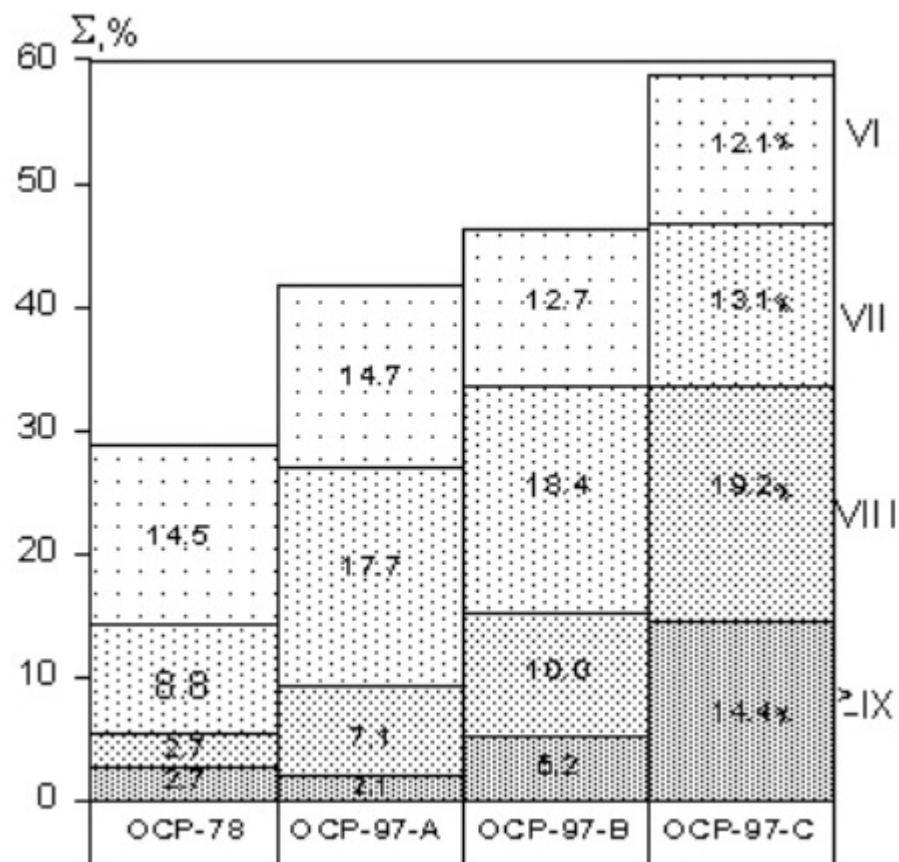


ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ

Кабанцев О.В., к.т.н. (ГОУ ВПО МГСУ)

*Тонких Г.П., д.т.н. (Центр защитных мероприятий
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ))*

Динамика изменений площадей территорий сейсмоопасных зон



Соотношение площадей с разной интенсивностью сейсмических воздействий по данным карт сейсмического районирования разных лет и различных вероятностей сейсмического события.

Нормирование механической безопасности и надежности строительных объектов

Федеральный закон №384 (от 30.12.2009 г.) Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Ст 16.:

Требования механической безопасности обеспечиваются тем, что «...в процессе строительства и эксплуатации здания или сооружения его строительные конструкции и основание не достигнут **предельного состояния**...».

ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований.

Основные положения и требования. п. 3.1.1:

«Основным показателем надежности строительных объектов является невозможность превышения в них **предельных состояний** при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы здания».

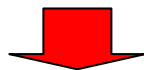
СП 14.13330.2011/2012 “Строительство в сейсмических районах”

Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. :

«Сейсмостойкость сооружения: способность сооружения сохранять после расчетного землетрясения функции, предусмотренные проектом, например:

-отсутствие глобальных обрушений и разрушения сооружения или его частей...;

- продолжение эксплуатации сооружения после восстановительного ремонта».



Допускаются повреждения несущих конструкций.
Предельно допустимый уровень повреждений $d \leq 3,0$

Нормирование механической безопасности и надежности строительных объектов

Обеспечение неперевышения допустимого уровня повреждений:

- Расчет в частотной области (спектральный метод) – $k = 0,12 \div 0,4$;
- Расчет во временной области – учет упруго-пластической работы конструкции в прямой постановке.

Проектирование нового здания (прямая задача):

$$F \leq P,$$

где:

F – обобщенный нагрузочный фактор;

P – несущая способность конструкций и узлов их соединений

Оценка сейсмостойкости существующего здания (обратная задача):

$$\begin{matrix} F_s=7 \\ F_s=8 \\ F_s=9 \end{matrix} \longleftrightarrow P_{\text{факт}}$$

где:

$F_{7, 8, 9}$ – обобщенный нагрузочный фактор с учетом сейсмических воздействий 7, 8, 9 баллов;

$P_{\text{факт}}$ – фактическая несущая способность конструкций и узлов их соединений существующего здания

Проверка достаточности существующего уровня несущей способности конструкций здания и узлов их соединений $P_{\text{факт}}$ при сейсмическом воздействии на здание различного уровня (7, 8, 9 баллов)

Фактический уровень несущей способности конструкций и узлов их соединений существующего здания $R_{\text{факт}}$ определяется:

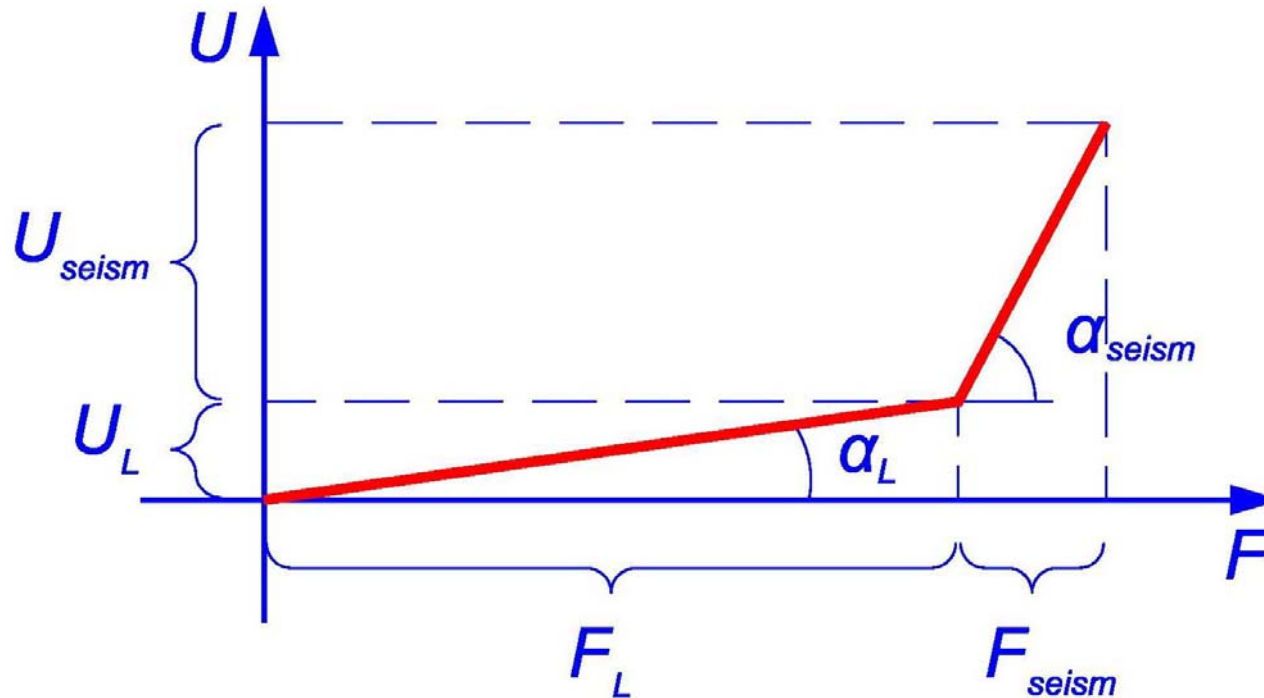
- Действительными характеристиками материалов конструкций;
- Параметрами существующих конструкций и узлов их соединений (армирование, включая анкеровку стержней, характеристики и состояние сварных швов и т.п.);
- Наличием дефектов и повреждений конструкций, возникших в течение эксплуатационного периода.



Повреждение вертикального стыка стен каменного здания

Оценка сейсмостойкости существующего здания с учетом истории нагружения

Схема учета истории нагружения и деформирования здания.



U – перемещения;

U_L – перемещения от нагрузок основного эксплуатационного периода;

U_{seism} – перемещения от сейсмических воздействий;

F – нагрузки;

F_L – нагрузки основного эксплуатационного периода;

F_{seism} – сейсмические нагрузки;

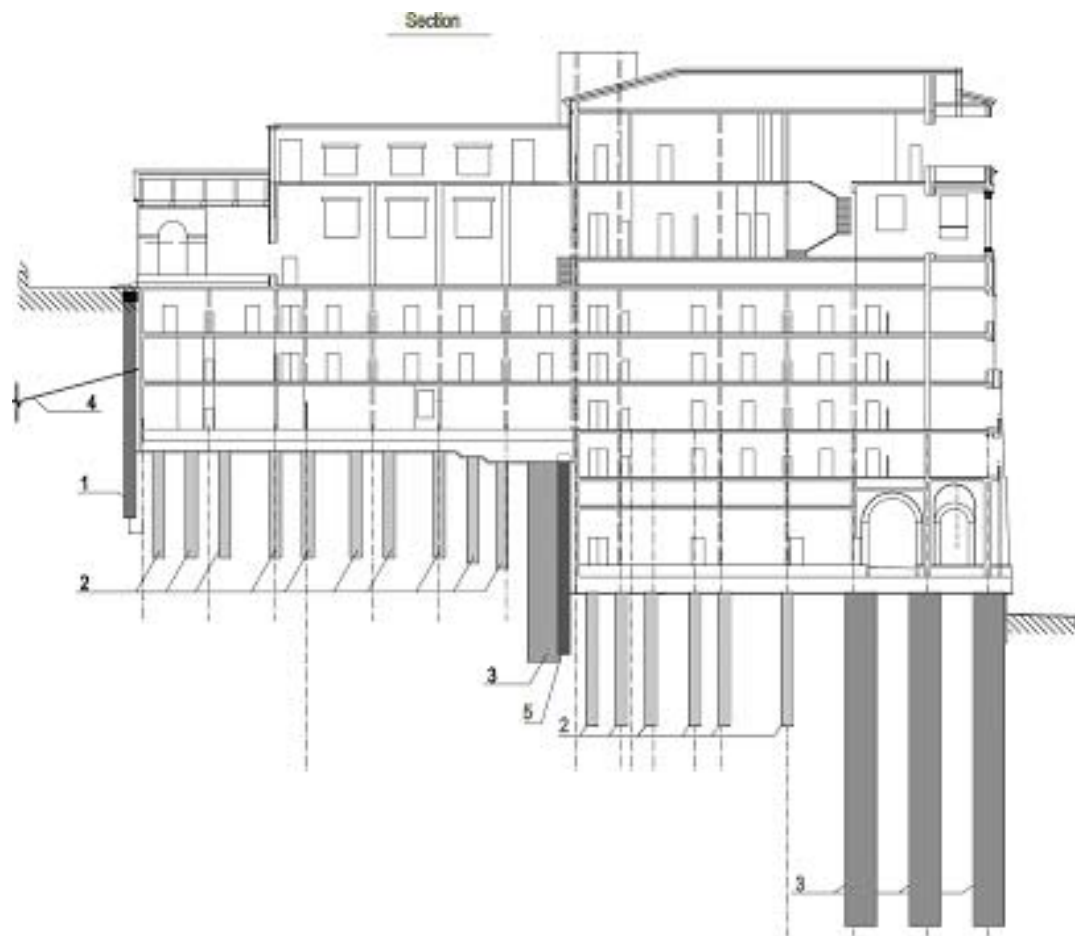
$\alpha_i = f(K_i)$;

K_i – матрица жесткости конструкций на i -том этапе эксплуатационного периода;

K_L – матрица жесткости конструкций основного эксплуатационного периода;

K_{seism} – матрица жесткости конструкций особого этапа эксплуатационного периода (случай сейсмических воздействий).

Оценка сейсмостойкости существующего здания с учетом истории нагружения

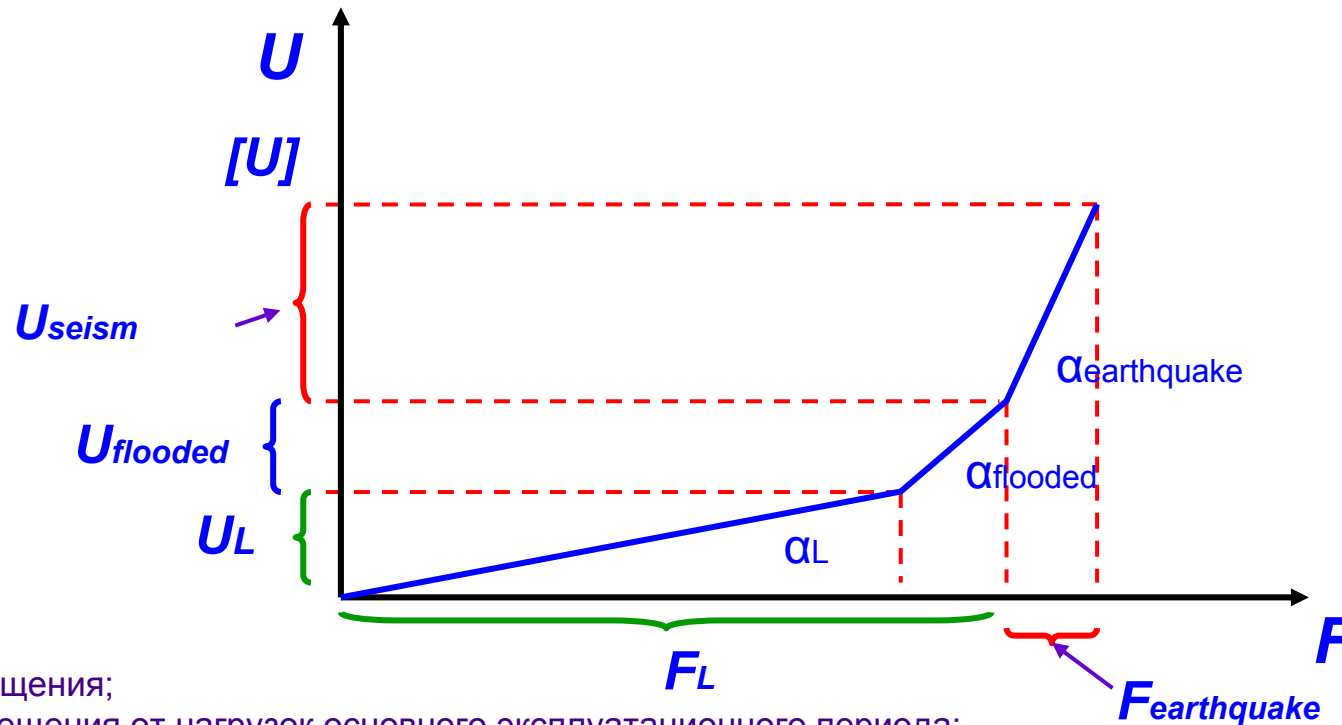


Здание гостиницы спортивно-туристического комплекса «Горная Карусель» (г. Сочи, п. Эсто-Садок). Поперечный разрез. Расчетная сейсмичность – 8 баллов; коэффициент к сейсмической нагрузке – $k=1,5$.

- 1 – одиночные сваи ограждения котлована на строительный период;
- 2 - одиночные сваи фундамента здания;
- 3 – 3-х свайные контрфорсы (конструктивные элементы противооползневой защиты);
- 4 – грунтовые анкера (функционируют в строительный период);
- 5 – одиночные сваи облицовки ограждения котлована (строительный период).

Оценка сейсмостойкости существующего здания с учетом истории нагружения

Схема учета истории нагружения и деформирования здания.



U – перемещения;

U_L – перемещения от нагрузок основного эксплуатационного периода;

$U_{flooded}$ – перемещения в условиях изменения характеристик грунтов (обводнение);

U_{seism} – перемещения от сейсмических воздействий;

F – нагрузки;

F_L – нагрузки основного эксплуатационного периода;

F_{seism} – сейсмические нагрузки;

$\alpha_i = f(K_i)$;

K_i – матрица жесткости конструкций на i -том этапе эксплуатационного периода;

K_L – матрица жесткости конструкций основного эксплуатационного периода;

$K_{flooded}$ – матрица жесткости конструкций в условиях изменения характеристик грунтов (обводнение);

K_{seism} – матрица жесткости конструкций особого этапа эксплуатационного

периода (случай сейсмических воздействий).

Оценка сейсмостойкости существующего здания с учетом перестройки системы несущих конструкций при сейсмическом воздействии

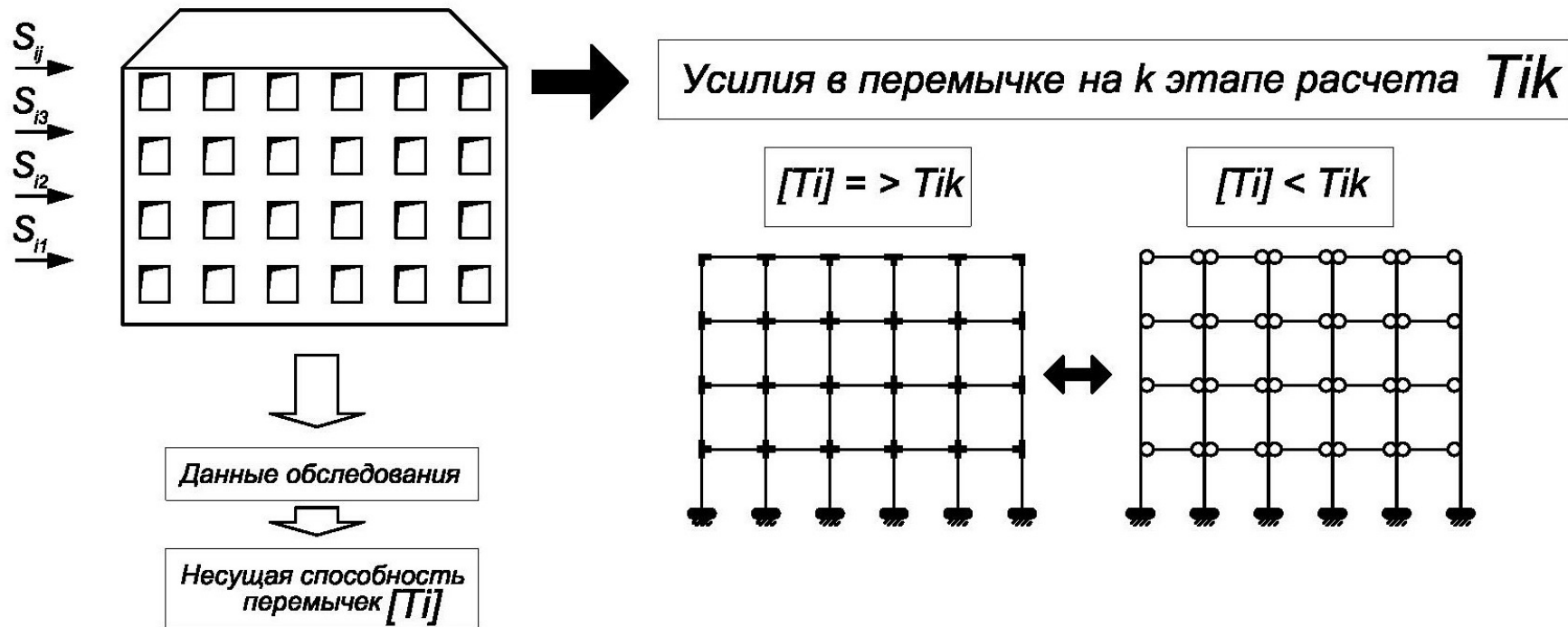


Схема перестройки системы несущих конструкций каменного здания при различном уровне **несущей способности** перемычек.

Оценка сейсмостойкости существующего здания с требований к объемно-планировочным и конструктивным решениям.

СП 14.13330.2011/2012 Раздел 6:

6.1. Требования раздела 6 **должны выполняться независимо от результатов расчетов** в соответствии с разделом 5.

6.1.2. Здания и сооружения следует разделять антисейсмическими швами в случаях, если:

Здание и сооружение имеет сложную форму в плане;

Смежные участки здания или сооружения имеют перепады высоты 5 м и более, а также существенные отличия друг от друга по жесткости и (или) массе.

.....

6.1.5 Высота зданий не должна превышать размеров, указанных в таблице 8.

.....

6.4.1 Лестничные клетки устраивают, как правило, закрытыми с естественным освещением через окна в наружных стенах на каждом этаже...

.....

6.8.1. При наличии в здании <с железобетонным каркасом> выступов в плане они не должны превышать шага колонн.

.....

6.8.11. Максимальные расстояния между осями колонн в каждом направлении Следует принимать....

.....

6.14.10. Размеры элементов стен каменных зданий следует определять расчетом. Они должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 10.

При строгом соблюдении положений норм (в части, касающейся конструктивных требований) большая часть существующих зданий в сейсмических районах должна быть подвергнута серьезной реконструкции, сопровождающейся разборкой «лишних» этажей, устройством антисейсмических швов и т.п.

Такое положение не может быть признано экономически и технически целесообразным.

Необходима разработка концепции и технических принципов оценки сейсмостойкости в условиях формального несоответствия требованиям к конструктивным и объемно-планировочным решениям на основе теории предельных состояний и частных коэффициентах надежности (ГОСТ Р 54257-2010)

Предложения по оценке сейсмостойкости существующих зданий на основе данных о свободных колебаниях от импульсных нагрузок малой интенсивности

1. Нигметов Г.М. Проблемы мониторинга зданий и сооружений // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. №2, с. 36-42.;
2. Ларионов В.И., Нигметов Г.М., Сотин В.Н., Суцев С.П., Шахраманьян М.А. «Мобильные диагностические комплексы для оценки сейсмостойкости зданий и сооружений». «Сейсмостойкое строительство. » №2, 1999 г., с. 41-44.;
3. Суцев С.П., Самарин В.В., Адаменко И.А., Сотин В.Н. «Мониторинг технического состояния несущих конструкций высотного здания». «Предотвращение аварий зданий и сооружений» электронный журнал (www.pamag.ru)
4. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений, МЧС России, М., 2003 г .

«...практика показывает, что применение классического прочностного подхода не дает решения задачи о внезапном разрушении конструкции. Наиболее чувствительным показателем является жесткость.< ...> Если взять стержни одного сечения и одной длины из разных материалов, то стержень из менее прочного материала будет более гибким, а из более прочного материала будет более прочным. <...> Наиболее интегральным показателем, характеризующим несущую способность, <...> является величина жесткости EI . <...>

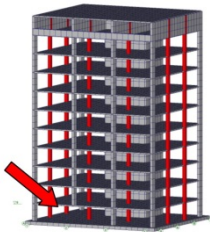
...Таким образом, период собственных колебаний здания учитывает практически все основные физико-механические показатели и геометрию, от которых зависит сейсмостойкость здания»

Предложения по оценке сейсмостойкости существующих зданий на основе данных о свободных колебаниях от импульсных нагрузок малой интенсивности

Интерпретация результатов:

- а) мониторинг динамических характеристик зданий с отслеживанием их изменений во времени;
- б) сравнение динамических характеристик, полученных при диагностике сооружения методом импульсного воздействия с некоторой эталонной величиной..

Оценка предлагаемых методов интерпретации Метод а)



Тест 1 – полный набор элементов (эталон).
 $T_{1-1}=2,122811$; $T_{1-2}=1,693390$.

Тест 2 – удалена колонна нижнего яруса (показано стрелкой).
 $T_{2-1}=2,136842$ (100,004%) ; $T_{2-2}=1,707622$ (100,008%) . .



Тест 3 – полный набор элементов (эталон).
 $T_{3-1}=T_1=0,605733$; $T_{3-2}=0,551787$.

Тест 4 – удалены 2 колонны нижнего яруса (показаны стрелкой).
 $T_{4-1}=0,606384$ (100,0001%); $T_{4-2}=0,553395$ (100,0029%)

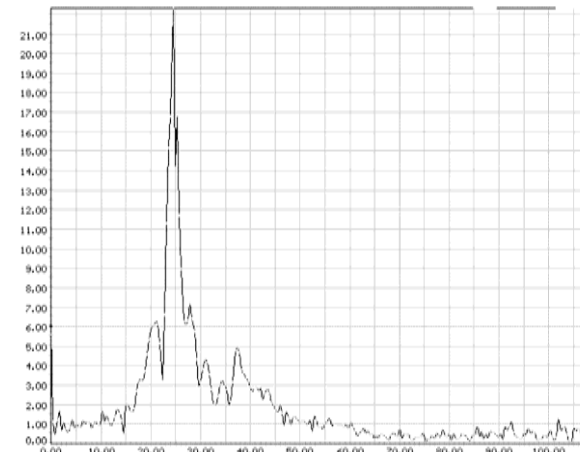
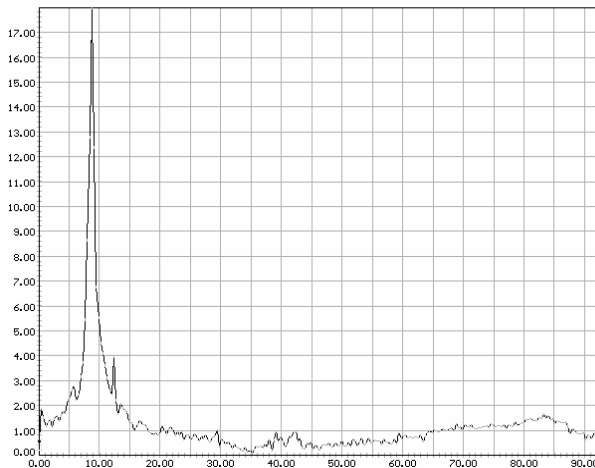
Вывод: оценка состояния несущих конструкций здания по динамике изменения частотных характеристик не обеспечивает получение надежного результата.

Предложения по оценке сейсмостойкости существующих зданий на основе данных о свободных колебаниях от импульсных нагрузок малой интенсивности

Определение динамических характеристик зданий и сооружений:

- по результатам инструментальных записей вынужденных собственных колебаний, возбуждаемых или ударом мягкого тела («груши») весом 30-60 кг по конструкциям здания;
- сейсмоимпульсной установкой с передачей возбуждающего воздействия через грунтовый массив.

Для определения динамических характеристик применяются импульсные воздействия малой интенсивности, уровень которых не позволяет исключить из динамической реакции сооружения влияние второстепенных несущих конструкций (перегородки, несущие наружные ограждающие конструкции и т.п.).

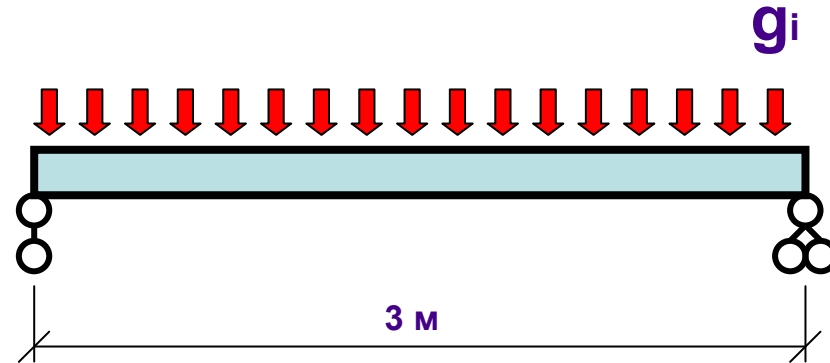


Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Дорофеев М.Л. (2002 г.): Экспериментальные исследования влияния несущих конструкций на динамические характеристики системы.

Слева - спектр собственных колебаний модели рамной конструктивной схемы при отсутствии несущих элементов; справа – то же – при установке несущих наружных панелей поэтажной разрезки: $f_2 \sim 1.5 f_1$

Предложения по оценке сейсмостойкости существующих зданий на основе данных о свободных колебаниях от импульсных нагрузок малой интенсивности

Оценка предлагаемых методов интерпретации



Вариант 1:

Сечение:
200x400(h);
Бетон – В40
Армирование – нет.
 $T_{1-1} = 0,026152$ сек.
Нагрузка = g_1

Вариант 2:

Сечение:
200x400(h);
Бетон – В15
Армирование – 2Ø12 А500.
 $T_{2-1} = 0,032682$ сек.
Нагрузка = g_2

ВЫВОДЫ:

- $T_{1-1} < T_{2-1}$ балка по варианту 1 обладает по [1] БОЛЬШЕЙ несущей способностью;
- Несущая способность балки по варианту 2 (по СНиП 52-01-2003) выше, чем у балки по варианту 1: $g_2 \sim 2 \times g_1$.

Предложения по оценке сейсмостойкости существующих зданий на основе данных о свободных колебаниях от импульсных нагрузок малой интенсивности

Интерпретация результатов:

- а) мониторинг динамических характеристик зданий с отслеживанием их изменений во времени;
- б) сравнение динамических характеристик, полученных при диагностике сооружения методом импульсного воздействия с некоторой эталонной величиной..

Оценка предлагаемых методов интерпретации
Метод б)

Эталонная величина «нормативного значения периодов собственных колебаний» [1]
СЕЙСМОСТОЙКИХ (!) зданий:

$$[T_{1x}] = \frac{k \cdot H}{\sqrt{g \cdot x}} \quad [T_{1y}] = \frac{k \cdot H}{\sqrt{g \cdot y}}$$

где:

k – коэффициент, учитывающий конструктивный тип здания (порядок назначения в [1] не определен);

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – высота здания, м;

x – длина здания, м;

y – ширина здания, м.

**«Сейсмостойкость» здания оценивается В ЦЕЛОМ
БЕЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНКРЕТНОГО УРОВНЯ (В БАЛЛАХ) !!!**

Предложения по оценке сейсмостойкости существующих зданий на основе данных о свободных колебаниях от импульсных нагрузок малой интенсивности

Интерпретация результатов:

- а) мониторинг динамических характеристик зданий с отслеживанием их изменений во времени;
- б) сравнение динамических характеристик, полученных при диагностике сооружения методом импульсного воздействия с некоторой эталонной величиной..

Оценка предлагаемых методов интерпретации Метод б)

Эталонная величина «нормативного значения периодов собственных колебаний» [4]:

$$T_1 = \alpha \cdot n$$

где:

n – число этажей в здании;

α – коэффициент, зависящий от конструкций здания.

| № | Тип здания | Коэффициент α |
|---|---|----------------------|
| 1 | Жилые крупнопанельные здания | 0,045 |
| 2 | Жилые здания с несущими кирпичными, каменными и крупноблочными стенами | 0,056 |
| 3 | Школьные и другие здания с большими проемами в стенах типа п. 2 | 0,065 |
| 4 | Каркас из монолитного железобетона с кирпичным или легкобетонным заполнением стен | 0,064 |

**«Сейсмостойкость»
здания оценивается
В ЦЕЛОМ
БЕЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КОНКРЕТНОГО
УРОВНЯ (В БАЛЛАХ)
!!!**

Предложения по оценке сейсмостойкости существующих зданий на основе данных о свободных колебаниях от импульсных нагрузок малой интенсивности

**Оценка предлагаемых методов интерпретации
Метод б)**

Ашкинадзе Г.Н., Соколов М.Е., // Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследования и основы проектирования. - М. СИ. 1988 г. - 486 с:

Экспериментальные данные о динамических характеристиках (резонансных частотах) 9-ти этажных крупнопанельных домов с обеспеченной сейсмостойкостью:

| Резонансные частоты φ/φ_{max} гц (% от [4]) | | | | | | | | | | | | φ [4] гц (100%) |
|--|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| | Кишинев | Кишинев | Ташкент | Орджоникидзе | Орджоникидзе | Кишинев | Орджоникидзе | Орджоникидзе | Нальчик | Кишинев | Новоросийск | |
| Поперек | - | - | 3,45 (139,7) | 2,63 (106,5) | 2,58 (104,5) | 2,35 (95,2) | 2,56 (103,7) | 2,2 (89,1) | 2,8 (113,4) | - | 3,33 (134,8) | 2,47 |
| | - | - | 2,78 (112,6) | 1,98 (80,2) | 1,66 (67,2) | 2,13 (86,3) | 2,08 (84,2) | 1,43 (57,9) | 2,28 (92,3) | - | 2,37 (95,9) | 2,47 |
| вдоль | 4,7 (190,4) | 2,6 (105,3) | - | - | - | 3,05 (123,5) | 3,3 (133,7) | - | 2,97 (120,3) | 3,36 (136,1) | 3,6 (145,8) | 2,47 |
| | 4,55 (184,3) | 1,81 (73,3) | - | - | - | 2,86 (115,8) | 2,65 (107,3) | - | 2,16 (87,5) | 2,65 (107,3) | 2,23 (90,3) | 2,47 |

Вывод: методика оценки технического состояния (сейсмостойкости), основанная на сравнении динамических характеристик зданий с эталонным «нормативным значением периода собственных колебаний» не может быть признана достоверной.

Основные выводы:

- оценка сейсмостойкости существующих зданий должна выполняться на основе концепции **предельных состояний** с сопоставлением уровня несущей способности конструкций и узлов их соединений с требуемым уровнем, обеспечивающим ненаступление предельного состояния;

- процедура оценки сейсмостойкости должна учитывать **возможность перестройки системы несущих конструкций**, определяемых как повреждениями, дефектами, деформациями и т.п., которые возникли в основной эксплуатационный период, так и возможным изменением расчетной схемы при восприятии зданием сейсмического воздействия;

- оценка сейсмостойкости должна учитывать **последовательность (историю) нагружения и деформирования несущих конструкций** с «наследованием» деформированного состояния от одного этапа нагружения к другому; при этом необходимо учитывать изменение модели внешних связей;

- оценка сейсмостойкости существующих зданий, основанная на частотных характеристиках объектов и не учитывающая фактическую несущую способность несущих конструкций и узлов их соединений, не является научно обоснованной и не может быть использована для выводов об уровне сейсмостойкости;

- отдельные положения ГОСТ Р 53778-2010, касающиеся мониторинга технического состояния, выявления дефектов и повреждений, а также паспортизации зданий и сооружений, основанные на данных динамических испытаний импульсными нагрузками малой интенсивности, не имеют должного научного обоснования и не могут быть использованы для оценки технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений.