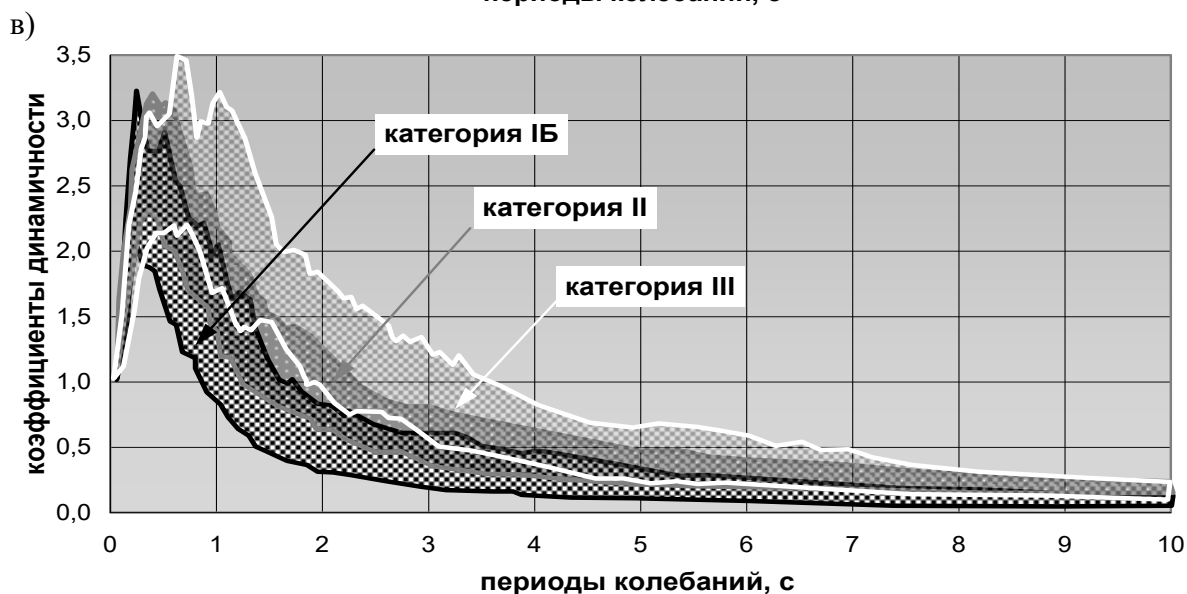
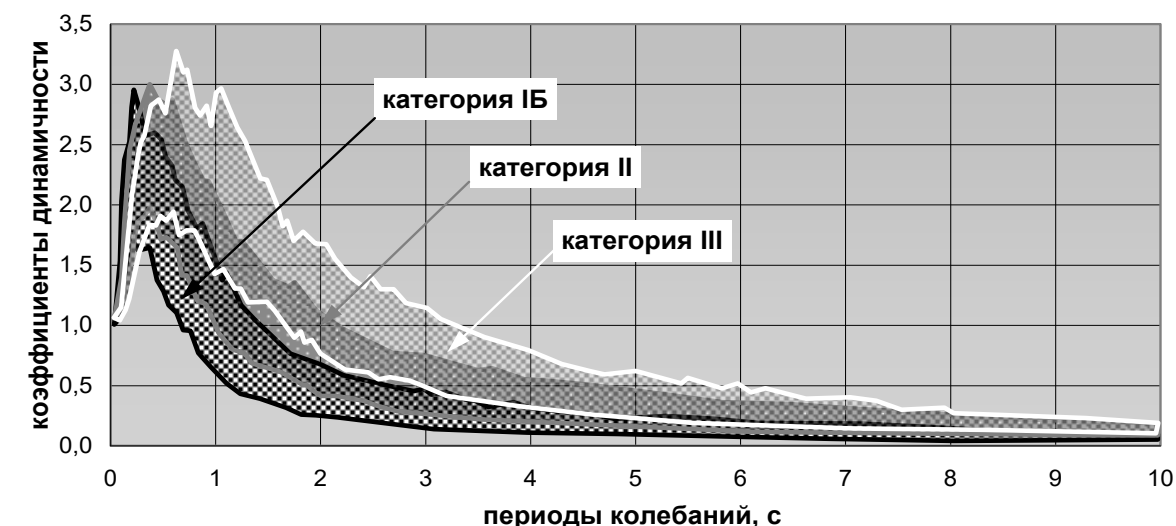


Рис. 3.2.6. Сопоставление областей, в пределах которых сформированные выборки содержат 50% данных

а и б – выборки, сформированные с применением второго подхода;

в – выборки, сформированные с применением четвертого подхода

Случайная ориентация горизонтальных осей, по которым осуществлялась регистрация сейсмического события, предопределяет, что информация о параметрах этого события, полученная на основании изучения инструментальных записей, также носит случайный характер.

Поскольку при формировании выборок каждый индивидуальный график  $\beta(T)$  рассматривается как реализация случайного процесса, то неизбежно возникает вопрос: насколько объективно индивидуальные графики  $\beta(T)$ , отвечающие инструментальным записям, полученным по случайно ориентированным на горизонтальной плоскости ортогональным осям, характеризуют зарегистрированный сейсмический процесс в целом?

Для ответа на этот вопрос были построены «семейства» индивидуальных графиков  $\beta(T)$  и спектров реакции в ускорениях, характеризующие параметры ряда сейсмических процессов на разных азимутальных направлениях.

Построение «семейств» графиков  $\beta(T)$  и спектров реакции осуществлялось с помощью программы, в которой в качестве исходных данных использовались записи, инструментально зарегистрированные на ортогональных осях. Программа позволяла вычислять акселерограммы и определять параметры каждого изучаемого сейсмического процесса на разных азимутальных направлениях, характеризующихся углами поворота  $\varphi$  исходной системы координат относительно вертикальной оси.

Некоторые результаты выполненных расчетов, иллюстрирующие особенности разных подходов к формированию выборок индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , представлены в графическом виде на рис. 3.2.7 – 3.2.18.

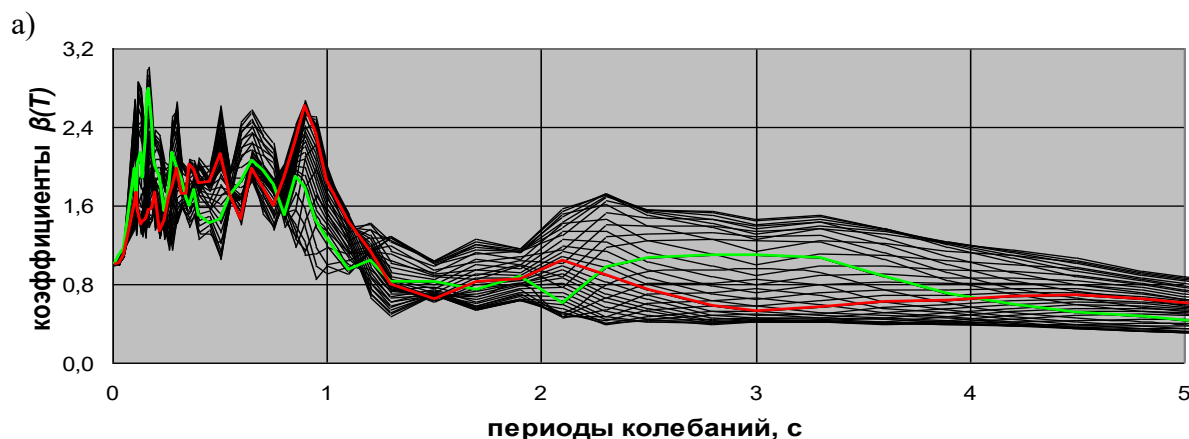
В рассмотренных ниже примерах:

- углы поворота горизонтальных координатных осей вокруг вертикальной оси задавались в диапазоне от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  с равномерным шагом  $5^\circ$ ;
- за исходное положение горизонтальных координатных осей было принято положение осей, по которым были получены инструментальные записи ( $\varphi=0^\circ$ );
- в каждое построенное «семейство» входило 38 индивидуальных графиков  $\beta(T)$  или спектров реакции.

На рис. 3.2.7 и 3.2.8 показаны «семейства» графиков  $\beta(T)$  и «семейства» спектров реакции, построенные по записям землетрясений Chi-Chi (запись WGK) и Loma Prieta (запись HCH) соответственно.

На этих же рисунках цветными линиями показаны:

- индивидуальные графики  $\beta(T)$  и спектры реакции, построенные с помощью инструментальных записей на ортогональных осях (рис. 3.2.7.а, 3.2.7.б и рис. 3.2.8.а, 3.2.8.б); красными линиями обозначены графики  $\beta(T)$  и спектры, построенные по записям на наиболее интенсивных компонентах;
- «средние» (математически ожидаемые) кривые, вычисленные для каждого «семейства» индивидуальных графиков  $\beta(T)$  и для каждого «семейства» спектров реакции (рис. 3.2.7.в, 3.2.7.г и рис. 3.2.8.в, 3.2.8.г);
- «средние» кривые, вычисленные для пар графиков  $\beta(T)$  и для пар спектров реакции каждого «семейства», характеризующих параметры сейсмического процесса на ортогональных осях, положения которых на горизонтальной плоскости определялись разными значениями  $\varphi$  (рис. 3.2.7.в, 3.2.7.г и рис. 3.2.8.в, 3.2.8.г).



б)

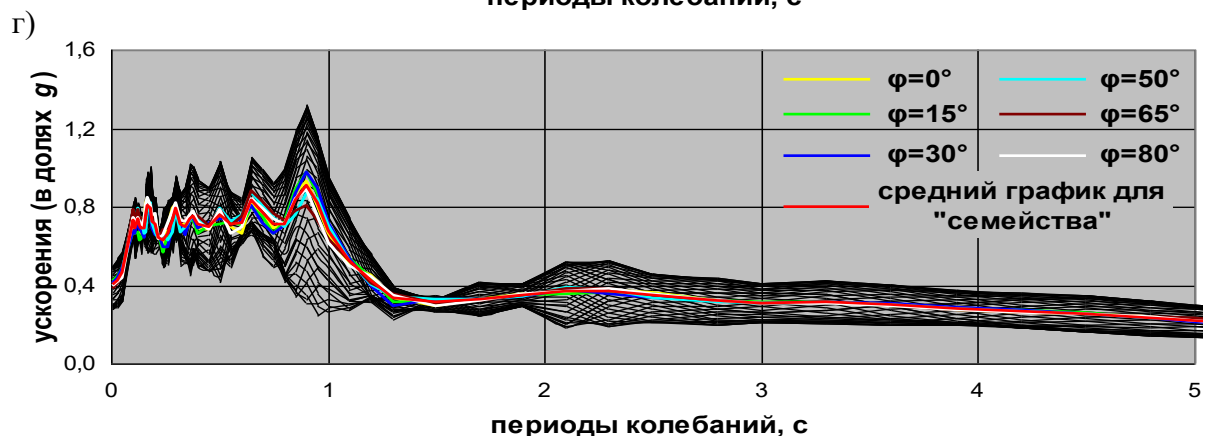
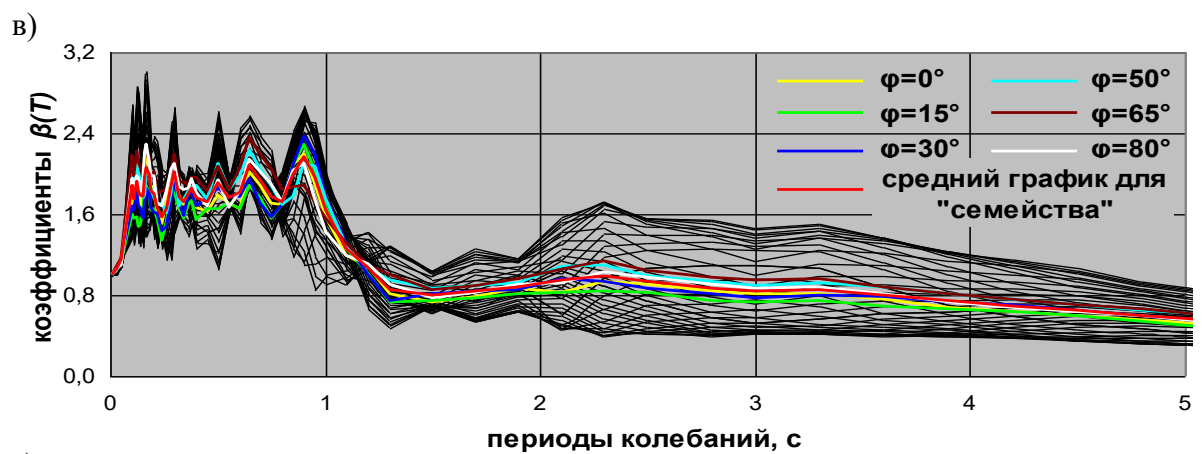


Рис. 3.2.7. «Семейства» индивидуальных графиков  $\beta(T)$  и спектров реакции, построенные по записям землетрясения Chi-Chi

а)

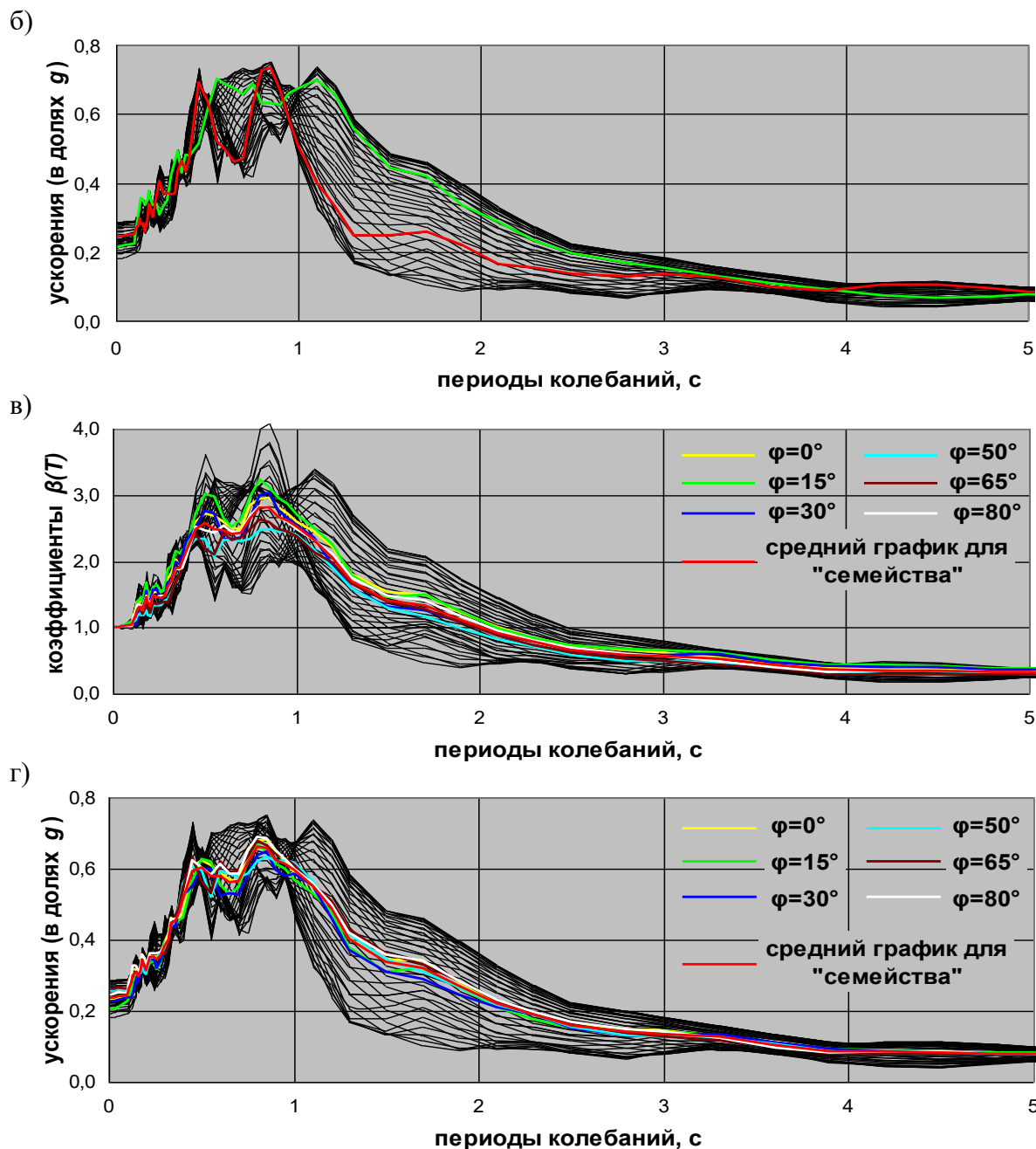


Рис. 3.2.8. «Семейства» индивидуальных графиков  $\beta(T)$  и спектров реакции, построенные по записям землетрясения Loma Prieta

Анализ множества построенных подобным образом «семейств» показал следующее:

- индивидуальные графики  $\beta(T)$ , входящие в состав «семейства» и характеризующие динамический эффект одного сейсмического процесса на разных азимутальных направлениях, могут иметь между собой кардинальные различия;
- индивидуальные графики  $\beta(T)$ , построенные по записям на ортогональных осях, ориентированных на горизонтальной плоскости случайным образом, не могут в полной мере характеризовать динамический эффект сейсмического процесса;

- «средние» кривые, вычисленные для пар индивидуальных графиков  $\beta(T)$  и спектров реакции, построенных по записям на ортогональных осях, дают существенно заниженные оценки параметров сейсмических воздействий по сравнению с максимальными значениями.

На рис. 3.2.9 и 3.2.10 показаны индивидуальные графики  $\beta(T)$ :

рис.3.2.9 – принадлежащие четырем «семействам», построенным по записям на грунтах категории II землетрясений Kobe (запись KJM), Landers (запись ABY), Northridge (запись NWH) и Hector Mine (запись 2108);

рис.3.2.10 – принадлежащие трем «семействам», построенным по записям грунтах категории III землетрясений Chi-Chi (запись WGK) и Loma Prieta (записи TRI и HCH).

Кривые, выделенные на рис. 3.2.9 и 3.2.10 красным цветом, являются верхними и нижними границами областей, в пределах которых выборки индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , показанные на рис. 3.2.2.в (для грунтов категории II) и рис. 3.2.2.г (для грунтов категории III), на каждом периоде содержат 80% данных о значениях коэффициентов динамичности. Выше и ниже этих границ находится по 10% данных. Зеленые линии – «средние» графики  $\beta(T)$ , вычисленные для группы «семейств» графиков  $\beta(T)$ . Желтые линии – «средние» графики  $\beta(T)$ , вычисленные для индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , полученных с помощью инструментальных записей, принятым для построения «семейств».

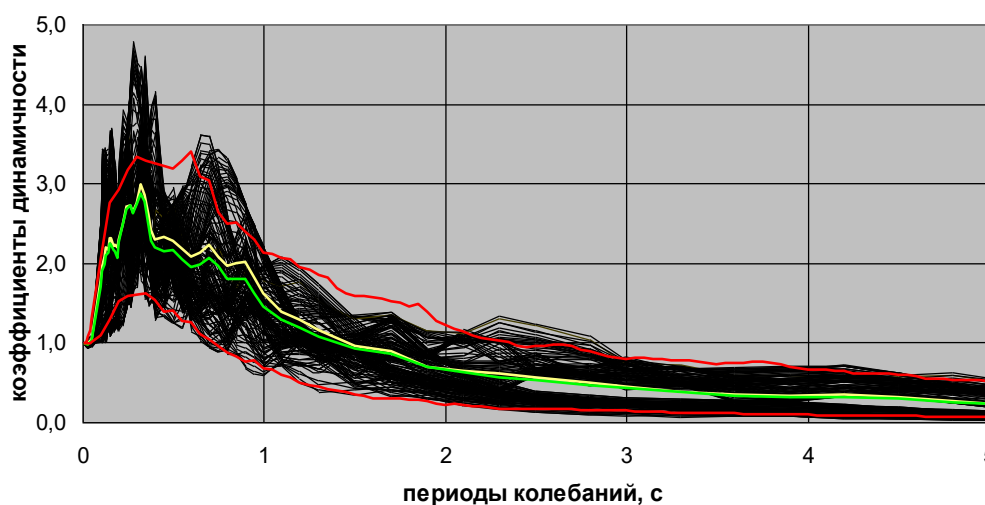


Рис. 3.2.9. Группа «семейств» графиков  $\beta(T)$ , построенных по записям на грунтах категории II землетрясений Kobe (запись KJM), Landers (запись ABY), Northridge (запись NWH) и Hector Mine (запись 2108), и «средние» графики  $\beta(T)$ , вычисленные для группы индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , построенных по инструментальным записям этих же землетрясений

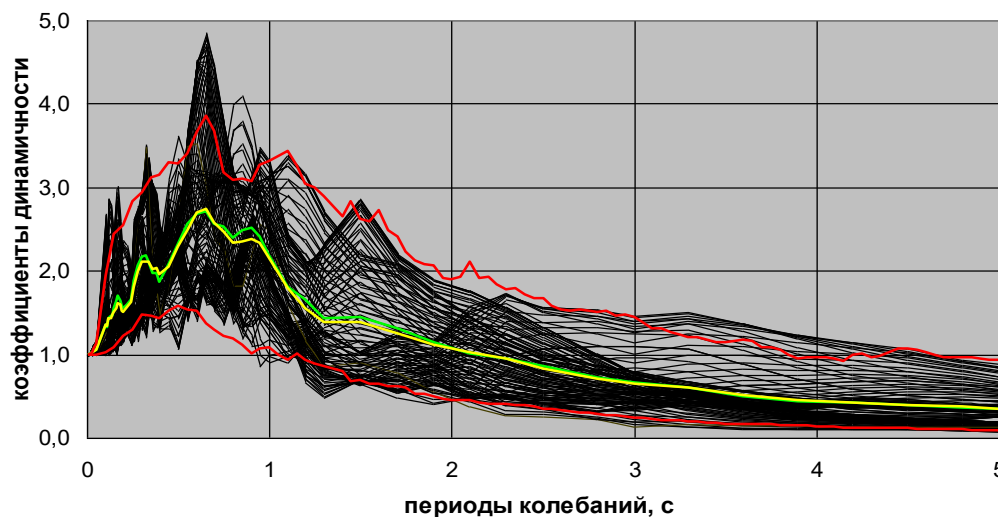


Рис. 3.2.10. Группа «семейств» графиков  $\beta(T)$ , построенных по записям грунтах категории III землетрясений Chi-Chi (запись WGK) и Loma Prieta (записи TRI и HCH), и «средние» графики  $\beta(T)$ , вычисленные для группы индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , построенных по инструментальным записям этих же землетрясений

Данные, приведенные рис. 3.2.9 и 3.2.10 свидетельствуют, что разброс параметров сейсмических процессов на разных азимутальных направлениях может быть настолько значительным, что с помощью графиков коэффициентов динамичности трех или четырех семейств можно практически полностью заполнить области данных, для формирования которых потребовалось привлечь более 100 инструментальных записей.

Наряду с этим:

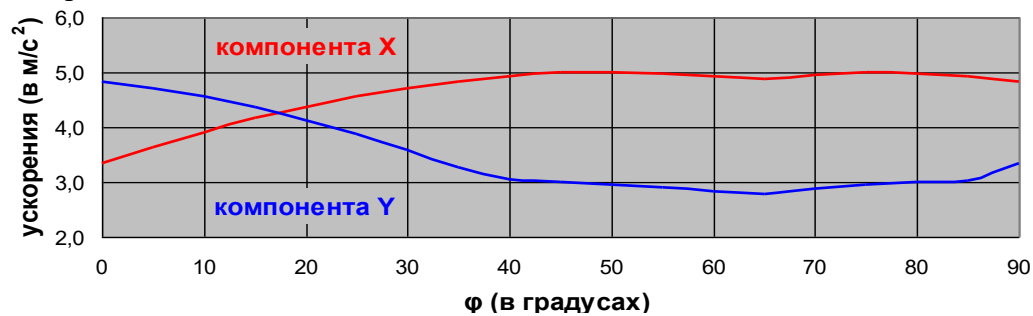
- «средние» кривые, вычисленные для каждого «семейства» индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , и для любой пары индивидуальных графиков  $\beta(T)$  этого «семейства», характеризующей динамический эффект сейсмического процесса на ортогональных направлениях, близки между собой;
- «средние» кривые, вычисленные для группы «семейств» индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , и для группы индивидуальных графиков  $\beta(T)$  этих семейств, построенных по инструментальным записям на ортогональных направлениях, близки между собой.

Последующие исследования были направлены на изучение особенностей выборок, формируемых на основании третьего и четвертого подходов. Эти исследования также базировались на сопоставлении «семейств» графиков  $\beta(T)$  и спектров реакции с индивидуальными графиками и спектрами, построенными по записям на ортогональных осях.

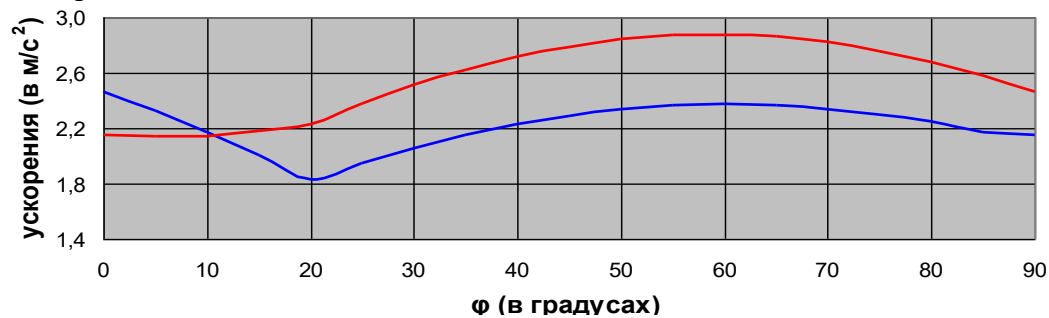
Напомним, что в соответствии с четвертым подходом к формированию выборок, динамический эффект каждого сейсмического процесса описывается одной кривой, огибающей сверху два индивидуальных графика  $\beta(T)$ , построенных с помощью акселерограмм, вычисленных для двух ортогональных направлений, по которым максимальные амплитуды сейсмического процесса на горизонтальной плоскости являлись одинаковыми.

Графики, иллюстрирующие распределение величин максимальных ускорений некоторых сейсмических процессов на ортогональных направлениях, соответствующих разным значениям  $\varphi$ , показаны на рис. 3.2.11.

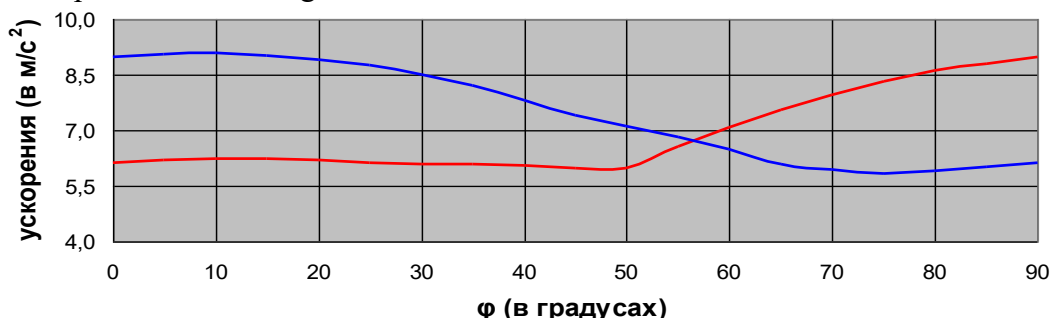
а) землетрясение Chi-Chi, запись WGK



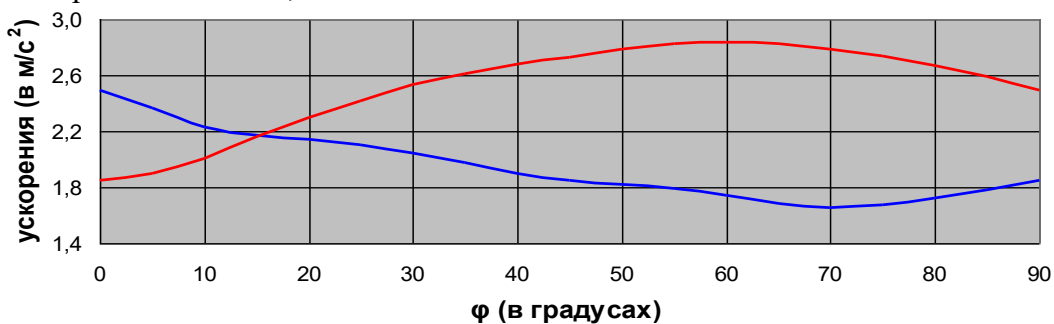
б) землетрясение Loma Prieta, запись HCH



в) землетрясение Northridge, запись SCS



г) землетрясение Kocaeli, запись ATS



д) землетрясение Irpinta, запись A-BAG

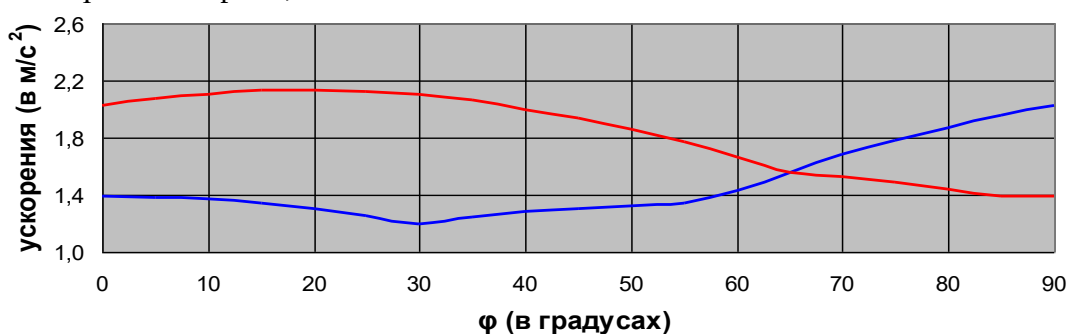


Рис. 3.2.11. Величины максимальных ускорений сейсмических процессов на разных азимутальных направлениях

Из рис. 3.2.11 видно, что в диапазоне значений  $\varphi$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  всегда существует такое положение ортогональных осей, при котором значения максимальных ускорений колебаний грунтов на ортогональных направлениях являются идентичными.

На рис. 3.2.12 и 3.2.13 «семейства» спектров реакции, построенные по записям землетрясений Chi-Chi (запись WGK) и Loma Prieta (запись HCH), сопоставлены с парами индивидуальных спектров реакции, полученных с помощью акселерограмм, вычисленных для ортогональных направлений, соответствующих разным значениям угла поворота  $\varphi$  исходной системы координат.

Примечание. Далее, для краткости, вместо выражения «...пара индивидуальных графиков  $\beta(T)$  (спектров реакции), полученная с помощью акселерограмм, на ортогональных направлениях...», будет, как правило, применяться выражение «...пара графиков  $\beta(T)$  (пара спектров реакции)...».

На рис. 3.2.14 «семейства» спектров реакции, построенные по записям землетрясений Chi-Chi (запись WGK), Loma Prieta (запись HCH), Northridge (запись SCS) и Kocaeli (запись ATS) сопоставлены с кривыми, огибающими пары индивидуальных спектров реакции, соответствующие разным значениям  $\varphi$ . Кривые, построенные в соответствии с подходом 4, обозначены красным цветом.

Кривые, показанные на рис. 3.2.14, были нормализованы по максимальному ускорению на наиболее интенсивной компоненте и представлены на рис. 3.2.15 как графики, характеризующие динамический эффект сейсмических процессов в соответствии с подходом 3. На этом же рисунке представлены графики, характеризующие динамический эффект сейсмических процессов в соответствии с подходом 4 (обозначены красным цветом).

На рис. 3.2.16 и рис. 3.2.17 дополнительно приведены:

- «семейства» графиков  $\beta(T)$ , построенные для восьми сейсмических процессов, и пары индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , построенных по записям с одинаковыми значениями максимальных ускорений на ортогональных осях;
- «семейства» спектров реакции, построенные для восьми сейсмических процессов, и кривые, огибающие пары индивидуальных спектров, построенных по записям с одинаковыми значениями максимальных ускорений на ортогональных осях.

Согласно рис. 3.2.14 – 3.2.17 *огибающие каждой пары индивидуальных спектров реакции, построенных с помощью записей колебаний грунтов на ортогональных направлениях, близки между собой и с приемлемой степенью точности характеризуют максимальную интенсивность сейсмического процесса на горизонтальной плоскости.*

Примечание. В большинстве случаев, огибающие каждой пары индивидуальных спектров реакции близки к огибающей всего «семейства» спектров, но все таки расположены несколько ниже ее, а на некоторых периодах могут иметь заметно меньшие значения ординат.

Основываясь на полученном результате исследований можно сделать вывод, что *обобщенные графики  $\beta(T)$  предпочтительно строить на основании выборок, в которых динамический эффект каждого сейсмического процесса характеризуется огибающей пары спектров реакции, построенных с помощью записей на ортогональных направлениях (подходы 3 и 4).*

Для оценки влияния особенностей принятых подходов к формированию выборок на результаты построения обобщенных графиков  $\beta(T)$ , на рис. 3.2.18 показаны кривые  $\beta(T)$ , построенные в соответствии с подходами 1-5 для восьми разных сейсмических процессов.

Данные рис. 3.2.18 свидетельствуют, что наибольшие значения коэффициентов динамичности, как правило, соответствуют обобщенным графикам  $\beta(T)$ , построенным на основании подходов 4 и 5, а наименьшие – на основании подходов 1, 2 и 3.

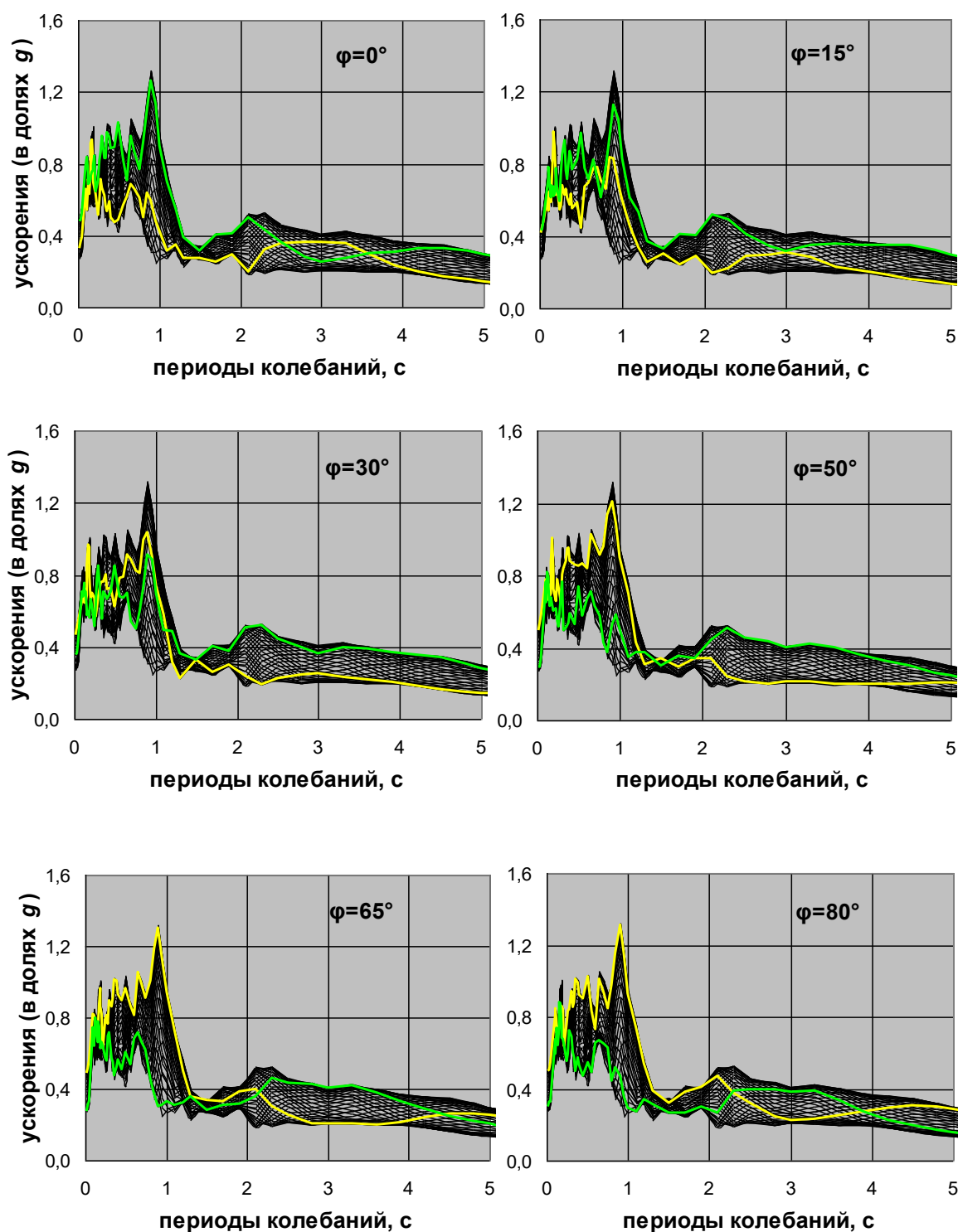


Рис. 3.2.12. «Семейство» спектров реакции, построенное по записям землетрясения Chi-Chi, и пары индивидуальных спектров реакции, полученные с помощью акселерограмм, вычисленных для ортогональных направлений при разных значениях  $\varphi$

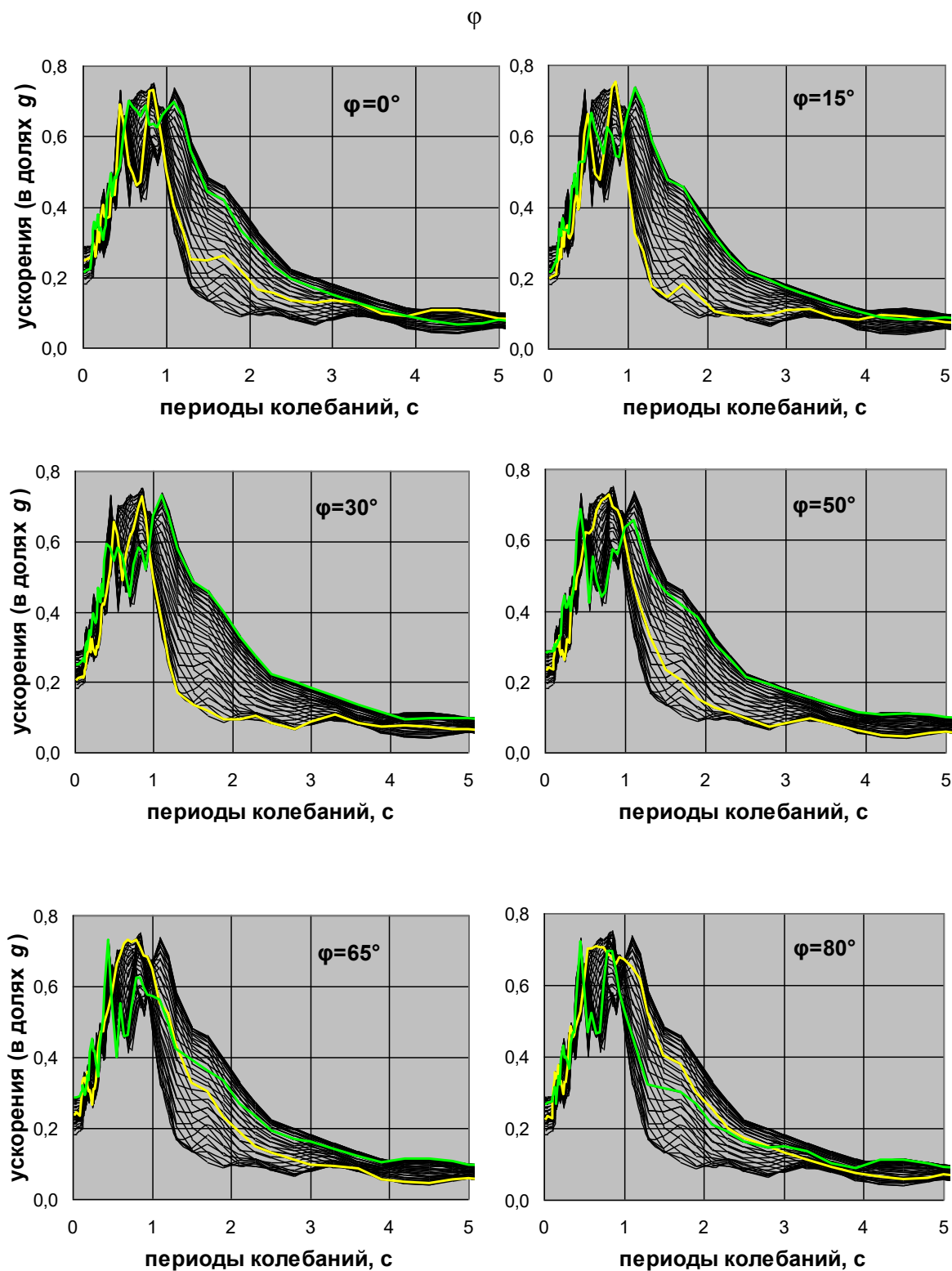
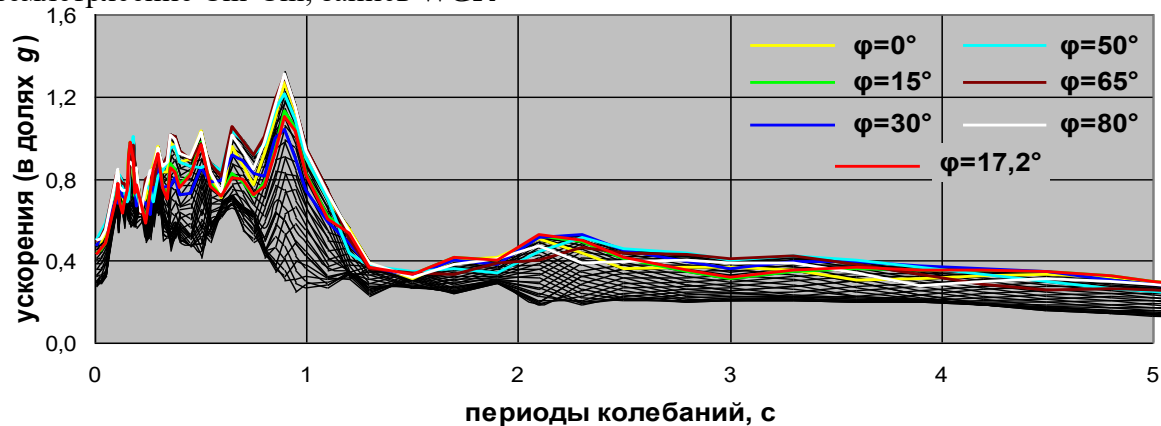
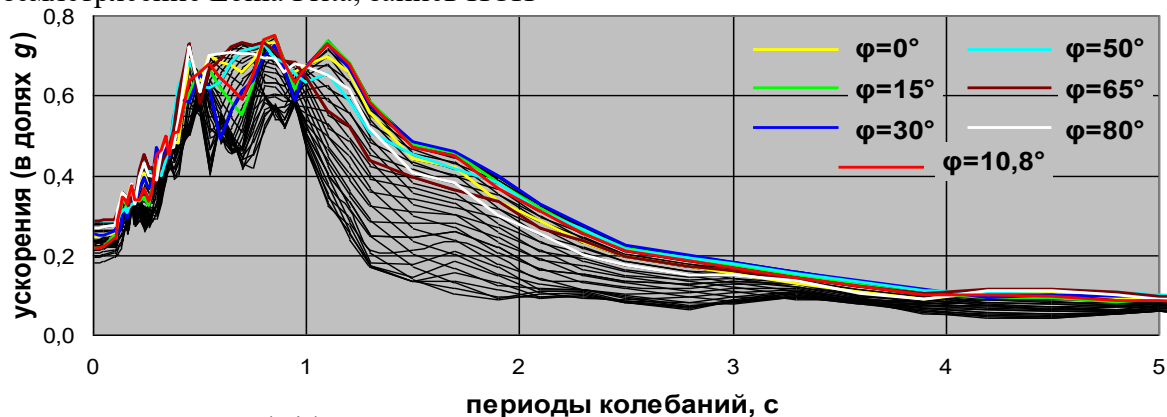


Рис. 3.2.13. «Семейство» спектров реакции, построенное по записям землетрясения Loma Prieta, и пары индивидуальных спектров реакции, полученные с помощью акселерограмм, вычисленных для ортогональных направлений при разных значениях  $\varphi$

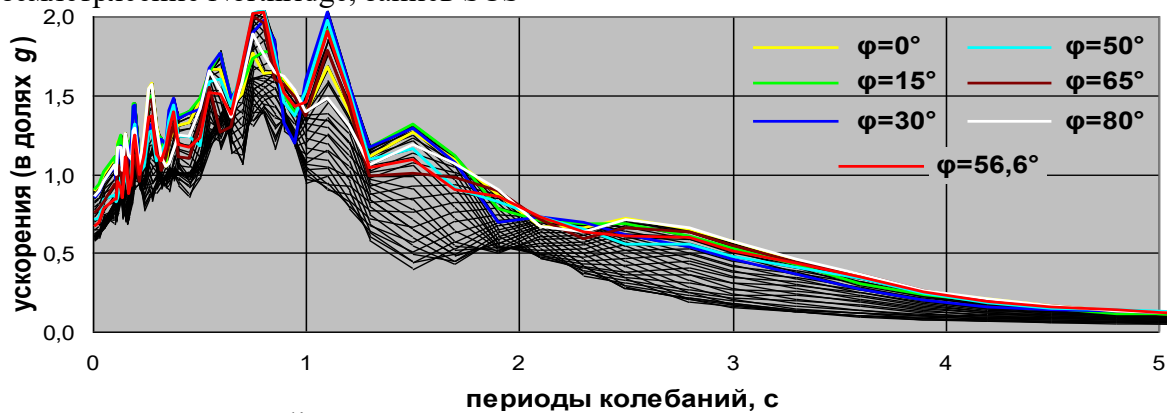
а) землетрясение Chi-Chi, запись WGK



б) землетрясение Loma Prita, запись HCH



в) землетрясение Northridge, запись SCS



г) землетрясение Косаели, запись ATS

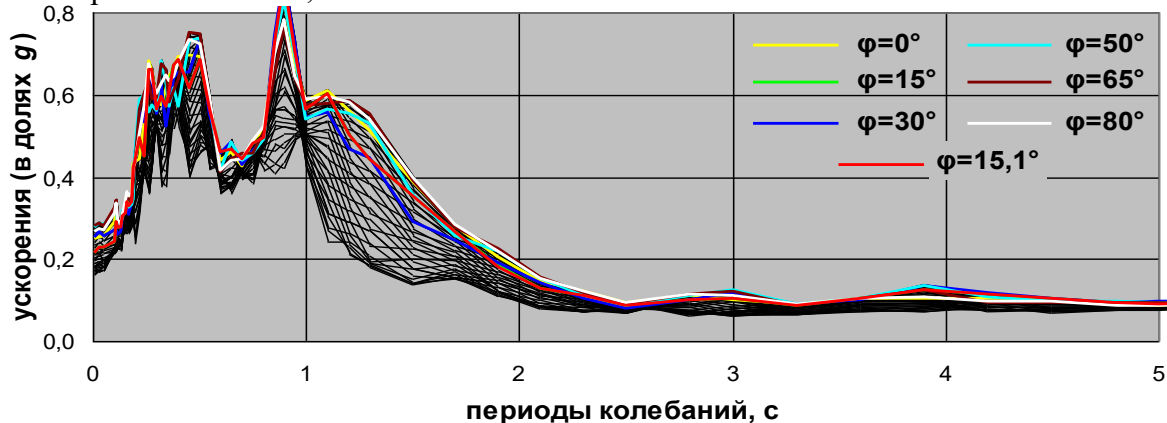
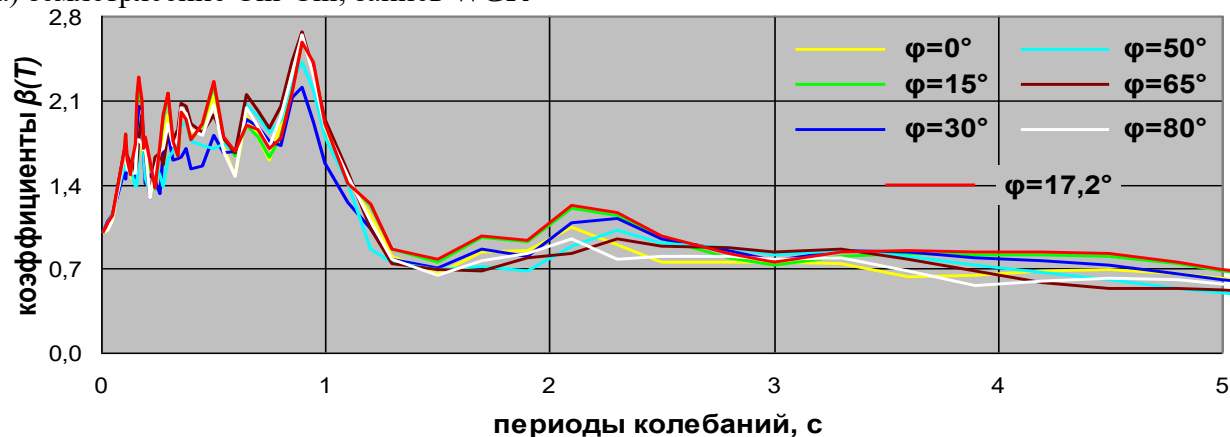
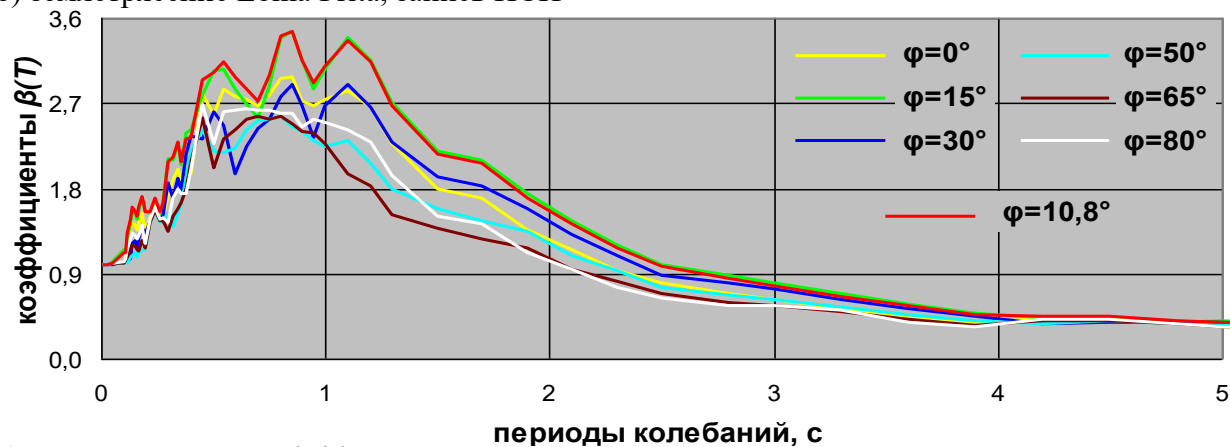


Рис. 3.2.14. «Семейства» спектров реакции и кривые, огибающих пары индивидуальных спектров, построенных для ортогональных направлений

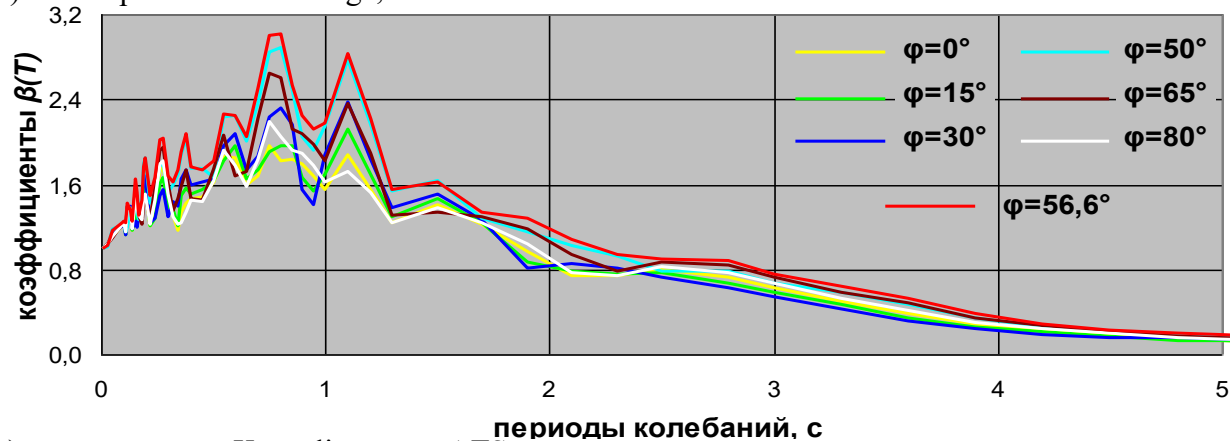
а) землетрясение Chi-Chi, запись WGK



б) землетрясение Loma Prieta, запись HCH



в) землетрясение Northridge, запись SCS



г) землетрясение Kocaeli, запись ATS

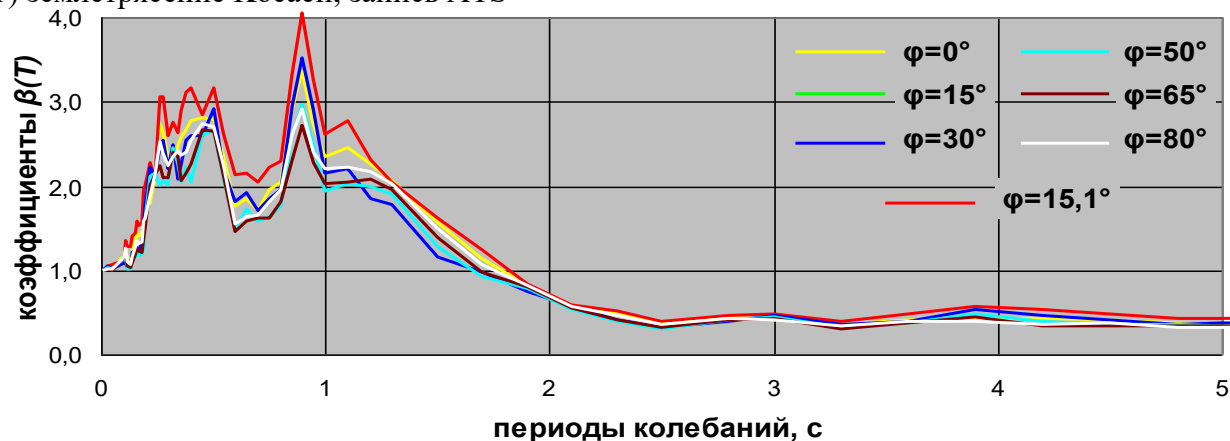
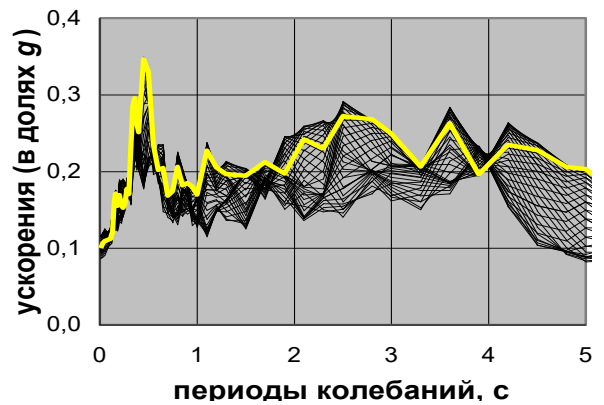
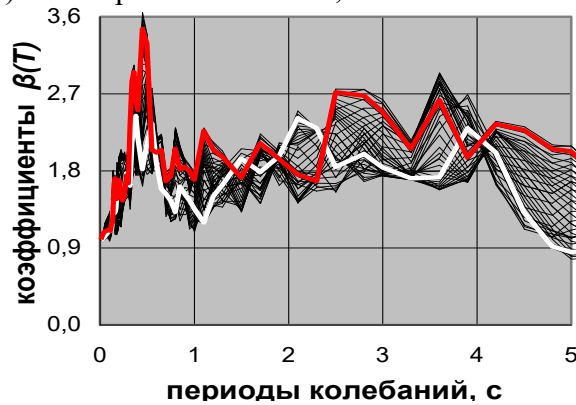
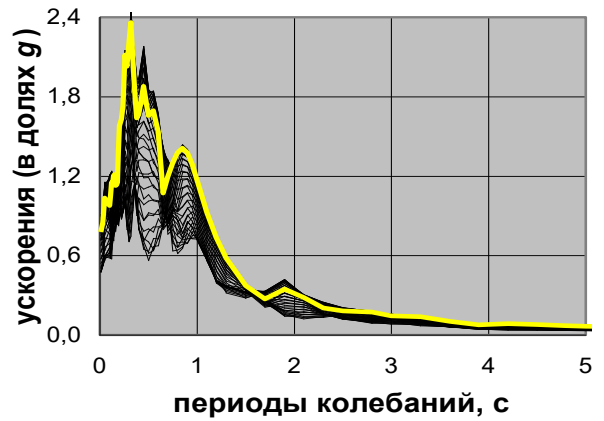
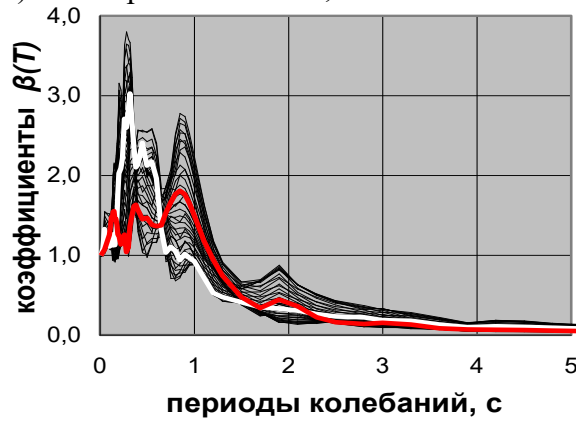


Рис. 3.2.15. Сопоставление кривых, огибающих пары индивидуальных спектров, построенных для ортогональных направлений

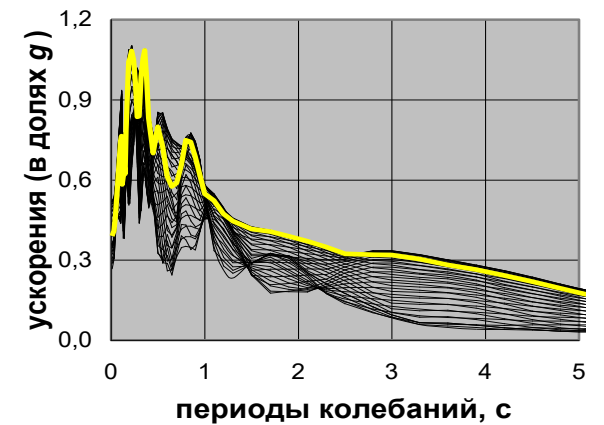
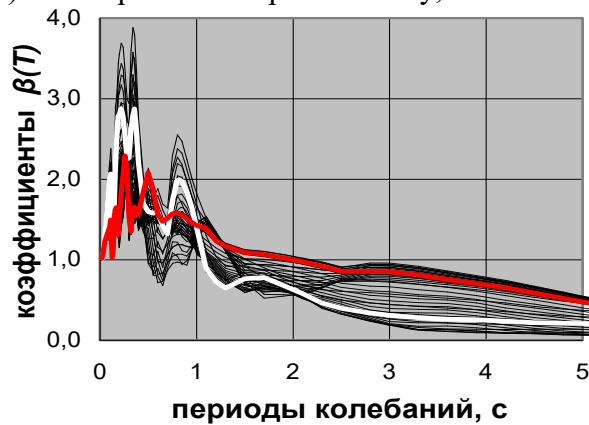
а) землетрясение Chi-Chi, запись TCU115



б) землетрясение Duzce, запись BOL



в) землетрясение Imperial Valley, запись H-E04



г) землетрясение Hector Mine, запись 12543

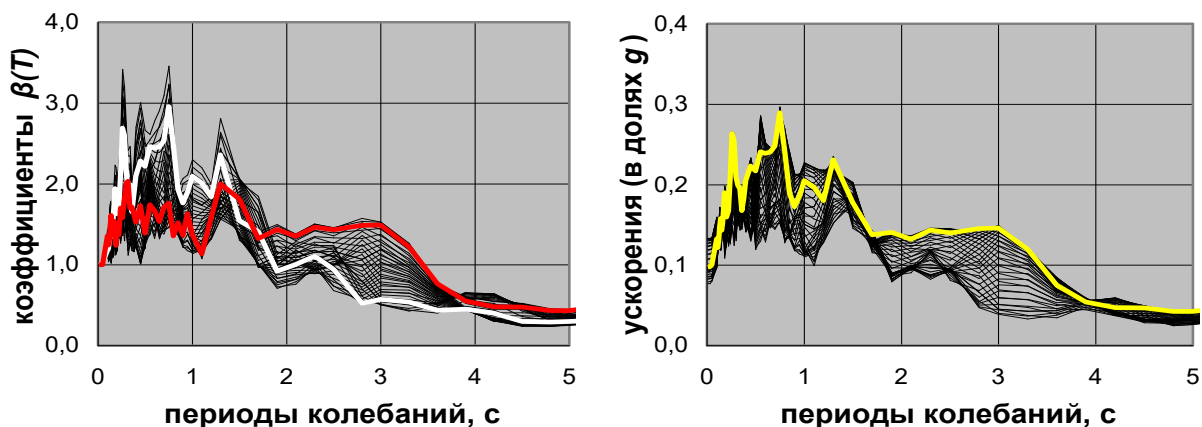
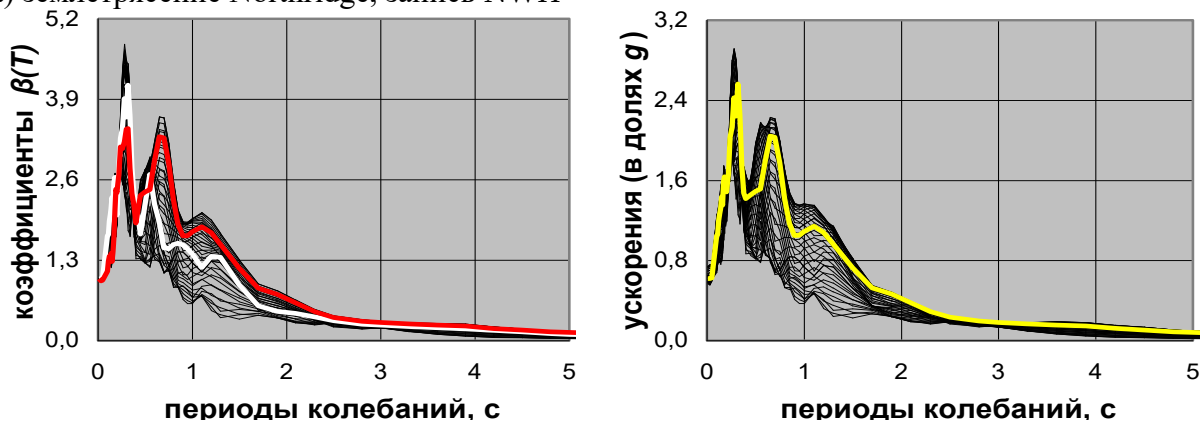
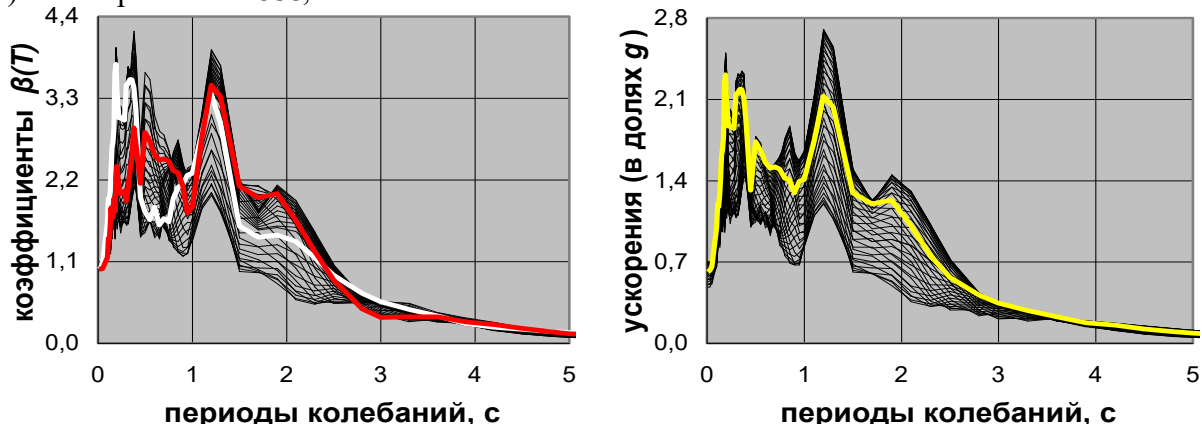


Рис. 3.2.16. Сопоставление семейств графиков  $\beta(T)$  с парами индивидуальных графиков  $\beta(T)$ , построенных по инструментальным записям на ортогональных направлениях, и семейств спектров реакции с огибающими пар индивидуальных спектров

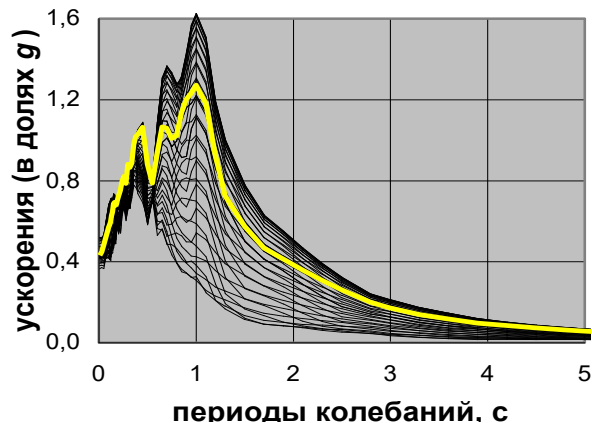
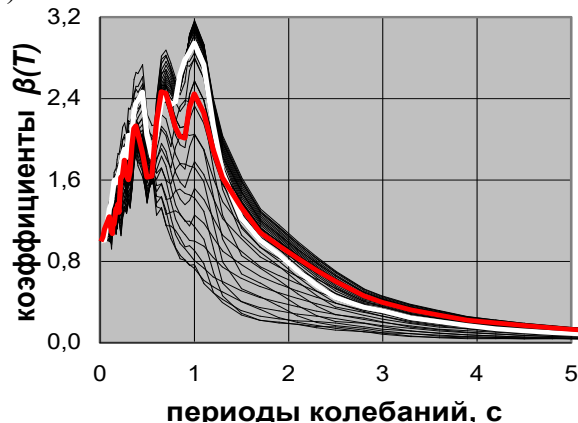
а) землетрясение Northridge, запись NWH



б) землетрясение Kobe, запись TAK



в) LEX



г) землетрясение Chi-Chi, запись TCU071

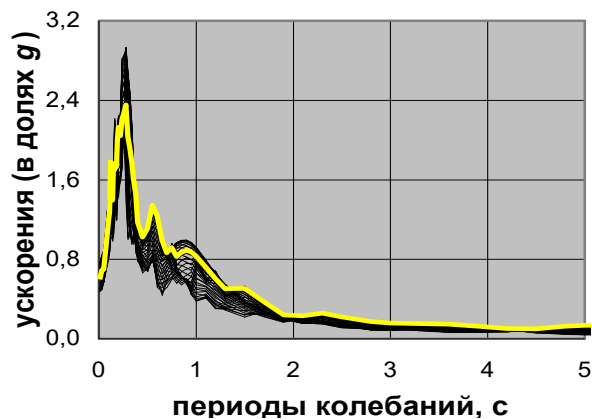
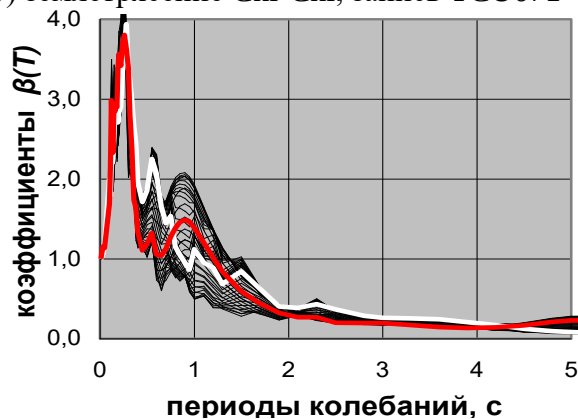
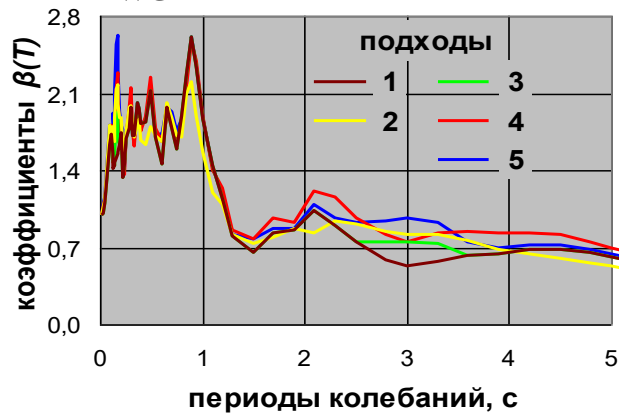


Рис. 3.2.17. Сопоставление семейств графиков  $\beta(T)$  с парами индивидуальных

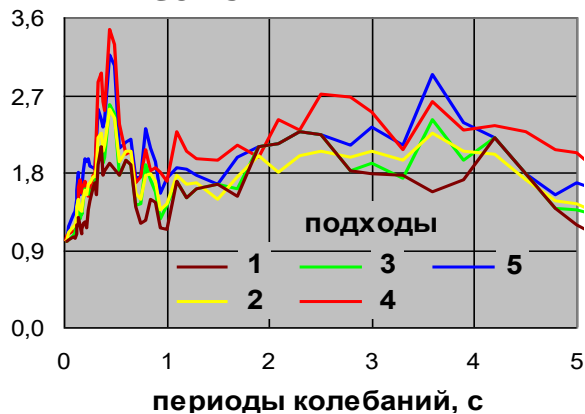
графиков  $\beta(T)$ , построенных по инструментальным записям на ортогональных

направлениях, и семейств спектров реакции с огибающими пар индивидуальных спектров

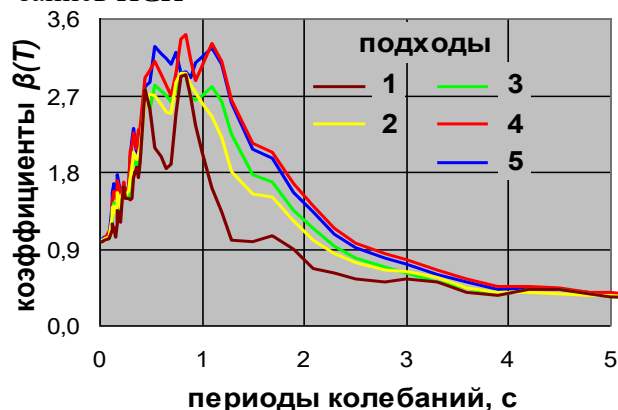
а) землетрясение Chi-Chi, запись WGK



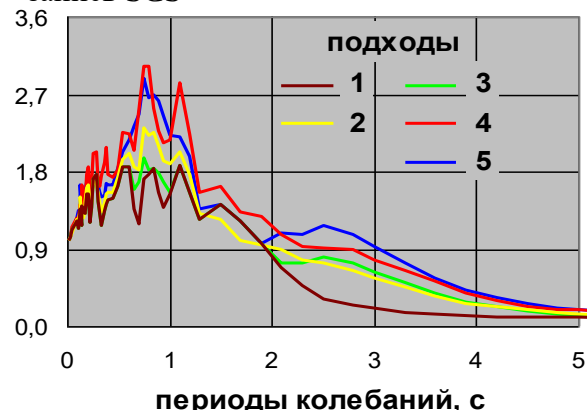
б) землетрясение Chi-Chi, запись TCU115



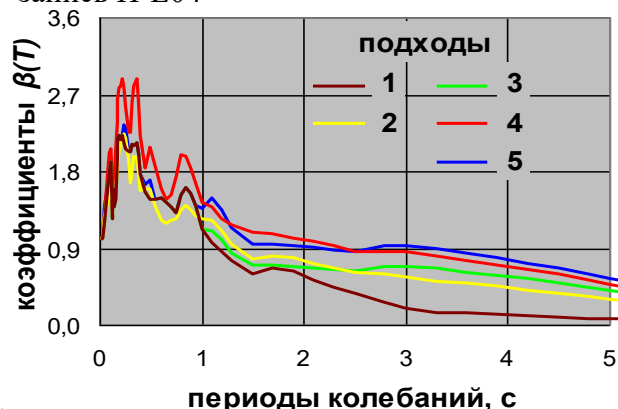
в) землетрясение Loma Prieta, запись HCH



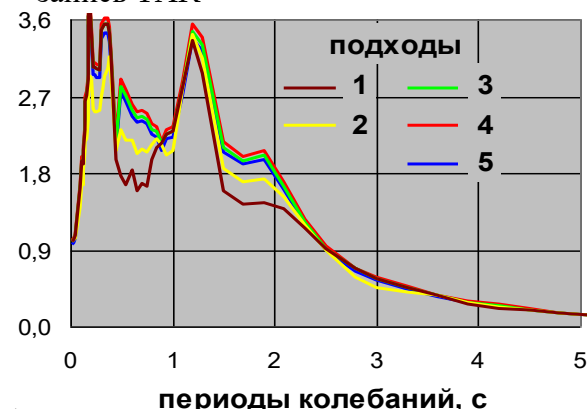
г) землетрясение Northridge, запись SCS



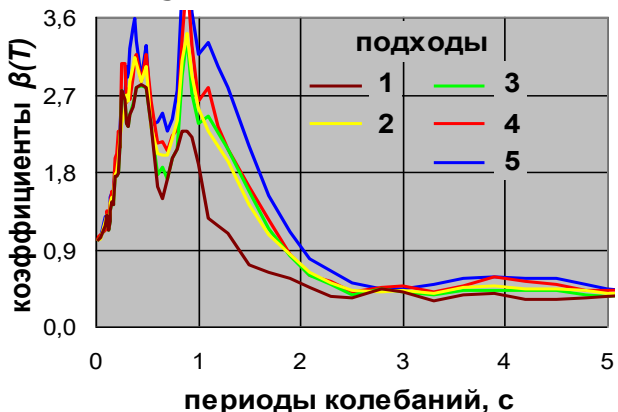
в) землетрясение Imperial Valley, запись H-E04



г) землетрясение Kobe, запись TAK



в) землетрясение Kocaeli, запись ATS



г) землетрясение Northridge, запись NWH

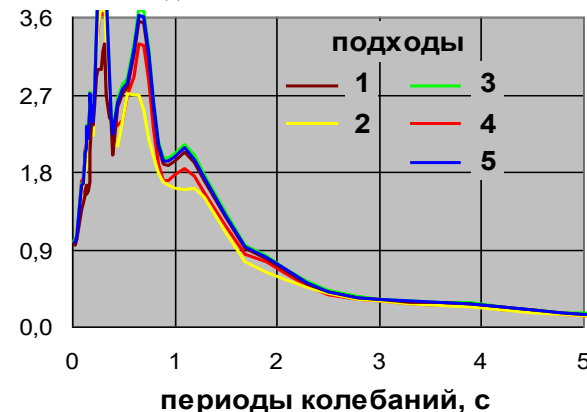


Рис. 3.2.18. Кривые  $\beta(T)$ , характеризующие динамические эффекты восьми сейсмических процессов в соответствии с подходами 1-5

### 3.3. Построение обобщенных графиков $\beta(T)$ для горизонтальных сейсмических воздействий

Обилие факторов, накладывающихся друг на друга и комплексно влияющих на параметры сейсмических колебаний грунтов, затрудняет выявление однозначной связи между каким-либо одним фактором и динамическим эффектом землетрясений. Поэтому практически во всех исследованиях, посвященных построению обобщенных графиков коэффициентов динамичности, высказывается однозначное мнение – с позиций теории надежности обобщенные графики  $\beta(T)$  должны представлять собой кривые, ординаты

которых в рамках анализируемых выборок не будут превышать с заданной вероятностью эмпирические данные, приведенные в соответствующих выборках.

При анализе выборок за значения ординат обобщенного графика коэффициентов динамичности обычно принимаются математически ожидаемые (среднеарифметические) на каждом периоде величины ординат всех индивидуальных графиков  $\beta(T)$  анализируемой выборки или, в более общем случае, математически ожидаемые значения плюс  $k$  стандартных отклонений /6/.

При анализе всех выборок, сформированных в настоящей работе, в качестве обобщенных графиков коэффициентов динамичности принимались «средние» кривые, с математически ожидаемыми значениями ординат на каждом периоде.

Помимо этого, для выборки, сформированной в соответствии с подходом 2, были построены дополнительные кривые:

- ординаты которых на каждом периоде имели математически ожидаемые значения плюс  $k$  стандартных отклонений ( $\delta$ ); значение коэффициента  $k$  с учетом логнормального распределения величин коэффициентов динамичности на каждом периоде было принято 0,53, что соответствует вероятности непревышения 0,7;
- охватывающие 70 % данных на каждом периоде.

Методика построения дополнительных кривых соответствовала методике, принятой для построения графиков  $\beta(T)$ , включенных в нормы РК.

По результатам предварительного анализа построенные обобщенные графики  $\beta(T)$  были разделены на две группы. В первую группу вошли обобщенные графики  $\beta(T)$ , построенные для выборок, сформированных в соответствии с подходами 1, 2 и 3 (рис. 3.3.1, 3.3.2 и 3.3.3), а во вторую – в соответствии с подходами 4, 5 (рис. 3.3.4, 3.3.5 и 3.3.6). Во вторую группу были также включены дополнительные кривые  $2_{70\%}$  и  $2_{(m+k\delta)}$ , построенные для выборки, сформированной в соответствии с подходом 2.

Примечание. Кривые, показанные на рис. 3.3.1 – 3.3.6, обозначались двумя или тремя индексами – первый индекс характеризовал категорию грунта, второй – подход к формированию выборки, а третий – способ построения обобщенной кривой (например, II-2<sub>70%</sub> или II-2<sub>(m+kδ)</sub>). При обозначении «средних» кривых с математически ожидаемыми значениями ординат на каждом периоде третий индекс не применялся.

На этих же рисунках показаны упрощенные и сглаженные кривые, аппроксимирующие группы обобщенных графиков  $\beta(T)$ .

Графики, приведенные на рис. 3.3.1 – 3.3.6, для удобства их восприятия, показаны в линейном и полулогарифмическом масштабах.

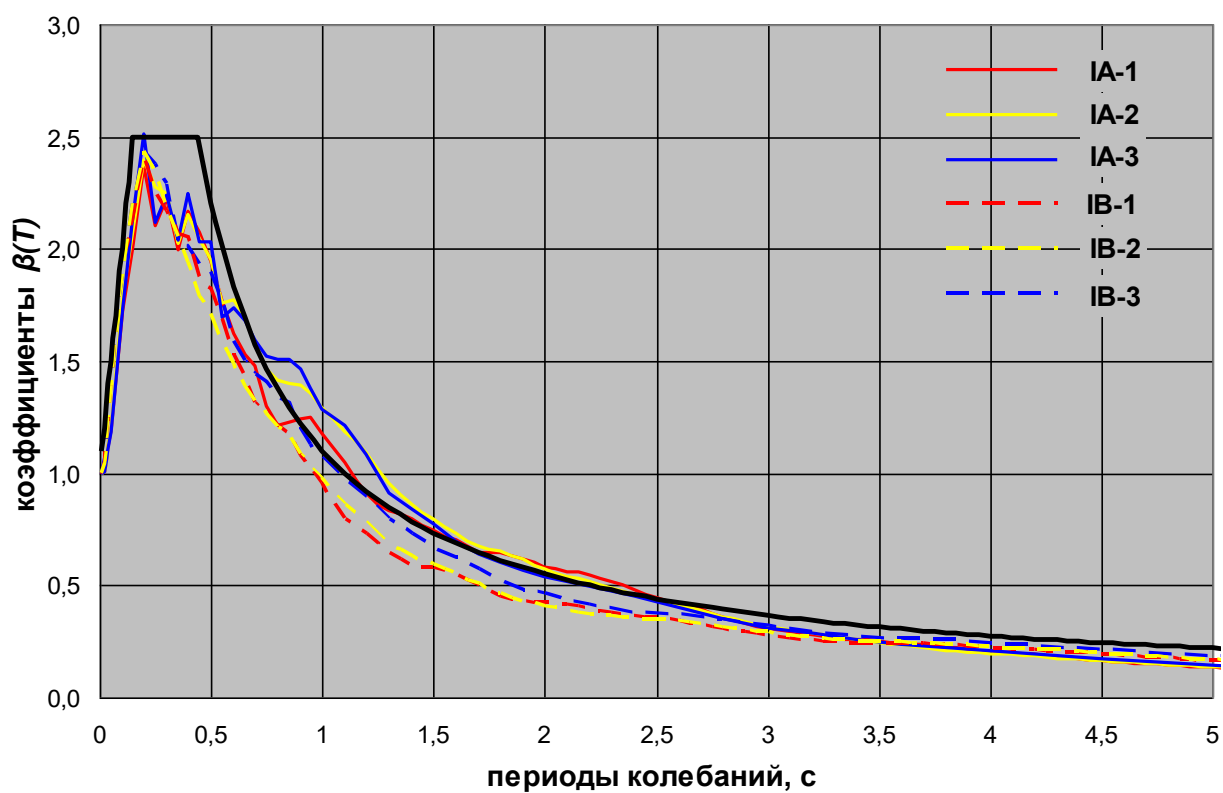
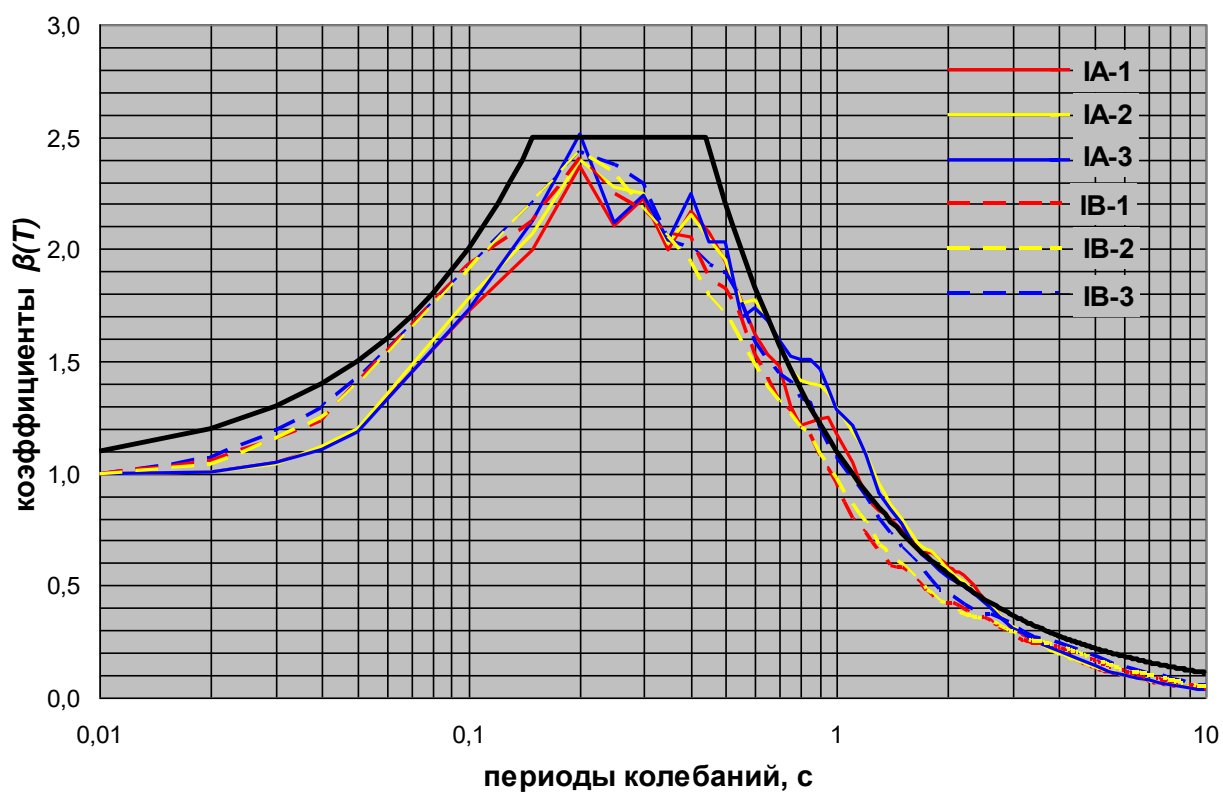


Рис. 3.3.1. Обобщенный график  $\beta(T)$ , построенный для грунтов категорий IA и IB по результатам анализа выборок, сформированных на основании подходов 1, 2 и 3

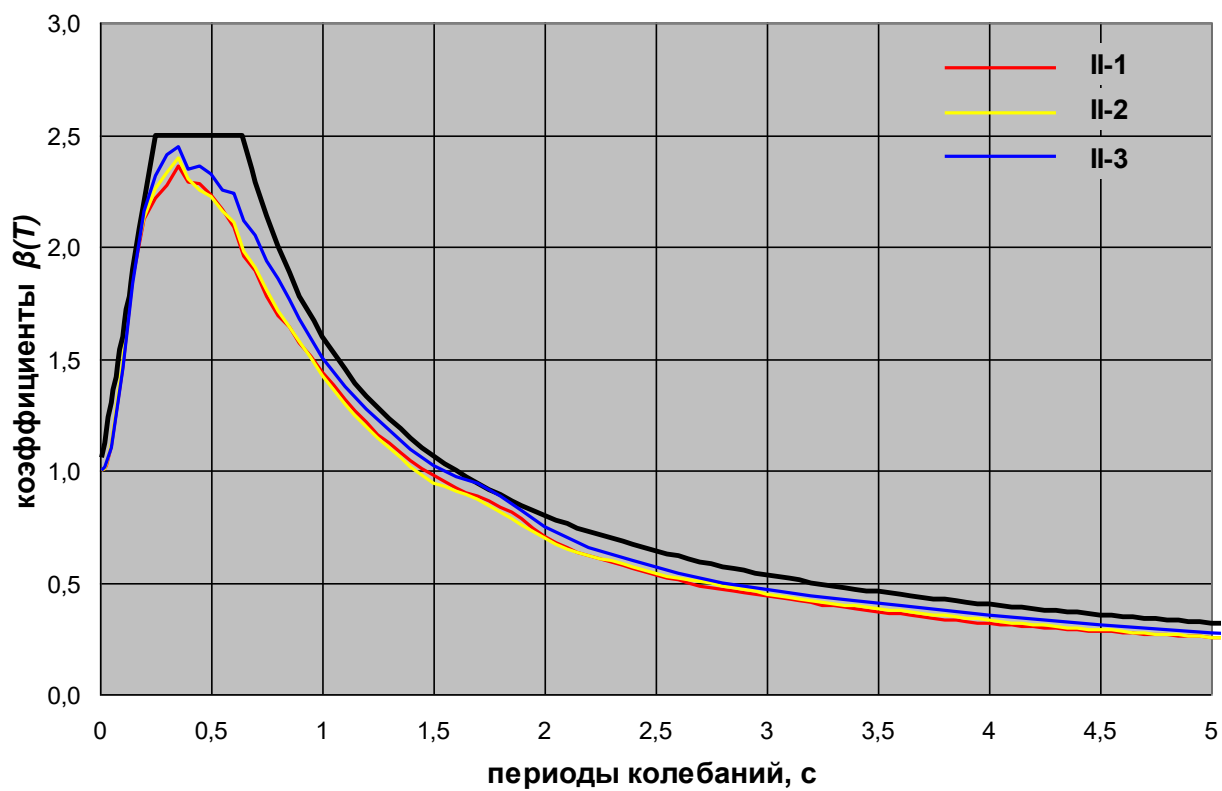
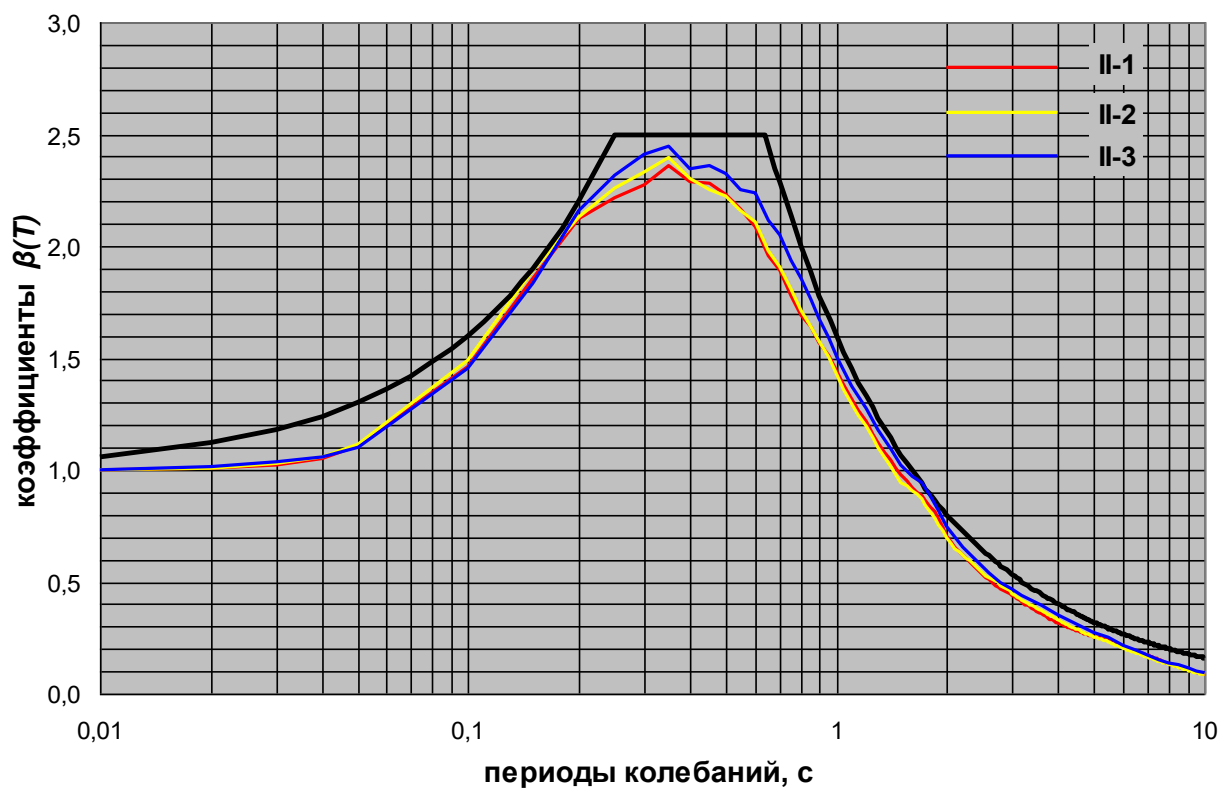


Рис. 3.3.2. Обобщенный график  $\beta(T)$ , построенный для грунтов категорий II по результатам анализа выборок, сформированных на основании подходов 1, 2 и 3

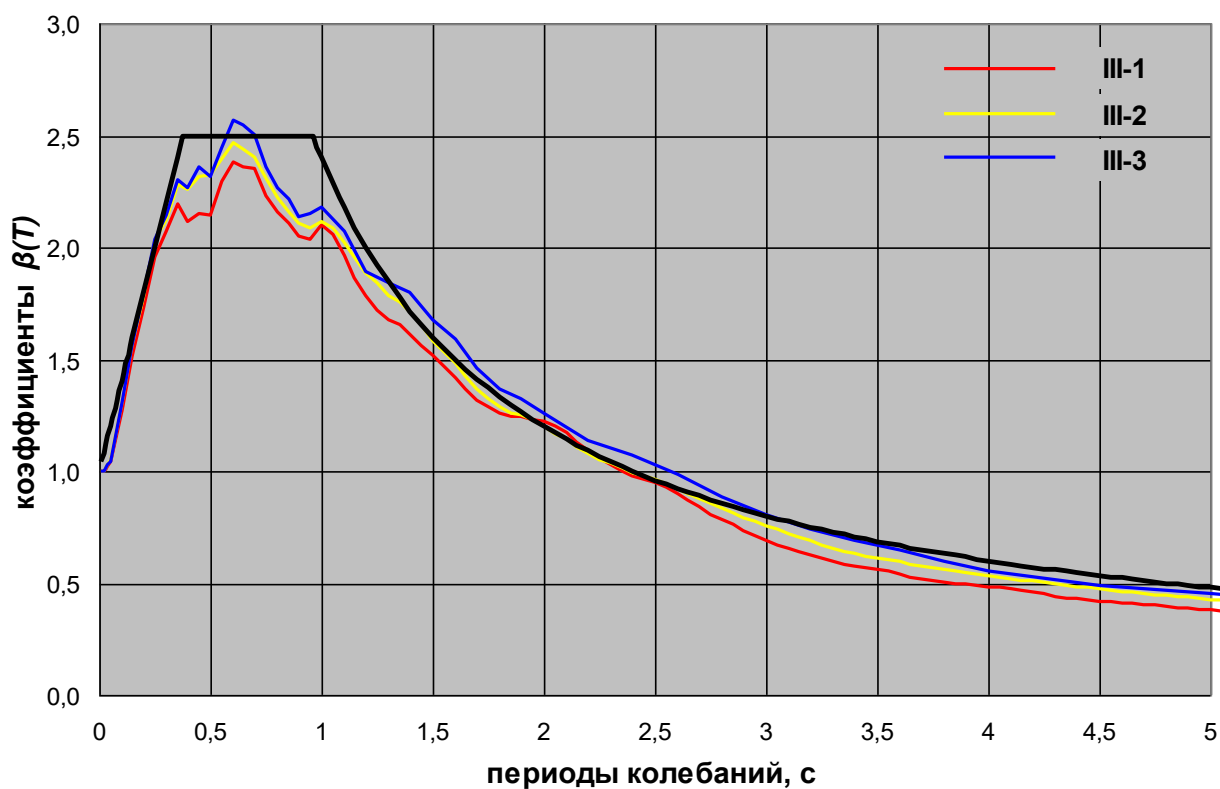
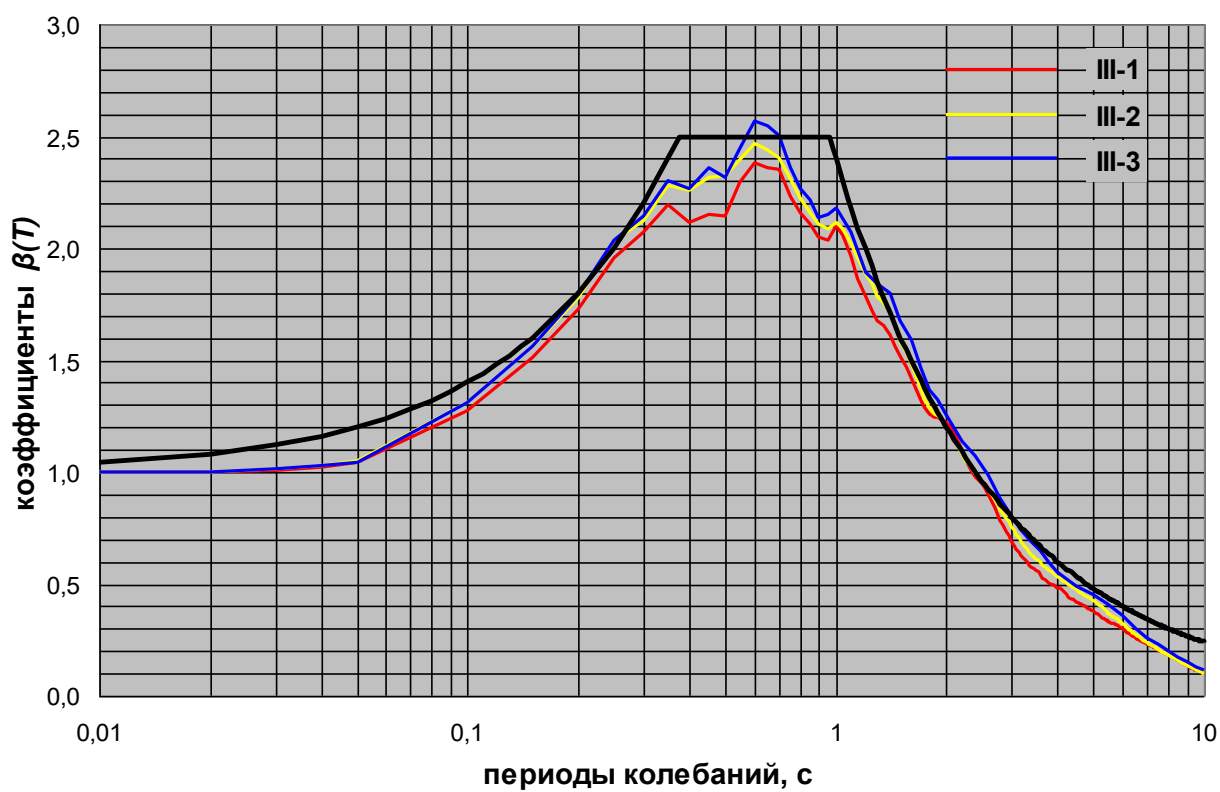


Рис. 3.3.3. Обобщенный график  $\beta(T)$ , построенный для грунтов категорий III по результатам анализа выборок, сформированных на основании подходов 1, 2 и 3

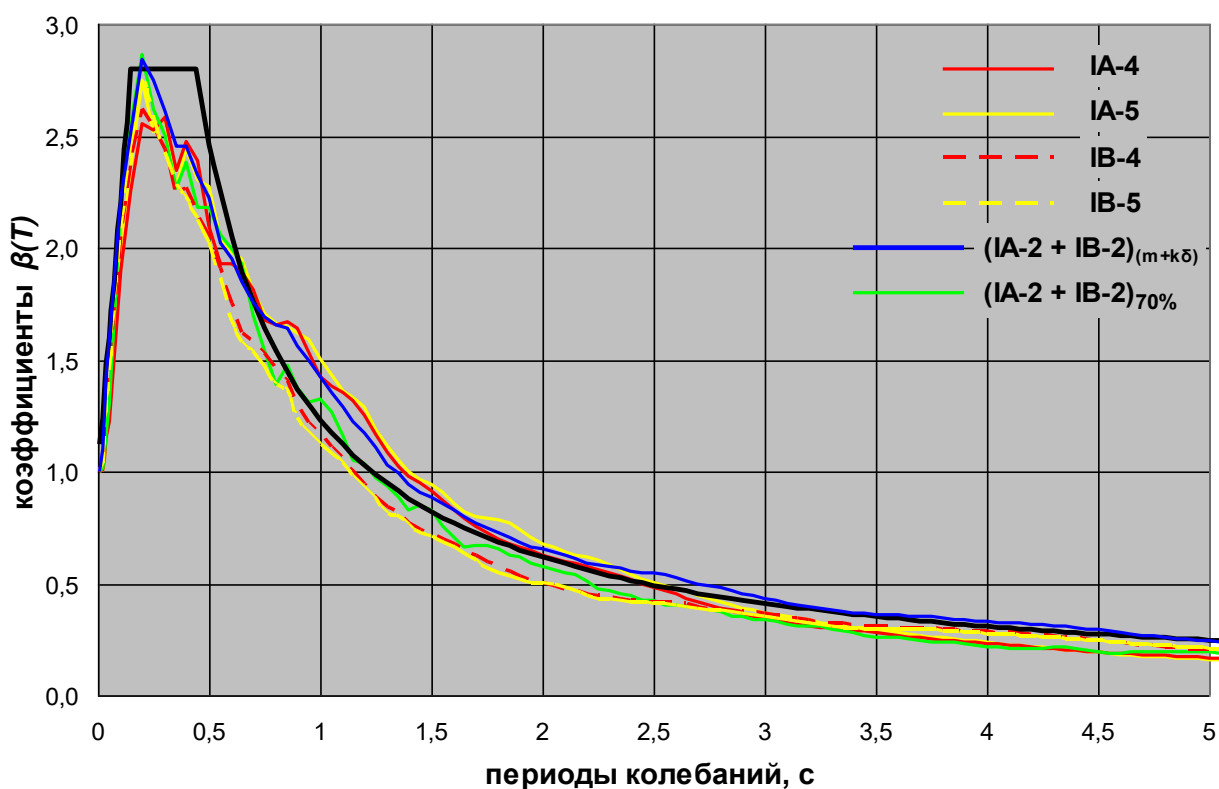
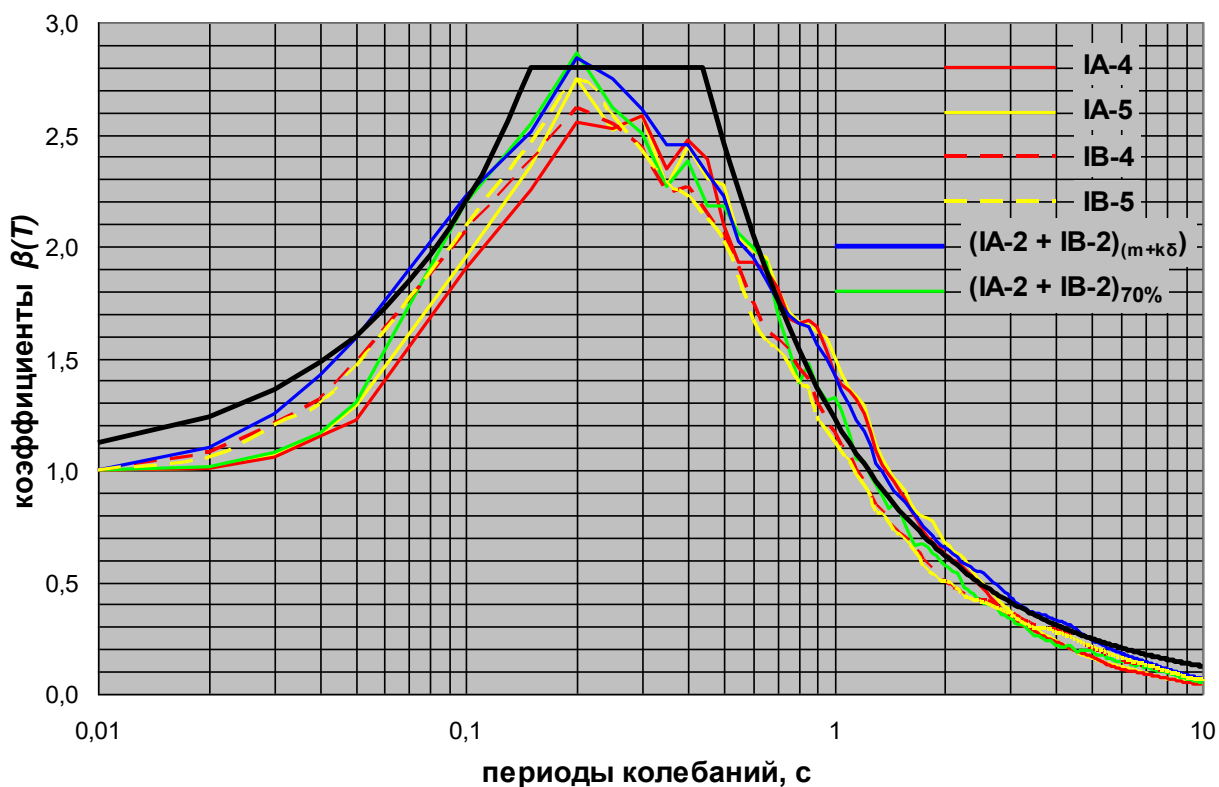


Рис. 3.3.4. Обобщенный график  $\beta(T)$ , построенный для грунтов категорий IA и IB по результатам анализа выборок, сформированных на основании подходов 4 и 5

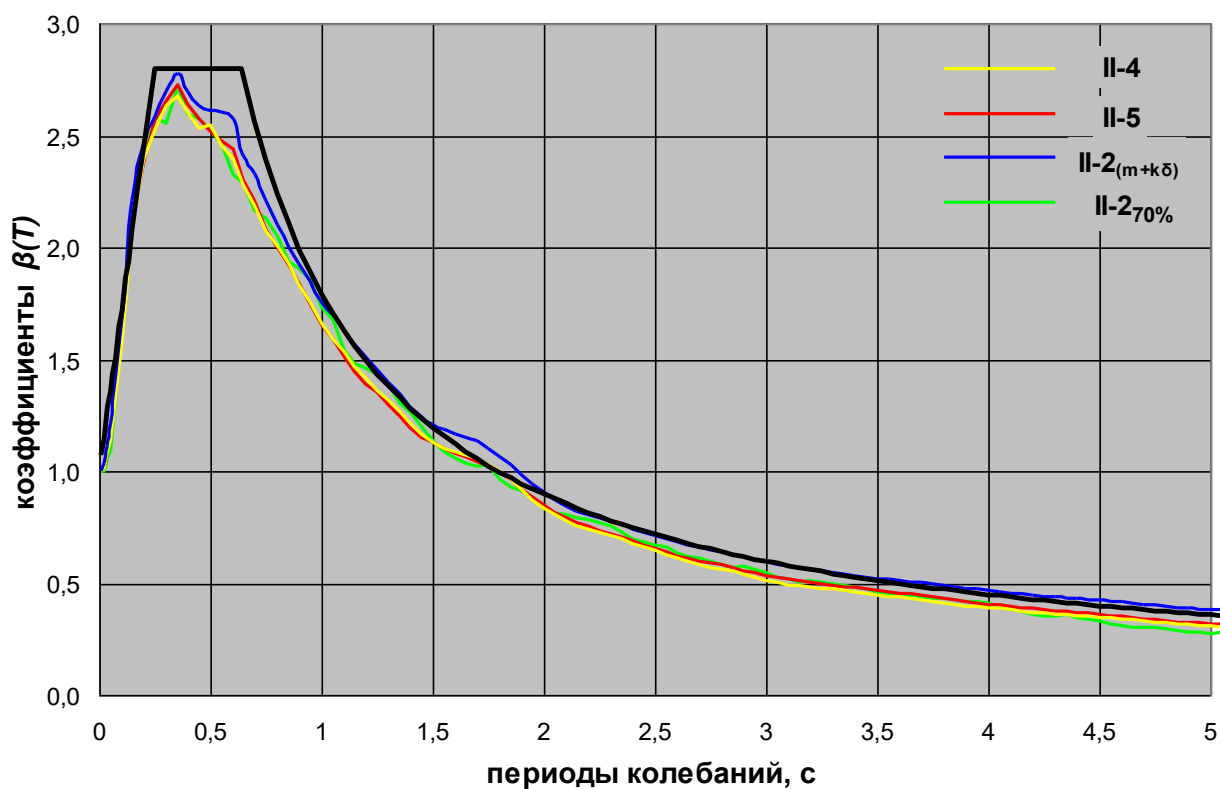
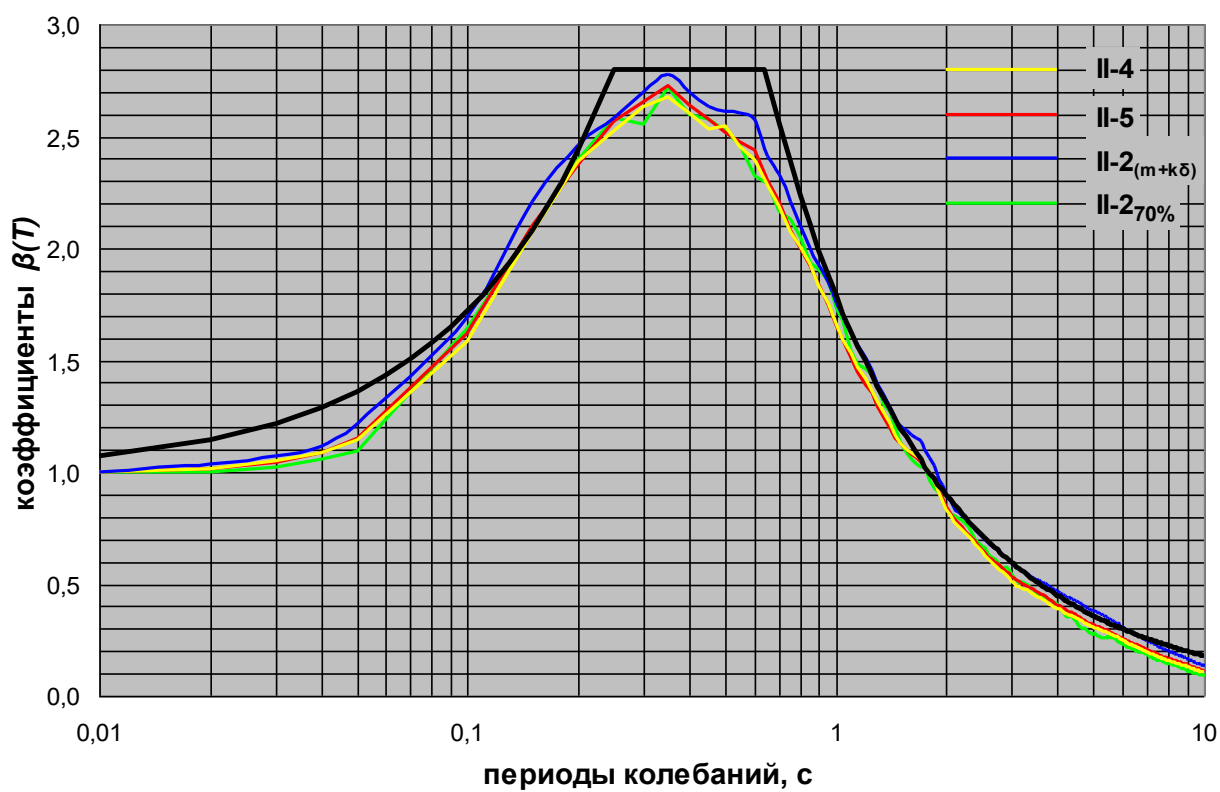


Рис. 3.3.5. Обобщенный график  $\beta(T)$ , построенный для грунтов категорий II по результатам анализа выборок, сформированных на основании подходов 4 и 5

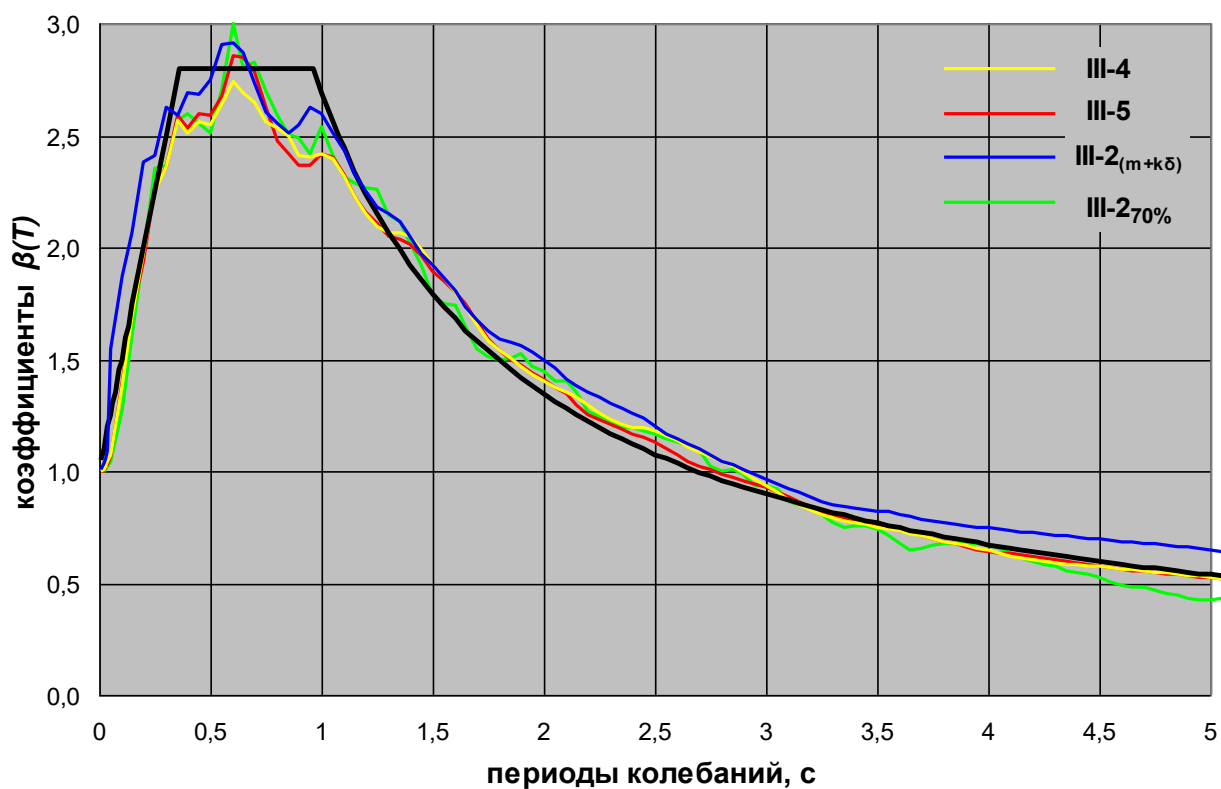
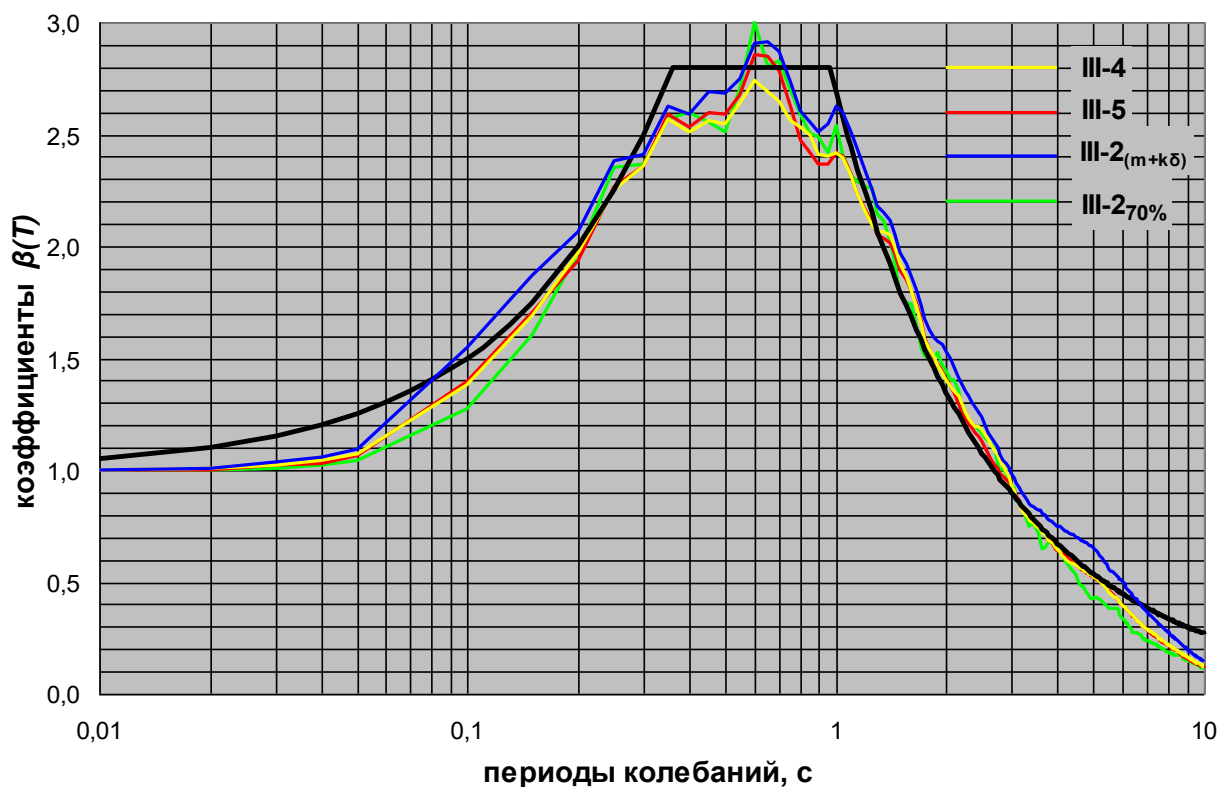


Рис. 3.3.6. Обобщенный график  $\beta(T)$ , построенный для грунтов категорий III по результатам анализа выборок, сформированных на основании подходов 4 и 5

Представленные рисунки показывают, что все обобщенные графики  $\beta(T)$ , вне зависимости от принятых подходов к их построению и грунтовых условий, к которым они отнесены, имеют форму, приближенную к форме резонансной кривой линейного осциллятора.

Все обобщенные графики  $\beta(T)$ :

- являются довольно гладкими и не содержат выраженных пиков, типичных для индивидуальных графиков  $\beta(T)$ ;
- имеют большие значения ординат только на одном участке периодов;
- имеют значения ординат стремящиеся на очень малых периодах к 1, а на очень больших – к 0.

Форма обобщенных графиков  $\beta(T)$ , не смотря на большой разброс исходных данных в сформированных выборках, явно зависят от грунтовых условий, для которых формировались выборки.

Обобщенные графики  $\beta(T)$ , построенные с применением подходов 1, 2 и 3 имеют между собой небольшие различия, но их параметры существенно отличаются от параметров графиков, построенных с применением подходов 4, 5, 2<sub>70%</sub> и 2<sub>(m+kδ)</sub>, различия между которыми также невелики.

Параметры сглаженных и упрощенных кривых K1 и K2, принятых для аппроксимации обобщенных графиков  $\beta(T)$ , описаны в таблице 3.3.1.

Таблица 3.3.1

| Тип кривой | Подходы к формированию выборок, предназначенных для построения графиков $\beta(T)$ | Значения параметров, характеризующих аппроксимирующие кривые K1 и K2 |                                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|            |                                                                                    | $\beta_{max}$                                                        | категории грунтов по сейсмическим свойствам |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|            |                                                                                    |                                                                      | IA                                          |                       | IB                    |                       | II                    |                       | III                   |                       |
|            |                                                                                    |                                                                      | T <sub>B</sub><br>(с)                       | T <sub>C</sub><br>(с) | T <sub>B</sub><br>(с) | T <sub>C</sub><br>(с) | T <sub>B</sub><br>(с) | T <sub>C</sub><br>(с) | T <sub>B</sub><br>(с) | T <sub>C</sub><br>(с) |
| K1         | 1                                                                                  | 2,5                                                                  | 0,15                                        | 0,44                  | 0,15                  | 0,44                  | 0,25                  | 0,64                  | 0,375                 | 0,96                  |
|            | 2                                                                                  |                                                                      |                                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|            | 3                                                                                  |                                                                      |                                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| K2         | 4                                                                                  | 2,8                                                                  |                                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|            | 5                                                                                  |                                                                      |                                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|            | 2 <sub>70%</sub>                                                                   |                                                                      |                                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|            | 2 <sub>(m+kδ)</sub>                                                                |                                                                      |                                             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |

Общий вид кривых K1 и K2 сопоставлен на рис. 3.3.7.

Из табл. 3.3.1 и рис. 3.3.7 видно, что кривые K1 и K2 имеют между собой существенные различия.

Как следствие возникает вопрос: какой именно тип кривой (K1 или K2) лучшим образом характеризует динамический эффект сейсмического воздействия и подлежит включению в нормы?

Однако такой вопрос может возникать только в том случае, если построенные кривые  $\beta(T)$  рассматривать в отрыве от величин пиковых ускорений, по отношению к которым были нормализованы индивидуальные спектры реакции. Наиболее наглядно этот факт прослеживается при сопоставлении методик формирования выборок данных на основании третьего и четвертого подходов.

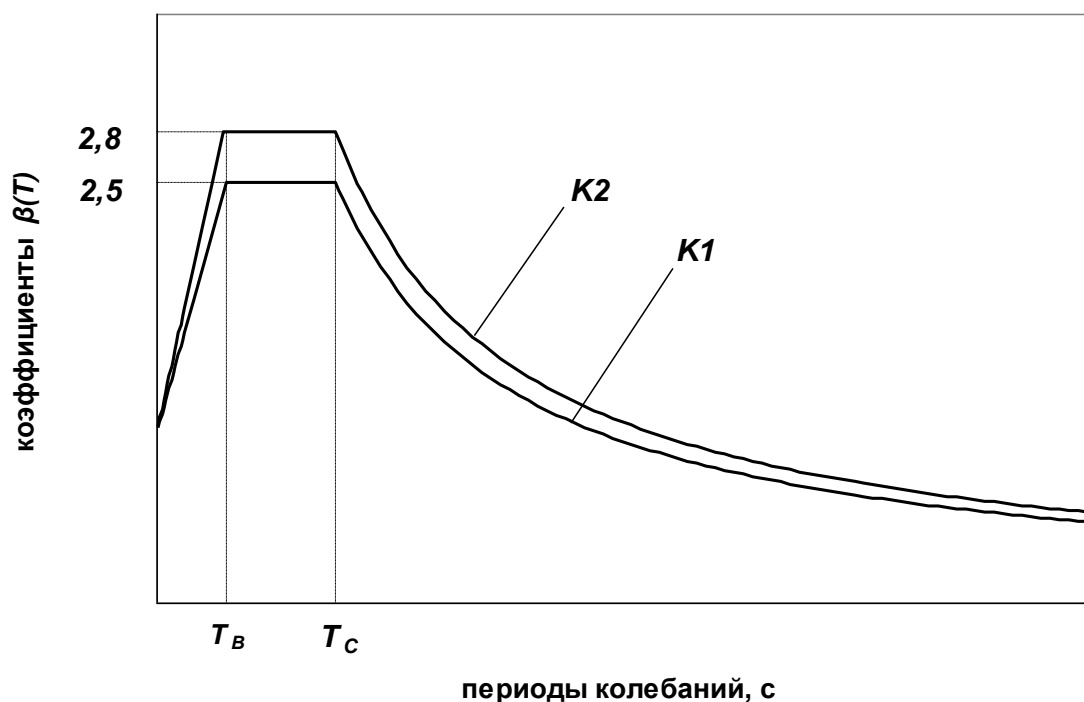


Рис. 3.3.7. Сопоставление обобщенных графиков  $\beta(T)$ , аппроксимированных кривыми типа K1 и K2

При третьем подходе динамический эффект каждого сейсмического процесса описывался одним графиком, представляющим собой кривую, огибающую сверху два индивидуальных спектра реакции, построенных с помощью инструментальных записей на ортогональных компонентах и *нормализованную по пиковому ускорению на наиболее интенсивной компоненте ( $a_{max}$ )*

При четвертом подходе динамический эффект каждого сейсмического процесса описывался также одной кривой, огибающей сверху два индивидуальных спектра реакции, но эти спектры были построены с помощью акселерограмм, вычисленных для двух ортогональных направлений, по которым пиковые амплитуды сейсмического процесса имели одинаковые значения. *Нормализация этой огибающей кривой осуществлялась по пиковому ускорению, значение которого на обоих ортогональных направлениях было одинаковым ( $a_{id}$ ).*

Зависимость, построенная по результатам анализа 180 двухкомпонентных записей и характеризующая соотношения между значениями пиковых ускорений

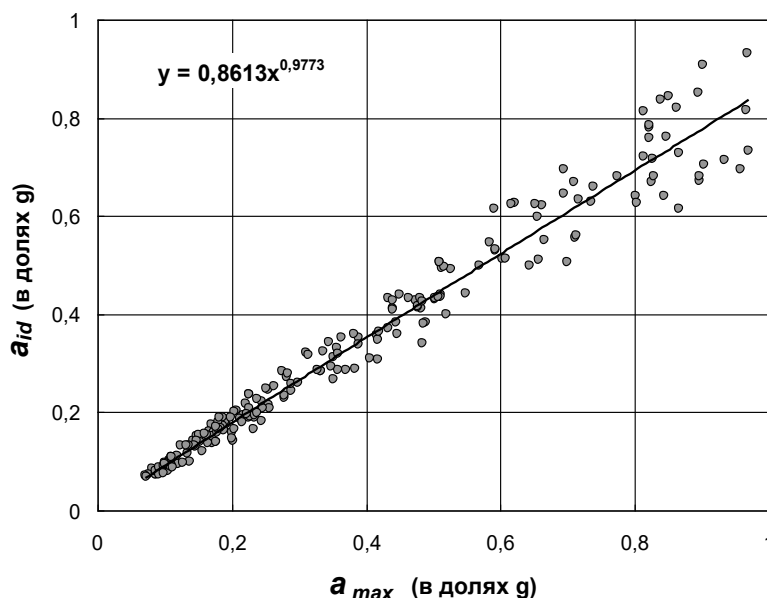


Рис. 3.3.8. Зависимость между значениями пиковых ускорений  $a_{max}$  и  $a_{id}$ , показана на рис. 3.3.8

$a_{max}$  и  $a_{id}$ , показана на рис. 3.3.8.

Из полученной зависимости следует, что в разных диапазонах периодов отношения  $a_{max}/a_{id}$  составляют от 1,10 до 1,16 при среднеарифметическом значении 1,13.

Примерно такое же соотношение (1,12) имеют ординаты построенных кривых K2 и K1.

Полученные результаты свидетельствуют о следующем:

- при включении в нормы графиков  $\beta(T)$ , соответствующих кривым типа K1, проектные величины пиковых ускорений должны быть нормированы на уровне, соответствующем значениям  $a_{max}$ ;
- при включении в нормы графиков  $\beta(T)$ , соответствующих кривым типа K2, проектные величины пиковых ускорений должны быть нормированы на уровне соответствующем значениям  $a_{id}$ .

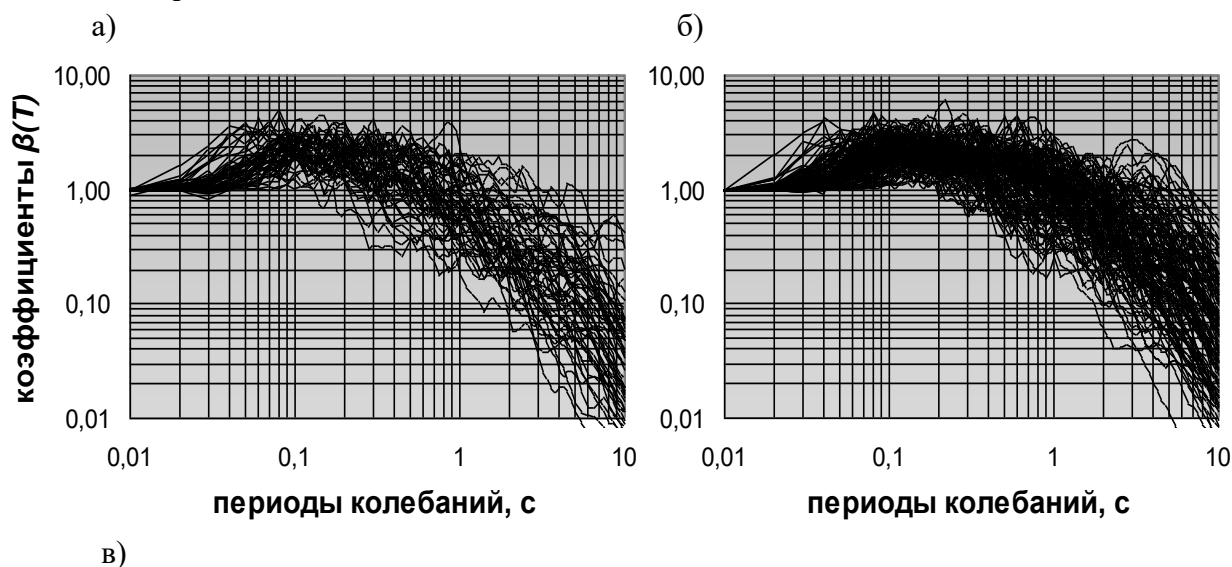
При соблюдении этого условия спектры упругой реакции, отвечающие графикам  $\beta(T)$  типа K1 и K2, будут идентичны.

### 3.4. Построение обобщенных графиков $\beta(T)$ для вертикальных сейсмических воздействий

Для построения графиков  $\beta(T)$ , характеризующих динамический эффект вертикальных сейсмических движений поверхности Земли, было отобрано 242 акселерограммы, зарегистрированные при землетрясениях с магнитудами не менее 6,5. Максимальные амплитуды всех акселерограмм имели значения более 0,05g. Примерно 80% записей имело максимальные амплитуды более 0,1g, а 50% – 0,2g и более. Все отобранные записи вертикальных движений поверхности Земли, в зависимости от грунтовых условий в пунктах регистрации, были классифицированы на три независимые выборки.

В выборку, сформированную для грунтов категории I (записи на грунтах категорий IA и IB были объединены в одну выборку), было отнесено 49 акселерограмм, для грунтов категории II – 132 акселерограммы и для грунтов категории III – 61 акселерограмма.

Графики  $\beta(T)$ , построенные по записям, полученным на грунтах категорий I, II и III, показаны на рис. 3.4.1.а, 3.4.1.б и 3.4.1.в соответственно.



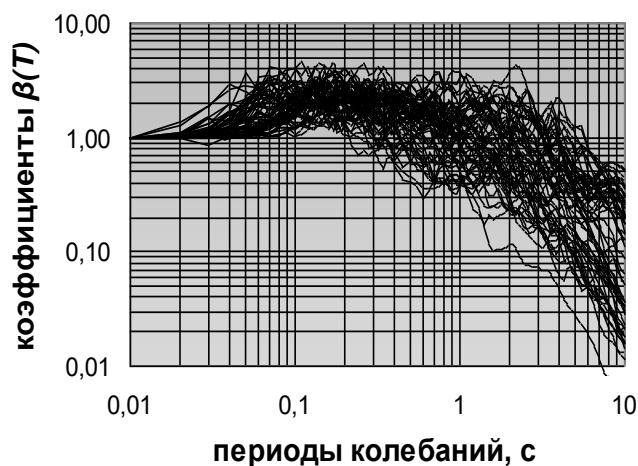
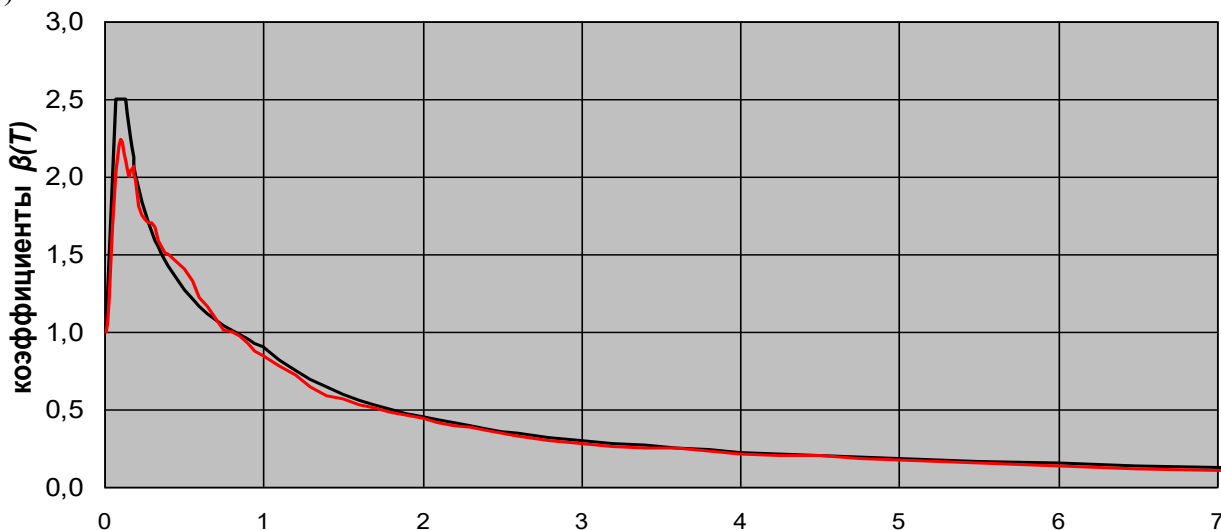


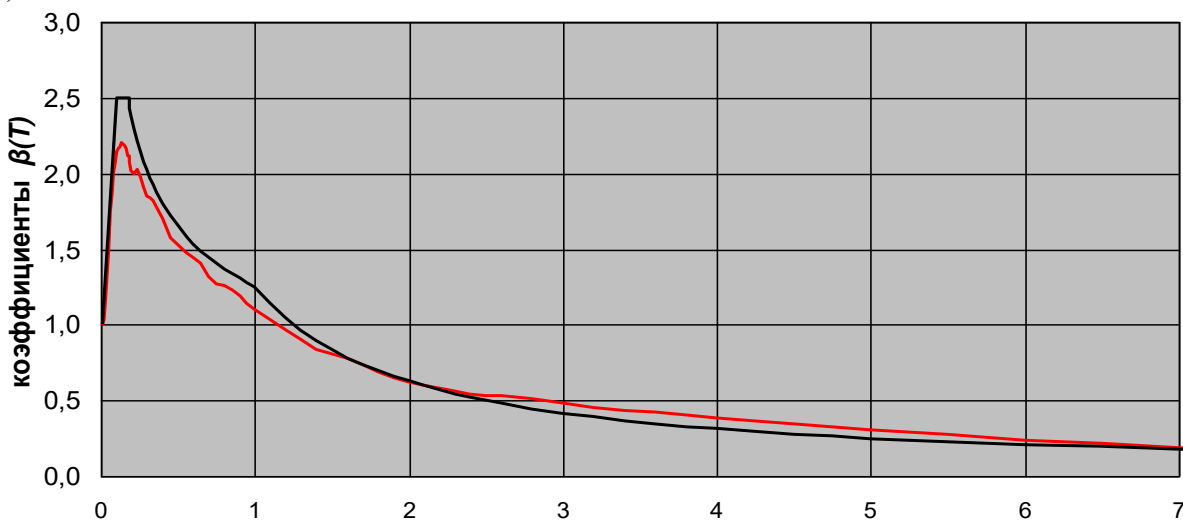
Рис. 3.4.1. Выборки, сформированные для грунтов категорий I (а), II (в) и III (г)

Проведенный анализ показал, что форма «средних» огибающих индивидуальных графиков  $\beta$ , построенных по записям вертикальных движений поверхности Земли, зависит от грунтовых условий. На рис. 3.4.2 сопоставлены «средние» огибающие, отвечающие разным выборкам, но имеющие одинаковую вероятность неперевышения. На этих же рисунках показаны сглаженные кривые, с помощью которых были аппроксимированы огибающие.

а)



б)



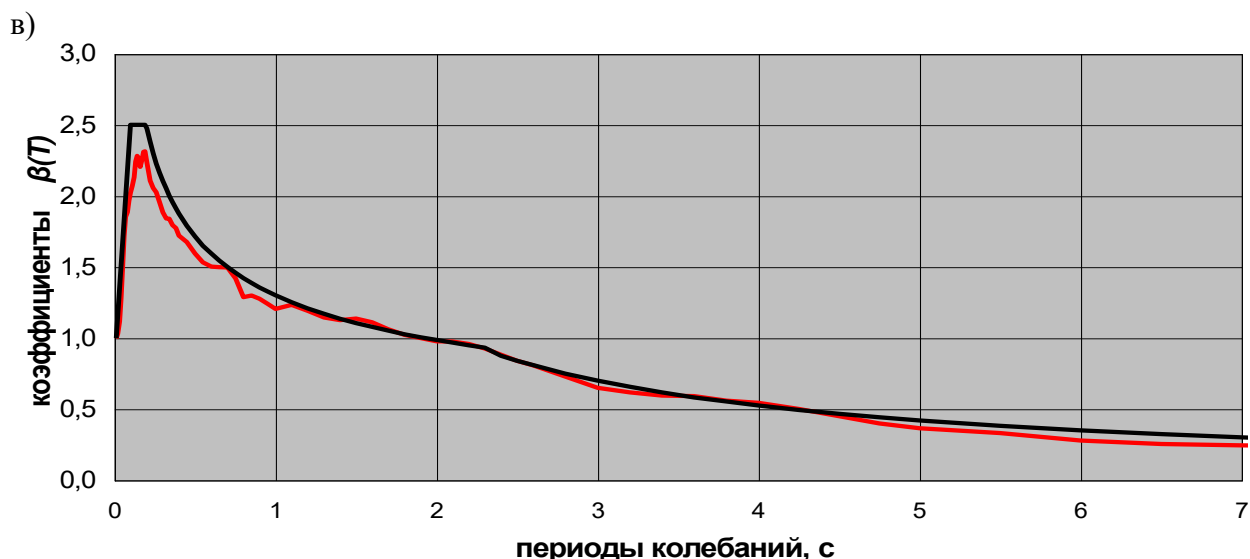


Рис. 3.4.2. «Средние» огибающие (красные линии) и аппроксимирующие их кривые, построенные по записям на грунтах категорий I (а), II (в) и III (г)

Зависимости, описывающие стандартные графики  $\beta(T)$ , построенные по записям вертикальных движений поверхности Земли, приведены в табл. 3.4.1 и 3.4.2.

Таблица 3.4.1

| Участок графика $\beta(T)$  | Категория грунтов по сейсмическим свойствам | Значение $\beta(T)$ или формула для соответствующего участка графика |
|-----------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $0 \leq T \leq T_{BV}$      | I, II, III                                  | $\beta_V(T) = 1 + (\beta_{V \max} - 1,0) \cdot \frac{T}{T_{BV}}$     |
| $T_{BV} \leq T \leq T_{CV}$ | I, II, III                                  | $\beta_{V \max}$                                                     |
| $T_{BV} \leq T \leq T_{CV}$ | I                                           | $\beta_V(T) = 0,90 / T^{0,5}$                                        |
|                             | II                                          | $\beta_V(T) = 1,25 / T^{0,4}$                                        |
|                             | III                                         | $\beta_V(T) = 1,30 / T^{0,4}$                                        |
| $T > T_D$                   | I                                           | $\beta_V(T) = 0,90 / T$                                              |
|                             | II                                          | $\beta_V(T) = 1,25 / T$                                              |
|                             | III                                         | $\beta_V(T) = 2,10 / T$                                              |

Таблица 3.4.2

| Категория грунтов по сейсмическим свойствам | Значения параметров, описывающих графики $\beta(T)$ , соответствующие вертикальным сейсмическим воздействиям |                |                |             |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------|
|                                             | $\beta_{V \max}$                                                                                             | $T_{BV}$ (сек) | $T_{CV}$ (сек) | $T_D$ (сек) |
| I                                           | 2,5                                                                                                          | 0,06           | 0,1296*        | 1,0         |
| II                                          | 2,5                                                                                                          | 0,10           | 0,1768*        | 1,0         |
| III                                         | 2,5                                                                                                          | 0,10           | 0,1950*        | 2,3         |

Примечание: \* — значения  $T_{Cv}$  определены с точностью до четвертого знака после запятой.

В Национальном приложении к СН РК EN 1998-1:2004/2012 спектр упругой реакции  $S_e(T)$  для вертикальных составляющих сейсмического воздействия предлагается определять с помощью следующих выражений:

$$0 \leq T \leq T_{Bv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_{Bv}} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (3.4.1)$$

$$T_{Bv} \leq T \leq T_{Cv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (3.4.2)$$

$$T_{Cv} \leq T \leq T_{Dv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot 2,5 \left[ \frac{T_{Cv}}{T} \right]^k \quad (3.4.3)$$

$$T \geq T_{Dv} : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_{Cv} T_{Dv}}{T^2} \right]^k \quad (3.4.4)$$

Значения  $a_{vg}/a_g$ ,  $T_{Bv}$ ,  $T_{Cv}$  и  $T_{Dv}$  и  $S$  приведены в таблице 3.4.3.

Таблица 3.4.3

| Категория грунтов по сейсмическим свойствам | $a_{vg}/a_g$ при |                         |              | $T_{Bv}$<br>(сек) | $T_{Cv}$<br>(сек) | $T_{Dv}$<br>(сек) | $k$ |
|---------------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
|                                             | $a_g \leq 0,12g$ | $0,12g < a_g \leq 0,4g$ | $a_g > 0,4g$ |                   |                   |                   |     |
| IA                                          | 0,7              | 0,8                     | 0,9          | 0,05              | 0,13              | 0,9               | 0,5 |
| IB                                          | 0,7              | 0,8                     | 0,9          | 0,05              | 0,13              | 0,9               | 0,5 |
| II                                          | 0,7              | 0,8                     | 0,9          | 0,10              | 0,20              | 1,3               | 0,5 |
| III                                         | 0,7              | 0,8                     | 0,9          | 0,10              | 0,30              | 2,1               | 0,4 |

#### 4. НОРМИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПОПРАВОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДЕМПФИРОВАНИЯ

Согласно пункту 3.2.2.2(3) EN 1998-1:2004 «Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий» значение поправочного коэффициента демпфирования  $\eta$  можно определять по формуле

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55 \quad (4.1)$$

где  $\xi$  — коэффициент вязкого демпфирования конструкции в процентном выражении.

Коэффициент  $\eta$  обеспечивает переход от значений коэффициентов динамичности, полученных при  $\xi=0,05$ , к значениям коэффициентов динамичности при иных величинах  $\xi$ .

Формула 4.1 базируется на допущении, что значения коэффициента  $\eta$  зависят только от величины коэффициента вязкого демпфирования конструкции  $\xi$  и для всех значений  $T$  спектра упругой реакции  $S_e(T)$  значения  $\eta$  являются одинаковыми.

Это допущение противоречит результатам исследований проведенных в РГП «КазНИИССА».

На рис. 4.1 показаны обобщенные графики  $\beta(T)$ , построенные при значениях коэффициента вязкого демпфирования 1%, 2%, 5%, 10% и 20% на основании подхода 2 по инструментальным записям, зарегистрированным на грунтах категорий I, II и III. Красными линиями на рис. 4.1 обозначены обобщенные графики, построенные при  $\xi=5\%$ .

На рис. 4.2 представлены графики, характеризующие на разных периодах колебаний отношения значений коэффициентов динамичности, соответствующих разным величинам  $\xi$  (1%, 2%, 10% и 20%), к значениям коэффициентов динамичности при  $\xi=5\%$ . Указанные отношения представляют собой значения коэффициентов  $\eta$  на разных периодах колебаний при разных величинах  $\xi$  (от 1% до 20%)

Нормированные значения коэффициентов  $\eta$  на разных периодах колебаний при разных величинах  $\xi$  (от 1% до 20%) предлагается определять по формулам (4.2)-(4.4):

при  $T \leq 0,1$  сек

$$\eta = 1 + (\gamma - 1) \frac{T}{0,1}; \quad (4.2)$$

при  $0,1 \leq T \leq 1$  сек

$$\eta = \gamma; \quad (4.3)$$

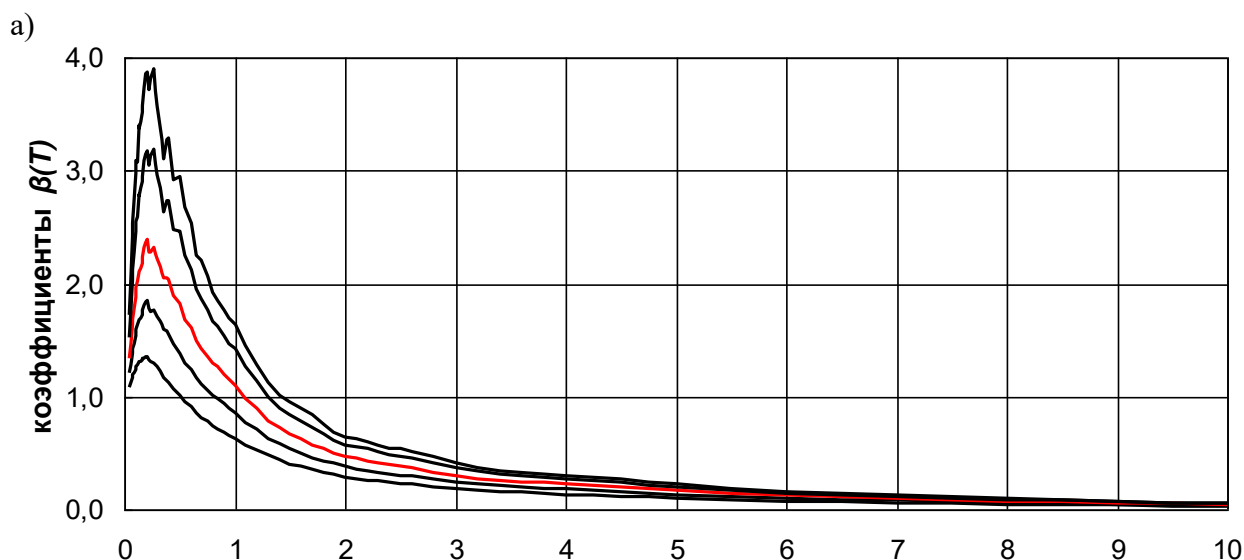
при  $T > 1$  сек

$$\eta = \gamma(1/T)^\lambda \quad (4.4)$$

В формулах (4.2) - (4.4):

$$\gamma = 1 + \frac{0,05 - \xi}{0,05 + 2\xi - 3\xi^2} \quad (4.5)$$

$$\lambda = \frac{0,05 - \xi}{0,33 + 9\xi} \quad (4.6)$$



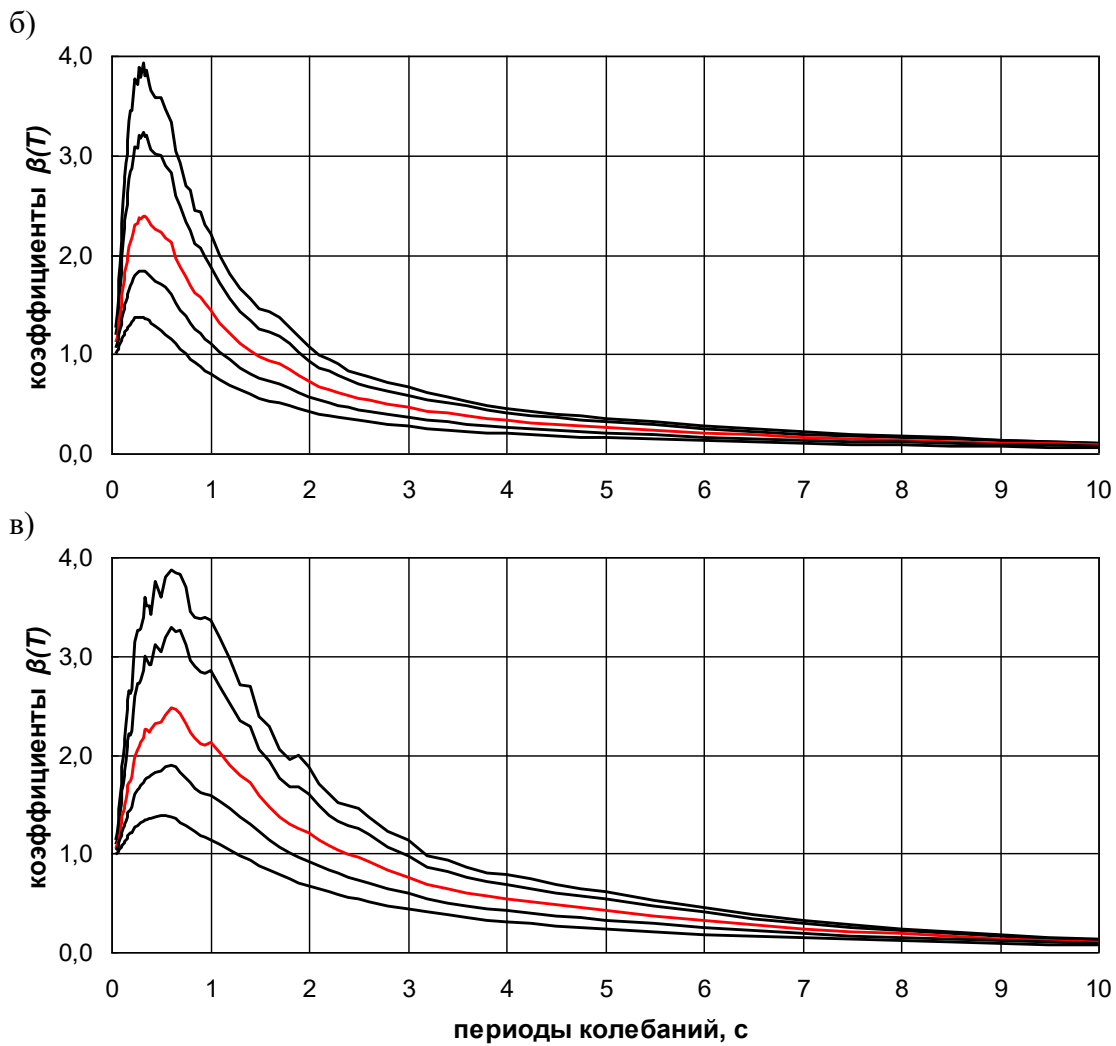


Рис. 4.1. Обобщенные графики  $\beta(T)$ , построенные при значениях коэффициента вязкого демпфирования 1%, 2%, 5%, 10% и 20% на основании подхода 2 по инструментальным записям, зарегистрированным на грунтах категорий I (а), II (б) и III (в).

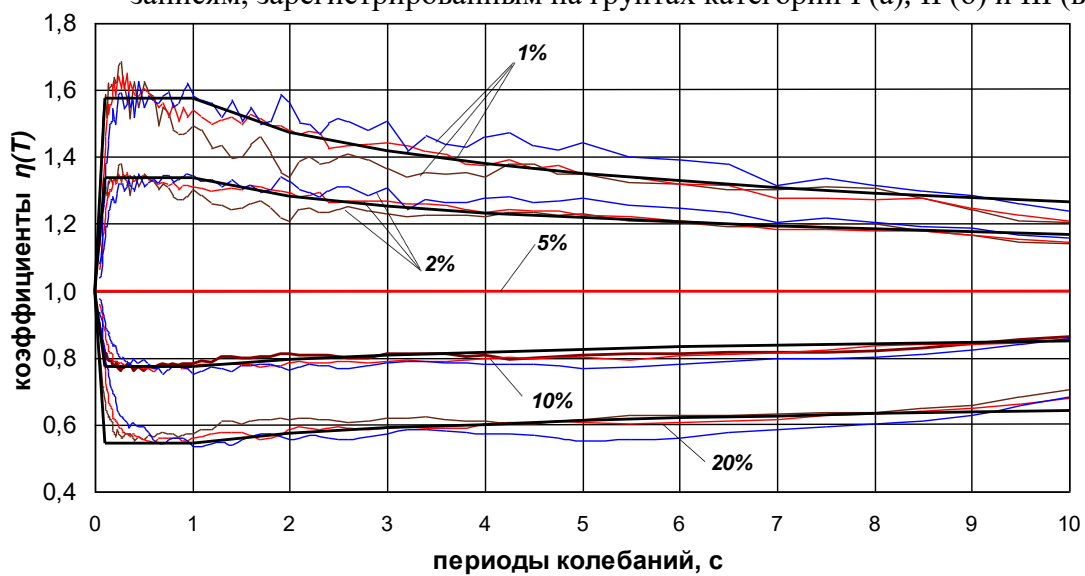


Рис. 4.2. Графики коэффициентов  $\eta(T)$  построенные с помощью инструментальных записей, зарегистрированных на грунтах категории I (коричневые линии), II (красные линии) и III (синие линии)

## 5. КЛАССЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗДАНИЙ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

В соответствии с пунктом 4.2.5(1)Р EN 1998-1:2004 здания подразделяются на 4 класса ответственности в зависимости от последствий их разрушения для человеческой жизни, от их важности для общественной безопасности и гражданской защиты в период непосредственно после землетрясения, а также от социальных и экономических последствий коллапса.

Каждому классу ответственности присваивается коэффициент ответственности  $\gamma_I$ . Значение коэффициента ответственности назначается в зависимости от конкретной категории проектируемых конструкций и должно соответствовать, исходя из ответственности сооружения, более высокому или более низкому значению периода повторяемости сейсмического события относительно референтного периода повторяемости.

Классы ответственности зданий и сооружений приведены в EN 1998-1:2004 в общем виде (таблице 5.1).

Таблица 5.1

| Классы<br>ответственности | Здания                                                                                                                                                           |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                         | Здания второстепенной важности для общественной безопасности, например, сельскохозяйственные здания и т.д.                                                       |
| II                        | Обычные здания, не принадлежащие к другим категориям.                                                                                                            |
| III                       | Здания, сейсмическое сопротивление которых важно с точки зрения последствий, связанных с коллапсом, например, школы, залы заседаний, культурные заведения и т.д. |
| IV                        | Здания, целостность которых во время землетрясения жизненно важна для гражданской защиты, например, больницы, пожарные депо, электростанции и т.д.               |

Различные уровни надежности проектируемых объектов обеспечиваются путем умножения референтного сейсмического воздействия *либо, при использовании линейного анализа, соответствующих эффектов сейсмического воздействия* на коэффициент ответственности  $\gamma_I$ .

Показатель ответственности  $\gamma_I=1,0$  соответствует сейсмическому событию, имеющему период повторяемости 475 лет.

Согласно EN 1998-1:2004 референтные значения пиковых ускорений  $a_{gR}$ , соответствующие землетрясениям с периодом повторяемости 475 лет, должны применяться при нормировании параметров внешних сейсмических нагрузок на объекты нормальной (обычной) ответственности.

Значения коэффициентов ответственности  $\gamma_I$  можно получить из выражений:

$$\gamma_I \sim (P_L/P_{LR})^{-1/k} \quad (5.1)$$

или

$$\gamma_I \sim (T_{LR}/T_L)^{-1/k} \quad (5.2)$$

где:  $P_{LR}$  – референтная вероятность превышения сейсмического воздействия за  $T_L$  лет для объектов нормальной ответственности;

$P_L$  – вероятность превышения сейсмического воздействия за  $T_L$  лет, принятая для рассматриваемого объекта в соответствии со степенью его ответственности;

$T_{LR}$  – референтный период повторяемости сейсмических воздействий для объектов нормальной ответственности;

$T_L$  – период повторяемости сейсмических воздействий, принятый для рассматриваемого объекта в соответствии со степенью его ответственности;

$k$  – коэффициент, значение которого зависит от сейсмичности, но обычно принимается равным примерно 3.

В Еврокоде 8 референтный период повторяемости землетрясений принят равным 475 лет, а рекомендуемые значения коэффициентов ответственности равны:

- для объектов с низкой ответственностью  $\gamma_I=0,8$  ( $T_L=225$  лет);
- для объектов с нормальной ответственностью  $\gamma_I=1,0$  ( $T_L=475$  лет);
- для объектов с большим скоплением людей и для объектов, повреждения или разрушения которых представляют повышенную опасность для жизни людей,  $\gamma_I=1,2$  ( $T_L=825$  лет);
- для объектов, функционирование которых необходимо для ликвидации последствий землетрясений и обеспечения жизнедеятельности населения после землетрясения,  $\gamma_I=1,4$  ( $T_L=1275$  лет).

Нормы США и международные нормы IBC ориентированы на карты, составленные для периода повторяемости землетрясений 2475 лет, а значения коэффициентов ответственности приняты:

- для объектов с низкой и нормальной ответственностью – 0,667 ( $T_L=725$  лет);
- для объектов с большим скоплением людей, и для объектов, повреждения или разрушения которых представляют повышенную опасность для жизни людей – 0,833 ( $T_L=1425$  лет);
- для объектов, функционирование которых необходимо для ликвидации последствий землетрясений и обеспечения жизнедеятельности населения после землетрясения – 1,0 ( $T_L=2475$  лет).

Примечание. Приведенные выше значения  $T_L$  получены в соответствии с выражением (4.2).

Если коэффициент ответственности для объектов с обычной ответственностью, принятый в IBC, принять за 1,0, то:

- для объектов с большим скоплением людей, и для объектов, повреждения или разрушения которых представляют повышенную опасность для жизни людей, он будет равен 1,25;
- для объектов, функционирование которых необходимо для ликвидации последствий землетрясений и обеспечения жизнедеятельности населения после землетрясения – 1,5.

Из приведенных данных видно, что периоды повторяемости сейсмических воздействий и значения коэффициентов ответственности, предусмотренные в IBC и Еврокоде 8 для аналогичных объектов, имеют некоторые различия. Причем, в Еврокоде 8 для объектов всех четырех классов ответственности предусмотрены меньшие периоды повторяемости сейсмических воздействий и значения коэффициентов  $\gamma_I$ , чем в IBC.

Методика нормирования значений коэффициентов  $\gamma_i$ , принятая в Еврокоде 8, базируется на предположении, что требуемый уровень надежности строительного объекта будет обеспечен, если график коэффициентов динамичности будет задан как математически ожидаемый, а значение пикового ускорения основания – в соответствии с периодом повторяемости сейсмического воздействия.

Данный подход к нормированию значений коэффициентов ответственности не является единственным.

Примем, что социально-экономический риск сейсмостойкого строительства объектов повышенной и особой ответственности будет сведен к приемлемому уровню, если график коэффициентов динамичности будет задан как математическое ожидание плюс  $k$  стандартных отклонений, а расчетное значение максимального ускорения основания будет соответствовать референтному периоду повторяемости сейсмических воздействий для объектов нормальной ответственности /3, 4, 5/.

Значение коэффициента  $k$ , при таком подходе к выбору графиков коэффициентов динамичности, будет зависеть от степени ответственности зданий и сооружений.

Нормирование уровней вероятности превышения графиков  $\beta(T)$  для сооружений, имеющих разные классы ответственности, как впрочем, и нормирование уровней риска превышения всех видов внешних нагрузок на здания и сооружения, не имеет строгого теоретического обоснования.

Обычно такое нормирование осуществляется на основании вырабатываемых «соглашений». Основой этих «соглашений» является компромисс между результатами инженерного анализа последствий сильных землетрясений, накопленными экспериментально-теоретическими данными, оправдавшими себя на практике положениями ранее действовавших норм, стремлением общества к минимизации ущерба от землетрясений и реальными возможностями государства.

Для зданий и сооружений нормальной ответственности (класс II) в Еврокоде 8 применяются математически ожидаемые графики  $\beta(T)$  с уровнем вероятности превышения  $P=0,5$ . Для зданий и сооружений классов ответственности III и IV предлагается применять графики  $\beta(T)$ , соответствующие уровням вероятности превышения 0,7 ( $P=t+0,53\delta$ ) и 0,84 ( $P=t+\delta$ ).

Примечание. Графики  $\beta(T)$ , соответствующие уровню превышения 0,84, как правило, применяются при расчете ответственных элементов и сооружений АС, но при этом:

- периоды повторяемости сейсмических воздействий принимаются не 475 лет, а несколько тысяч или десятков тысяч лет;
- коэффициенты редукции сейсмических нагрузок принимаются не 0,2...0,3, а 0,7...1,0.

Переход от математически ожидаемых значений  $\beta_m$  к значениям  $\beta_{(m+k\sigma)}$  предлагается осуществлять при помощи коэффициента  $K_R$ , значения которого могут быть определены из отношения  $K_R = \beta_{(m+k\sigma)} / \beta_m$ .

На рис. 5.1 и 5.2 показаны графики, характеризующие отношения ординат графиков  $\beta_{i(m+k\sigma)}(T)$  к ординатам графиков  $\beta_m(T)$  на разных периодах колебаний, и упрощенные сглаженные кривые  $K_R(T)$ , аппроксимирующие эти графики (толстые черные линии).

Нормированные значения коэффициента  $K_p$ , а соответственно и  $\gamma_I$ , отвечающие на разных периодах колебаний аппроксимирующим кривым, можно определить из выражений:

$$\text{для } k=0,53 \quad K_p(T) = \gamma_I = 1,2 + 0,06T \leq 1,5 \quad (5.3)$$

$$\text{для } k=1,0 \quad K_p(T) = \gamma_I = 1,4 + 0,1T \leq 1,9 \quad (5.4)$$

Выражения 5.3 и 5.4, по нашему мнению, более правильно характеризуют уровень расчетных сейсмических нагрузок на ответственные объекты.

Значения коэффициента  $\gamma_I$ , определенные из выражений 5.3 и 5.4:

- при  $T=0$  будут совпадать с рекомендованными в Еврокоде 8 и будут очень близки к принятым в ИВС;
- для зданий и сооружений с периодами колебаний основному тону меньше 1,0 сек будут незначительно отличаться от рекомендованных в Еврокоде 8 и ИВС;
- для гибких зданий с периодами колебаний по основному тону более 2...3 секунд будут более полно учитывать возможные особенности проявления сейсмических воздействий на больших периодах.

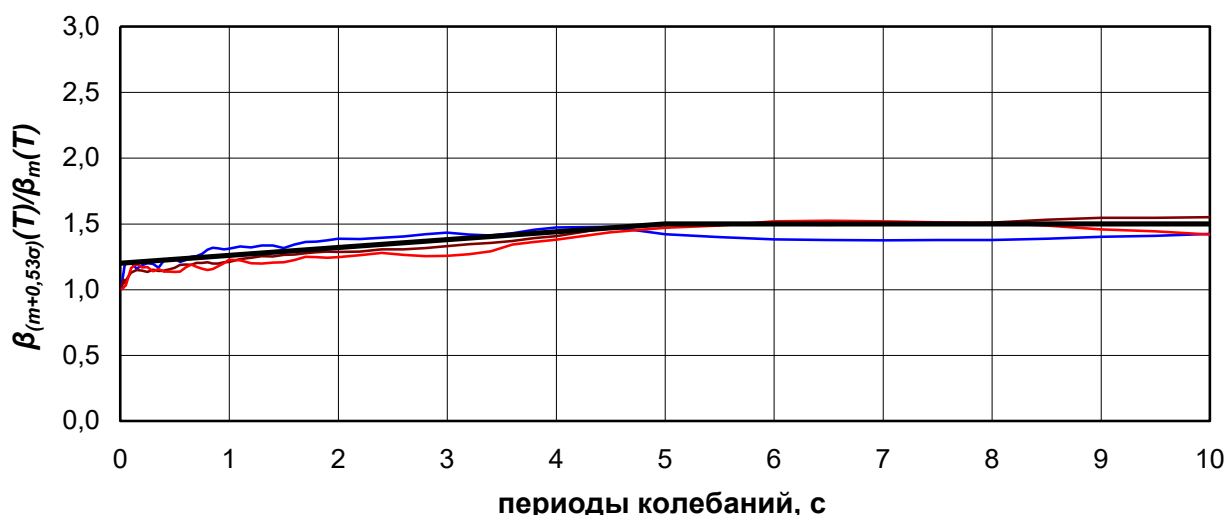


Рис. 5.1. Графики  $\beta_{(m+k\sigma)}/\beta_m$ , построенные для грунтов категорий I (синяя линия), II (коричневая линия) и III (красная линия) при значении  $k=0,53$  и аппроксимирующий их график (черная линия)

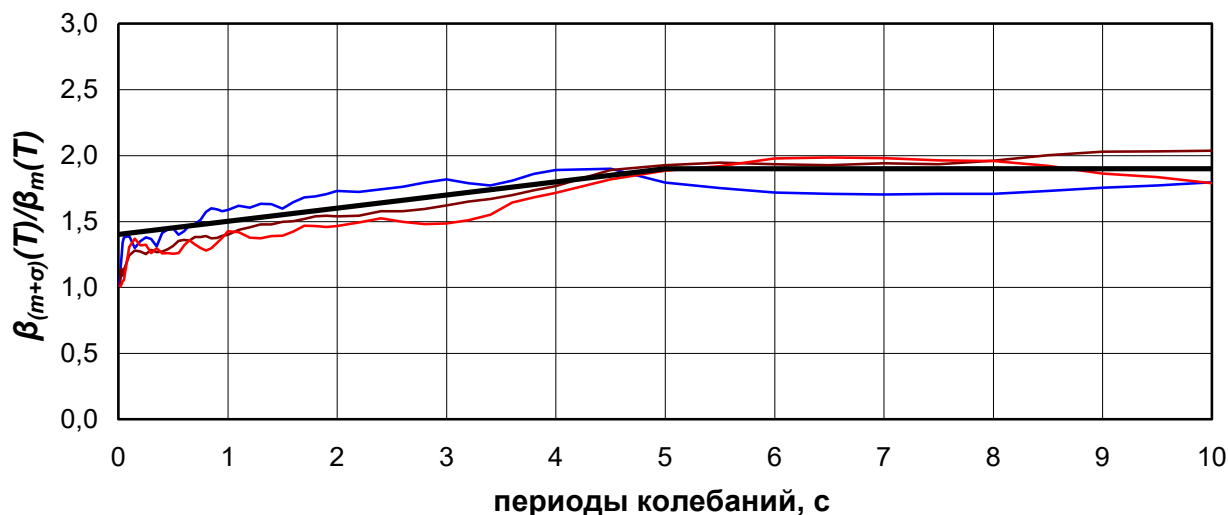


Рис. 5.2. Графики  $\beta_{(m+k\sigma)}/\beta_m$ , построенные для грунтов категорий I (синяя линия), II (коричневая линия) и III (красная линия) при значении  $k=1,0$  и аппроксимирующий их график (черная линия)

*Особый вопрос, не освещенный в Еврокоде 8 – это нормирование значений коэффициентов ответственности  $\gamma_I$  в зависимости от высоты зданий.*

Для нормирования значений коэффициента ответственности в зависимости от высоты зданий есть, по меньшей мере, две причины.

Во-первых, эксплуатация многоэтажных зданий связана с длительным скоплением в них большого количества людей, срочная эвакуация которых при чрезвычайных ситуациях затруднена. Для наглядности отметим, что площадь застройки, приходящаяся на одного человека, проживающего или работающего в 20...25-этажном здании, близка к площади, приходящейся на одно место в зрительных залах зрелищных сооружений.

Во-вторых, многие многоэтажные здания являются уникальными сооружениями, представляющими собой не только архитектурные акценты современных мегаполисов, но и символы экономического и научно-технического развития государства. Отказы таких зданий при сильных землетрясениях способны вызвать серьезные социальные и экономические последствия.

Кроме того, по мере увеличения количества этажей в здании:

- снижается их способность к рассеянию энергии сейсмических колебаний;
- повышается опасность хрупкого разрушения при землетрясении несущих конструкций нижних этажей, перегруженных вертикальными статическими нагрузками;
- уменьшаются резервы несущей способности конструкций, ответственных за переход здания в предельное состояние.

В соответствии с подходом, принятым в действующих нормах РК, значение коэффициента ответственности здания в зависимости от его высоты определяется из выражения:

$$K_3 = \gamma_I = 1 + 0,06(n-5) \leq \gamma_{\max}, \quad (5.5)$$

где:  $n$  – количество этажей в здании;

$\gamma_{\max}$  – максимальное значение коэффициента  $\gamma_I$ , принимаемое в нормах РК равным:

для зданий стеновых, каркасно-стеновых и рамно-связевых конструктивных систем – 1,8;

для зданий других конструктивных систем – 2,0.

Коэффициент ответственности, определяемый с помощью выражения (5.5), комплексно учитывает два фактора:

- взаимосвязь высоты здания с его социально-экономической значимостью и неблагоприятными последствиями разрушения при землетрясении;
- взаимосвязь высоты здания с его способностью к рассеянию энергии сейсмических колебаний.

В соответствии с выражением (5.5) значение коэффициента  $\gamma_I$  для пятиэтажных зданий равно 1,0, а для зданий высотой 19 и более этажей – 1,8.

В «Рекомендациях по проектированию сейсмостойких высотных зданий», разработанных «Советом по высотным зданиям и городским поселениям» (США), указывается, что если расчетные сейсмические нагрузки на здания нормальной ответственности допускается принимать с обеспеченностью 50%, то для зданий высотой более 50-ти метров они должны иметь обеспеченность не менее 84%.

В настоящей работе, учитывая рекомендации «Совета по высотным зданиям и городским поселениям» США и требования Еврокода 8, расчетные сейсмические нагрузки на здания высотой более 50 метров предлагается принимать с обеспеченностью 0,84.

Здания высотой 50 метров насчитывают обычно 15 этажей. Исходя из этого для вычисления значений коэффициентов ответственности  $\gamma_I$ , соответствующих зданиям высотой более 5-ти этажей, можно применить выражение (5.6):

$$\gamma_I = \gamma_{I1} + \gamma_{I2} \leq 1,9 \quad (5.6)$$

где:

$$\gamma_{I1} = \frac{1,4}{1,4 - 0,04(n - 5)} \leq 1,4 \quad (5.7)$$

$$\gamma_{I2} = 0,01T(n - 5) \leq 0,5 \quad (5.8)$$
$$n \leq 15$$

Выражение (5.6) было получено из выражения (5.3) и соответствует показателю диссипации энергии колебаний  $\xi=5\%$ .

Учитывая, что реакция зданий на сейсмическое воздействие зависит от их способности к рассеиванию энергии колебаний, выражение (5.6) представим в виде (5.9)

$$\gamma_I = \eta(\gamma_{I1} + \gamma_{I2}) \quad (5.9)$$

Проведенный анализ показал (табл. 5.2), что выражения (5.5) и (5.9) при значениях  $\xi=3...4\%$  в большинстве случаев дают довольно близкие результаты.

При отсутствии фактических данных о диссипативных свойствах проектируемых зданий, коэффициенты ответственности рекомендуется определять с помощью выражения 5.5, приняв предельное значение коэффициента  $\gamma_I$  равным 1,8.

В нормах EN РК предлагается классифицировать здания и сооружения по степени ответственности в соответствии с табл. 5.3, а значения коэффициентов ответственности принять в соответствии с табл. 5.4.

Таблица 5.2

| Высота здания<br>(кол-во этажей) | Т<br>(сек) | Значения коэффициента $\eta$ по (5.7) при |           |           |           | Значения<br>коэффициента<br>$\eta$ (по 5.5) |
|----------------------------------|------------|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------------------|
|                                  |            | $\xi=5\%$                                 | $\xi=4\%$ | $\xi=3\%$ | $\xi=2\%$ |                                             |
| 7                                | 0,1        | 1,062                                     | 1,147     | 1,259     | 1,421     | 1,12                                        |
|                                  | 0,3        | 1,067                                     | 1,152     | 1,265     | 1,428     |                                             |
|                                  | 0,5        | 1,071                                     | 1,156     | 1,270     | 1,433     |                                             |
|                                  | 1          | 1,081                                     | 1,167     | 1,282     | 1,446     |                                             |
| 9                                | 0,1        | 1,133                                     | 1,224     | 1,344     | 1,516     | 1,24                                        |
|                                  | 0,3        | 1,141                                     | 1,232     | 1,353     | 1,527     |                                             |
|                                  | 0,5        | 1,149                                     | 1,241     | 1,362     | 1,537     |                                             |
|                                  | 1          | 1,169                                     | 1,262     | 1,386     | 1,564     |                                             |
| 12                               | 0,1        | 1,257                                     | 1,358     | 1,491     | 1,682     | 1,42                                        |
|                                  | 0,3        | 1,271                                     | 1,373     | 1,507     | 1,701     |                                             |
|                                  | 0,5        | 1,285                                     | 1,388     | 1,524     | 1,719     |                                             |
|                                  | 1          | 1,320                                     | 1,426     | 1,565     | 1,766     |                                             |
|                                  | 2          | 1,390                                     | 1,486     | 1,611     | 1,785     |                                             |
| 15                               | 0,1        | 1,410                                     | 1,523     | 1,672     | 1,886     | 1,60                                        |
|                                  | 0,3        | 1,430                                     | 1,544     | 1,696     | 1,913     |                                             |
|                                  | 0,5        | 1,450                                     | 1,566     | 1,720     | 1,940     |                                             |
|                                  | 1          | 1,500                                     | 1,620     | 1,779     | 2,007     |                                             |
|                                  | 2          | 1,600                                     | 1,710     | 1,854     | 2,054     |                                             |
| 20                               | 0,1        | 1,410                                     | 1,523     | 1,672     | 1,886     | 1,8                                         |
|                                  | 0,3        | 1,430                                     | 1,544     | 1,696     | 1,913     |                                             |
|                                  | 0,5        | 1,450                                     | 1,566     | 1,720     | 1,940     |                                             |
|                                  | 1          | 1,500                                     | 1,620     | 1,779     | 2,007     |                                             |
|                                  | 2          | 1,600                                     | 1,710     | 1,854     | 2,054     |                                             |
| 25                               | 0,1        | 1,410                                     | 1,523     | 1,672     | 1,886     | 1,8                                         |
|                                  | 0,3        | 1,430                                     | 1,544     | 1,696     | 1,913     |                                             |
|                                  | 0,5        | 1,450                                     | 1,566     | 1,720     | 1,940     |                                             |
|                                  | 1          | 1,500                                     | 1,620     | 1,779     | 2,007     |                                             |
|                                  | 2          | 1,600                                     | 1,710     | 1,854     | 2,054     |                                             |
| 30                               | 0,1        | 1,410                                     | 1,523     | 1,672     | 1,886     | 1,8                                         |
|                                  | 0,3        | 1,430                                     | 1,544     | 1,696     | 1,913     |                                             |
|                                  | 1          | 1,500                                     | 1,620     | 1,779     | 2,007     |                                             |
|                                  | 2          | 1,600                                     | 1,710     | 1,854     | 2,054     |                                             |
|                                  | 3          | 1,700                                     | 1,807     | 1,943     | 2,131     |                                             |
| 40                               | 0,1        | 1,410                                     | 1,523     | 1,672     | 1,886     | 1,8                                         |
|                                  | 0,3        | 1,430                                     | 1,544     | 1,696     | 1,913     |                                             |
|                                  | 0,5        | 1,450                                     | 1,566     | 1,720     | 1,940     |                                             |
|                                  | 1,0        | 1,500                                     | 1,620     | 1,779     | 2,007     |                                             |
|                                  | 2          | 1,600                                     | 1,710     | 1,854     | 2,054     |                                             |
|                                  | 3          | 1,700                                     | 1,807     | 1,943     | 2,131     |                                             |
|                                  | 5          | 1,900                                     | 2,003     | 2,135     | 2,312     |                                             |

Таблица 5.3

| Классы ответственности | Здания и сооружения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                      | Объекты пониженной ответственности – здания и сооружения с проектным сроком эксплуатации до 30 лет, повреждения которых не представляют угрозы для безопасности людей, не сопровождаются порчей ценного оборудования, не вызывают прекращения непрерывных технологических процессов и/или загрязнения окружающей среды (небольшие одноэтажные сельскохозяйственные и складские сооружения, временные одноэтажные сооружения, легкие открытые летние павильоны).                                                                               |
| II                     | Объекты нормальной ответственности – обычные жилые, административные, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения высотой до 5 этажей включительно с проектным сроком эксплуатации до 50 лет включительно.                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| III                    | Объекты повышенной ответственности – здания и сооружения с проектным сроком эксплуатации 50 лет и с большим скоплением людей:<br>А – здания школ, детских садов, больниц и им подобные; монументальные и уникальные здания и сооружения и т.п., высотой не более 5 этажей;<br>Б – здания высотой более 5 этажей.                                                                                                                                                                                                                              |
| IV                     | Объекты особой ответственности – здания и сооружения, функционирование которых необходимо в постсейсмический период для гражданской защиты населения (больницы с травматологическими, хирургическими и кардиологическими отделениями, пожарные депо, электростанции, правительственные здания повышенной ответственности); автомобильные и железнодорожные мосты, уникальные и монументальные объекты с проектным сроком эксплуатации 100 лет; здания музеев, памятники, представляющие большую историческую и художественную ценность и т.п. |

Таблица 5.4

| Классы ответственности | Значения коэффициентов $\gamma_I$ |                                                                                            |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        | Рекомендуемые в EN 1998           | Предлагаемые для включения в нормы СН РК EN                                                |
| I                      | 0,8                               | 0,8                                                                                        |
| II                     | 1                                 | 1                                                                                          |
| III                    | 1,2                               | А $\gamma_I = 1,2 + 0,06T \leq 1,5$                                                        |
|                        |                                   | Б $\gamma_I = 1 + 0,06(n - 5) \leq 1,8$ , где:<br>п – количество надземных этажей в здании |
| IV                     | 1,4                               | $1,5 \leq \gamma_I = 1,4 + 0,1T \leq 1,9$                                                  |

## 6. СМЕЩЕНИЯ ГРУНТА, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРОЕКТНЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Согласно пункту 3.2.2.4(1) EN 1998-1:2004 «Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий» расчетное смещение грунта, соответствующие расчетному ускорению грунта, предлагается определять с помощью следующего выражения

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c \cdot T_D \quad (6.1)$$

В ранее действовавшем Еврокоде 8 (ENV 1998-1:1994) расчетное смещение грунта, соответствующие расчетному ускорению грунта, предлагалось определять с помощью выражения

$$d_g = 0,05 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c \cdot T_D \quad (6.2)$$

Различия между выражениями (6.1) и (6.2) объясняются тем, что нормативные графики  $\beta(T)$ , принятые в EN 1998-1:2004 и ENV 1998-1:1994, на больших значениях периодов колебаний имеют между собой существенные различия (рис. 6.1).

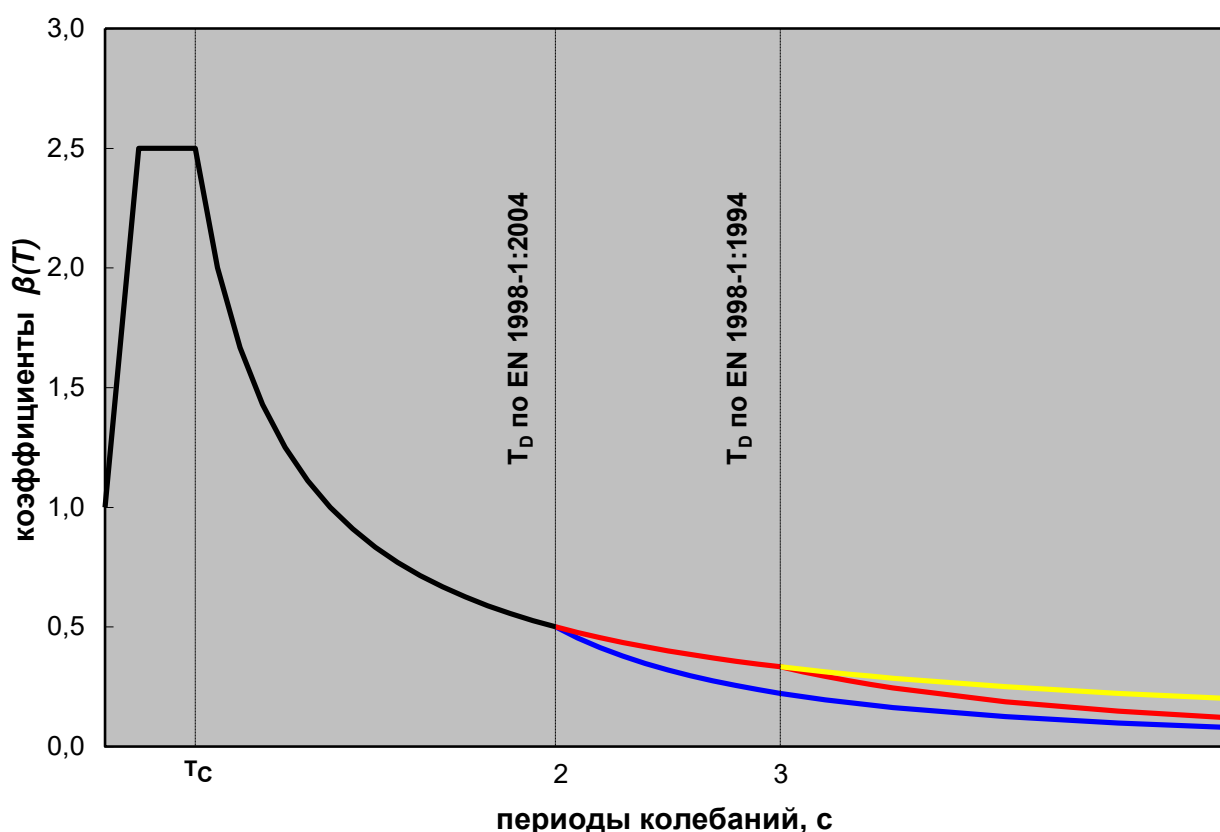


Рис. 6.1. Графики  $\beta(T)$ , соответствующие EN 1998-1:2004 (синяя линия), ENV 1998-1:1994 (красная линия) и проекту Национального Приложения РК к EN 1998-1:2004

Ниже приведены результаты исследований направленных на установление взаимосвязи между формой спектра реакции и расчетными значениями перемещений грунта.

В настоящее время существует два типа документов, количественно классифицирующих сейсмический эффект землетрясений по результатам анализа инструментальных записей колебаний грунта. К первому типу документов относятся сейсмические шкалы, а ко второму – нормы сейсмостойкого строительства.

В сейсмических шкалах интенсивность землетрясений оценивается по пиковым величинам кинематических параметров колебаний грунта ( $PGA$  – пиковое ускорение грунта,  $PGV$  – пиковая скорость грунта и  $PGD$  – пиковое перемещение грунта), согласованным с макросейсмической интенсивностью землетрясений в баллах.

Значения  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$ , соответствующие по СН РК В.1.3-98 землетрясениям интенсивностью 7-9 баллов, приведены в табл. 6.1 (Аптикаев Ф.Ф., Михайлова Н.Н.).

Таблица 6.1

| <b><math>I</math>, баллы</b> | <b><math>PGA</math>, см/с<sup>2</sup></b> |                | <b><math>PGV</math>, см/с</b> |                | <b><math>PGD</math>, см</b> |                |
|------------------------------|-------------------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
|                              | <b>Интервал значений</b>                  | <b>Медиана</b> | <b>Интервал значений</b>      | <b>Медиана</b> | <b>Интервал значений</b>    | <b>Медиана</b> |
| <b>9</b>                     | <b>400-900</b>                            | <b>600</b>     | <b>55-180</b>                 | <b>100</b>     | <b>20-80</b>                | <b>40</b>      |
| <b>8</b>                     | <b>180-400</b>                            | <b>270</b>     | <b>18-55</b>                  | <b>32</b>      | <b>5-20</b>                 | <b>10</b>      |
| <b>7</b>                     | <b>80-180</b>                             | <b>120</b>     | <b>5,5-18</b>                 | <b>10</b>      | <b>1,25-5</b>               | <b>2,5</b>     |

В расчетных положениях норм сейсмостойкого строительства, основанных на спектральном методе, интенсивность внешних сейсмических воздействий на сооружения характеризуется спектрами реакции в ускорениях  $S_A(T)$ . Параметры спектров  $S_A(T)$  определяются двумя показателями. Первый показатель – *график коэффициентов динамичности  $\beta(T)$*  – характеризует в осредненном и сглаженном виде влияние спектрального состава колебаний основания на динамическую реакцию сооружений в зависимости от грунтовых условий площадки строительства. Вторым показателем – коэффициент сейсмичности  $A$  – характеризует относительную величину расчетного пикового ускорения основания, принимаемую в зависимости от сейсмичности района строительства в баллах и грунтовых условий площадки строительства.

Следует заметить, что хотя в основу шкал и нормативного спектрального метода положены принципиально разные концепции количественного описания сейсмического эффекта землетрясений, обе эти концепции базируются на анализе информации, содержащейся в одних и тех же исходных данных – в инструментальных записях сейсмических движений грунта.

Для выявления взаимосвязи между сейсмическими шкалами и строительными нормами в проведенном исследовании было использовано более 400 откорректированных акселерограмм сильных движений грунта, у которых при математической обработке отфильтровывались сигналы с периодами, как правило, более 10 сек.

Акселерограммы классифицировались:

- по грунтовым условиям – в соответствии с положениями СНиП РК 2.03-30-2006;
- по интенсивности проявления землетрясений в пунктах регистрации.

Для каждой акселерограммы был построен (при  $\xi=5\%$ ) спектр реакции в ускорениях и путем интегрирования определены значения  $PGV$  и  $PGD$ .

1. Для выявления общей закономерности влияния значений  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  на сейсмический эффект землетрясений было сформировано четыре группы инструментальных записей, зарегистрированных на грунтах категории II.

Значения  $PGA$  у записей первых трех групп соответствовали интервалу  $I=9$  баллов (табл. 1), а у записей четвертой группы –  $I=7$  баллов. Интервалы значений  $PGV$  и  $PGD$  у каждой группы записей были разными. В первую группу (а) были включены записи, полученные при землетрясениях с магнитудами 4,3-6,0, а в остальные группы (б, в, г) – при землетрясениях с магнитудами 6,5-7,6.

Результаты анализа спектров реакции, построенных по записям каждой группы, показаны на рис. 6.2.а - 6.2.г. Тонкими линиями на рис. 6.2 обозначены кривые, огибающие на каждом периоде максимумы и минимумы каждой группы индивидуальных спектров реакции.

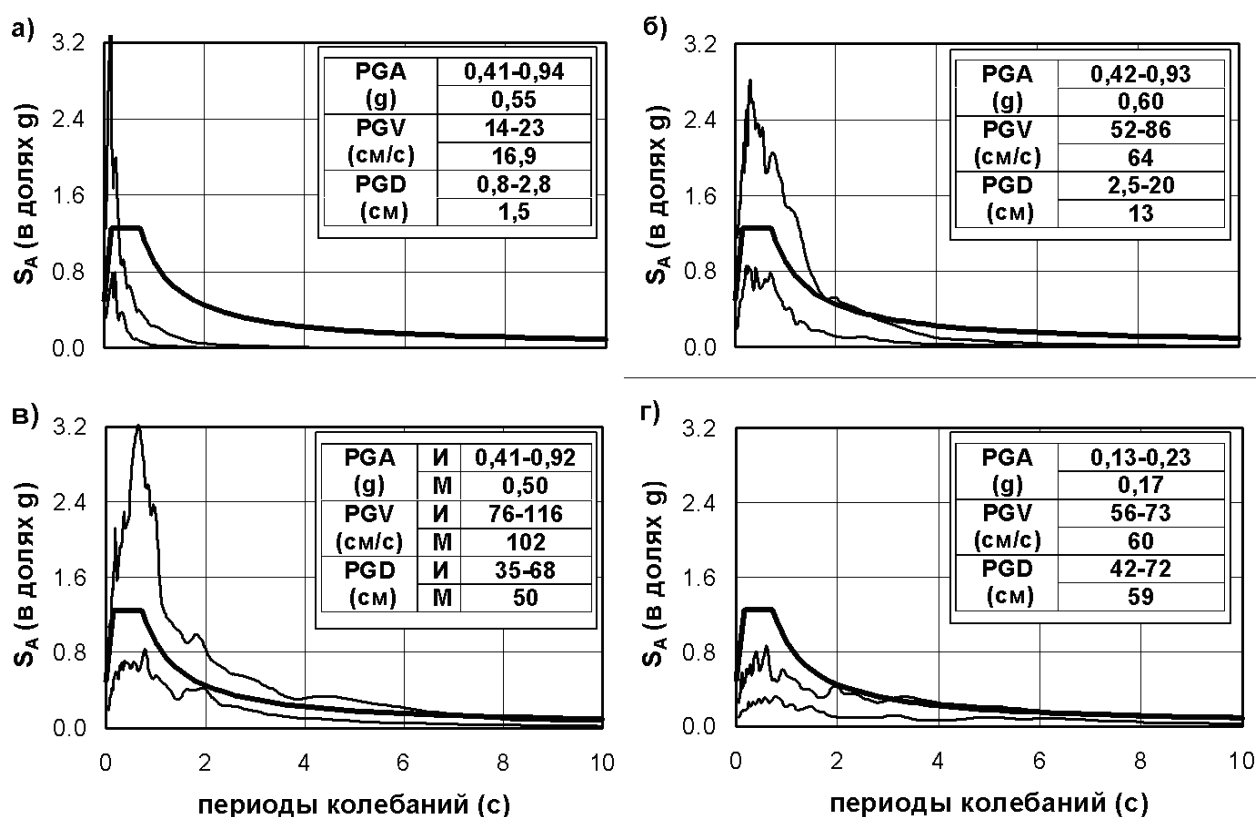


Рис. 6.2. Сопоставление нормированных спектров реакции с кривыми, огибающими на каждом периоде максимумы и минимумы индивидуальных спектров реакции.

В таблицах, вставленных в рисунки, приведены количественные характеристики пиковых амплитуд инструментальных записей, по которым строилась каждая группа спектров, В этих таблицах: И – интервалы значений, а М – медианы.

Для сопоставления на рис. 6.2 показаны также спектры реакции, соответствующие эмпирическим графикам  $\beta(T)$  для грунтов категории II и значениям  $EPA$ , равным  $500 \text{ см/с}^2$  (толстые линии). В дальнейшем такие спектры реакции будем называть нормированными.

Из рис. 6.2 видно, что у спектров реакции, построенных по записям с большими значениями  $PGA$ , но малыми значениями  $PGV$  и  $PGD$  (рис. 6.2.а), большие ординаты располагаются в очень узкой области малых периодов. Такие воздействия могут

представлять значимую опасность только для очень жестких сооружений, не способных к развитию пластических деформаций. По мере увеличения значений  $PGV$  и  $PGD$  (рис. 6.2.б и 6.2.в) ширина спектров реакции увеличивается и соответственно увеличивается эффект сейсмических воздействий на сооружения.

Обращает на себя внимание тот факт, что сейсмические колебания грунтов с относительно малыми пиковыми ускорениями ( $I=7$  баллов), но с большими значениями  $PGV$  и  $PGD$  (рис. 2.г), являются более неблагоприятными для длиннопериодных объектов, чем колебания грунтов с большими ускорениями, но малыми значениями  $PGV$  и  $PGD$ .

Из рис. 6.2 следует, что пиковое ускорение основания ( $PGA$ ) не может являться базовой характеристикой разрушающего потенциала сейсмических воздействий. Сейсмический эффект землетрясений в пунктах регистрации записей явно взаимосвязан со значениями всех трех кинематических параметров колебаний грунта ( $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$ ).

Взаимосвязь сейсмического эффекта землетрясений со значениями  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  вполне закономерна. Каждый кинематический параметр является мерой сейсмического эффекта землетрясения в своей полосе периодов. Как правило,  $PGA$  наблюдаются на коротких периодах,  $PGV$  – на средних периодах, а  $PGD$  – на средних или на длинных периодах.

2. Для прогноза реакции сооружений на сейсмические воздействия, отвечающие согласно данным табл. 6.1 землетрясениям интенсивностью 7, 8 и 9 баллов, было сформировано девять групп инструментальных записей. В первые три группы (а, б, в) были включены инструментальные записи, зарегистрированные на грунтах категории I, во вторые три группы (г, д, е) – на грунтах категории II и в последние три группы (ж, з, и) – на грунтах категории III. Принятые инструментальные записи имели значения  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  в пределах интервалов или близко к границам интервалов, установленных в табл. 1 для сейсмических воздействий интенсивностью 9 баллов (группы а, г, ж), 8 баллов (группы б, д, з) и 7 баллов (группы в, е, и).

По инструментальным записям были построены индивидуальные спектры реакции, а затем, для каждой группы индивидуальных спектров, характеризующие их «средние» спектры. На рис. 6.3 «средние» спектры реакции сопоставлены с нормированными спектрами. Нормированные спектры реакции для районов сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов были построены по эмпирическим графикам  $\beta(T)$  при значениях  $EPA$  125, 250 и 500  $см/с^2$  соответственно.

Из рис. 6.3 видно, что между нормированными и «средними» спектрами реакций, как правило, наблюдаются значительные различия. Для большинства комбинаций «интенсивность сейсмических воздействий – грунтовые условия» нормированные спектры прогнозируют более высокие уровни сейсмических нагрузок на сооружения (особенно длиннопериодные), чем «средние» спектры. Причем, степень различий между нормированными и «средними» спектрами реакции явным образом зависит от интенсивности сейсмических воздействий и типа грунтов.

В наименьшей степени от нормированного спектра реакции отличается «средний» спектр, построенный по инструментальным записям, полученным на грунтах категории I и соответствующим по табл. 6.1 сейсмичности 9 баллов; в наибольшей степени – «средний» спектр, построенный по инструментальным записям, полученным на грунтах категории III и соответствующим по табл. 1 сейсмичности 7 баллов.

Разная степень различий между «средними» и нормированными спектрами, соответствующими разным сейсмологическим и инженерно-геологическим условиям, объясняется несколькими причинами.

Первая причина. Строительные нормы основываются на предположении о равномерном увеличении (удвоении) ординат спектров реакции и значений  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  при переходе от балла  $I$  к баллу  $I+1$ . Сейсмическая шкала /1/ основывается на предположении о неравномерном увеличении значений  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  при переходе от балла к баллу.

Вторая причина. Эмпирические графики  $\beta(T)$ , принятые при построении нормированных спектров, реакции были получены по записям, зарегистрированным при землетрясениях с большими магнитудами ( $M > 6,5$ ), а значения  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$ , отнесенные в /1/ к одному и тому же баллу – по результатам анализа записей, зарегистрированных при землетрясениях с большими и малыми магнитудами.

Третья причина. Нормированные спектры реакции классифицированы по грунтовым условиям, а значения  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$ , принятые в шкалах – не классифицированы.

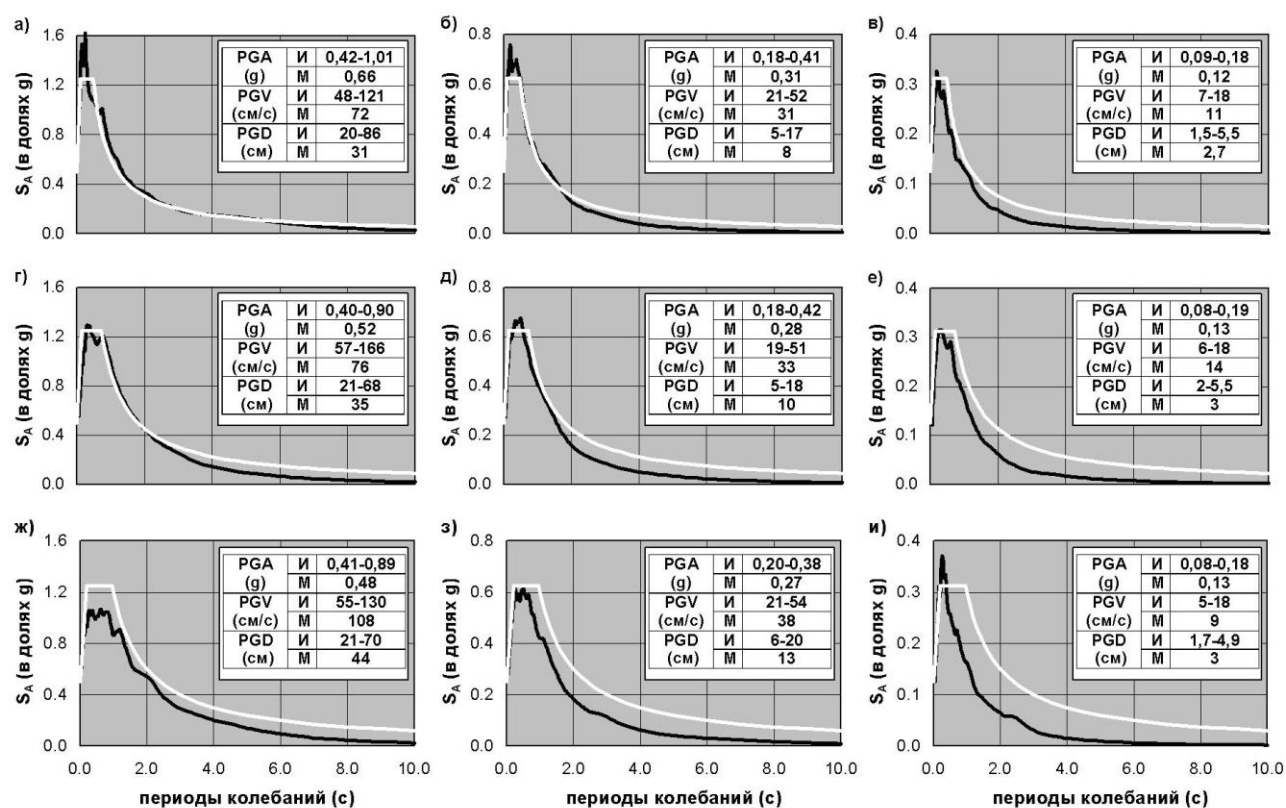


Рис.6.3. Сопоставление «средних» спектров реакции, построенных по записям со значениями  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  соответствующими сейсмической шкале (табл. 6.1), с нормированными спектрами

3. Для объективной оценки корректности нормативных расчетных моделей сейсмических воздействий, важно определить: какие величины  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  должны иметь инструментальные записи, чтобы построенные по ним спектры реакции достаточно близко сходились с нормированными спектрами и насколько реалистичны эти величины.

В табл. 6.2 приведены интервалы значений  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$ , выявленные в результате анализа акселерограмм, синтезированных по нормированным спектрам реакции в предположении об удвоении их ординат при переходе от балла к баллу.

Таблица 6.2

| <b><math>I</math>,<br/>Баллы</b> | <b><math>PGA</math><br/>(<math>\text{см}/\text{с}^2</math>)</b> | <b><math>PGV</math> (<math>\text{см}/\text{с}</math>)<br/>для грунтов категорий</b> |               |                | <b><math>PGD</math> (<math>\text{см}</math>)<br/>для грунтов категорий</b> |              |               |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|
|                                  |                                                                 | <b>I</b>                                                                            | <b>II</b>     | <b>III</b>     | <b>I</b>                                                                   | <b>II</b>    | <b>III</b>    |
| <b>9</b>                         | <b>520-720</b>                                                  | <b>56-72</b>                                                                        | <b>80-100</b> | <b>100-130</b> | <b>30-44</b>                                                               | <b>50-70</b> | <b>70-100</b> |
| <b>8</b>                         | <b>260-360</b>                                                  | <b>28-36</b>                                                                        | <b>40-50</b>  | <b>50-65</b>   | <b>15-22</b>                                                               | <b>25-35</b> | <b>35-50</b>  |
| <b>7</b>                         | <b>130-180</b>                                                  | <b>14-18</b>                                                                        | <b>20-25</b>  | <b>25-33</b>   | <b>8-11</b>                                                                | <b>13-18</b> | <b>18-25</b>  |

Сопоставление данных табл. 6.1 и табл. 6.2 показывает, что значения  $PGV$  для  $I=9$  и 8 баллов и значения  $PGD$  для  $I=9$  баллов, указанные в табл. 6.2, находятся в пределах соответствующих интервалов значений в табл. 6.1. Для  $I=7$  баллов значения  $PGV$  и, особенно,  $PGD$ , указанные в табл. 6.2, значительно превышают соответствующие значения в табл. 6.1.

Сходимость данных табл. 6.1 и табл. 6.2 для воздействий высокой интенсивности объясняется следующим обстоятельством. С ростом интенсивности сейсмических воздействий сужаются области возможных вариаций очаговых параметров: если слабые воздействия могут быть вызваны как сильными далекими землетрясениями, так и слабыми близкими, то сильные воздействия генерируются только близкими очагами с большими магнитудами.

На рис. 6.4 изображены «средние» спектры реакции, построенные по инструментальным записям, у которых значения  $PGA$  находились в пределах интервалов или близко к границам интервалов, установленных в табл. 6.1, а значения  $PGV$  и  $PGD$  в пределах интервалов или близко к границам интервалов, установленных в табл. 6.2. На этом же рисунке показаны нормированные спектры реакции.

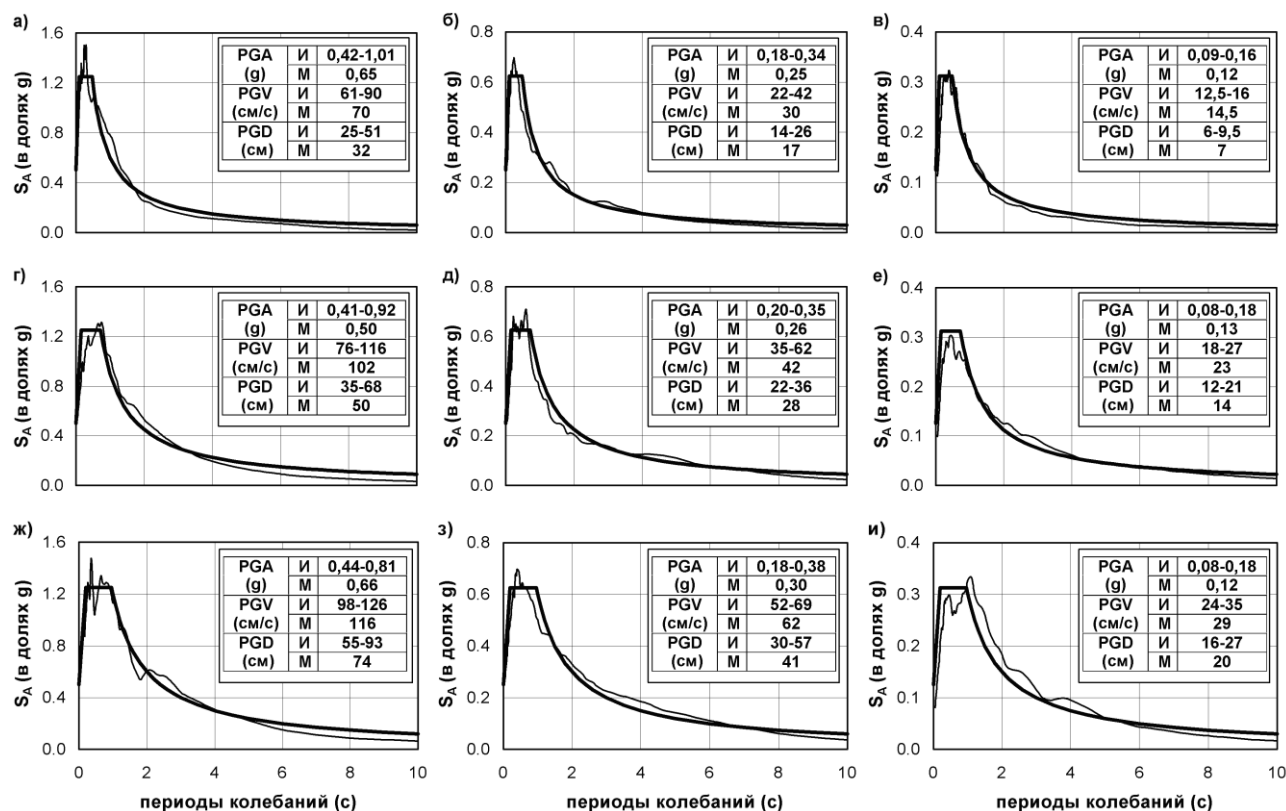


Рис. 6.4. Сопоставление «средних» спектров реакции, построенных по записям со значениями  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  соответствующими табл. 6.2, с нормированными спектрами

Из рис. 6.4 следует, что графики «средних» и нормированных спектров, по меньшей мере, до 5...6 сек, не имеют между собой значимых различий.

Анализ полученных результатов показал, что нормированные спектры, нисходящие ветви которых описаны зависимостью (6.3), наилучшим образом коррессируют с теми индивидуальными спектрами реакции, которые были построены по инструментальным записям со значениями  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  близкими к определенным из выражений (6.3) – (6.5):

$$S_A(T) = 2,5 \cdot EPA \cdot (T_c/T)^n \quad (6.3)$$

$$PGA = (1,1 \dots 1,2) \cdot EPA \quad (6.4)$$

$$PGV = f_1 \cdot EPA \cdot (T_c)^n \quad (6.5)$$

$$PGD = f_2 \cdot EPA \cdot (T_c)^n \cdot T_D \quad (6.6)$$

В выражениях (6.5) и (6.6) следует принимать: значения  $EPA$  – в  $\text{см/с}^2$ ;  $(T_c)^n$  – в секундах;  $T_D$  – 3,0 сек; величины коэффициентов  $f_1$  и  $f_2$  – по табл. 6.3.

Сравнение значений  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$ , вычисленных с помощью выражений (6.4) – (6.6), и данных табл. 6.1 и 6.2 показывает, что описание нисходящей ветви эмпирического графика  $\beta(T)$  зависимостью 6.3 при  $n=1$  является наиболее реалистичным. Причем, значения  $PGV$  и  $PGD$ , отвечающие выражениям (6.5) и (6.6), наиболее характерны для инструментальных записей, полученных при землетрясениях с магнитудами 7,4...7,6 и более.

Таблица 6.3

| Коэффициенты | Величины коэффициентов $f_1$ и $f_2$ при значениях $n$ в зависимости (6.3) |         |         |         |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
|              | $n=1,0$                                                                    | $n=4/5$ | $n=2/3$ | $N=0,5$ |
| $f_1$        | 0,25                                                                       | 0,28    | 0,32    | 0,35    |
| $f_2$        | 0,050                                                                      | 0,065   | 0,080   | 0,120   |

На рис. 6.5 представлены нормированный спектр реакции, построенный для площадки с грунтами категории II и сейсмичностью 9 баллов по графику  $\beta(T)$ , и индивидуальные спектры реакции, построенные для тех же условий по инструментальным записям. Нисходящая ветвь нормированного спектра описана зависимостью (1) при  $n=1$ . Инструментальные записи имели значения  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$ , отличающиеся от значений, соответствующих выражениям (2) – (4), в пределах  $\pm 5\%$ .

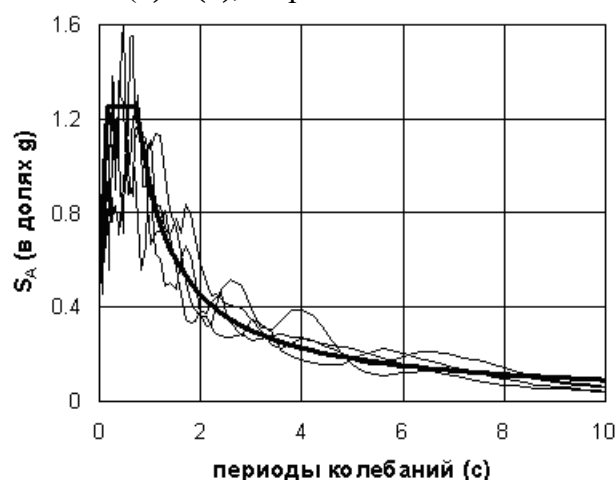


Рис. 6.5. Нормированный и индивидуальные спектры реакции

Как видно из рис. 6.5, нормированный и индивидуальные спектры реакции до периодов 8 сек соотносятся между собой с вполне приемлемой для инженерных целей точностью.

Разная степень различий между «средними» и нормированными спектрами, соответствующими разным сейсмологическим и инженерно-геологическим условиям, объясняется несколькими причинами.

Индивидуальные спектры реакции, представленные на рис. 5, не являются гладкими. Присутствие в индивидуальных графиках пиков и впадин объясняется тем, что форма спектров реакции определяется не только пиковыми величинами кинематических параметров колебаний грунта, но и иными показателями – количеством циклов колебаний с примерно одинаковыми пиковыми амплитудами и значениями периодов, соответствующих пиковым амплитудам.

Наименьшие различия между нормированными и индивидуальными спектрами наблюдаются в тех случаях, когда для построения индивидуальных спектров привлекаются инструментальные записи:

- описывающие нерегулярные движения грунтов и не содержащие несколько подряд расположенных циклов колебаний с одинаковыми периодами и амплитудами, близкими к  $PGV$  и  $PGD$ ;
- имеющие пиковые величины ускорений ( $PGA$ ) на частотах выше 5 Гц.

Полученные результаты свидетельствуют, что при прямых динамических расчетах длиннопериодных сооружений, а также объектов, для которых величины колебательных смещений грунта имеют принципиальное значение, следует применять инструментальные записи, у которых значения  $PGA$ ,  $PGV$  и  $PGD$  соответствуют значениям, вычисленным по выражениям (6.4) – (6.6) или превышают их. При выборе инструментальных записей, предназначенных для расчета обычных объектов с периодами колебаний по основному тону до 1...1,5 сек, можно ориентироваться на значения пиковых амплитуд, соответствующие только выражениям (6.4) и (6.5). Другие записи, например, характеризующие возможные локальные эффекты на строительных площадках, целесообразно включать в расчетные ансамбли если описываемые ими воздействия являются для рассматриваемого сооружения более опасными.

Полученные результаты наглядно иллюстрируют тот факт, что сейсмический эффект землетрясений взаимосвязан с пиковыми значениями всех трех кинематических параметров колебаний грунта. На основании количественного значения какого-либо одного кинематического параметра, без учета спектрального состава колебаний грунта, невозможно в полной мере охарактеризовать сейсмический эффект землетрясения для всего диапазона периодов, представляющих инженерный интерес.

Взаимосвязь между оценками сейсмического эффекта землетрясений, принятыми в сейсмических шкалах и в строительных нормах, не ограничивается только значениями пиковых ускорений. Вид нормативных спектров реакции, предопределенный видом графиков *коэффициентов динамичности*  $\beta(T)$  и величинами эффективных пиковых ускорений  $EPA(a_g)$ , в большинстве случаев, взаимосвязан с вполне определенными значениями пиковых ускорений, скоростей и перемещений.

Приведенные данные позволяют устранить кажущиеся противоречия между концепциями количественного описания сейсмического эффекта землетрясений, принятыми в строительных нормах и в сейсмических шкалах. В положениях норм, регламентирующих требования к выбору параметров расчетных записей землетрясений и синтезированных акселерограмм, целесообразно указать не только пиковые величины ускорений, но и пиковые величины скоростей и смещений.

*Расчетные ускорения грунта в нормах РК предлагается определять с помощью выражения (6.7)*

$$d_g = 0,075 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad (6.7)$$

где  $a_g$  – расчетное ускорение грунта в  $\text{см}/\text{с}^2$ ;  $T_C$  – период колебаний в секундах (см. рис.1);  $T_D$  – 2,0 сек.

## 7. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА $S$ , УЧИТЫВАЮЩЕГО ГРУНТОВЫЕ УСЛОВИЯ

Значения коэффициента  $S$ , принятые в EN 1998-1, приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

| Тип грунта | $S$  |
|------------|------|
| <b>A</b>   | 1,0  |
| <b>B</b>   | 1,2  |
| <b>C</b>   | 1,15 |
| <b>D</b>   | 1,35 |
| <b>E</b>   | 1,4  |

Из таблицы 7.1 видно, что значения  $S$  не зависят от интенсивности колебаний грунтов, что противоречит современным данным.

В работах многих специалистов стран СНГ и дальнего зарубежья отмечается, что взаимосвязь между макросейсмическим эффектом землетрясений и амплитудами колебаний скальных и нескальных грунтов проявляется при слабых и при сильных землетрясениях принципиально по-разному.

В процессе слабых землетрясений поверхностные толщи грунтов с низкой динамической жесткостью колеблются с существенно большими амплитудами ускорений, скоростей и перемещений, чем грунты с высокой жесткостью.

При сильных землетрясениях картина существенно меняется. В поверхностных толщах нескальных грунтов могут возникать нелинейные эффекты, вызванные деградацией их жесткости и прочности. При деградации нескального грунта, амплитуды пиковых ускорений его сейсмических колебаний могут быть меньше, чем на скальном грунте, а амплитуды пиковых скоростей и перемещений – больше.

В результате возникновения в нескальных грунтах нелинейных эффектов между амплитудами их колебаний и макросейсмическими последствиями сильных землетрясений будут наблюдаться иные взаимосвязи, чем при слабых землетрясениях. Повреждаемость зданий и сооружений, расположенных на нескальных грунтах, будет определяться не только, а в некоторых случаях и не столько величинами пиковых ускорений, сколько пиковыми величинами скоростей и перемещений, а в некоторых случаях, осадками основания.

Принципиальная схема влияния деградации жесткости и прочности грунтов на величины пиковых ускорений, заимствованная из [9], показана на рис. 7.1.

При отсутствии значительной деградации жесткости и прочности нескальных грунтов соотношения между величинами пиковых ускорений на скальных и нескальных грунтах могут быть несколько иными.

Для подтверждения сказанного в таблице 7.2 приведены величины пиковых горизонтальных ускорений, инструментально зарегистрированные при сильных землетрясениях на довольно слабых грунтах.

В работах Ф.Ф. Аптикаева, В.В. Штейнберга, Н.Н. Михайловой, К. Akai, D.M. Boore, W.B. Joyner, R.D. Borcherdt и ряда других специалистов высказывается мнение, что величины максимальных амплитуд ускорений в эпицентральных областях сильных

землетрясений не столь значительно зависят от геологической ситуации в местах регистрации, как при достаточно больших эпицентральных расстояниях.

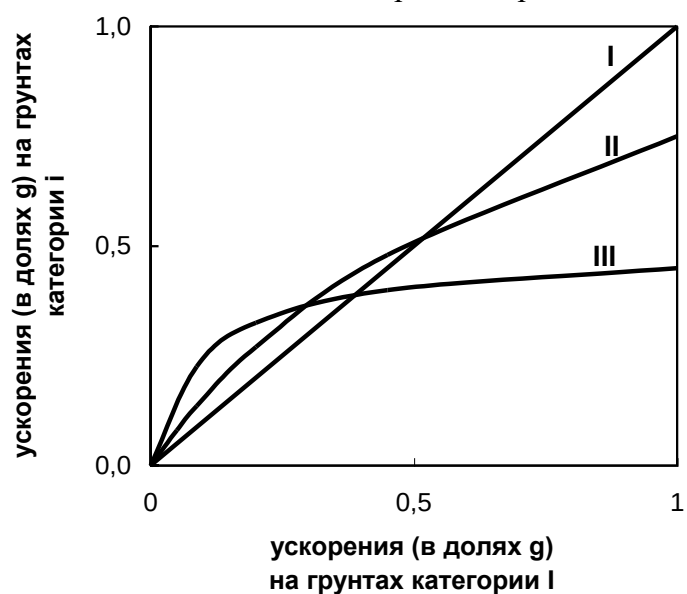


Рис. 7.1. Схема влияния деградации жесткости и прочности грунтов на величины пиковых ускорений по /5/

I – скальные грунты, II – «средние» грунты, III – слабые грунты.

Таблица 7.2

| № п.п. | Землетрясение (станция)                    | Дата       | Магнитуда ( $M_s$ ) | $V_{s30}$ (м/с) | Ускорение (в долях g) |
|--------|--------------------------------------------|------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| 1      | Imperial Valley (El Centro Array #8)       | 1979.10.15 | 6,9                 | 206             | 0,60                  |
| 2      | Imperial Valley (Bonds Corner)             | 1979.10.15 | 6,9                 | 223             | 0,78                  |
| 3      | Northridge (Sylmar Converter)              | 1994.01.17 | 6,7                 | 251             | 0,90                  |
| 4      | Northridge (Tarzana)                       | 1994.01.17 | 6,7                 | 257             | 1,78                  |
| 5      | Kobe (Takatori)                            | 1995.01.16 | 7,1                 | 256             | 0,62                  |
| 6      | Northridge (Rinaldi Receiving)             | 1994.01.17 | 6,7                 | 282             | 0,84                  |
| 7      | Chi-Chi (TCU065)                           | 1999.09.20 | 7,6                 | 306             | 0,81                  |
| 8      | Kobe (Takarazuka)                          | 1995.01.16 | 7,1                 | 312             | 0,69                  |
| 9      | Kobe (KJMA)                                | 1995.01.16 | 7,1                 | 312             | 0,82                  |
| 10     | Duzce (Bolu)                               | 1999.11.12 | 7,3                 | 326             | 0,82                  |
| 11     | Northridge (Santa Monica)                  | 1994.01.17 | 6,7                 | 336             | 0,88                  |
| 12     | Superstition Hills – B (Superstition Mtn.) | 1987.11.24 | 6,6                 | 362             | 0,89                  |

Проведенный нами анализ /10/ (И.Е. Ицков, 2001 г.) показал, что большая разница в значениях максимальных горизонтальных ускорений поверхностей площадок, расположенных примерно на одинаковом расстоянии от эпицентров, но сложенных грунтами разных типов, наблюдается только при относительно слабых сейсмических колебаниях. По мере приближения к эпицентру или к линиям проявления разрывов на дневной поверхности Земли эта разница постепенно уменьшается.

Сглаженные зависимости, построенные по инструментальным данным и характеризующие соотношения между величинами пиковых ускорений на грунтах разного типа при сильных и слабых сейсмических колебаниях /10/, показаны на рис.7.2.

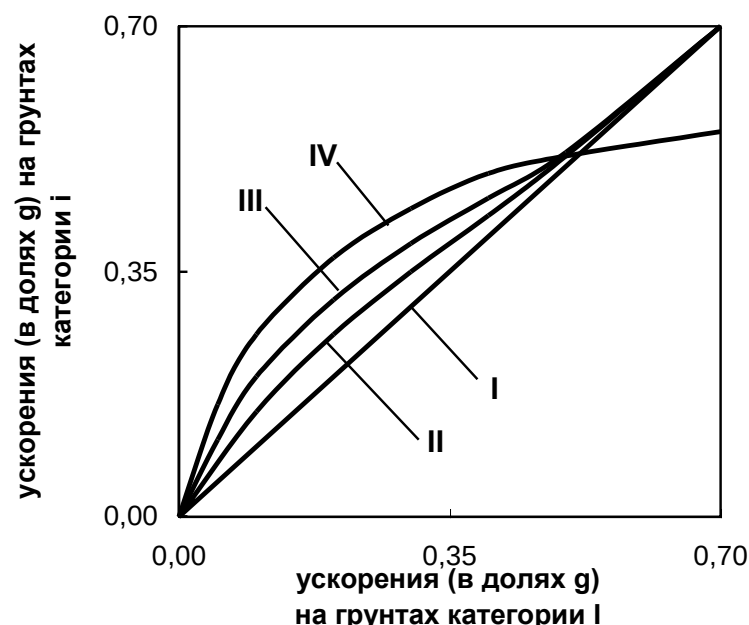


Рис. 7.2. Схема влияния деградации жесткости и прочности грунтов на величины пиковых ускорений по /6/

I – скальные грунты, II – твердые нескальные грунты,  
III – «средние» грунты, IV – слабые рыхлые грунты.

Зависимости, показанные на рис. 7.1 и 7.2, в общих чертах характеризуют близкие закономерности в поведении грунтов при слабых и сильных сейсмических колебаниях.

В таблице 7.3 приведены значения коэффициентов  $S$ , принятые в современных нормах ряда стран.

В таблице 7.4 приведены значения коэффициентов  $S$ , рекомендуемые для включения в СН РК EN 1998-1:2004/2012.

Таблица 7.3

| Страна    | $V_{s,30}$ | Значения коэффициентов $S$ при значениях $a_g$ (в долях g) |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------------|------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|           |            | 0,10                                                       | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,50 |
|           | >800       | 1,00                                                       | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| США (IBC) | 750-360    | 1,20                                                       | 1,20 | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 1,00 |
| Канада    | 750-360    | 1,25                                                       | 1,25 | 1,25 | 1,18 | 1,11 | 1,05 | 1,00 | 1,00 |
| Панама    | 760-370    | 1,20                                                       | 1,20 | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 1,00 |
| Италия    | 800-360    | 1,20                                                       | 1,20 | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 1,00 |
| Пакистан  | 750-360    |                                                            | 1,20 | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 1,05 | 1,00 |      |

продолжение

|            |         |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Индонезия  | >350    | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,12 | 1,10 |      |      |      |
| Португалия | 800-360 | 1,30 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |      |      |      |      |
| Иран       | 750-375 |      |      | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |      |      |
| США (IBC)  | 360-180 | 1,60 | 1,50 | 1,40 | 1,30 | 1,20 | 1,10 | 1,00 | 1,00 |
| Канада     | 360-180 | 1,63 | 1,55 | 1,50 | 1,36 | 1,22 | 1,16 | 1,10 | 1,00 |
| Панама     | 370-180 | 1,60 | 1,50 | 1,40 | 1,30 | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 1,00 |
| Италия     | 360-180 | 1,50 | 1,45 | 1,40 | 1,33 | 1,25 | 1,18 | 1,10 | 1,00 |
| Пакистан   | 360-180 |      | 1,47 | 1,40 | 1,30 | 1,20 | 1,15 | 1,10 |      |
| Индонезия  | 350-175 | 1,50 | 1,50 | 1,40 | 1,28 | 1,20 |      |      |      |
| Португалия | 360-180 | 1,6  | 1,5  | 1,4  | 1,50 |      |      |      |      |
| Иран       | 375-175 |      |      | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |      |      |
| США (IBC)  | <180    | 2,50 | 2,10 | 1,70 | 1,45 | 1,20 | 1,15 | 1,10 | 0,90 |
| Канада     | <180    | 2,63 | 2,19 | 1,75 | 1,48 | 1,22 | 1,06 | 0,90 | 0,90 |
| Панама     | <180    | 2,50 | 2,10 | 1,70 | 1,45 | 1,20 | 1,05 | 0,90 |      |
| Италия     | <180    | 1,80 | 1,73 | 1,65 | 1,47 | 1,28 | 1,09 | 0,90 | 0,90 |
| Пакистан   | <180    |      | 2,00 | 1,70 | 1,45 | 1,20 | 1,00 | 0,90 |      |
| Индонезия  | <200    | 2,00 | 2,00 | 1,70 | 1,44 | 1,27 |      |      |      |
| Португалия | <180    | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,40 |      |      |      |      |
| Иран       | <175    |      |      | 1,30 | 1,30 | 1,10 | 1,10 |      |      |

Таблица 7.4

| Категория<br>грунтов по<br>сейсмическим<br>свойствам | S при значениях $a_g$<br>(в долях g) |     |     |     |     |         |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------|
|                                                      | $\leq 0,1$                           | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | $> 0,5$ |
| IA                                                   | 1,0                                  | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0     |
| IB                                                   | 1,2                                  | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0     |
| II                                                   | 1,6                                  | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0     |
| III                                                  | 2,4                                  | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,0     |

## 8. СПОСОБЫ КОМБИНИРОВАНИЯ УСИЛИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ ПРИ УЧЕТЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В большинстве современных нормативных документов указывается, что при проектировании зданий и сооружений, в общем случае, необходимо учитывать одновременное действие ортогональных компонент сейсмического воздействия. В частных случаях, например, при расчете зданий правильной конфигурации, компоненты сейсмического воздействия, как правило, допускается принимать раздельно действующими по продольным и поперечным осям конструктивной системы.

Процедура учета многокомпонентности сейсмического воздействия, ориентированная на линейно-спектральный способ определения расчетных сейсмических нагрузок, является двухэтапной. Первоначально, определяют расчетные отклики рассматриваемой конструкции на каждую компоненту сейсмического воздействия, а затем, по определенным правилам, составляют комбинации этих откликов, учитывающие одновременность действия разных компонент.

Согласно современным нормам ряда стран и Еврокоду 8 варианты комбинаций откликов системы на компоненты сейсмического воздействия, при расчете зданий по линейно-спектральной теории, надлежит составлять по правилам (8.1) или (8.2):

$$\sqrt{E_{Edx}^2 + E_{Edy}^2 + E_{Edz}^2} \quad (8.1)$$

$$\begin{aligned} & E_{Edx} "+" \mu E_{Edy} "+" \lambda E_{Edz} \\ & \mu E_{Edx} "+" E_{Edy} "+" \lambda E_{Edz} \\ & \mu E_{Edx} "+" \mu E_{Edy} "+" E_{Edz} \end{aligned} \quad (8.2)$$

где:

$E_{Edx}$ ,  $E_{Edy}$ ,  $E_{Edz}$  – расчетные отклики элемента, вызванные отдельно действующими компонентами сейсмического воздействия, направленными вдоль ортогональных осей X, Y и Z соответственно;

$\mu$  и  $\lambda$  – коэффициенты, значения которых установлены на основании результатов специальных исследований; В Еврокоде 8 значения коэффициентов  $\mu$  и  $\lambda$  приняты равными 0,3;

"+" – подразумевает, что отклики системы на разные компоненты сейсмического воздействия объединены в одной комбинации.

Представленные выше комбинации откликов конструкции на ортогональные компоненты сейсмического воздействия являются вероятностными, базирующимися на допущениях о статистической независимости компонент и малой вероятности совпадения во времени максимумов откликов конструкции на разные компоненты.

Для проверки практической приемлемости этих комбинаций в /11/ были выполнены прямые динамические расчеты простейшей линейно-упругой системы – осциллятора – вертикального консольного стержня с одной сосредоточенной массой, имеющей степени свободы в двух взаимно перпендикулярных направлениях и несвязанные формы колебаний. Поперечное сечение стержня принято прямоугольным.

В процессе выполнения расчетов варьировались внешние сейсмические воздействия на брус и размеры его поперечного сечения. Для задания внешних сейсмических воздействий были привлечены двухкомпонентные записи горизонтальных колебаний грунта, полученные на двух случайно ориентированных ортогональных осях при землетрясениях Northridge, Loma Prieta и Kobe. Одна из компонент каждой записи считалась действующей в направлении одной главной оси консоли (X), а вторая – в направлении другой главной оси (Y).

Значения периодов собственных колебаний консоли в направлениях главных ортогональных осей (X и Y), отвечающие принятым размерам ее поперечных сечений, приведены в табл. 3.3.

Общее количество выполненных расчетов – 36. Некоторые результаты расчетов, в виде траекторий ускорений сосредоточенной массы на горизонтальной плоскости, показаны на рис. 8.1-8.3. На рис. 8.1 и 8.2 приведены траектории ускорений, отвечающие воздействиям, зарегистрированным при землетрясении Loma Prieta (ст. Sylmar и ст. Newhall соответственно), а на рис. 8.3 – при землетрясении Kobe (ст. Fukiai).

Таблица 8.1.

| Условное обозначение консоли | Периоды собственных колебаний консоли в направлениях ортогональных осей |      |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------|
|                              | X                                                                       | Y    |
| 1                            | 0,19                                                                    | 0,19 |
| 2                            | 0,19                                                                    | 0,27 |
| 3                            | 0,27                                                                    | 0,27 |
| 4                            | 0,27                                                                    | 0,38 |
| 5                            | 0,60                                                                    | 0,60 |
| 6                            | 0,60                                                                    | 0,85 |

В результате выполненных расчетов установлено, что погрешность результатов, получаемых при комбинировании усилий в консоли по правилу (8.1):

- в 50% рассмотренных случаев не превышала  $\pm 13\%$ , а в 80% случаев –  $\pm 20\%$ ;
- максимальная погрешность суммирования усилий по правилу (8.1) составляла  $\pm 28\%$ .

Погрешность результатов, получаемых при комбинировании усилий в консоли по правилу (8.2):

- при коэффициенте  $\lambda=0,4$ , в 50% рассмотренных случаев не превышала  $\pm 10\%$ , а в 80% случаев –  $\pm 18\%$ ; максимальная погрешность суммирования усилий по правилу (8.2) составляла  $\pm 25\%$ ;
- при коэффициенте  $\lambda=0,3$  погрешности комбинирования усилий по правилу (8.2) практически совпали с погрешностями, имеющими место при комбинировании усилий по правилу (8.1);

При алгебраическом суммировании максимальных значений усилий погрешность в 50% случаев составляла до  $+20\%$ , и в 50% случаев – от  $+20\%$  до  $+77\%$ .

Из полученных данных можно сделать вывод, что точность комбинирования усилий по правилам (3.7) и (3.8) вполне приемлема для практического применения и, в целом, соответствует точности других предпосылок и допущений, содержащихся в линейно-спектральной методике определения расчетных сейсмических нагрузок.

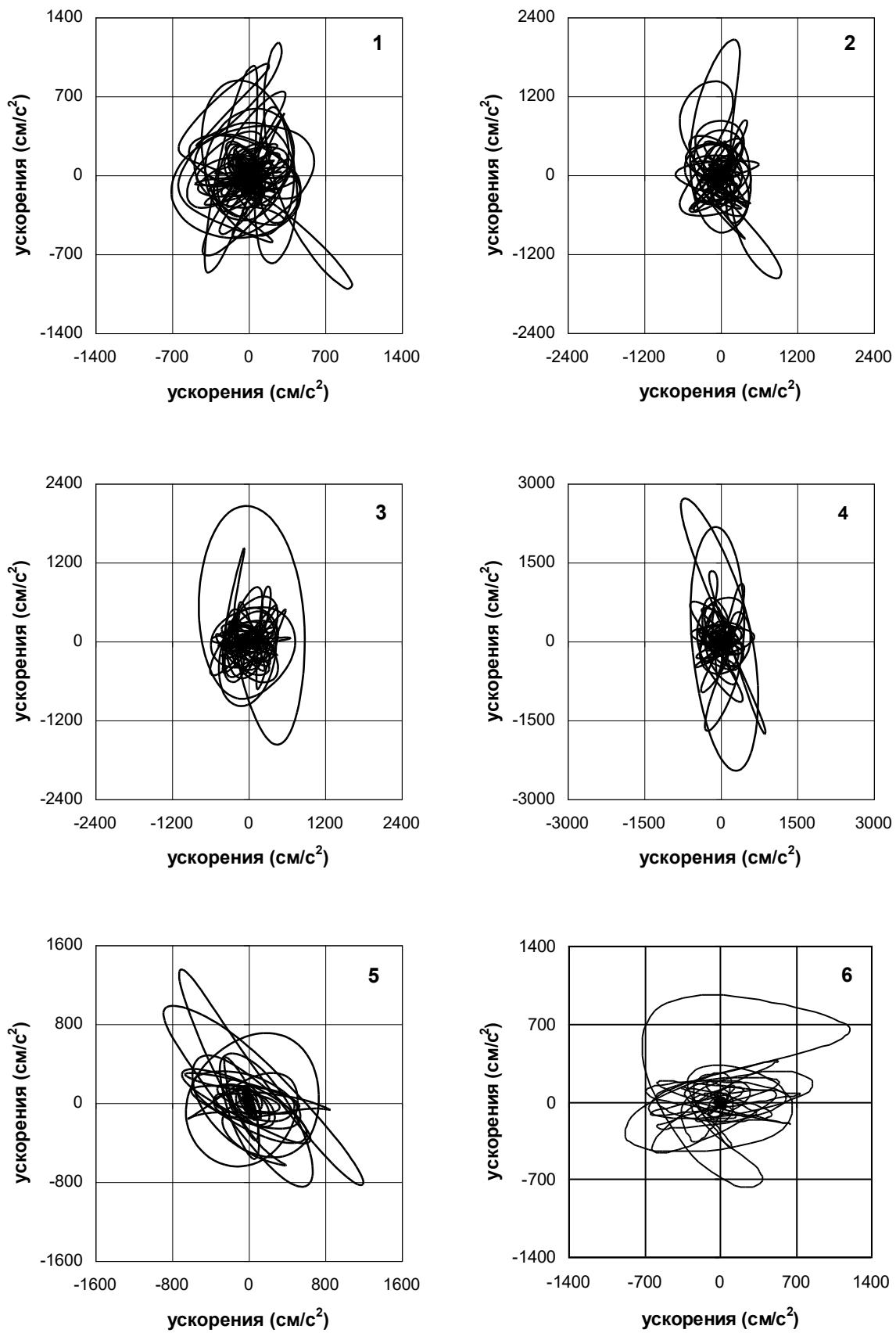


Рис. 8.1. Траектории ускорений, отвечающие воздействиям, зарегистрированным при землетрясении Loma Prieta (ст. Sylmar).

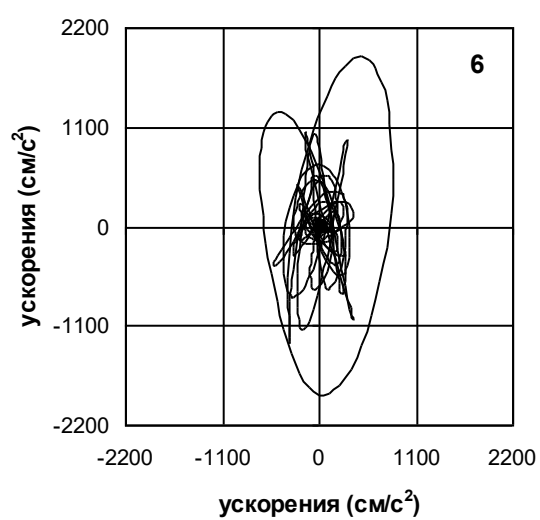
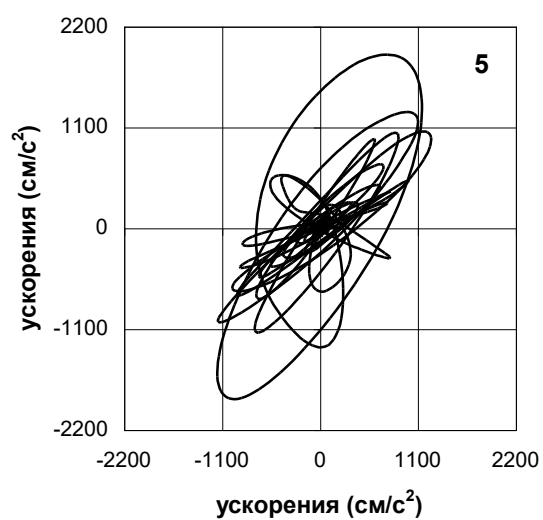
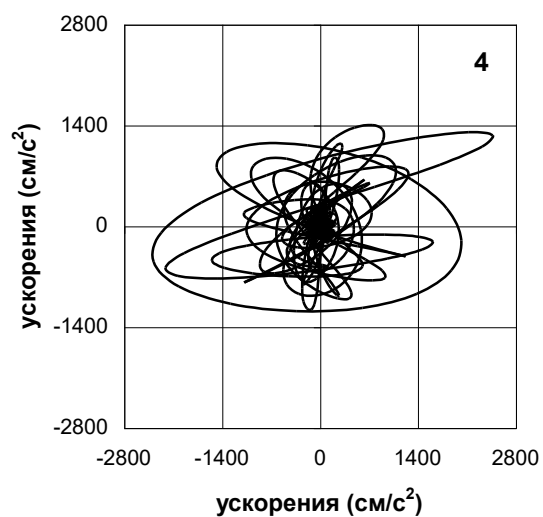
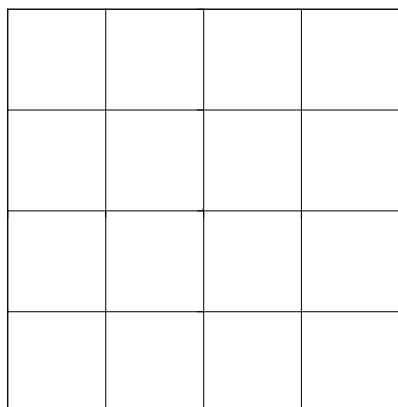
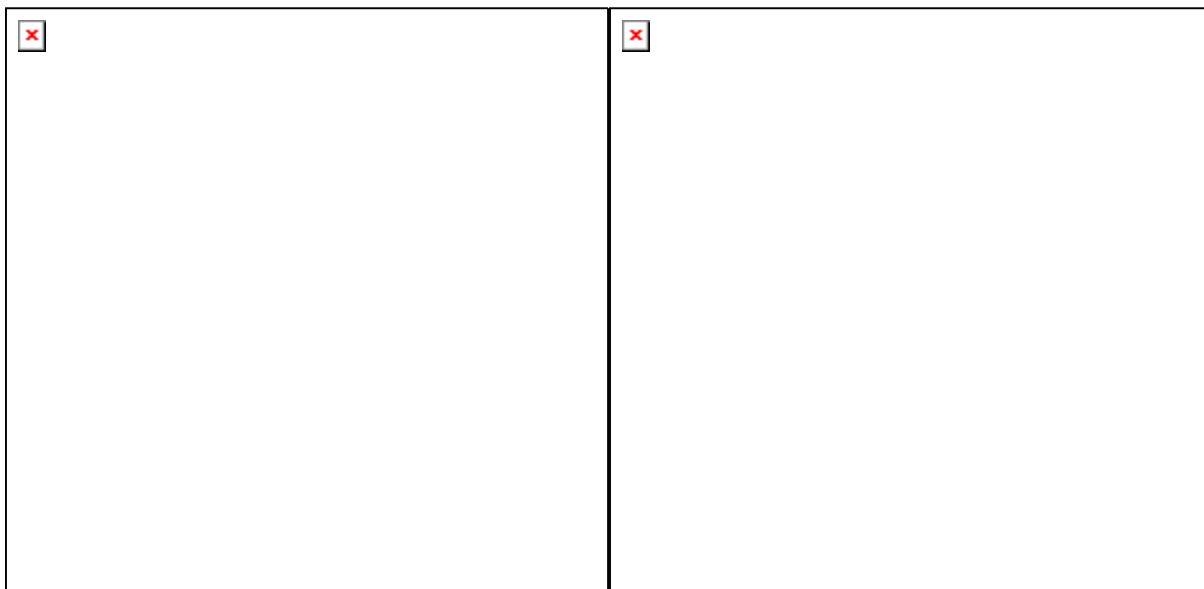


Рис. 8.2. Траектории ускорений, отвечающие воздействиям, зарегистрированным при землетрясении Loma Prieta (ст. Newhall)

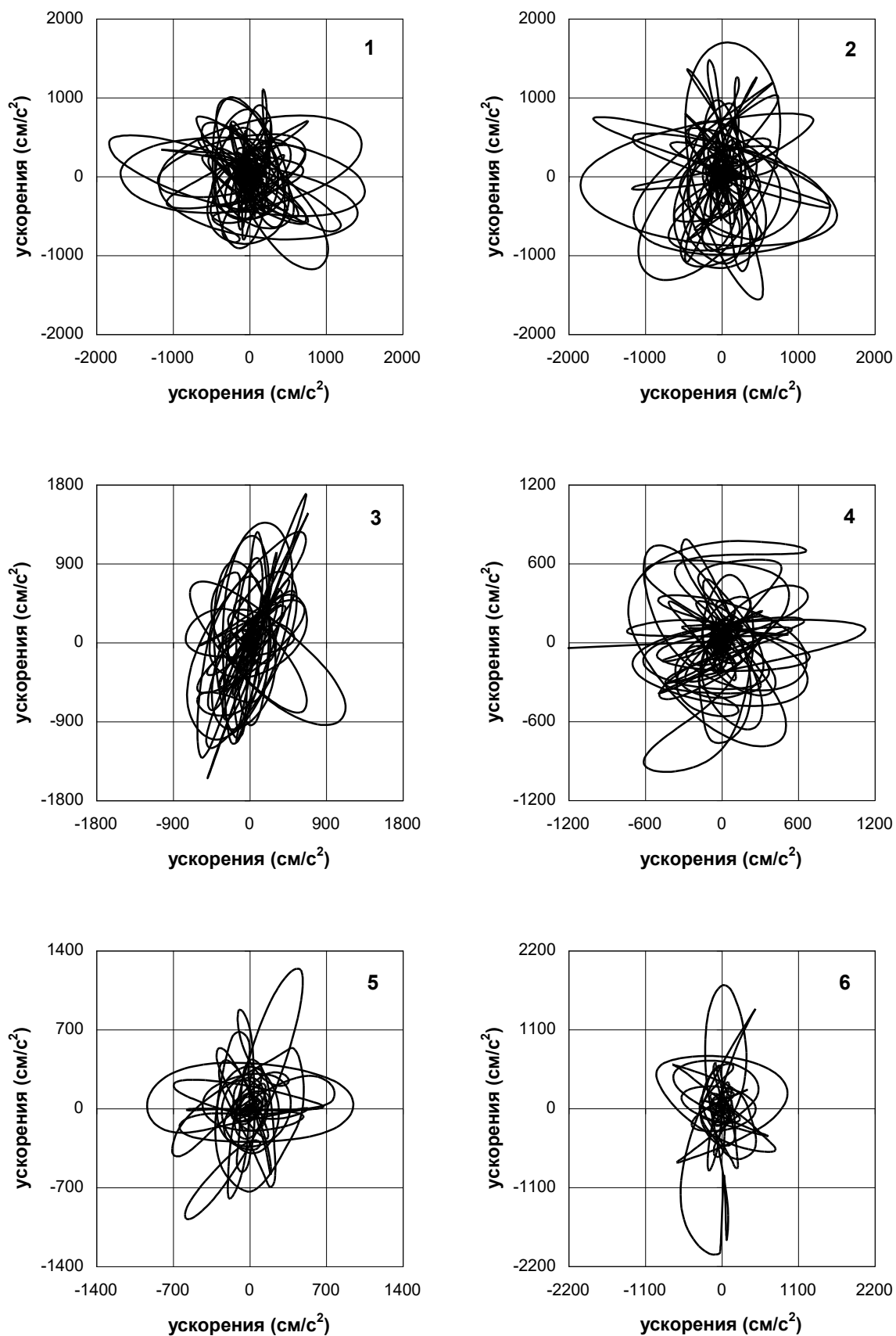


Рис. 8.3. Траектории ускорений, отвечающие воздействиям, зарегистрированным при землетрясении Kobe (ст. Fukiai).

В тоже время, следует обратить внимание, что вывод о приемлемой точности комбинирования усилий по правилам (8.1) и (8.2) сделан на основе прямых динамических расчетов, учитывающих разный спектральный состав и разную интенсивность горизонтальных компонент рассматривавшихся сейсмических воздействий. Однако, в нормативных документах, содержащих правила определения расчетных откликов конструкции (8.1) и (8.2), интенсивность и спектральный состав горизонтальных компонент сейсмического воздействия принимаются одинаковыми. С учетом этих допущений положение ортогональных горизонтальных компонент сейсмического воздействия допускается выбирать произвольно /12/.

Авторы /13/ отмечают, что хотя задание равнокомпонентного воздействия позволяет получить полезные оценки максимальной величины реакции конструкции, эти оценки, из-за неодинаковой интенсивности компонент сейсмического воздействия, являются излишне консервативными. На основе проведенных исследований в /13/ предлагается учитывать неравную интенсивность компонент горизонтального сейсмического воздействия, но ориентировать оси компонент сейсмического воздействия вдоль главных осей реакции сооружения.

Примечание. Под главными осями реакции в /13/ подразумеваются оси сооружения, при совпадении с которыми главных осей сейсмического воздействия реакция сооружения становится максимальной.

Для «правильных» зданий и сооружений положения главных осей реакции, как правило, будут совпадать с положениями их продольных и поперечных осей. Поэтому, для таких сооружений, правила определения расчетных откликов конструкции можно представить в виде (8.3).

$$\frac{\sqrt{E_{Edx}^2 + (\rho E_{Edy})^2 + E_{Edz}^2}}{\sqrt{(\rho E_{Edx})^2 + E_{Edy}^2 + E_{Edz}^2}} \quad (3.10)$$

где:

$\rho$  – коэффициент, характеризующий отношение между значениями ординат спектров реакции, построенных по записям на ортогональных горизонтальных направлениях.

Для определения значения коэффициента  $\rho$  в настоящей работе были сопоставлены значения ординат спектров реакции, построенных по записям сейсмических процессов на двух ортогональных направлениях. Общее количество инструментальных двухкомпонентных записей, привлеченных для построения спектров реакции, составляло более 200. Сопоставление ординат спектров реакции осуществлялось в диапазоне периодов от 0,05 до 10 сек.

В качестве значения  $\rho$  принималось наименьшее из двух значений:  $E_{Edx}/E_{Edy}$  или  $E_{Edy}/E_{Edx}$ .

Графики коэффициентов  $\rho$  показаны на рис. 8.4 и 8.5.

Из рис. 8.4 и 8.5 следует, что значение коэффициента  $\rho$  без значимых погрешностей можно принять равным 0,75.

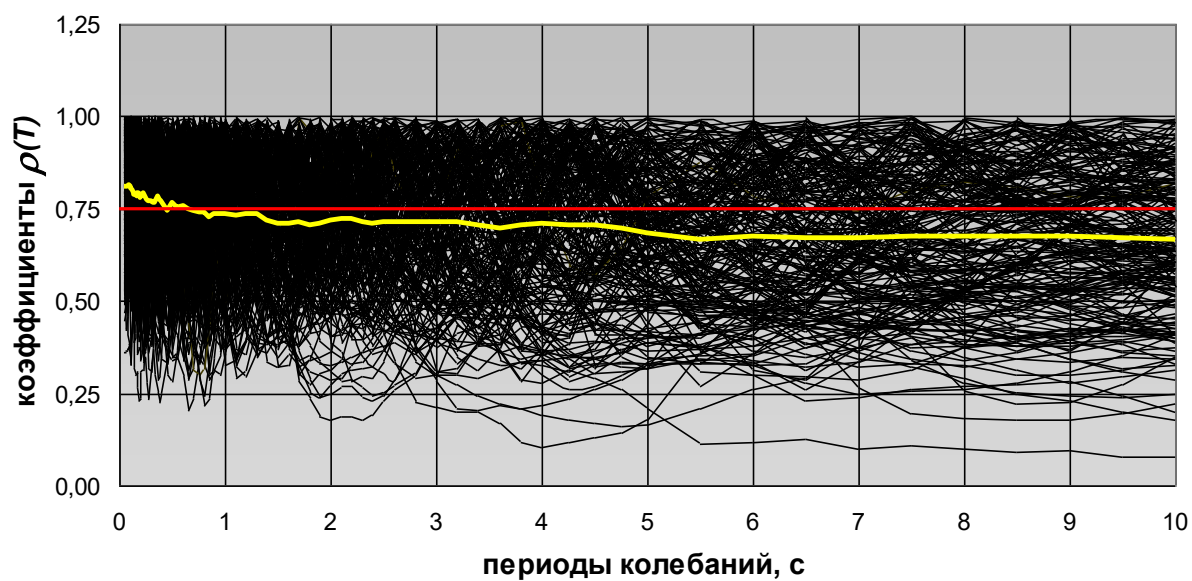


Рис. 8.4. Значения коэффициентов  $\rho$  в диапазоне периодов от 0,05 до 10 сек  
(желтая линия – кривая средних значений  $\rho$ )

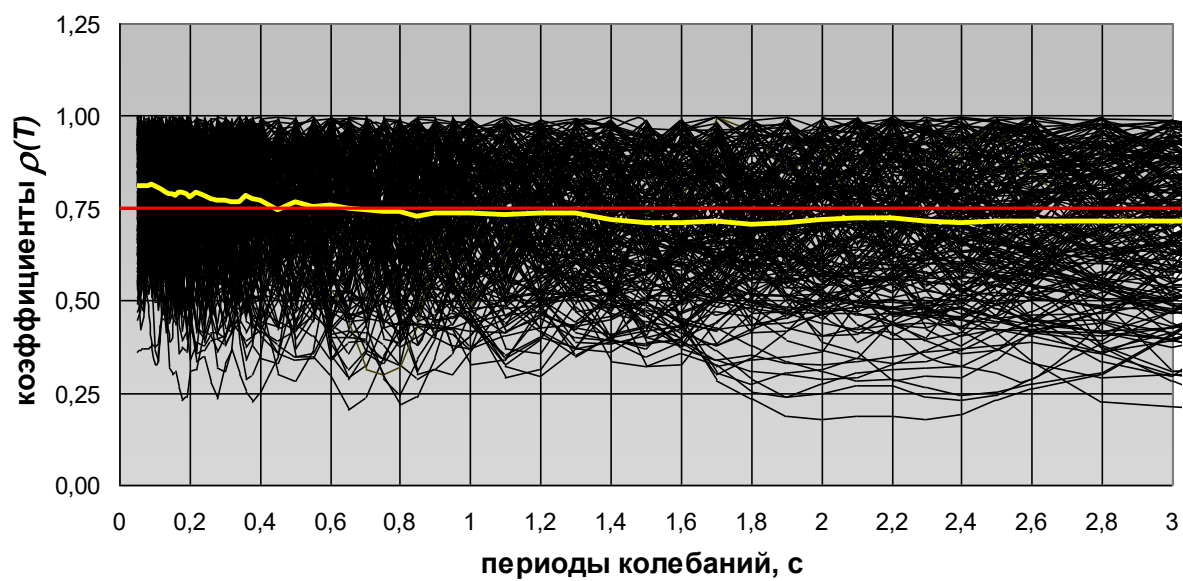


Рис. 8.5. Значения коэффициентов  $\rho$  в диапазоне периодов от 0,05 до 3 сек

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Ицков И.Е., Михайлова Н.Н. Нормирование сейсмических нагрузок, определяемых в предположении упругого деформирования конструкций зданий и сооружений. Экспресс-информация ВНИИТПИ. Серия «Сейсмостойкое строительство», 1996, вып. 5, с. 36-42.
2. Ицков И.Е. О графиках  $\beta(T)$ , приведенных в проекте международных строительных норм СНГ «Строительство в сейсмических районах». Научно-технический журнал «Сейсмостойкое строительство», 2003 г., вып. 4, с. 58-63.
3. Ицков И.Е. О графиках коэффициентов динамичности в нормах Республики Казахстан. Тр. КазНИИССА, вып. 21 (31), 2006. С. 46-65.
4. Guidelines and Recommendations for Strong-Motion Record Processing and Commentary. Strong-Motion Record Processing Working Group 25 June 2005. COSMOS Publication NO. CP-2005/01. P. 36.
5. Поляков С.В. Кахновский А.М. Зависимость коэффициента динамичности от грунтовых условий площадки строительства. – В кн. Анализ последствий землетрясений. М.,: ЦНИИСК им. Кучеренко, 1982, с. 5-11.
6. Chopra, A.K., Newmark, N.M. (1980) Analysis, in Design of Earthquake Resistant Structures (ed. E. Rosenblueth), Pentech Press, London.
7. Giuseppe Lanzo, Giuseppe Scasserra, YuQin Ding. Evaluation of EC8 Site-Dependent Acceleration Response Spectra Using strong-motion Italian Records. E. Cosenza (ed), Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 13-22, 2009 Doppiavoce, Napoli, Italy. P. 1-10.
8. Corina Schott, Jochen Schwarz. Reliability of EUROCODE 8 Spectra and the Problems of their Application to Central European Earthquake Regions. 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada. August 1-6, 2004, Paper No. 3403.
9. Гусев А.Ф. Некоторые вопросы сейсмологического обоснования норм сейсмостойкого проектирования. // Сейсмостойкое строительство и безопасность сооружений. 2003, №1, с. 32-36.
10. Ицков И.Е. Предложения по совершенствованию методики учета влияния грунтовых условий на величины расчетных сейсмических нагрузок. Научно-технический журнал «Сейсмостойкое строительство», 2001 г., вып. 6, с. 44-49.
11. Отчет о научно-исследовательской работе: «Исследовать путем анализа результатов расчета и инструментальных записей колебаний зданий при землетрясениях и разработать методы расчета на сейсмические воздействия с учетом влияния конструктивных нерегулярностей. В развитие СНиП РК В.1.2-4-98 «Строительство в сейсмических районах». РГП «КазНИИССА» (отв. исп. Ицков И.Е.), 2003.
12. Wilson E.L. Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures. – Berkeley: Computer and Structures, Inc., 1997.
13. Singh M.P., Ghafory-Ashtainy M. Structural Response under Multicomponent Earthquake. – Journal of Mechanics, vol. 110, № 5, 1984, p. 761-775.