



'АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ И ЗДАНИЙ, ЭКСПЕРТИЗА И ОЦЕНКА РИСКОВ'

ПАМЯТИ Ю.А. БЕРЖИНСКОГО

05 – 07 декабря 2023 года

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Киселёв Дмитрий Валерьевич, руководитель отдела сейсмостойкого строительства Института земной коры СО РАН,
г. Иркутск; Бержинская Лидия Петровна, к.т.н., ведущий инженер отдела сейсмостойкого строительства Института
земной коры СО РАН, г. Иркутск





**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

«Я с большим уважением отношусь к расчетам. Но если сомневаешься, всегда делай испытания, т.к. только при испытании можно увидеть реальную работу конструкции».

Ю.А. Бержинский



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

- отсутствие глобальных обрушений или разрушений сооружения или его частей, способных обусловить гибель и травматизм людей;
- эксплуатацию сооружения после восстановления или ремонта;
- пожарную безопасность здания (с учетом положений раздела 9);
- отсутствие обрушения сооружения в случае повторных толчков с интенсивностью на один **балл** меньше расчетного землетрясения до восстановления или ремонта. [СП 14.13330.2018]



Поручения Президента РФ Путина В.В.

1) Пр-1883, п.1 а-1 от 7 октября 2022 года

Правительству Российской Федерации:

а) представить предложения:

об определении критериев, на основании которых признаются аварийными и подлежащими сносу многоквартирные дома, в случае если их сейсмостойкость не отвечает установленным требованиям, а также критериев, на основании которых признаются непригодными для проживания жилые помещения, расположенные в таких домах (исходя из необходимости соблюдения требований к безопасности зданий и сооружений);

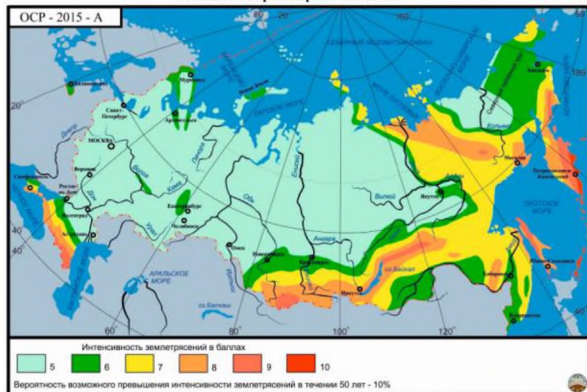
2) Пр-464, п. 1з от 06.03.2023 года

В поручении говорится, что «...необходимо обеспечить разработку и реализацию комплекса мер, направленных на исследование опасных природных явлений, проведение постоянного сейсмического мониторинга на сейсмоопасных территориях, на критически важных объектах и объектах повышенной опасности, расположенных в сейсмоактивных районах... а также обеспечить осуществление проектов в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера...».

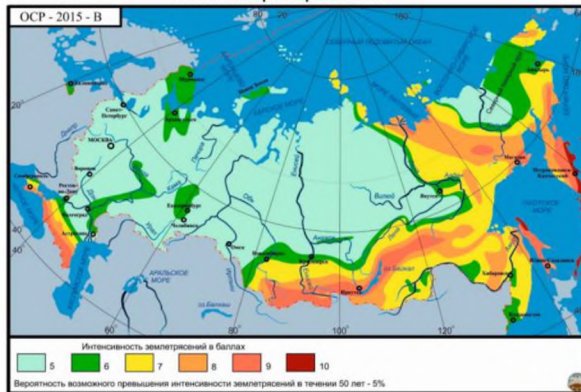
Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Согласно действующему нормативному документу СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах», а также ОСР-2015, Иркутская область относится к одному из самых опасных регионов России по сейсмической активности (7, 8, 9 баллов).

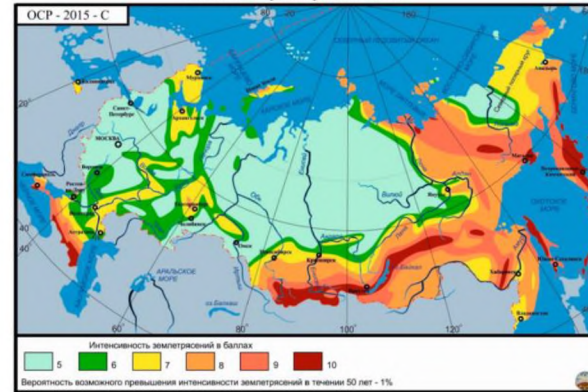
Сейсмическое районирование России



Сейсмическое районирование России



Сейсмическое районирование России

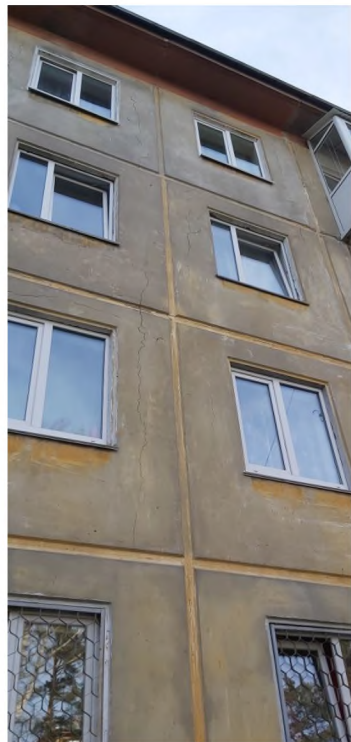


Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Анализ результатов обследований последствий ощутимых и умеренных землетрясений показал, что фактическая сейсмостойкость застройки в городах и населенных пунктах Иркутской области может значительно отличаться от проектных значений.



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**



На сколько отличается их сейсмостойкость?





**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

Наиболее достоверная количественная оценка фактической сейсмостойкости определяется с помощью экспериментальных методов при высоком уровне динамического нагружения конструкций зданий (вибрационные, сейсмозрывные или статические испытания).

Подобные исследования позволяют не только раскрыть механизм перехода сооружений в предельное состояние (что невозможно достоверно получить в рамках расчетно-аналитических процедур), но и оценить влияние технологии возведения и качества постройки на итоговую надежность зданий.

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Институтом земной коры совместно с ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко и ИрГТУ были проведены вибрационные и статические испытания 9-этажной блок-секции и 3-этажного фрагмента серии 1.120с.

В процессе испытаний каждый из опытных объектов был подвергнут почти 50 циклам динамического вибрационного нагружения высокой интенсивности. Значения начальных периодов собственных колебаний неповрежденных зданий по записям микросейсм составили:

- 9-этажной блок-секции $T_n = 0.36-0.38$ с;
- 3-этажного фрагмента $T_n = 0.17-0.19$ с.

На заключительном этапе испытаний периоды резонансных колебаний объектов, поврежденных в процессе нагружений, составили:

- 9-этажной блок-секции $T_{кон.} = 0.58$ с (продольное направление); $T_{кон.} = 0.68$ с (поперечное направление);
- 3-этажного фрагмента $T_{кон.} = 0.48$ с (продольное направление).

Достигнутый уровень вибрационного нагружения соответствует по величине 6-7 баллам для 9-этажной блок-секции и 8-9 баллам шкалы MSK-64 для 3-этажного фрагмента.



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

Наибольшие повреждения получили: заполнение каркаса; сварные и шпоночные соединения диафрагм



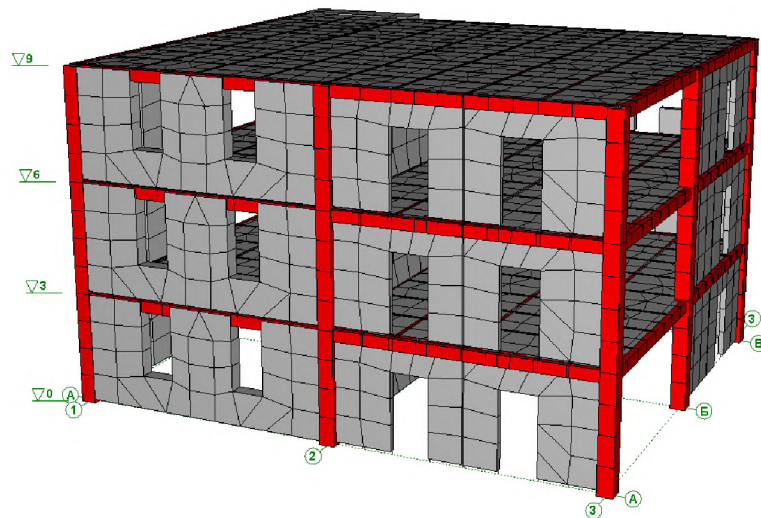
**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
'АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ И ЗДАНИЙ,
ЭКСПЕРТИЗА И ОЦЕНКА РИСКОВ'**

ПАМЯТИ Ю.А. БЕРЖИНСКОГО

05 – 07 декабря 2023 года

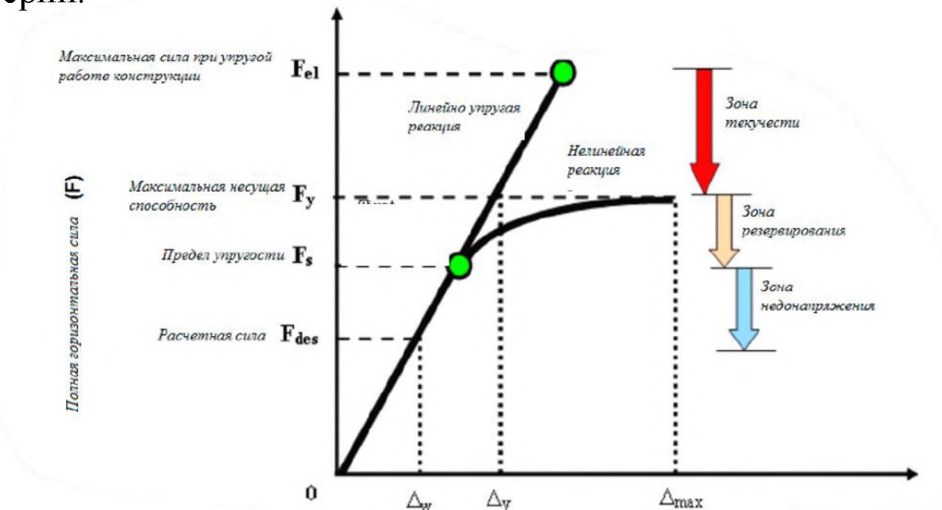
Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

В дальнейшем, при формировании адекватной конечно-элементной модели для анализа и обработки результатов испытаний, основное внимание уделялось именно тем конструктивным элементам и узлам их соединения, которые получили наибольшие повреждения при испытаниях.

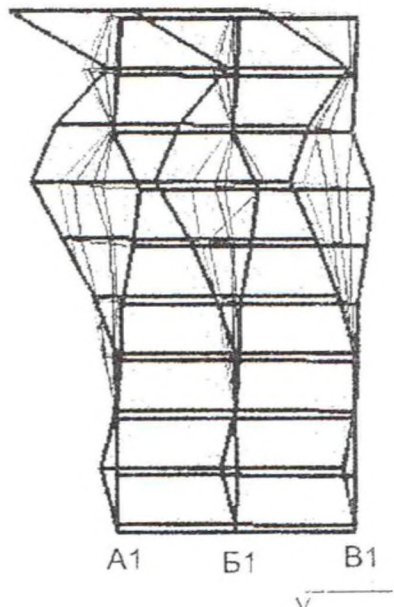


Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

По результатам испытаний при высоком уровне динамического (вибрационного) нагружения конструкции зданий-представителей какой либо серии определяются динамические характеристики, выявляются наиболее уязвимые места проектно-конструктивного решения, строится кривая несущей способности опытного объекта, которая, в дальнейшем, позволит проанализировать остаточную прочность и сейсмостойкость зданий-представителей данной серии.



Инструментальная оценка дефектов стыка колонн «штепсельного» типа



ДЕФЕКТЫ СТЫКОВ КОЛОНН «ШТЕПСЕЛЬНОГО» ТИПА



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

В последние десятилетия особое предпочтение отдается комплексному методу исследования сейсмостойкости, сочетающему определение динамических характеристик натуральных объектов при микродинамическом уровне воздействий («метод стоячих волн») с методами математического моделирования («расчетно-аналитические методы» с использованием расчетных программных комплексов, основанных на методе конечных элементов), когда поведение модели здания исследуется при заданном внешнем воздействии (по спектральному методу или с помощью заданных акселерограмм прошлых землетрясений).



Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Институт земной коры СО РАН провел натурное инженерно-техническое обследование более 60-ти блок-секций серии 1-120с различной этажности в городах Иркутске и Шелехове. Предварительно, до начала обследований, были проанализированы результаты динамических расчетов и принятых конструктивных решений по основным вариантам проектируемых блок-секций, выполненные различными проектными организациями.

Анализ проделанной работы показал значительный разброс расчетных периодов собственных колебаний идентичных блок-секций, полученных специалистами проектных организаций: интервал периодов колебаний составил широкий диапазон - от 0,4 до 1,0 секунды.

Следует отметить, что от достоверности величины расчетного периода собственных колебаний напрямую зависит значение коэффициента динамичности, от которого, в дальнейшем, определяется значение расчетной сейсмической нагрузки, а, следовательно, и уровень сейсмоусиления всей блок-секции при проектировании.



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

Поскольку при анализе проектных решений блок-секций жилых домов серии 1-120с был выявлен большой разброс расчетных значений периодов собственных колебаний от 0,4 до 1,0 секунды (что непосредственно влияет на проектную сейсмостойкость зданий), было принято решение провести натурные замеры динамических характеристик на одном из построенных объектов.

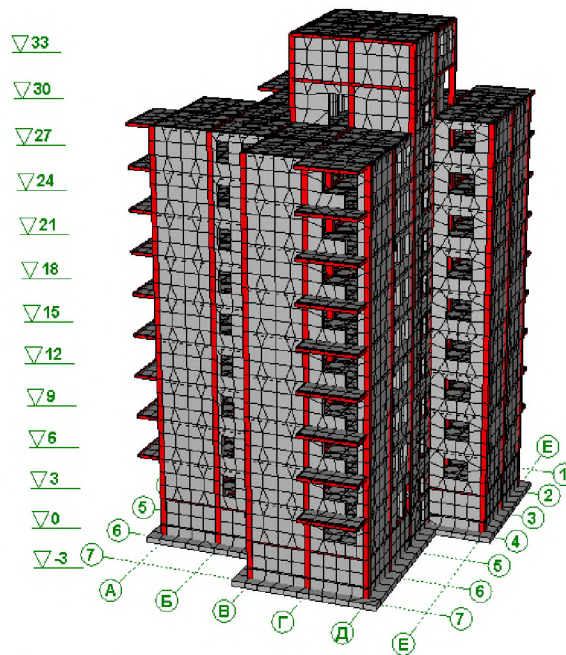
Таким объектом стала 9-этажная блок-секция по улице Баррикад в г. Иркутске (Октябрьский округ).

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Фото 9-ти этажной лучевой блок-секции
серии 1.120с на улице Баррикад в Иркутске



Конечно-элементная модель 9-ти этажной лучевой блок-секции
серии 1.120с на улице Баррикад в Иркутске



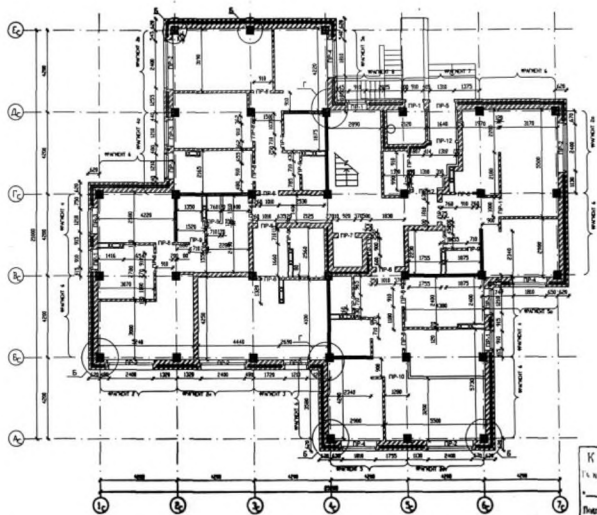
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
**'АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ И ЗДАНИЙ,
ЭКСПЕРТИЗА И ОЦЕНКА РИСКОВ'**

ПАМЯТИ Ю.А. БЕРЖИНСКОГО

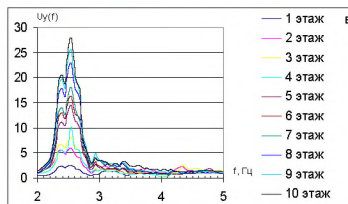
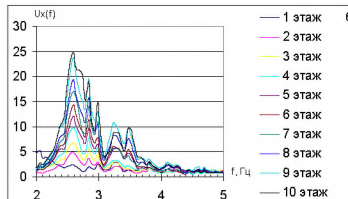
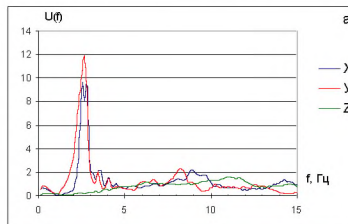
05 – 07 декабря 2023 года

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Микродинамические исследования каркаса 9-этажной блок-сейции по ул. Баррикад в г. Иркутске



Для регистрации микросейсмических колебаний использовались восемь 3-х канальных сейсмостанций, выполнено наблюдений в 320 точках каркаса.

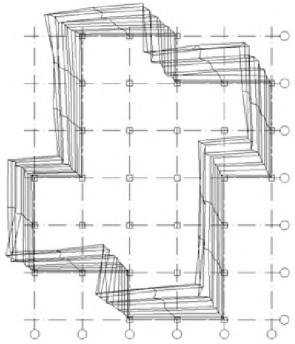
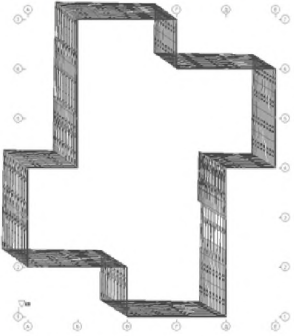


На обобщенной передаточной функции между 1-м и 9-м этажами:

- по поперечной оси X основной максимум выделяется на частоте 2,539 Гц (модой на частоте 5.68-5.81 Гц отмечается поворотно-изгибная форма верхней части каркаса, где на отметке 2.68 м расположен штепсельный стык колонн);
- по продольной оси Y основной максимум на частоте 2,637 Гц (относительно слабый пик на частоте 2,93 Гц);
- в вертикальном направлении таких четких максимумов не наблюдается (т.е. здание в вертикальной плоскости движется как жесткое тело с равными амплитудами колебаний от 1-го до 9-го этажей). Основной максимум приходится на частоту 11.23 Гц.

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

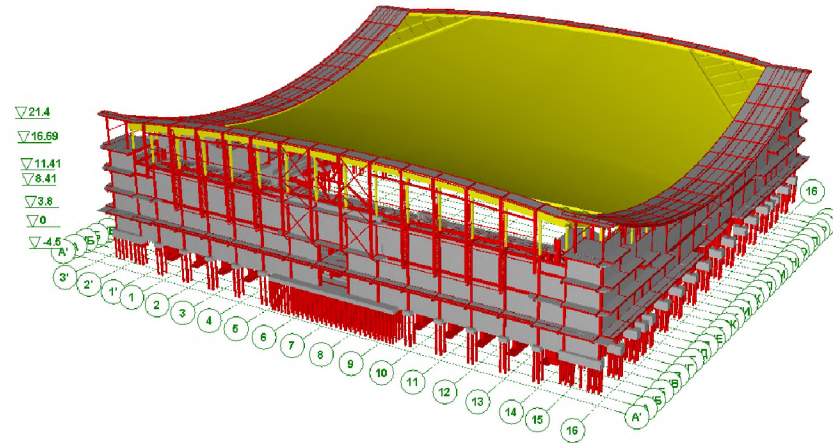
При формировании качественного подбора жесткости кирпичного заполнения и правильном учете податливости закладных деталей расчетной модели, результаты расчетных динамических характеристик здания должны наиболее близко совпадать с результатами экспериментальных исследований, что подтверждает адекватность расчетно-динамической модели здания и, соответственно, правильность определения сейсмостойкости объекта.

Первая форма колебаний здания, полученная при инструментальных измерениях. Период $T=0,397$ с	Первая форма колебаний здания, полученная при расчете с эквивалентными жесткостями закладных деталей и кирпичного заполнения. Период $T=0,476$ с
	

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

При проектировании зимнего дворца спорта «Ермак» в г. Ангарске было выполнено несколько расчетов конструкций данного здания. В результате были получены периоды первой формы колебания мембранного покрытия $T = 5,0$ сек и $T = 2,5$ сек.

В 2009 году Геологическим институтом СО РАН г. Улан-Удэ совместно Институтом земной коры СО РАН г. Иркутск, на стадии завершения строительства, были проведены и проанализированы микродинамические обследования данного здания, согласно которым был получен период $T = 0,533$ сек.



Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

При сравнении данных полученных расчетным путем и при испытаниях было выявлено, что утеплитель влияет на жесткость мембранного покрытия. В дальнейшем были проведены ИрГТУ совместно с Институтом земной коры испытания образцов мембранного покрытия на статическую нагрузку.

В результате было доказано, что утеплитель увеличивает жесткость мембранного покрытия примерно в два раза. Окончательная расчетно-динамическая модель здания выполнена с учетом влияния утеплителя на жесткость мембранного покрытия, что учтено путем моделирования утеплителя при помощи объемных КЭ.

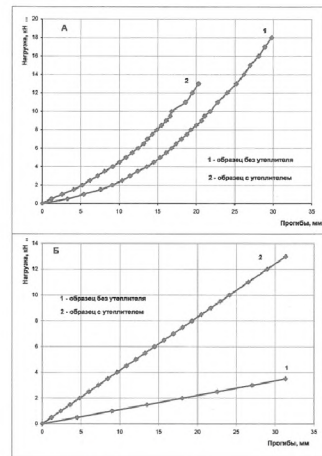
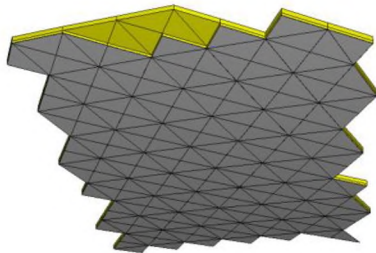


График «нагрузка – прогибы»
для А – экспериментальные данные,
Б – расчетных данных по методу МКЭ.



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

Сравнение расчетных и экспериментальных данных зимнего дворца спорта в г. Ангарске после корректировки расчетной модели с учетом жесткости утеплителя мембранного покрытия

Форма колебания	Расчетные значения			Экспериментальные значения	
	№ формы	Период, с	Частота, Гц	Период, с	Частота, Гц
Первая поступательная форма колебания вдоль буквенных осей	1	0,537	1,862	0,533	1,875
Крутильная форма колебания	12	0,286	3,497	0,32	3,125
	19	0,251	3,984	0,308	3,25
	20	0,247	4,049		
Вторая поступательная форма колебания вдоль буквенных осей	17	0,256	3,906	0,235	4,25
				0,216	4,625
Первая поступательная форма колебания вдоль цифровых осей	30	0,202	4,95	0,19	5,25
	37	0,183	5,464	0,178	5,625
				0,205	4,875



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

«Период колебания здания – это как некий градусник для человека: если есть отклонения, то надо искать причину заболевания».

Ю.А. Бержинский



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

Другим информативным способом оценки сейсмической надежности существующей застройки является сейсмическая паспортизация зданий и сооружений.

Причем, даже при двухэтапном ее проведении, достоверность результатов высокая. На первом этапе паспортизации используется визуально-инструментальный метод инженерно-технического обследования состояния отдельных конструктивных элементов объекта, согласно требованиям ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Для получения количественных параметров переходят ко второму этапу – прочностным испытаниям образцов, полученных методом отбора проб, и инструментальным замерам динамических характеристик здания, прежде всего, периода собственных колебаний и декремента затухания.



Результат – Инженерно-сейсмический паспорт на каждое здание-представитель с оценкой сейсмостойкости (дефицита сейсмостойкости), прочностными характеристиками материалов конструкций и надежности зданий в описательной и количественной форме.

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
**'АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ, БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ И ЗДАНИЙ,
ЭКСПЕРТИЗА И ОЦЕНКА РИСКОВ'**

ПАМЯТИ Ю.А. БЕРЖИНСКОГО

05 – 07 декабря 2023 года

Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Пример заполнения формы Инженерно-сейсмического паспорта на здание- представитель серии 1.120с

ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ НА ЗДАНИЕ-ПРЕДСТАВИТЕЛЬ
ОПОРНОЙ СЕТИ г. ШЕЛЕХОВА

Номер паспорта опорной сети 12

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Город	Шелехов
1.2 Район	Иркутская область
1.3 Жилый район	квартал 4
1.4 Адрес	дом № 5
1.5 Назначение здания	жилое
1.6 Способ управления домом	ООО УК «Мастер»
1.7 Год постройки здания	2010 г.
1.8 Наличие антисейсмического усиления	имеется
1.9 Уровень норм сейсмостойкого проектирования	СНиП II-7-81*
1.10 Серия типового проекта	карта серии 1.120с
1.11 Высота здания в метрах	16.3
1.12 Длина здания в метрах	26.4
1.13 Ширина здания в метрах	26.2

2 ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

2.1 Общая площадь здания, кв. м.	2521
2.2 Строительный объем здания, куб. м.	8150
2.3 Восстановительная стоимость, тыс. руб.	30134

3 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛОЩАДКИ

3.1 Расчетная сейсмичность по карте ОСР-97 А	8 баллов
3.2 Расчетная сейсмичность площадки с учетом СМР	9 баллов
3.3 Номер грунтового комплекса	I-T-4
3.4 Наличие обводнения фундамента	УТВ = 4-6 м
3.5 Ориентация здания (вдоль продольной оси)	длина здания, Аз- 72° (Аз- 162°)
3.6 Наличие уклона местности	нет

4 ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ

4.1 Форма здания в плане	двухэтажное
4.2 Эпичность здания	5
4.3 Наличие перепадов высот (этажности)	нет
4.4 Шаг колонн в плане	лейки 6.0×6.0 м и 6.0×3.6м
4.5 Высота этажной ступицы в метрах	3.00×5=15.0 м
4.6 Разрешающая категория	имеется антисейсмический

8 ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЯ

Метод определения – запись акселерограмм

Динамические характеристики здания	Год определения динамических характеристик		
	2012 г.		
Положительное направление Тх, с	0.228		
Отрицательное направление Тх, с	0.249		
Полуцикловый период Тх, с	2.5		
Полуцикловый период Ту, с	2.5		

9 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ

Метод определения – отпр. образцы – запись микрошумовой метод

Год отбора образцов	Место отбора проб		Материалы стен	2012 г.
	Класс бетона или марки раствора	Натурная прочность бетона		
2012 г.	–	Натурная прочность бетона	Кирпич сплошной с утеплением	–
		Кирпич сплошной с утеплением	Кирпич сплошной с утеплением	–

10 ДАННЫЕ ВИЗУАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ

10.1 Год проведения полевого обследования	2012 г.
10.2 Период для проведения обследования	создание опорной сети зданий-представителей

10.3 Стояние фактического износа основных конструкций, %

Фундаменты	Колонны	Стены		Перекрытия
		наружные	Внутренние Д.Ж.	
0%	0%	0%	0%	%

10.4 Уровень деградации здания	средний
10.5 Уровень начальной стартовости	средней, за исключением стальных колонн

10.6 Оценка материальной технической состоятельности здания	нормативная
10.7 Результаты визуального обследования	Показателей в конструкциях здания не обнаружено.



Общий вид жилого дома № 5

12. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ

- 12.1 Класс здания по шкале ГОСТ Р 57546-2017 C8
 12.2 Тип здания по шкале ММСК-86 C8
 12.3 Вероятная степень повреждения здания согласно сейсмической шкале ГОСТ Р 57546-2017 при землетрясении интенсивностью:
 - 6 баллов d=0.4 степени повреждения
 - 7 баллов d=1.0 степени повреждения
 - 8 баллов d=1.7 степени повреждения
 12.4 Дефицит сейсмостойкости в баллах 1 балл
 12.5 Мероприятия по результатам обследования в случае 9-балльного землетрясения требуется капитальный ремонт здания



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

Согласно ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»:

4.3 Первое обследование технического состояния зданий и сооружений проводится **не позднее чем через два года после их ввода в эксплуатацию**. В дальнейшем обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не реже одного раза в 10 лет и не реже одного раза в пять лет для зданий и сооружений или их отдельных элементов, работающих в неблагоприятных условиях (агрессивные среды, вибрации, повышенная влажность, сейсмичность района 7 баллов и более и др.). Для уникальных зданий и сооружений устанавливается постоянный режим мониторинга.



Сейсмостойкость зданий: существующие проблемы и способы их решения, основанные на реальных исследованиях и испытаниях

Вывод:

1. Здания в сейсмически опасных районах постоянно подвергаются землетрясениям различной интенсивности. Это приводит к увеличению податливости в узлах соединений между конструктивными элементами, следовательно, к снижению прочности самих несущих конструкций и, соответственно, к снижению общей несущей способности зданий.

2. При длительном сроке эксплуатации, согласно ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» необходимо периодическое проведение обследований конструкций зданий с измерением их динамических характеристик, позволяющих оценить прочностные и жесткостные характеристики, влияющие на общий уровень надежности сооружений.

3. Существующие методики паспортизации по оценке сейсмостойкости зданий базируются на действующих нормах сейсмостойкого строительства. В этих условиях оптимальным будет комплексный подход, сочетающий использование геофизических методов исследования с испытанием сооружений при высоком уровне инерционного нагружения или приемами инженерно-технического обследования конструкций с расчетно-аналитическим моделированием поведения зданий.



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

Предложение для резолюции:

1. Для новых строящихся зданий и сооружений на сейсмически опасных территориях в обязательном порядке ввести составление сейсмометрического паспорта, в котором должны быть отражены расчетные динамические характеристики объекта из проектной документации, а также инструментальные замеры динамических характеристик построенного здания для дальнейшего анализа его жизненного цикла.

2. Для зданий массовых построек типовых серий, которые простояли значительный промежуток времени и периодически подвергались мелким землетрясениям:

1) Выполнить детальное комплексное инструментальное обследование с выполнением вибрационных испытания на одном из зданий-представителе данной серии с выявлением остаточной несущей способности, а также с составлением графика несущей способности.

2) Выполнить микродинамические испытания нескольких зданий-представителей данной серии и провести сравнительный анализ полученных динамических характеристик с графиком несущей способности, полученным при вибрационных испытаниях.

3) Исходя из полученных экспериментальных данных, составить критерии, на основании которых здания признаются аварийными и подлежащими сносу, в случае если их сейсмостойкость не отвечает установленным требованиям, а также критерии, на основании которых признаются непригодными для проживания жилые помещения, расположенные в таких домах (исходя из необходимости соблюдения требований к безопасности зданий и сооружений).



**Сейсмостойкость зданий:
существующие проблемы и способы их решения,
основанные на реальных исследованиях и испытаниях**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

e-mail: kisdimval@yandex.ru;