

Профессор Александр Михайлович Уздин

ЗАДАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.

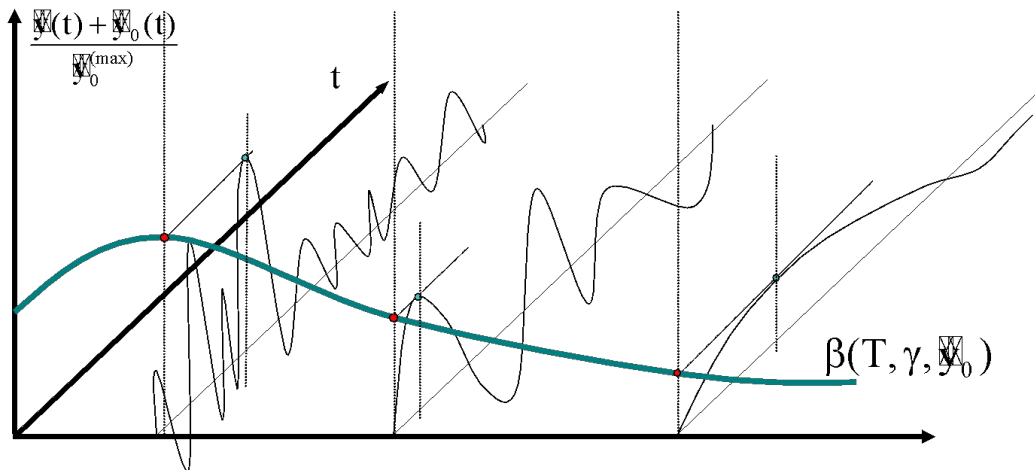
ВЗГЛЯД ИНЖЕНЕРА-СТРОИТЕЛЯ

Нормативное задание сейсмического воздействия

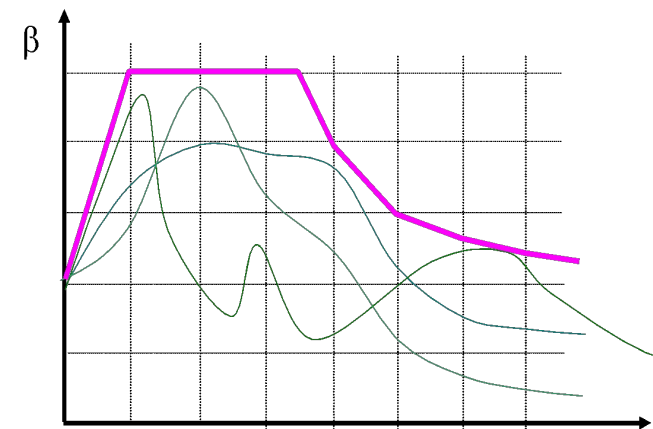
Проблема задания сейсмического воздействия является одной из основных в теории сейсмостойкости. Обычно воздействие задается спектральной кривой (расчет по спектральной методике) или расчетной акселерограммой.

ПОСТРОЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ КРИВЫХ

$$\ddot{y} + \gamma k \dot{y} + k^2 y = -\ddot{y}_0; \quad y(t) = \int_0^t e^{-\frac{\gamma k \vartheta}{2}} \sin p \vartheta \ddot{y}_0(t - \vartheta) d\vartheta \quad p = k \sqrt{1 - \frac{\gamma^2}{4}}$$



Собственный период колебаний маятника (сооружения), T



Период колебаний маятника, T

НЕКОТОРЫЕ СЛОЖИВШИЕСЯ ИЛЛЮЗИИ О ТОМ, ЧТО МЫ ЯКОБЫ ЗНАЕМ О СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

- Иллюзия 1. Спектральные кривые СНиП построены для затухания $\gamma=0.1$.
- Иллюзия 2. Уровень расчетных ускорений составляет 4, 2 и 1 м/с² соответственно для 9, 8 и 7 балльных воздействий
- Иллюзия 3. При увеличении балльности на 1 амплитуда ускорений удваивается
- Иллюзия 4. Расчет по акселерограммам землетрясений дает более полную информацию о работе конструкции, чем расчет по спектральной методике

Задание расчетной акселерограммы

Два противоположных подхода к решению рассматриваемой проблемы.

- **Первый подход** поддерживается сейсмологами. В соответствии с ним расчетная акселерограмма должна максимально приближаться к возможной реальной на площадке строительства. На первый взгляд такая постановка задачи кажется очевидной, однако у инженеров, работающих в области сейсмостойкого строительства, она вызывает серьезные возражения. Это связано, во-первых, с высокой стоимостью и низкой надежностью сейсмологических прогнозов, а во-вторых, невозможностью во многих практически важных случаях применить прогнозы сейсмологов.
- Высокая стоимость, продолжительность и трудоемкость прогноза расчетных спектров и акселерограмм обуславливает тот факт, что они, хотя и предусматриваются нормами на изыскания при строительстве в сейсмических районах, делаются только при проектировании особо ответственных сооружений – больших плотин и АЭС.
- Что касается качества сейсмологических прогнозов, то у инженеров они вызывают серьезное недоверие. Достаточно сказать, что из 26 разрушительных землетрясений, имевших место на территории бывшего СССР с 1948 года, 24 произошли в районах, считавшихся не сейсмичными или мало сейсмичными. Когда настоящая статья была подготовлена к печати, в г.Калининграде, не внесенном в списки сейсмически опасных населенных пунктов СНиП II-76-81*, произошло землетрясение силой более 6 баллов. Если такие ошибки появляются при прогнозе возможности землетрясения, то возникает естественный вопрос о ценности прогноза детальных характеристик сейсмического воздействия.
- Наконец, в строительстве широко применяется принцип типового проектирования. Большинство объектов массовой застройки возводится по типовым проектам. При этом во многих случаях градация строительных конструкций и оборудования осуществляется не по расчетной балльности (несейсмостойкие, 7,8 и 9 баллов) а всего по признаку сейсмостойкие или несейсмостойкие [1]. Иными словами сейсмостойкий вариант конструкции должен работать в любых условиях и при землетрясениях любой силы. В этом случае проблематичным может быть даже использование региональных спектров, не говоря уже о расчетных акселерограммах на площадке строительства.
- В связи со сказанным можно утверждать, что работа сейсмологов по воссозданию реальных движений грунта в сейсмически опасных зонах, безусловно, полезна, однако из-за недостаточной надежности указанных прогнозов и проблематичности их использования инженеры разрабатывают другие подходы к заданию расчетного воздействия. Ниже рассмотрены некоторые инженерные принципы, которые могут быть использованы при моделировании сейсмических воздействий.

Задание расчетной акселерограммы

Два противоположных подхода
к решению рассматриваемой проблемы

Второй подход, инженерный - исходит из того, что расчетное воздействие подбирается наиболее опасным для сооружения; при этом оно может быть совершенно не похоже на реальное.

Этот подход базируется на двух принципах.

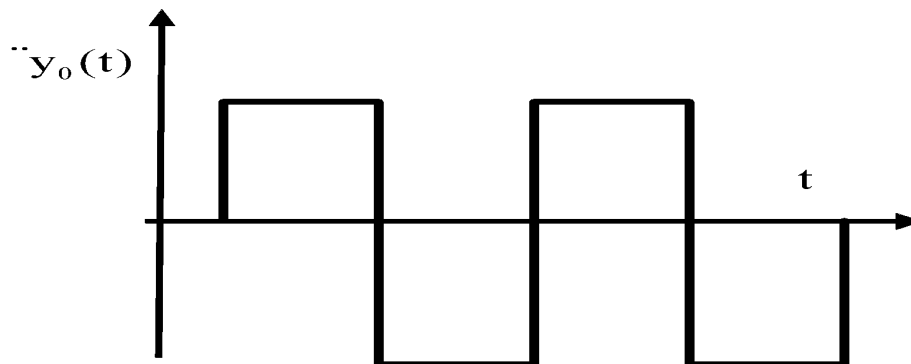
Задание уровня расчетного воздействия. *При наличии сомнений по вопросам сейсмической опасности площадки строительства и возможном сейсмическом риске следует завышать расчетную сейсмичность сооружения.*

Модель расчетного воздействия. *Спектральный состав воздействия должен быть наиболее неблагоприятным для проектируемого сооружения. Для линейных систем это должен быть узкополосный резонансный процесс*

ЗАДАНИЕ УРОВНЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

При наличии сомнений по вопросам сейсмической опасности площадки строительства и возможном сейсмическом риске следует завышать расчетную сейсмичность сооружения

- В настоящее время инженеры добились заметных успехов в развитии возможностей сейсмозащиты. Сооружения, запроектированные по действующим нормам, удовлетворительно переносят землетрясения расчетной силы. Кроме того, в последние 30 лет развиваются методы специальной сейсмозащиты сооружений, позволяющие относительно недорого запроектировать сейсмостойкие сооружения, способные воспринимать разные сейсмические воздействия. Инженер сейчас может считать, что все районы высокосейсмичны и пытаться грамотно запроектировать сейсмостойкое сооружение. Хотя это и ведет к определенному удорожанию строительства, но при грамотном проектировании зачастую, это дешевле и проще, чем получение достоверного сейсмологического прогноза.
- Конечно, проектирование сейсмостойких сооружений требует высокой инженерной квалификации. За 30 лет работы в сейсмостойком строительстве автору неоднократно приходилось сталкиваться с желанием руководителей проектов вместо серьезных инженерных разработок тем или иным способом получить от сейсмологов документ о возможности снижения расчетной сейсмичности. Такой путь облегчает работу проектировщиков и создает видимость удешевления строительства. К сожалению, тектонические процессы не считаются с подобными решениями, которые могут обернуться сотнями человеческих жизней.
- Если удастся без больших затрат запроектировать сооружение на действие заведомо опасного воздействия, то дальнейшее уточнение уровня сейсмической опасности и расчетных акселерограмм теряет практический смысл. Если же серьезное удорожание сооружения неизбежно, возникает необходимость уточнения уровня расчетного воздействия.

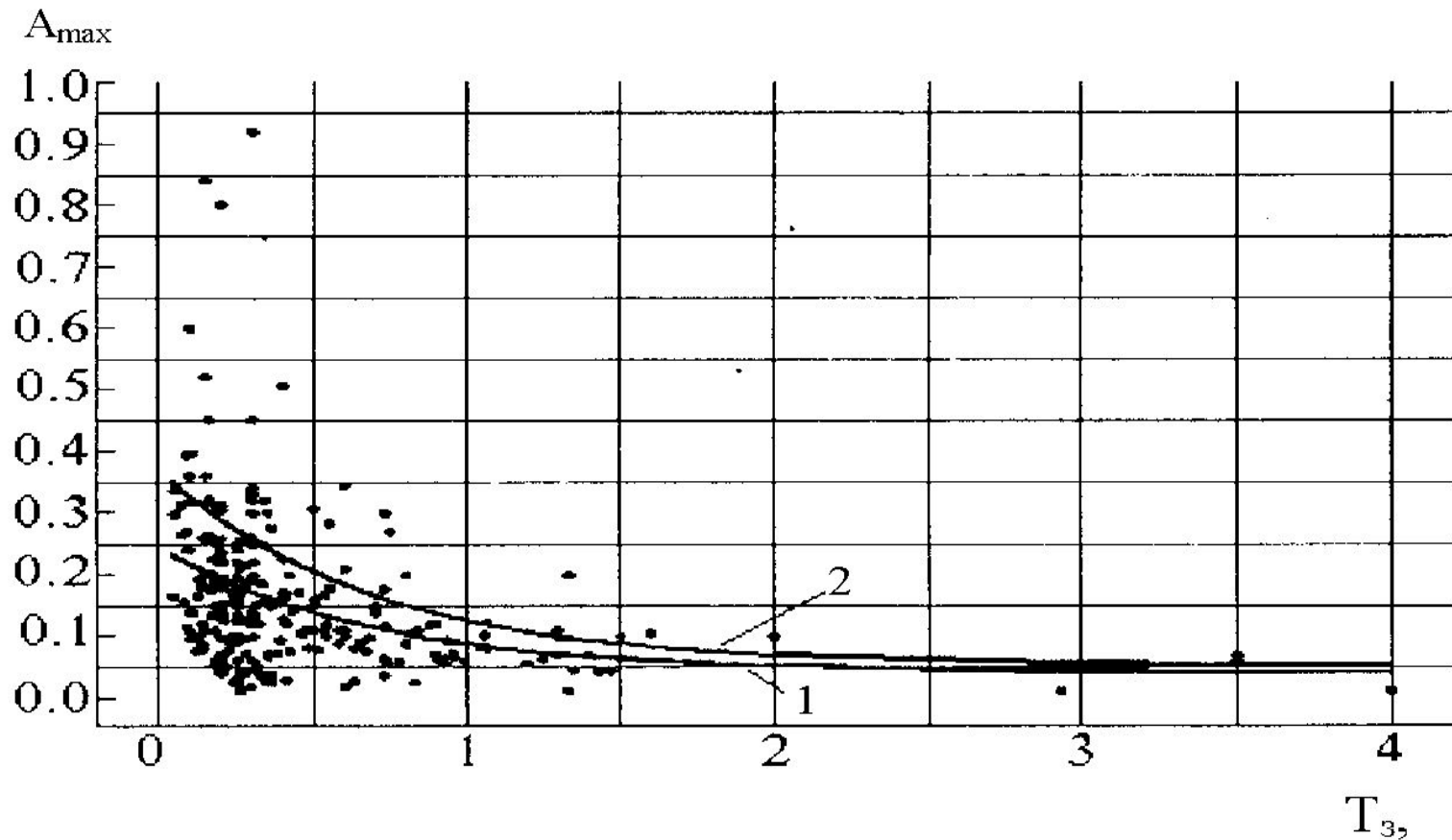


Наиболее опасное
воздействие для
линейной системы

ЗАДАНИЕ УРОВНЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

- Важной особенностью, на которую обратил в свое время внимание О.А.Савинов, и активно использовали его ученики], является устойчивая корреляционная связь между амплитудой, преобладающим периодом и продолжительностью сейсмического воздействия. В соответствии с этим уровень расчетной амплитуды воздействия необходимо снижать при увеличении его преобладающего периода. В Рекомендациях эта связь представлена зависимостью, показанной на рисунке. При построении рассматриваемой зависимости были использованы данные примерно по 300 землетрясениям, и для распределения пиковых ускорений использован закон Вейбулла. В настоящее время эти результаты получили подтверждение и достаточно корректно и полно представлены в исследованиях сейсмологов. Указанный факт позволяет обоснованно снижать уровень расчетного воздействия на длиннопериодные сооружения, например на сооружения с сейсмоизоляцией.

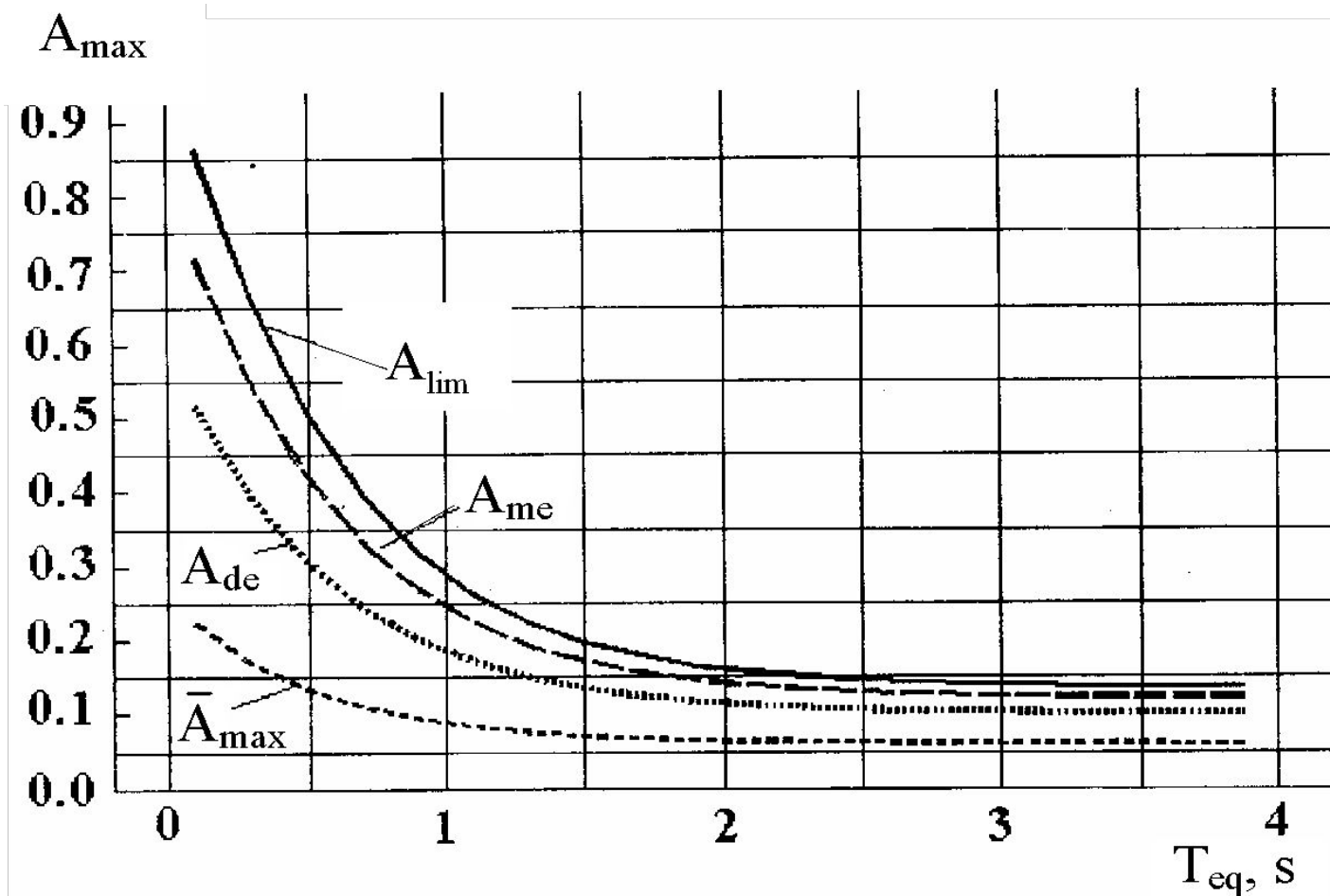
ЗАДАНИЕ УРОВНЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ



Нелинейные регрессионные зависимости (для $I=8$ баллов): 1 - $\bar{A}_{\max}(T_3)$; 2 - $\bar{A}_{\max}(T_3) + \sigma_A(T_3)$

ЗАДАНИЕ УРОВНЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Чем больше преобладающий период воздействия, тем меньше его амплитуда



МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАСЧЕТНОГО УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (УСКОРЕНИЙ ОСНОВАНИЯ А) НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

- Исходное уравнение**

$$\sum_{I=7}^{10} p_I \varepsilon_{IK}(A_K) = q_{\text{сл}}^{(K)}$$

- где
- p_I – вероятность возникновения за срок службы сооружения $T_{\text{сл}}$ землетрясения силой I баллов,
- ε_{IK} – вероятность того, что при землетрясении силой I баллов будет превышен расчетный уровень ускорений A_K для землетрясения силой K баллов;
- $q_{\text{сл}}^{(K)}$ – допустимая вероятность превышения ускорениями заданного уровня A_K за срок службы сооружения $T_{\text{сл}}$.

$$p_I = \left(1 - e^{-\frac{T_{\text{сл}}}{T_I}} \right)$$

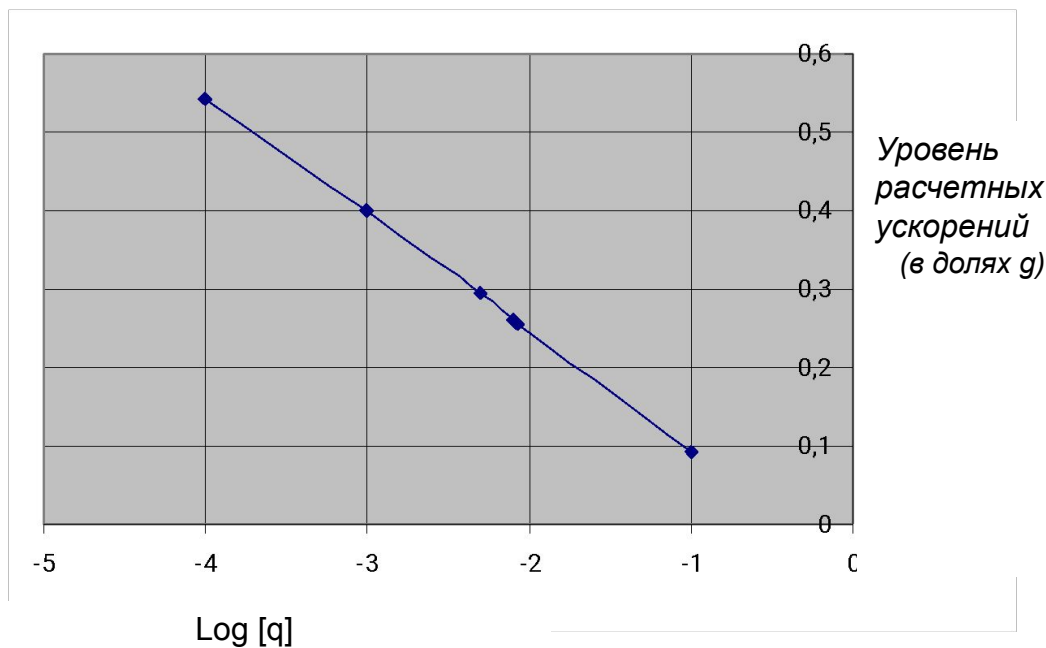
- **Вероятность возникновения землетрясения с повторяемостью T_j за расчетный срок службы сооружения $T_{\text{сл}}$**

●

$$\begin{aligned} A_K &= [a(\varepsilon_{KK}) \cdot (e^{-1.8T} + c(\varepsilon_{KK}) \cdot e^{-4.1T}) + b(\varepsilon_{KK})] \cdot 2^{K-8} = \\ &= [a(\varepsilon_{IK}) \cdot (e^{-1.8T} + c(\varepsilon_{IK}) \cdot e^{-4.1T}) + b(\varepsilon_{IK})] \cdot 2^{I-K} \end{aligned}$$

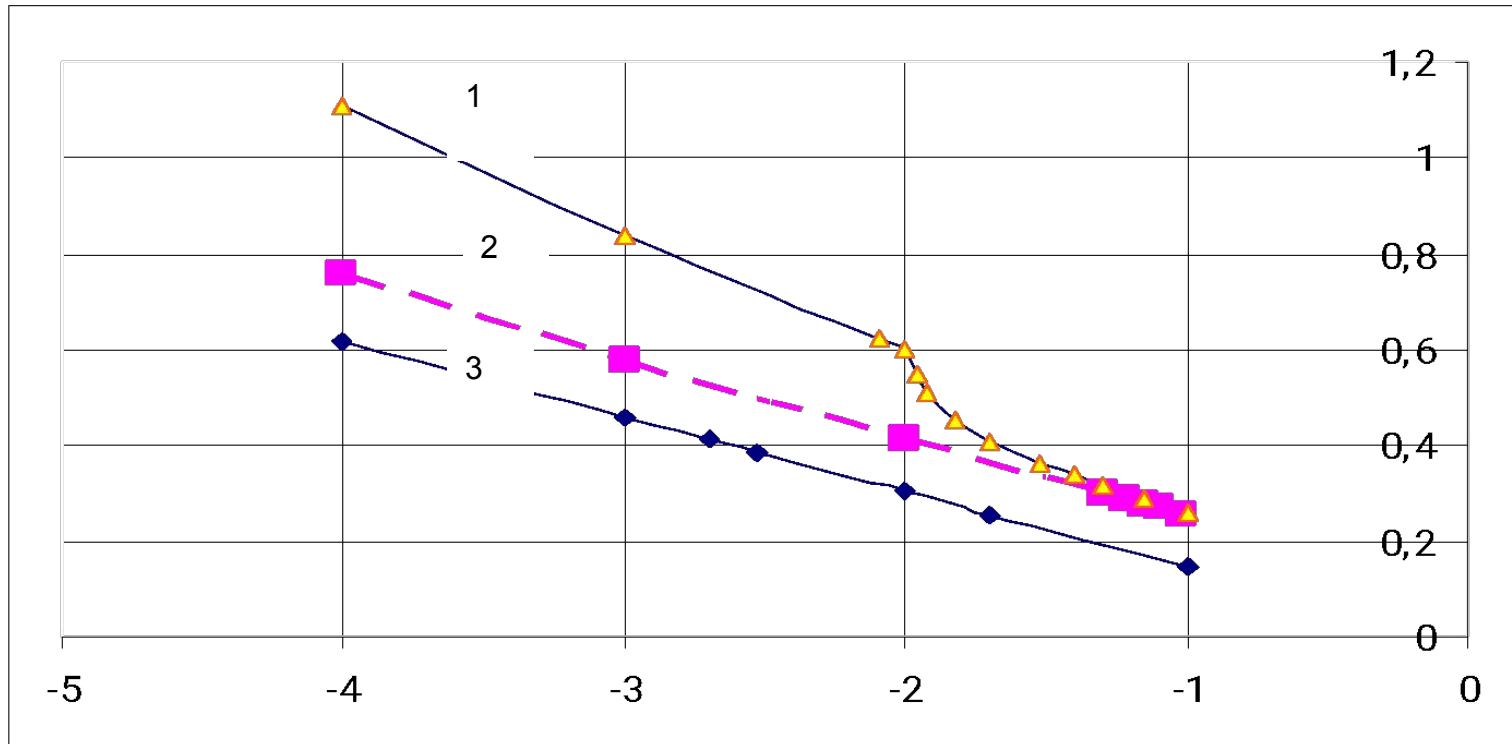
Базовые данные для оценки уровня сейсмического воздействия

Срок службы сооружения, годы	Преобладающий период воздействия, с	Повторяемость землетрясений силой I баллов в годах			
		I=7	I=8	I=9	I=10
50	0.4	200	1000	6000	∞



ЗАДАНИЕ УРОВНЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

СИТУАЦИОННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ



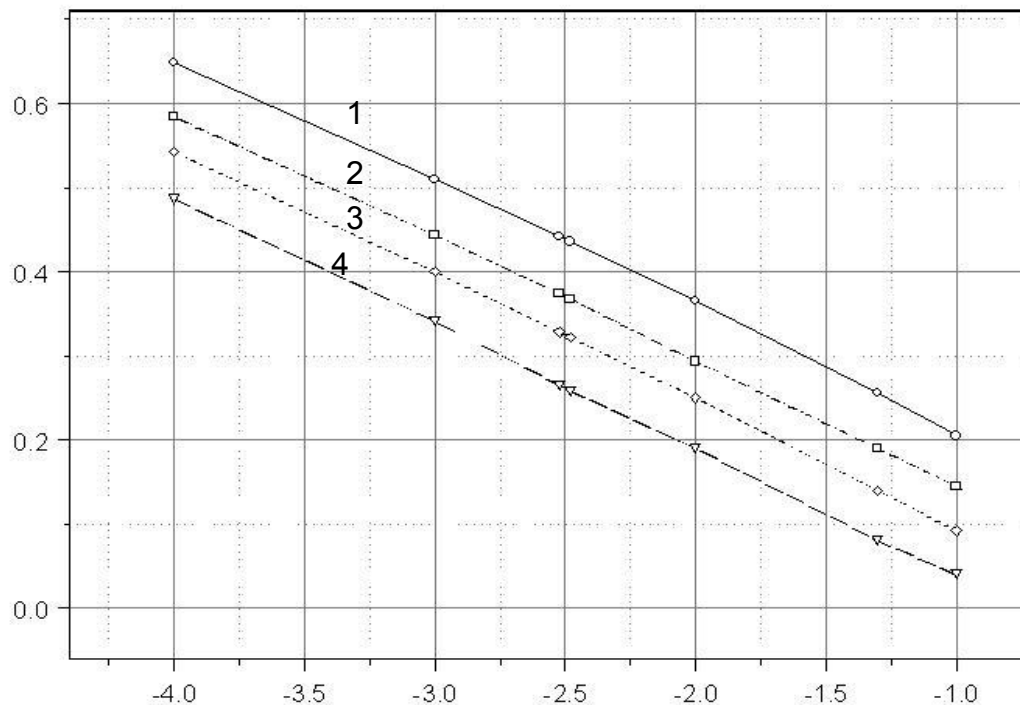
- Рис.1. Зависимость расчетного ускорения A от логарифма допустимой вероятности $[q]$ для сооружений с различной ситуационной сейсмичностью
 - 1 – $T_7=200$; $T_8=500$; $T_9=1000$; $T_{10}=10000$;
 - 2 – $T_7=200$; $T_8=500$; $T_9=1000$; $T_{10}=\infty$;
 - 3 – $T_7=500$; $T_8=1000$; $T_9=5000$; $T_{10}=\infty$;

ЗАДАНИЕ УРОВНЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

ВЛИЯНИЕ СИТУАЦИОННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА УРОВЕНЬ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ¶

Населенный пункт	Карты ОСР-97			Риск по данным <u>Я.М. Айзенберга</u>	Расчетное ускорение м/с ²	
	А	В	С		При $K=8$	При $K=K_A$
Арамиль (Свердл. обл.)	6	6	8	0.084	1.81	-
Чита, Бердск	6	7	8	0.122	1.81	-
Дмитриевка, Респ. Алтай	7	7	8	0.2	1.83	0.9
Калинино	7	8	8	0.56	2.23	1.93
Краснодар	7	8	9	0.88	3.68	2.83
Адыгейск, Улан-Удэ	8	8	9	2.0	3.70	1.62
Сочи, Иркутск	8	9	9	3.2	4.48	3.34

ЗАДАНИЕ УРОВНЯ РАСЧЕТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ



. Зависимость расчетного ускорения A от логарифма допустимой вероятности $[q]$ для сооружений с различным сроком службы T_{life}
1 - $T_{life} = 300$ лет; 2 - $T_{life} = 100$ лет; 3 - $T_{life} = 50$ лет; 4 - $T_{life} = 20$ лет

Модель расчетного воздействия

- *Спектральный состав воздействия должен быть наиболее неблагоприятным для проектируемого сооружения. Для линейных систем это должен быть узкополосный резонансный процесс.*

Известно, что наиболее опасным воздействием для линейного осциллятора является прямоугольный синус с резонансной для сооружения частотой колебаний. Если инженеру удастся запроектировать сооружение на такое воздействие, то единственной информацией от сейсмолога будет грубая оценка амплитуды и продолжительности воздействия. К сожалению, для строителя такой примитивный подход удастся применить не всегда и возникает необходимость более тесного сотрудничества с сейсмологами и приближения воздействия к реальному.

Степень приближения воздействия к реальному должна соответствовать потребностям потребителя, т.е. строителя. При этом расчетная модель воздействия должна обеспечить сейсмостойкость сооружения, а не описать по возможности точно реальное воздействие. Следует рассматривать два типа моделей воздействия.

Модель для расчета объектов массовой застройки и типового проектирования; эта модель должна обеспечить сейсмостойкость сооружения при строительстве его в любом месте с заданной сейсмичностью, а иногда и вообще в любом месте. Например, некоторые элементы моста проектируются в сейсмостойком (для любого района и сейсмичности) и несейсмостойком исполнении [1].

Модель для расчета уникальных объектов. В этом случае модель воздействия должна учитывать реальные сейсмологические условия, однако обеспечение запаса надежности должно превалировать над желанием точно описать процесс возможного воздействия.

Таким образом, ориентировка на выбор наиболее опасного расчетного воздействия приводит к необходимости **моделирования воздействия для сооружения, а не для площадки строительства**. Это положение бесспорно для типового проектирования, где площадка заранее не известна. Однако оно достаточно важно и для расчетов плотин, АЭС и других ответственных сооружений.

Модель расчетного воздействия

- ЧЕТЫРЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ПОДХОДА К МОДЕЛЯМ ВОЗДЕЙСТВИЯ:
 1. Использование пакета реальных акселерограмм, причем огибающая спектров акселерограмм, образующих пакет, должна соответствовать некоторому заданному спектру
 2. Использование пакета узкополосных процессов, причем огибающая спектров акселерограмм, образующих пакет, должна соответствовать некоторому заданному спектру
 3. Использование единственного расчетного воздействия в виде узкополосного процесса, опасного для сооружения
 4. Использование единственного расчетного воздействия в виде широкополосного процесса, спектр которого соответствует некоторому заданному спектру

Модель расчетного воздействия

- ***Что же нужно проектировщику - одно расчетное воздействие или пакет расчетных акселерограмм?***

Пакет расчетных акселерограмм (ПРА) требует проведения соответствующего числа расчетов. Каждый расчет несет огромную информацию, которую в полном объеме практически невозможно обработать. В результате же лимитирующим оказывается одно воздействие из пакета. Для линейной системы это воздействие известно инженеру заранее. При проектировании оборудования АЭС на основе ПРА строятся поэтажные акселерограммы и спектры для расчета оборудования. Для расчета строительных конструкций в указанных действиях нет необходимости и пакет расчетных воздействий совершенно не нужен. Построение пакетов воздействий, кроме того, что это позволяет загрузить работой сейсмологов, имеет смысл для региональных норм или же при проектировании комплексного объекта, включающего несколько различных, независимо работающих сооружений. В дальнейшем эти ПРА могут использоваться при привязке типовых решений и при индивидуальном проектировании. Однако расчет сооружения будет производиться на одно – наиболее опасное воздействие.

Для использования ПРА в проектной практике необходимо иметь два ПРА, моделирующих соответственно, ПЗ и МРЗ, а инвестор и страховая фирма должны в задании на проектирование указывать приемлемые предельные состояния объекта при ПЗ и МРЗ. Поскольку переход к многоуровневому проектированию происходит повсеместно и введен в Еврокод-8, создание региональных ПРА является задачей ближайшего будущего.

Модель расчетного воздействия

- ***Хорошо ли использовать записи реальных акселерограмм?***

Считается, что они лучше представляют реальное сейсмическое воздействие. В этом положении скрыто два тезиса, неприемлемые для инженера-строителя. Во-первых, воробей, галка, сова и чайка могут в некотором смысле представлять курицу. Однако повар с этим вряд ли согласится. Во-вторых, что более важно, для любой реальной акселерограммы можно подобрать похожую на нее, но более опасную для сооружения. Это связано с тем, что в любой реальной акселерограмме энергия воздействия распределена в той или иной мере между несколькими частотами, а сооружение раскачивает лишь одна из составляющих процесса. Иными словами, использование пакета реальных акселерограмм нарушает принцип выбора воздействия наиболее неблагоприятного для проектируемого сооружения. Совсем иное дело – узкополосные процессы, в которых энергия воздействия сосредоточена в узкой области частот, опасных для сооружения.

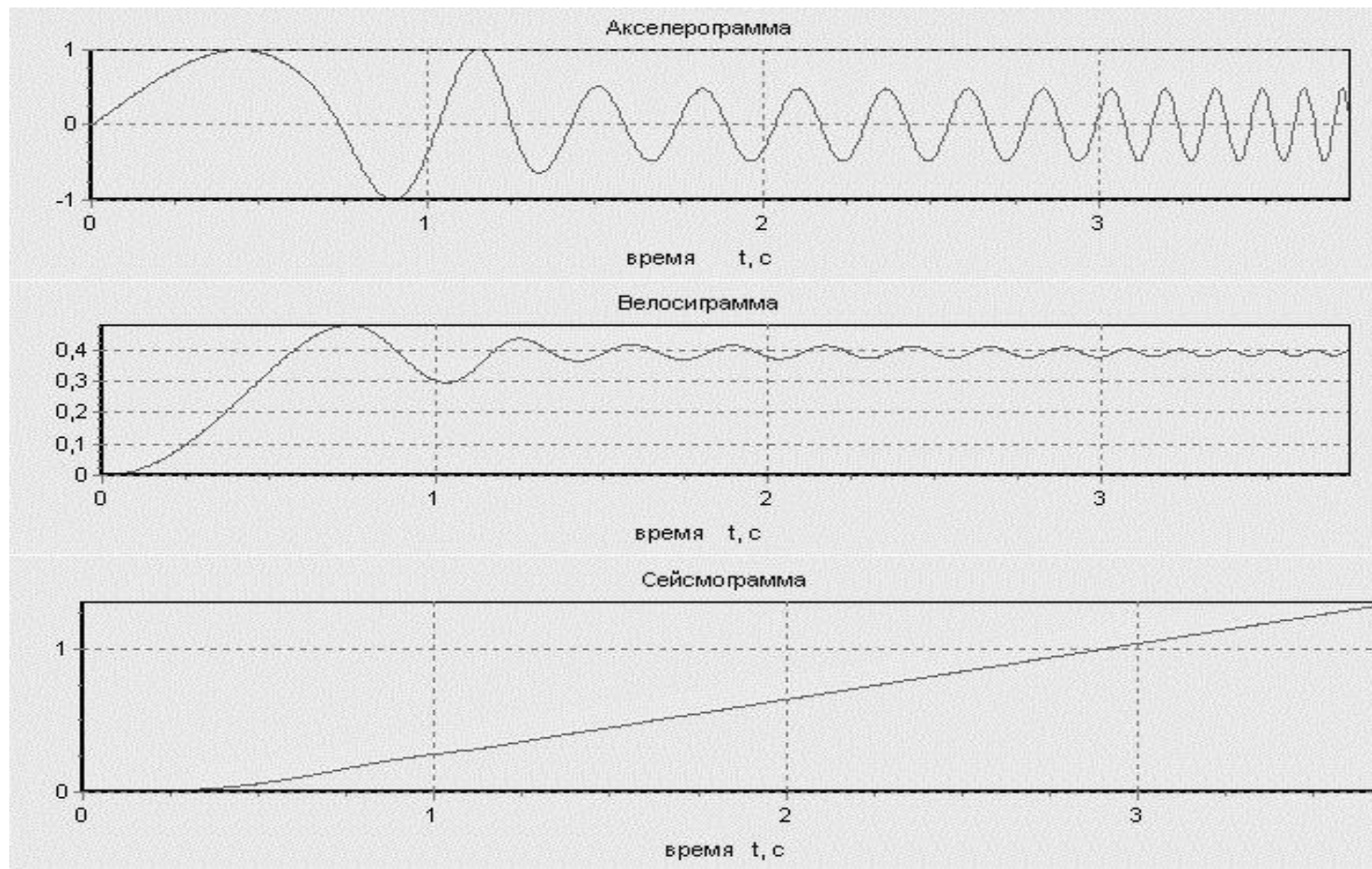
Модель расчетного воздействия

- ***Можно ли использовать один широкополосный процесс, «обслуживающий» все сооружения во всех регионах ?***

Если бы такой процесс удалось сгенерировать, и он удовлетворял бы всем запросам строителей, то в дальнейших сейсмологических исследованиях для строителя пропал бы смысл. Не случайно построению универсального расчетного воздействия посвящено значительное количество исследований инженеров-строителей. Однако известные попытки построения рассматриваемого процесса нельзя признать вполне удачными. Прежде всего, широкополосные синтетические акселерограммы моделируют ускорения и игнорируют смещения и скорости модельного воздействия. В качестве примера на рис. 3 приведена синтетическая акселерограмма Костарева – Ветошкина и соответствующие ей скорости и смещения. Столь же неблагоприятно обстоит дело и с другими известными процессами. Это делает известные процессы неприемлемыми для расчета не только сейсмоизолированных, но и любых упругопластических систем, особенно на действие МРЗ, когда критерием сейсмостойкости являются смещения элементов конструкции.

Модель расчетного воздействия

- Широкополостная синтетическая акселерограмма (в м/с^2), велосиграмма (в м/с) и сейсмограмма (в м) Костарева – Ветошкина



Модель расчетного воздействия

- *критерии опасности расчетной модели*

Выбор наиболее опасного для сооружения воздействия постулируется в качестве основного инженерного требования.

Отметим, что подавляющее большинство инженерных расчетов производится пока в линейной постановке. Для линейных расчетов опасным является резонансное воздействие, и вопрос выбора сводится к сопоставлению спектра воздействия с частотой основного тона колебаний системы.

Нелинейные расчеты на действие МРЗ уже не могут оперировать частотой основного тона сооружения. В качестве примера на рис. 4 приведены классические амплитудно-частотные характеристики одномассовой нелинейной системы при двух значениях затухания. Выбор резонансного воздействия здесь весьма проблематичен. Величина демпфирования при этом принципиально влияет на выбор воздействия.

Модель расчетного воздействия

- *критерии опасности расчетной модели*

В случае, рассмотренном на рис. 4 воздействие с преобладающим периодом T_d является опасным, однако увеличение затухания в системе (кривая 2) делает это воздействие совершенно безопасным. Имея АЧХ, можно подобрать опасное воздействие, однако при этом инженер должен помнить об устойчивости параметров АЧХ при изменении параметров системы.

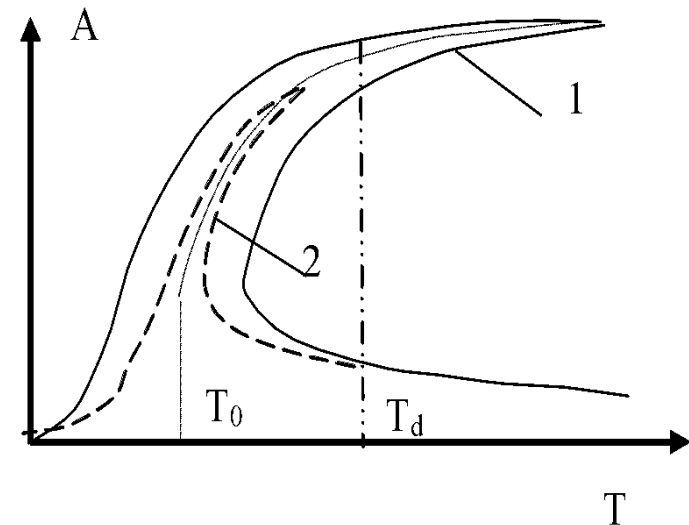


Рис.4. АЧХ нелинейного осциллятора для малого(1) и большого(2) демпфирования

Модель расчетного воздействия

- **критерии опасности расчетной модели**

- Еще более важной характеристикой сооружения, работающего за пределами упругости, является спектр его состояний. Понятие спектра состояний введено проф. Я.М.Айзенбергом и представляет собой зависимость несущей способности сооружения от периода его колебаний в процессе накопления повреждений. Если спектр реакции воздействия для нелинейно работающего осциллятора выше спектра состояний, то сооружение будет разрушено. Если же в процессе накопления повреждений спектры реакции и состояний пересекутся (Рис.5), то сооружение приспособится к воздействию и дальнейшее накопление повреждений прекратится. С этой точки зрения опасность воздействия определяется близостью точек адаптации (T_a) и разрушения (T_c), что проиллюстрировано на рис.5.
- В будущем, когда формирование расчетных воздействий и ПРА будет использоваться для расчета сооружений за пределами упругости, высказанные соображения об опасности воздействий ПРА и широкополосных синтетических воздействий необходимо учитывать. Например, для упругопластической системы рассмотренное выше синтетическое воздействие Костарева – Ветошкина будет значительно опаснее, если пустить его в обратном порядке по времени (сперва высокочастотная, а потом длиннопериодная составляющие).

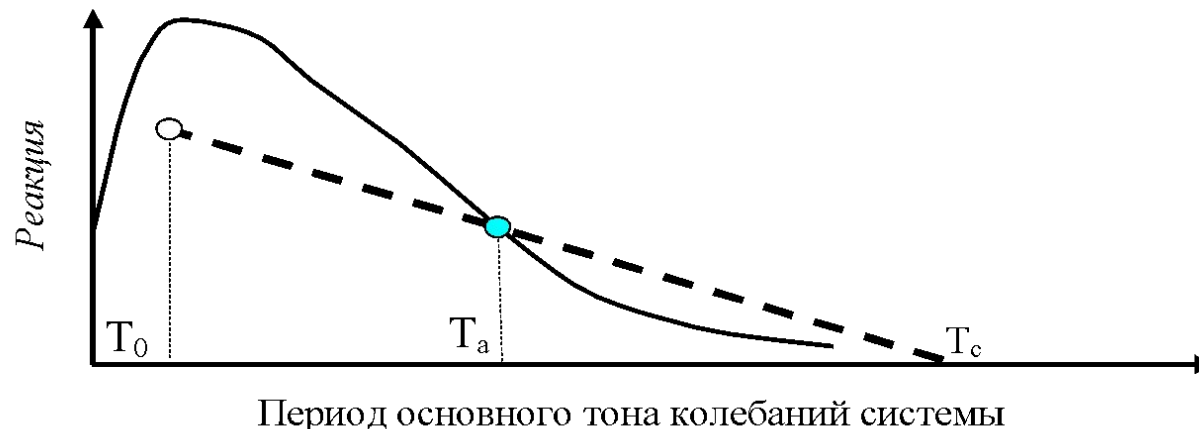


Рис.5. Соотношение спектров воздействия (сплошная кривая) и состояний системы (пунктир)

T_0 — начальный период основного тона колебаний сооружения;

T_a — период адаптации; T_c — период обрушения

Модель расчетного воздействия

- **Моделирование воздействия коротким узкополосным процессом**

Резюмируя сказанное, можно утверждать, что наиболее разумным для инженера представляется моделирование воздействия простыми узкополосными процессами, у которых энергия воздействия сконцентрирована в частотном диапазоне, опасном для сооружения. Такой процесс в виде затухающей синусоиды использовал еще И.Л.Корчинский . В Рекомендациях принципы построения узкополосного процесса для расчета заданного сооружения сформулировано наиболее четко. Рекомендуется следующее представление велосигramмы сейсмического воздействия:

$$y_0 = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\varepsilon_i t} \sin(\omega_i t)$$

где

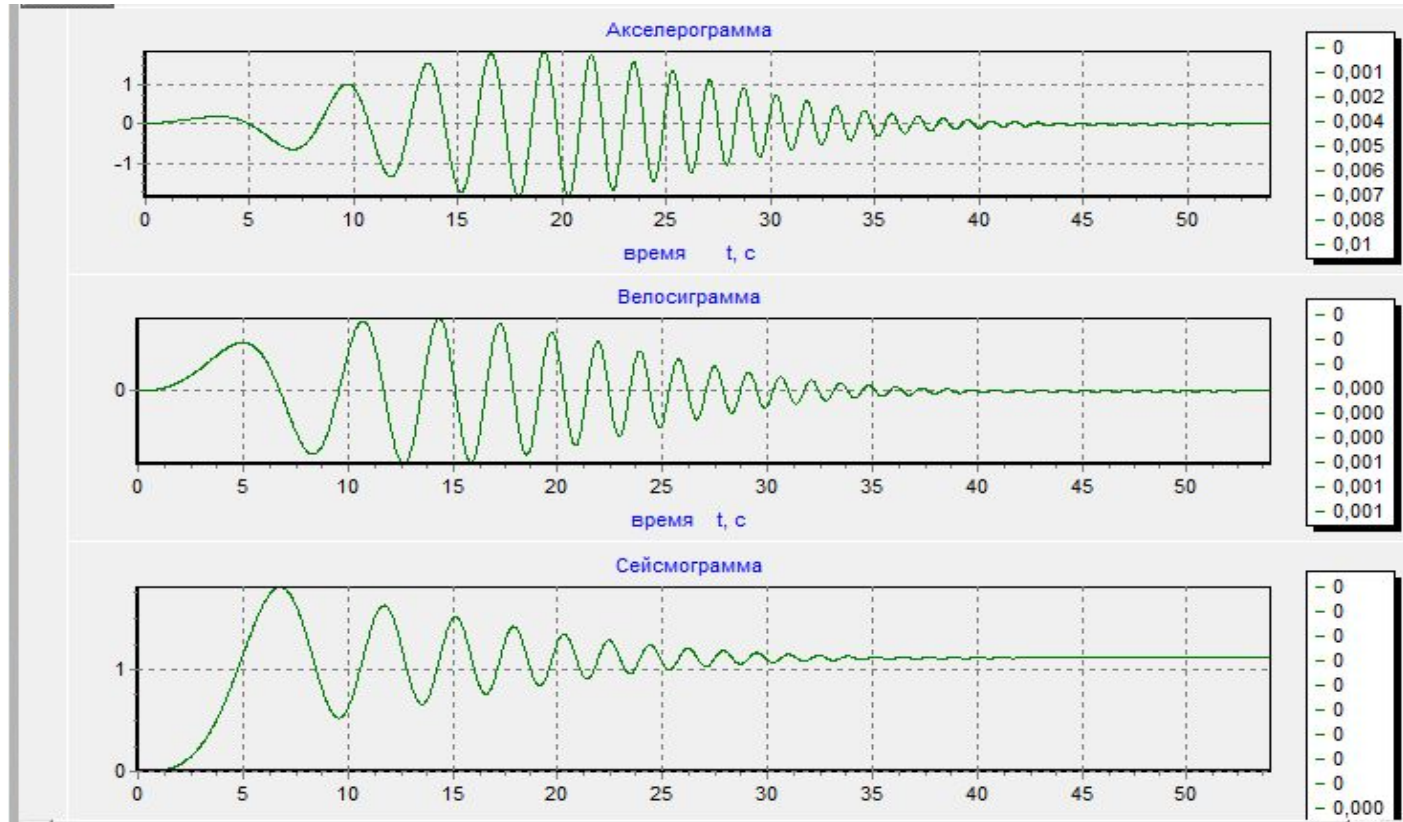
n – число учитываемых гармоник ($n = 2, 3$); A_i – амплитуда i -ой синусоиды;

ε_i – параметр, характеризующий затухание i -ой синусоиды;

ω_i – частота i -ой синусоиды.

Частоты ω_i назначаются резонансными для сооружения, а остальные параметры в той или иной степени учитывают известные сейсмологические данные.

Короткий временной процесс Аннаева-Уздина



$y = Ae^{-\varepsilon_i t} \sin(\omega(t)t)$ - модель Эпштейна $y = Ae^{-\varepsilon_i t} \sin(\omega(t)t)$ - модель Аннаева-Уздина

Короткий временной процесс с импульсом скорости

$$y_0 = V(t - \phi) \cdot \eta(t - \phi) + \sum_{i=1}^3 a_i e^{-\alpha_i t} (1 - e^{-\beta_i t}) \sin \omega_i t$$

$$v(t) = \begin{cases} u_{\max} t/t_0^2 \\ \frac{u_{\max}}{t_0} \left(2 - \frac{t}{t_0}\right) \\ 0 \end{cases}$$

$$u(t) = \begin{cases} \frac{u_{\max}}{2} \left(\frac{t}{t_0}\right)^2 \\ \frac{u_{\max}}{2} \left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right) - 2\right] \\ u_{\max} \end{cases}$$

$$a(t) = \begin{cases} u_{\max}/t_0^2 \\ -u_{\max}/t_0^2 \\ 0 \end{cases}$$

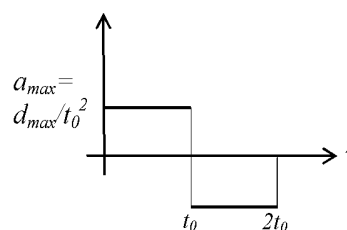
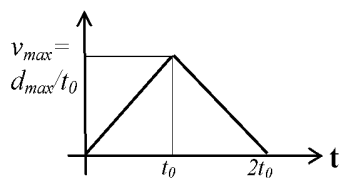
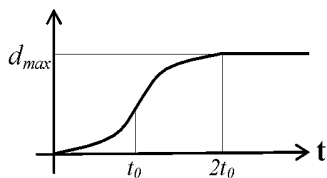


Рис.3.4. Графики смещений, скоростей и ускорений для ступенчатого процесса

$$d_{\max} = 10^{(-6.3 + M_w - \log(R))}$$

$$t_0 = 10^{(-3.471 + 0.5 \cdot M_w)}$$

$$a_{\max} = \frac{d_{\max}}{t_0^2} = \frac{4.35}{R}$$

$$d_{\max} = u_{\max}$$

- где ϕ - сдвиг фаз от начала землетрясения до момента прихода импульса скорости к сооружению;
- η - функция Хевисайда.
- Частоты ω_i задаются резонансными для сооружения.

Модель расчетного воздействия

- **Что надо инженеру-строителю от сейсмологов или энергетическая теория сейсмостойкости**

В 1976 г. на Всесоюзном совещании в г. Кишиневе проф. О.А.Савинов и академик Ю.В. Ризниченко поставили вопрос о создании энергетической теории сейсмостойкости. При этом предполагалось заменить кинематические характеристики землетрясения (смещение, скорость, ускорение) – энергетическими. За 30 лет этот вопрос не получил заметного развития. Между тем энергетический подход представляется наиболее обоснованным для расчета сооружений.

Классификация землетрясений по силе (балльности) осуществляется по макросейсмическим признакам, т.е. по объему повреждения сооружений. Для того чтобы разрушить сооружения необходимо совершить работу, т.е. затратить энергию. Фактически это означает, что землетрясения одинаковой силы должны иметь одинаковые энергетические характеристики. Это в свою очередь означает, что в рамках одного балла более продолжительные и длиннопериодные воздействия должны иметь меньшую амплитуду.

Таким образом, сейсмологам необходимо задать вместо традиционных кинематических характеристик некоторые универсальные энергетические характеристики воздействия, например, интенсивность по Ариасу. Спектральную плотность воздействия можно пока рассматривать как вспомогательный материал для инженера. Далее генерируется узкополосное воздействие, представляющее наибольшую опасность для сооружения и обеспечивающее заданные сейсмологами генеральные энергетические характеристики землетрясения. Это воздействие и принимается в качестве расчетного. Такой подход может быть развит для многоуровневого проектирования, а так же для расчетов по спектральной методике.

РЕЗЮМЕ

- При проектировании инженер должен пользоваться наиболее надежными генеральными характеристиками сейсмического воздействия, направляя свои знания и энергию на создание высокоэффективных сейсмостойких конструкций. Если инженерная мысль не работает, сейсмологические прогнозы, вряд ли помогут.