Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ткачева Татьяна Юрьевна
Должность: декан ФЭиМ
Дата подписания: 02.11.2026 10:55:58
Уникальный программный ключ:
73ec3e90d2fc287e0185b85715690ca4822a95099bacb1f1f12ac230be7e3d6

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра промышленного и гражданского строительства

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
_____ Т.Ю. Ткачева
«29» 10 2026г

Технология возведения зданий и сооружений в особых условиях

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»

Курск 2026

УДК 692

Составители: О.В. Шугаева

Рецензент
Кандидат экономических наук, доцент А.В. Шлеенко

Технология возведения зданий и сооружений в особых условиях: методические указания к практическим занятиям/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.В. Шугаева. - Курск, 2026. 32 с.: ил.10, табл. 3, прилож. 1. Библиогр.: с.32.

Методические указания содержат рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Технология возведения зданий и сооружений в особых условиях».

Методические указания соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.10.26 . Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 2,33. Уч.-изд. л. 2,11.
Тираж 100 экз. Заказ. 424 Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержание

1.	Сейсмоопасные районы, как особые условия для строительства	
1.2	Методы расчетов и их применение	5
1.3	Спектральный метод расчета	7
1.4	Прямой динамический метод расчета с применением расчетных сейсмических воздействий как функций времени	8
1.5	Расчеты элементов конструкций	9
1.6	Особенности расчета зданий и сооружений с системами активной сейсмозащиты	10
2	Системы активной сейсмозащиты	12
2.1	Отечественный и зарубежный опыт активной сейсмозащиты зданий	12
2.2	Сейсмоизоляция сооружений	15
2.2.1	Системы с гибкой нижней частью несущей конструкции здания	15
2.2.2	Системы с кинематическими опорами	29
2.2.3	Системы с подвесными опорами	20
2.2.4	Системы с сейсмоизолирующими скользящими опорами и скользящими поясами	22
2.3	Адаптивные системы	27
2.3.1	Системы с выключающимися связями	29
	Приложение 1	30
	Список литературы	32

1. Сейсмоопасные районы, как особые условия для строительства

Карты общего сейсмического районирования ОСР-2015 являются обязательным приложением к СП 144.13330.2018 [1]. Рекомендации Госстроя России по отнесению объектов строительства к типу карты А, В или С см. в приложении 1.

Таблица 1 - Рекомендации по применению карт ОСР-2015

№	Метод расчета	Типы сооружений
1	Карта А Вероятность превышения указанных на карте значений сейсмичной интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет – 10%	Массовое строительство жилых, общественных и производственных зданий (сооружений), кроме указанных в п. 2
2	Карта В Вероятность превышения указанных на карте значений сейсмичной интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет – 5%	Объекты повышенной ответственности: здания и сооружения, эксплуатация которых необходима при землетрясении или при ликвидации его последствий (системы энерго- и водоснабжения, пожарные депо, сооружения связи и т.п.); здания с одновременным пребыванием в них большого числа людей (вокзалы, аэропорты, театры, цирки, концертные залы, крытые рынки, спортивные сооружения); больницы, школы, дошкольные учреждения; здания высотой более 16 этажей; другие здания и сооружения,

		отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным, экологическим последствиям
3	Карта С Вероятность превышения указанных на карте значений сейсмичной интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет – 1%	Особо ответственные объекты, в т. ч. из числа указанных в п. 2 по решению заказчика или соответствующего органа исполнительной власти

При расчете в особое сочетание нагрузок входят постоянные, возможные длительные и кратковременные нагрузки, сейсмические воздействия, а также воздействия, обусловленные деформациями основания при замачивании просадочных грунтов.

При расчете зданий и сооружений (кроме транспортных и гидротехнических) на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий к расчетным значениям нагрузок вводятся коэффициенты сочетаний по таблице 1 [1].

Таблица 2. - Коэффициенты сочетаний нагрузок

Виды нагрузок	Значение коэффициента
Постоянные	0,9
Временные длительные	0,8
Кратковременные (на перекрытия и покрытия)	0,5

1.2 Методы расчетов и их применение

Расчеты сооружений на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий следует выполнять с использованием:

- спектрального метода;
- прямого динамического метода с применением инструментальных записей ускорений грунта при землетрясениях или стандартного набора синтезированных акселерограмм.

Применяемые методы расчета на сейсмические воздействия приведены в таблице 3. Расчеты по спектральному методу следует выполнять для всех зданий и сооружений. В случае несовпадения результатов расчета по спектральному методу и прямому динамическому методу следует принимать более невыгодное решение (при этом расчетные сейсмические нагрузки принимаются не ниже нагрузок, определенных по спектральному методу).

Для зданий и сооружений простой геометрической формы с симметричным и регулярным расположением масс и жесткостей расчетные сейсмические нагрузки следует принимать действующими горизонтально в направлении, как правило, в направлении продольной и поперечной оси плана здания или сооружения. Действие сейсмических нагрузок в указанных направлениях следует принимать раздельно.

При расчете сооружений с несимметричным и нерегулярным расположением масс и жесткостей следует учитывать наиболее опасные для данной конструкции или ее элементов направления действия сейсмических нагрузок. В тех случаях, когда определение опасного направления действия сейсмической нагрузки вызывает затруднения, рекомендуется выполнять независимые расчеты конструкции при трех взаимно ортогональных направлениях действия сейсмических сил.

Таблица 3 – Применяемые методы расчета

№	Метод расчета	Тип сооружения

1	а) Спектральный метод с применением упрощенных расчетных моделей сооружений с учетом поступательных колебаний; б) Спектральный метод с учетом, помимо поступательных, крутильных сейсмических воздействий (сейсмического момента, неравномерного поля колебаний грунта)	Здания и сооружения простой геометрической формы с симметричным и регулярным расположением масс и жесткостей, с наименьшим размером в плане не более 30 м. Здания и сооружения несимметричные в плане или по высоте; Здания каркасные высотой более 50 м в районах сейсмичностью 6 баллов.
2	Прямой динамический метод (при этом расчетные сейсмические нагрузки и моменты принимаются не ниже нагрузок, определенных по спектральному методу).	Здания и сооружения с принципиально новыми конструктивными решениями, не прошедшие экспериментальной проверки. Объекты повышенного уровня ответственности. Здания и сооружения высотой более 50 м и сооружения с пролетами более 30 м. Здания и сооружения, оснащенные системой сейсмоизоляции и другими системами регулирования сейсмической реакции.

Вертикальную составляющую сейсмического воздействия необходимо учитывать при расчете:

- горизонтальных и наклонных консольных конструкций;
- рам, арок, ферм и пространственных покрытий зданий и сооружений при пролетах:

– 24 м и более - для площадки сейсмичностью 7 баллов;

– 18 м и более - для площадки сейсмичностью 8 баллов;

– 12 м и более - для площадки сейсмичностью 9 баллов;

- прочности несущих стен из каменной кладки;

- сооружений и фундаментов на устойчивость, опрокидывание и скольжение;
- свайных конструкций с высоким ростверком;
- опорных элементов сейсмоизоляции;
- перекрытий и фундаментных плит, проверяемых на продавливание (перекрытия в составе безригельных каркасов, фундаментные плиты высотных зданий со сквозными нижними этажами и др.);
- зданий и сооружений на устойчивость против опрокидывания или скольжения.

1.3 Спектральный метод расчета

При определении расчетных значений горизонтальных сейсмических нагрузок на здания и сооружения высотой H, превышающей в два и более раз его ширину B и длину L допускается принимать расчетную схему (рисунок 1, а) в виде многомассового упруго-деформируемого консольного стержня, жестко заделанного в основании, несущего сосредоточенные массы весом Q_k, на уровне перекрытий, и совершающего колебательное движение по одному из направлений (x или y).

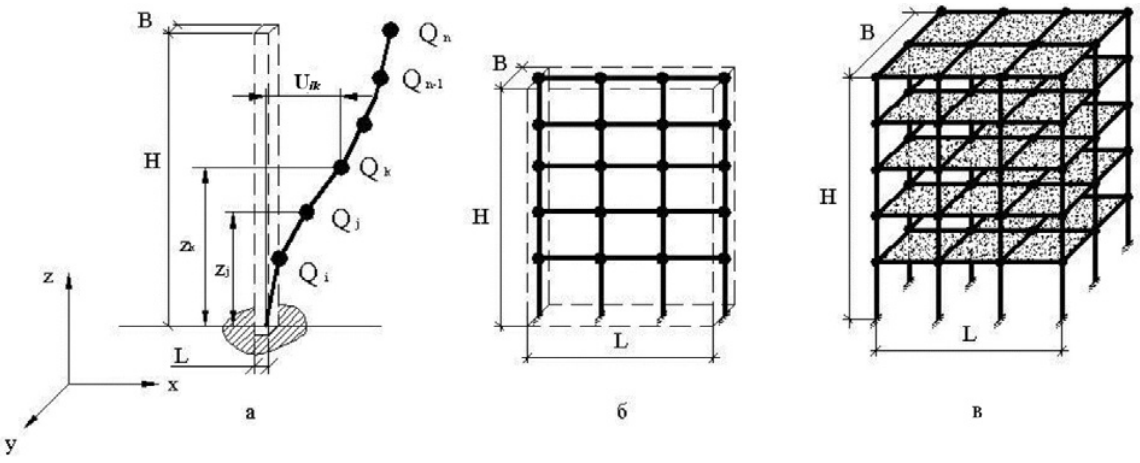


Рисунок 1 - Расчетные схемы зданий и сооружений
а - в виде многомассового консольного стержня;
б - в виде многомассовой перекрестной системы;
в - в виде пространственной динамической модели

При ширине сооружения B, меньшей в три и более раз двух других его размеров (H и L) допускается принимать расчетную схему (рисунок 1, б) в виде многомассовой упруго-деформируемой перекрестной системы с сосредоточенными в узлах массами, расположенными на уровне перекрытий.

Как правило, рекомендуется использовать пространственные расчетные динамические модели с сосредоточенными в узлах массами (рисунок 1, в).

$$S_{ikj} = K_0 \cdot K_1 \cdot S_{0jik} \quad (1)$$

S_{ikj} – расчётная сейсмическая нагрузка (силовая или моментная) по направлению обобщённой координаты с номером j, приложенная к узловой точке k модели и соответствующая i-й форме собственных колебаний здания или сооружения;

K_0 – коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность (принимается по таблице 4.2 нормативного документа);

K_1 – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений (принимается по таблице 5.2 нормативного документа);

S_{jik} – значение сейсмической нагрузки для i-й формы собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций.

$$S_{0jik} = mk_j \cdot A \cdot \beta_i \cdot K_\varphi \quad (2)$$

mk_j – масса здания или момент инерции соответствующей массы здания, отнесённые к точке k по обобщённой координате j, определяются с учётом расчётных нагрузок на конструкции;

A – значение ускорения в уровне основания, принимаемое равным 1,0; 2,0; 4,0 м/с² для расчётной сейсмичности 7, 8, 9 баллов соответственно;

β_i – коэффициент динамичности, принимаемый в зависимости от расчётного периода собственных колебаний здания или

сооружения по i-му тону (определяется по графикам для категории грунта и периода Ti);

K_φ – коэффициент, принимаемый по соответствующей таблице нормативного документа.

Расчетное значение горизонтальной сейсмической нагрузки S_{ik}, приложенной к точке k и соответствующее i-ой форме собственных колебаний здания или сооружения, следует определять по формулам (1) и (2). В этих формулах используется коэффициент допускаемых повреждений k_1, физический смысл которого – величина, обратная коэффициенту допускаемых повреждений $1/k_1$, есть мера резерва несущей способности сооружения.

Дополнительные коэффициенты

В некоторых версиях формул могут использоваться дополнительные коэффициенты, например:

K_2 – поправка по высотности (принимается 1,0 до 9 этажей, 1,1–1,3 – от 10 до 25);

K_1 – коэффициент ответственности (принимается 1,0 для жилых зданий, 1,2 – для школ и больниц, 1,4 – для уникальных объектов).

Период собственных колебаний – время одного полного колебания конструкции. Для первой формы собственных колебаний часто используют эмпирические формулы, например:

$T_1 = 0{,}08 \times n$,

где n – число этажей.

1.4 Прямой динамический метод расчета с применением расчетных сейсмических воздействий как функций времени

Прямые динамические расчеты зданий и сооружений следует выполнять с использованием расчетных акселерограмм $ai(t) = Ai\ yi(t)$, где i - номер составляющей вектора колебаний; Ai - максимальное значение амплитуды ускорений; $y(t)$ - нормированная на единицу функция, описывающая колебание грунта во времени.

При проектировании особо важных объектов в прямых динамических расчетах следует использовать расчетные акселерограммы, построенные для заданной вероятности непревышения максимальных сейсмических воздействий, соответствующей карте ОСР. Расчетные акселерограммы строятся на основе инструментальных записей сильных и промежуточных по величине землетрясений, зарегистрированных непосредственно на строительной площадке, либо в условиях, близких к условиям площадки проектируемого здания или сооружения. Величины A_i в этом случае определяются с помощью работ по уточнению сейсмической опасности площадки.

При проектировании нетиповых и ответственных зданий и сооружений в прямых динамических расчетах допускается использование синтезированных расчетных акселерограмм, построенных с учетом условий площадки и ее положения, относительно опасных сейсмогенных зон. При отсутствии инструментальных записей для генерации расчетных акселерограмм могут использоваться расчетные методы и данные о приращении сейсмической балльности за счет влияния местных грунтовых условий площадки, полученные при проведении ее сейсмического микрорайонирования.

При проектировании зданий и сооружений, не привязанных к конкретной площадке, в прямых динамических расчетах рекомендуется использовать пакет трехкомпонентных синтезированных акселерограмм, которые были построены на основе записей колебаний грунтов, зарегистрированных в разных регионах страны с помощью цифровых сейсмостанций.

Амплитуды синтезированных акселерограмм в зависимости от сейсмичности площадки необходимо умножать во всех случаях при выполнении прямых динамических расчетов зданий и сооружений на масштабный коэффициент K соответственно.

Максимальные значения ускорения относятся к горизонтальным составляющим колебаний. При отсутствии инструментальных записей значения вертикальных ускорений

основания допускается принимать равными 0,7 от значений горизонтальных ускорений.

При проведении прямых динамических расчетов с использованием набора синтезированных акселерограмм необходимо принимать в качестве расчетных акселерограммы, преобладающие периоды которых близки к периодам собственных колебаний здания по первой форме.

Рекомендации по выбору расчетных акселерограмм должны учитывать соответствия для конкретной площадки по основным сейсмологическим параметрам:

- магнитуде;
- эпицентральному расстоянию;
- глубине и механизму очага;
- грунтовым условиям и др.

Значения сейсмических нагрузок, перемещений и деформаций конструкций следует определять с учетом особенностей нелинейного деформирования конструкций.

При раздельном использовании в расчетах зданий и сооружений на действие горизонтальных и вертикальных компонент акселелограмм следует принимать наиболее опасные направления сейсмических воздействий.

Прямые динамические расчеты зданий с системами сейсмоизоляции, с адаптивными системами сейсмозащиты (включающимися и выключающимися связями), динамическими гасителями колебаний, демпфирующими устройствами и другими сейсмозащитными элементами следует выполнять при научном сопровождении и при участии организаций, имеющих лицензию на выполнение такого вида работ.

1.5 Расчеты элементов конструкций

Подбор сечений элементов конструкций, их узлов и соединений производится по несущей способности в предположении статического приложения сейсмических нагрузок. В случаях, обоснованных технологическими требованиями,

допускается выполнять расчет по второй группе предельных состояний.

Расчеты металлических конструкций зданий и сооружений следует выполнять с учетом нелинейного деформирования материала.

При расчете элементов конструкций на прочность и устойчивость, помимо коэффициентов условий работы, следует вводить дополнительные коэффициенты т, учитывающие повышение механических свойств материалов при высоких скоростях нагружения и определяемые согласно таблице [1].

Сечения элементов следует принимать не меньше, чем полученные по результатам расчета на основное сочетание нагрузок.

1.6 Особенности расчета зданий и сооружений с системами активной сейсмозащиты

Методы расчета зданий и сооружений с системами активной сейсмозащиты базируются на анализе динамических уравнений колебаний моделей при сейсмических воздействиях. Развитие методов расчета неразрывно связано с эволюцией расчетных динамических моделей РДМ и моделей сейсмических воздействий РМВ.

На первом этапе большинство подходов были связаны с анализом систем с одной степенью свобод. Это позволило изучить качественные особенности работы систем, выявить физические закономерности и границы их устойчивого деформирования параметры моделей систем и воздействий, определяющих реакции конструкций. На основании исследования одномассовых моделей проанализированы эффекты снижения инерционных нагрузок и повышения диссипативных характеристик, даны оценки технико-экономической эффективности проектных решений зданий и сооружений с новыми системами сейсмозащиты. Преимущества использования одномассовых моделей заключаются также в возможности последующей разработки расчетных алгоритмов и

процедур, основанных на спектральном подходе к определению расчетных сейсмических нагрузок на конструкции сооружений. В этом случае представляется возможным свести расчет к привычным для проектировщиков процедурам, принятым в нормативных документах (с определением условных статических расчетных нагрузок по спектральным коэффициентам динамичности).

Вместе с тем необходимость математического описания существенно нелинейных эффектов, присущи многим системам сейсмозащиты (сухого и нелинейного трения, геометрической и физической нелинейности работы конструкций, взаимных соударений, мгновенного изменения жесткостных характеристик и др.) потребовало введения уже на первом этапе специальных зависимостей типа «восстанавливающая сила-перемещение»; дополнительных граничных и начальных условий при переходах от одной стадии работы к другой; проверки устойчивости состояний равновесия и колебаний систем; оценок чувствительности параметров реакции к изменениям параметров моделей и входных воздействий. Например, для систем с выключающимися связями предложены различные, как правило, кусочно- линейные диаграммы деформирования, для систем с кинематическими фундаментами - аналитические выражения для учета гравитационной составляющей восстанавливающих сил. Анализ зданий с системами скользящих и многослойных опор потребовал формулировок граничных и начальных условий перехода от состояний движения (скольжения) к остановкам (залипанию) и наоборот.

Дальнейшее развитие методов расчета связано с рассмотрением двух - и трехмассовых моделей, а затем и многомассовых моделей при одно- и двухкомпонентном возбуждении (в горизонтальной плоскости). Временной динамический анализ таких моделей выявил в ряде случаев и существенно скорректировал количественные оценки параметров реакции зданий с системами сейсмозащиты. Учет пространственного характера деформирования зданий и сооружений

с многомерным представлением сейсмических воздействий встречается лишь в отдельных работах.

Использование такого подхода значительно усложняет процедуры расчета, требует введения дополнительной исходной информации и является задачей будущих исследований.

По результатам расчетов предложены (в аналитической, графической или табличной форме) зависимости параметров реакции систем несущих конструкций (сейсмических нагрузок, ускорений, абсолютных и остаточных перемещений, подвижек в опорах, необратимо расходуемой энергии и др.) от параметров зданий и элемента сейсмозащиты, динамических характеристик при разных сейсмических воздействиях.

Параллельно развивались вероятностные методы расчета зданий с системами сейсмозащиты при входных воздействиях в виде «белого шума», в виде искусственно смоделированных акселерограмм и других динамических процессах, а также методы расчета с учетом высших форм колебаний.

В соответствии с разработанными рекомендациями по проектированию зданий и сооружений с системами активной сейсмозащиты расчет экспериментальных объектов следует, как правило, выполнять с использованием динамического анализа и записей колебаний грунта при землетрясениях.

Особо следует отметить, что надежность зданий и сооружений, оснащенных системами сейсмоизоляции, в значительной степени зависит от качества выполнения работ.

Для совершенствования методов расчета зданий с системами сейсмоизоляции актуальным вопросом является расширение объема исходной сейсмологической и сейсмометрической информации, в том числе выбор расчетных спектральных и временных воздействий, отражающие особенности конкретных строительных площадок, и учет длиннопериодных колебаний грунтов, а также остаточных явлений в грунтах после землетрясения. Применяемые при расчетах конструкций зданий акселерограммы не полно отражают характер

сейсмического воздействия; в этих акселерограммах не содержатся длиннопериодные составляющие.

2 Системы активной сейсмозащиты

При применении систем активной сейсмозащиты уменьшаются сейсмические нагрузки на надземные конструкции зданий и сооружений, вследствие чего повышается надежность их работы при землетрясениях, снижается материалоемкость и сметная стоимость объектов строительства, расширяются области их применения в районах с разной степенью сейсмической активности.

2.1 Отечественный и зарубежный опыт активной сейсмозащиты зданий

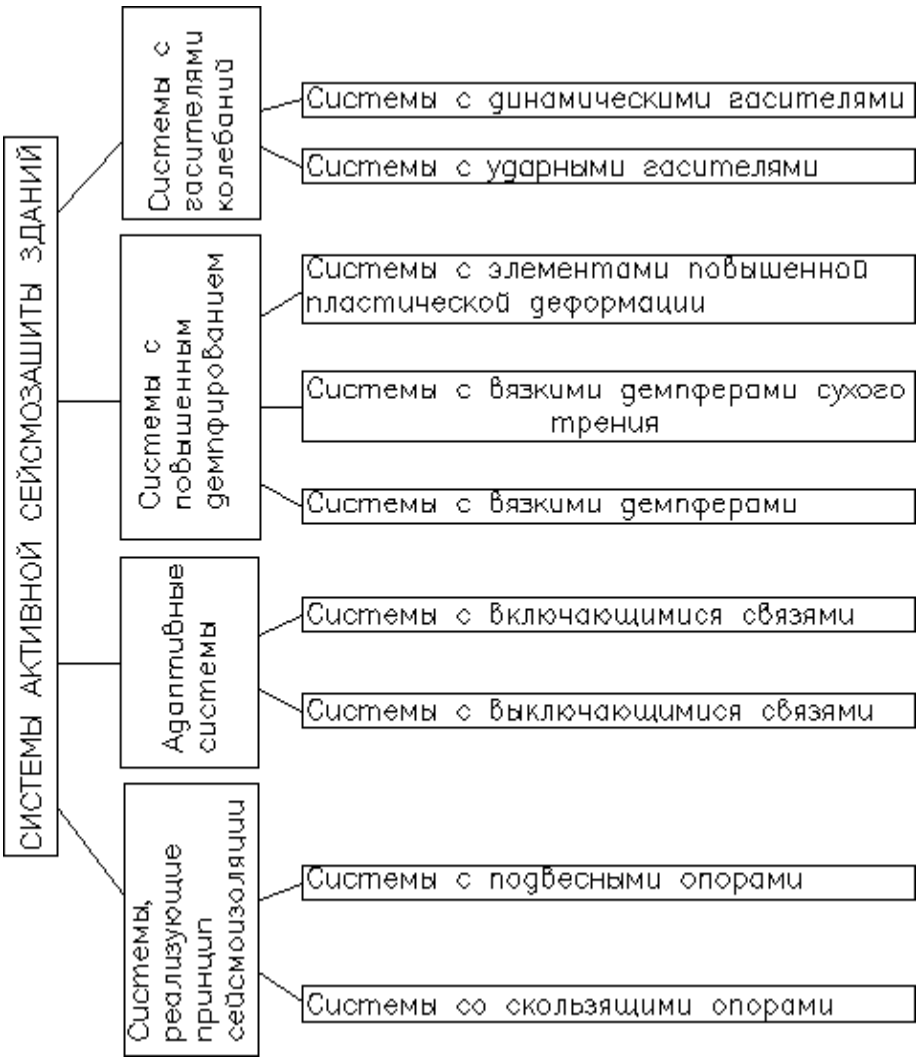
Начиная с 1925 года, когда было опубликовано предложение М. Вискордини по устройству в подвальной части зданий катковых опор или колонн со сферическими верхними и нижними опорами, был предложен и частично реализован в сейсмостойком строительстве целый ряд систем активной сейсмозащиты, большинство из которых может быть отнесено к следующим основным группам: системы, реализующие принципы сейсмоизоляции; адаптивные системы с изменяющимися характеристиками; системы с повышенным демпфированием; системы с гасителями колебаний.

Каждая из этих групп может быть разделена на несколько подгрупп, объединяющих системы сейсмозащиты по принципам конструктивной реализации или характеру динамического взаимодействия с защищаемой конструкцией сооружения. На рисунке 2 приведена схематичная классификация систем активной сейсмозащиты, учитывающая вышеназванные принципы разделения по группам. Данная классификация, включающая основные системы сейсмозащиты, не охватывает все возможные методы активной сейсмозащиты, и является в некоторой степени условной. Кроме того, возможно применение комбинированных систем сейсмозащиты, объединяющих две или более из вышеуказанных

систем, что позволяет более полно использовать положительные свойства каждой отдельной системы и уменьшить влияние их отрицательных свойств.

Большинство из описанных ниже методов сейсмозащиты позволяет снизить сейсмическую реакцию сооружений в два - три раза, что дает возможность вести проектирование с расчетной сейсмичностью на балл ниже. Как правило, каждая система сейсмозащиты имеет определенную область применения, зависящую от основной конструкции зданий, его этажности и характеристик возможных землетрясений.

Решая вопрос о применении сейсмозащиты, необходимо учитывать, что достаточно серьезные работы по исследованию активных систем сейсмозащиты начаты сравнительно недавно. Полученные в результате проведенных исследований данные еще не



достаточны, чтобы делать окончательные выводы об их эффективности и надежности.

Рисунок 2 – Схематичная классификация систем активной сейсмозащиты

Решая вопрос о применении сейсмозащиты, необходимо учитывать, что достаточно серьезные работы по исследованию активных систем сейсмозащиты начаты сравнительно недавно. Полученные в результате проведенных исследований данные еще не достаточны, чтобы делать окончательные выводы об их эффективности и надежности.

К системам сейсмоизоляции предъявляются следующие требования:

- снижение сейсмических сил до определенного уровня;
- обеспечение низкого уровня ускорений горизонтальных колебаний здания при сейсмических воздействиях;
- предотвращение усиления вертикальных колебаний здания при соответствующих колебаниях грунта;
- обеспечение удовлетворительной адаптации зданий при больших смещениях, имеющих место при сильных землетрясениях;
- обеспечение обшей устойчивости сооружения при землетрясении;
- обеспечение надежности работы в течение длительного времени под действием силы тяжести сооружения, при ветровом воздействии и при деформации основания;
- соблюдение требований, предъявляемых к материалам, из которых изготовляются элементы сейсмоизоляции и долговечность которых проверена на практике;
- обеспечение в случае необходимости легкой заменяемости, элементов системы сейсмоизоляции.

Системы сейсмоизоляции предусматриваются между фундаментом и надземными конструкциями сооружения или в конструкции фундамента (между верхней и нижней фундаментными плитами).

2.2 Сейсмоизоляция сооружений

Самым старым и одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты является сейсмоизоляция. Сейсмоизоляцией называется существенное снижение сейсмического воздействия на часть сооружения, расположенную выше фундамента, путем установки каких-либо систем или элементов между этой частью сооружения и фундаментом.

Еще в древности в некоторых случаях строители с целью ослабить действие землетрясений на сооружения пытались изолировать здания от их основания путем устройства мягких прокладок на уровне верха фундаментов. Так, в некоторые монументальные сооружения Средней Азии строились на песчаных подушках, затем на подушках из чистой глины, в цокольной части стен прокладывались мягкие камышовые прослойки. Однако, будучи спрессованными тяжелой кладкой стен и старея со временем, эти слои, вряд ли надежно служили своей цели. В начале нашего века, после землетрясений в Сан-Франциско и Токио, опять проявился интерес к специальным конструкциям подземной части зданий, способным уменьшить инерционные силы в их надземных частях.

Опишем несколько примеров, реализующих принцип сейсмоизоляции.

2.2.1 Системы с гибкой нижней частью несущей конструкции здания

Резинометаллические опоры

В 30-х годах возникла идея сейсмоизоляции зданий с помощью устройства в зданиях первого (или подвального) гибкого этажа. Эта идея основывалась на существовавшем в то время представлении, что при всех землетрясениях сейсмическая реакция зданий с гибкой конструктивной схемой всегда меньше, чем у зданий с жесткой конструктивной схемой. Эта идея получила довольно широкое

распространение, в том числе и в нашей стране, так как для своего воплощения не требовала специальных мероприятий, выходящих за границы традиционных способов строительства зданий.

Расчет зданий с гибким первым этажом необходимо выполнять с учетом волнового характера сейсмического воздействия, так как возможны ситуации, когда суммарные сейсмические усилия в некоторых частях здания с гибким первым этажом могут за счет интенсивных вращательных движений даже, возрасти по сравнению с обычным зданием.

Одним из направлений сейсмоизоляции, получившим довольно широкое распространение в Англии, Франции, США и Новой Зеландии, является использование резинометаллических опор, устанавливаемых между несущими конструкциями здания и фундамента. Первоначально такие опоры нашли широкое применение при конструировании сейсмостойких опор мостов, а затем с некоторой доработкой стали применяться и для сейсмоизоляции зданий. Так, опоры системы GAPEC (Франция) имеют слоистую конструкцию и состоят из попеременно чередующихся стальных листов и неопрена. Для предотвращения чрезмерной осадки зданий под нагрузкой от собственного веса опоры выполняют жесткими в вертикальной плоскости. В то же время они обладают малой жесткостью в горизонтальной плоскости (в 100 раз меньше ее жесткости в вертикальной плоскости), чтобы обеспечить возможность упругого бокового перемещения. Опоры обладают высокой прочностью при сжатии, растяжении и кручении благодаря упругим свойствам неопрена. В результате ряда принятых мер срок службы опоры, по данным авторов этой конструкции, достигает приблизительно 50 лет.

Данный тип сейсмоизолирующих опор был использован при строительстве школьного трехэтажного крупнопанельного здания размером в плане 77,5х30,5 м в г. Ламбеск (Франция). Система сейсмозащиты предусматривала устройство 152 сейсмоизоляторов.

Устройство системы сейсмоизоляции с помощью резинометаллических опор не требует применения специальных

конструкций зданий, однако, предусматривает выполнение определенных правил при проектировании. Опоры устанавливают под колоннами или в местах пересечения несущих стен. При отсутствии подземного помещения резинометаллические опоры устанавливают на отдельно стоящие фундаментные плиты, постоянное расстояние между которыми во время возможного землетрясения обеспечивается достаточно жесткими соединительными фундаментными балками. При наличии подземного этажа опоры размещают на капители колонн подземной части здания, также соединенные между собой жесткими фундаментными блоками (рис. 3).

Для ограничения вертикальных и горизонтальных перемещений резинометаллических опор при землетрясении около каждой из них устанавливают железобетонные ограничители, занкеренные в фундаменте. Ограничители, рассчитанные на восприятие полной статической нагрузки, на здание. Рекомендуемый зазор между верхним обрезом ограничителя и нижней поверхностью плиты перекрытия составляет 1,5 см. Расстояние между опорой и ограничителем должно быть менее максимального расчетного перемещения здания. Число устанавливаемых сейсмоизолирующих опор под одним несущим элементом может приниматься и от одной до четырех в зависимости от места их расположении (см. рис.3).

Специалисты Новой Зеландии считают, что более эффективными являются резинометаллические опоры, в конструкциях которых предусмотрены поглотители колебаний в виде вертикального цилиндрического свинцового сердечника (рис. 4). Наличие такого сердечника обеспечивает высокую жесткость в вертикальном направлении. У этих опор сопротивление сдвигу лучше, чем у опор без сердечника, и более эффективное поглощение энергии сейсмических колебаний; при сильных сейсмических водействиях в свинцовом сердечнике возникают большие пластические деформации и интенсивно поглощается энергия колебаний. Применение в опоре свинцового сердечника позволяет

увеличить в 3-5 раз затухание колебаний, повышая при этом сопротивление опоры ветровому воздействию.

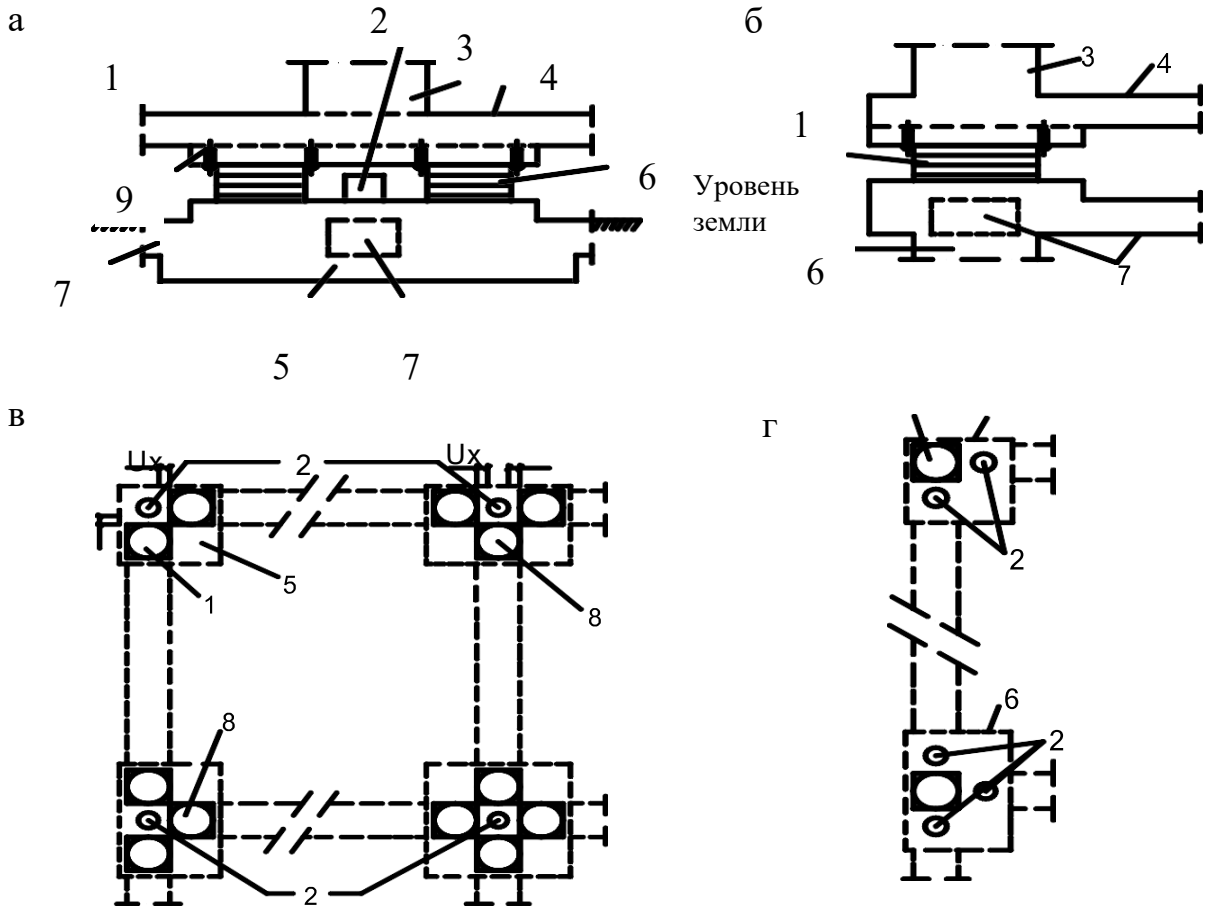


Рисунок 3 - Схема размещения сейсмоизолирующих многослойных резинометаллических опор (Франция):

а – на фундаментной плите; б – на капители колонн подземной части здания: в, г – варианты возможного расположения в плане сейсмоизолирующих опор и ограничителей перемещения:

1 – сейсмоизолирующая резинометаллическая опора; 2 – ограничитель; 3 – колонна первого этажа здания; 4 – плита перекрытия первого этажа; 5 – фундаментная плита; 6 – колонна подземной части здания с капителью; 7 – фундаментная балка; 8 – третья возможная опора; 9 – анкерный болт

Считается, что эта система является наиболее экономичной системой сейсмоизоляции, существующей в настоящее время.

Однако исследования показали, что в некоторых случаях возможно нарушение свинцового сердечника. В связи с этим ведутся по подбору заменяющего свинец материала для изготовления сердечников (например, проводились исследования с применением песка).

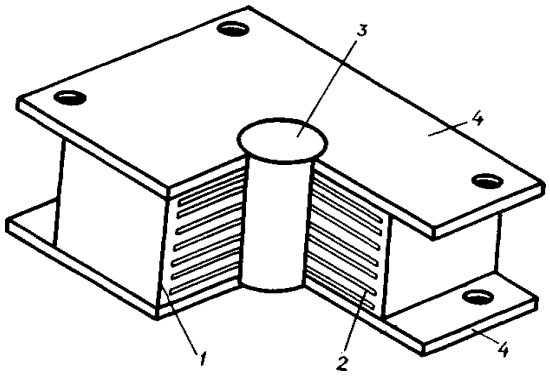


Рисунок 4 - Конструктивная схема резинометаллической опоры со свинцовым сердечником (Новая Зеландия)
1 - каучук (резина); 2 - внутренний стальной лист; 3 - свинцовый сердечник; 4 - опорный стальной лист

2.2.2 Системы с кинематическими опорами

Предложений об использовании опор качения как средства сейсмоизоляции зданий появилось очень много, но их применение в практике сейсмостойкого строительства встречается довольно редко.

Одной из основных причин этого является недостаточная изученность поведения такого рода систем при сейсмических воздействиях, особенно при землетрясениях, имеющих доминантные периоды более 1 с. При таких землетрясениях здание с кинематическими опорами может получить значительные смещения, при которых может произойти потеря устойчивости всего здания и его полное обрушение. Таким образом, такая система сейсмоизоляции может применяться только в районах, для которых прогнозируются высокочастотные землетрясения, и исключается возможность появления низкочастотных землетрясений. В остальных случаях сейсмоизоляция с кинематическими опорами

может применяться только с дополнительными средствами сейсмозащиты.

В настоящее время имеется некоторый опыт практического применения таких систем в нашей стране. Так, в Севастополе в 1972 г. построено пятиэтажное крупнопанельное здание с сейсмоизолирующим поясом, состоящим из 6500 армоцементных опор в форме эллипсоидов вращения диаметром 6 см и высотой 5,8 см (рис. 5, а), уложенных по всей площади фундамента. Кроме того, в здании применена демпфирующая система в виде железобетонного бункера, жестко соединенного с надфундаментной частью здания и свободно опущенного в слой песка.

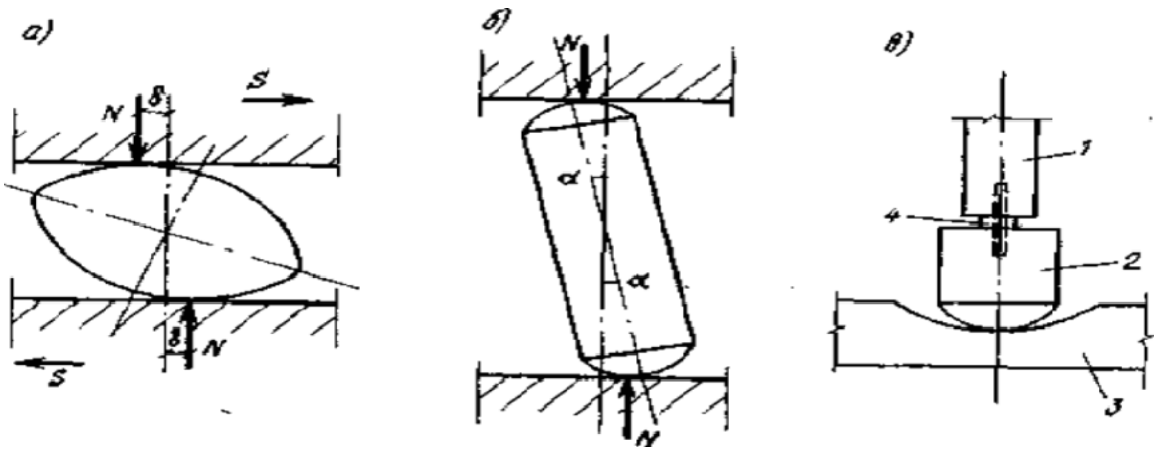


Рисунок 5 - Кинематические опоры, используемые для сейсмоизоляции зданий

а - эллипсоиды вращения; б - стойка со сферическими поверхностями торцов; в - опора конструкции

1 - колонна; 2 - подколенник; 3 - опорная плита; 4 - центрирующая шайба

С целью получения данных о реальных динамических параметрах здания были проведены экспериментальные исследования. Было обнаружено, что часть опор под действием веса здания разрушилась, что говорит об их неравномерном загружении или разной прочности. Кроме того, при испытаниях выяснилось, что данное конструктивное решение не привело к существенному

изменению динамических характеристик здания по сравнению с аналогичными характеристиками зданий, имеющих обычные фундаменты. Проведенные дополнительные модельные исследования показали, что применение опор в форме эллипсоидов диаметром меньше 0,5 м не обеспечивает сейсмоизоляцию сооружений.

К недостаткам данной системы следует отнести следующее. Изготовление стоек со сферическими торцами и специальными высокопрочными контактными поверхностями требует высокой точности, присущей скорее машиностроительному производству, чем строительной технологии. Кроме того, при наклонах стоек возникают существенные местные напряжения, для восприятия которых требуется дополнительная арматура, что приводит к увеличению расхода стали. Все это, а также повышенная точность при монтаже приводит к существенному возрастанию трудоемкости и стоимости конструкций. Более экономичной и простой при монтаже представляется система сейсмоизоляции с кинематическими опорами конструкции (рис. 5, в), примененная для четырехэтажного здания в г. Навои. Нижние основания кинематических опор, имеющие выпуклую сферическую поверхность опирания размещаются в сферических выемках опорной плиты фундамента, а верхние основания их соединяются шарнирно с колоннами посредством центрирующей шайбы.

2.2.3 Системы с подвесными опорами

Идея гибкой подвески здания для снижения его сейсмической реакции была реализована в ряде проектов. В 60-х годах в Ашхабаде было построено трехэтажное здание с сейсмоизоляцией системы Ф.Д. Зеленкова, где наземные конструкции с помощью тяжей и пружин подвешивались к стенам, монолитного фундамента. В отличие от других предложений такая система должна была снижать как горизонтальные, так и вертикальные колебания. Однако опыты Туркменского института сейсмостойкого строительства не

подтвердили предполагаемые большие значения периодов собственных колебаний здания, указав на сравнительно большую жесткость конструкции.

Похожая конструкция была применена в Испании. Фундамент этой конструкции (рис. 6) представляет собой бетонный колодец, к верхней плите которого подвешена на четырех наклонных преднапряженных тяжах железобетонная штата. На эту плиту установлены железобетонные опоры, расположенные под колоннами здания и поверху объединенные железобетонным ростверком. Обе эти конструкции являются очень сложными и дорогими. Так, стоимость сейсмоизоляции системы Ф.Д. Зеленкова составила 24 % общих затрат. Кроме того, стальные пружины находятся постоянно под напряжением, здание чувствительно к любым динамическим нагрузкам. Поэтому представляется не рациональным рекомендовать сейсмоизоляцию такого типа для внедрения в сейсмостойкое строительство.

К этой же группе систем сейсмоизоляции можно отнести и здания с подвешенными этажами, получившие распространение в практике сейсмостойкого строительства за рубежом. К преимуществам таких зданий относятся: увеличение доли полезной площади помещений, меньшая чувствительность к неравномерным осадкам фундаментов, уменьшение объемов работ по возведению фундаментов. Недостатки таких систем остаются теми же, что и для указанных выше конструктивных решений систем с подвесными опорами. Одним из возможных направлений улучшения системы сейсмоизоляции с подвешенными этажами, повышения ее надежности является применение в перекрытиях узлов сухого трения.

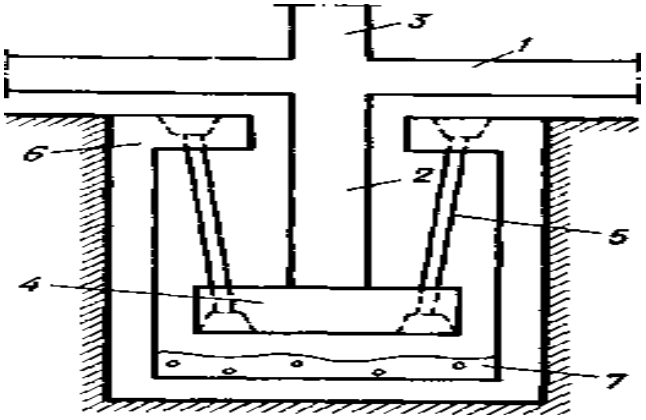


Рисунок 6 - Сейсмоизолирующий фундамент с подвесными опорами

1-ростверк; 2-опора под колонну; 3-колонна; 4-плита под опорой;

5-преднапряженный железобетонный тяж; 6-верхняя плита колодца; 7-слой песка

2.2.4 Системы с сейсмоизолирующими скользящими опорами и скользящими поясами

Сейсмоизолирующий скользящий пояс выполняется в виде ряда опор, расположенных между фундаментом здания и надземными конструкциями, как правило, в местах пересечения продольных и поперечных стен. Каждая опора имеет две пластины — из нержавеющей стали и фторопласта-4. Благодаря низкому коэффициенту трения скольжения в опорах (f = 0,05—0,1), при превышении инерционными нагрузками определенного уровня здание начинает проскальзывать относительно фундамента. С этого момента усилия от сейсмических нагрузок в элементах несущих конструкций практически не изменяются. Для обеспечения надежности зданий в системе предусмотрены упругие и жесткие ограничители горизонтальных и вертикальных перемещений. Принципиальная схема элементов сейсмоизолирующего пояса для зданий жесткой конструктивной схемы показана на рисунке 7.

Для создания упругоскользящих опор под оборудование Армянской АЭС применяется трехслойный наирит (резиновая сборка, армированная алюминиевыми пластинами). Освоение отечественной промышленностью выпуска фторопластов позволяет по-новому конструктивно решать элементы скользящего пояса и обеспечить высокую надежность его работы.

Выбор фторопласта-4 в качестве одного из материалов скользящей пары обусловлен его специфическими характеристиками: плотность 2,12-2,28 г/см^3, предел прочности на сжатие 2 МПа, предел прочности на растяжение 14-25 МПа, модуль упругости при сжатиях 700 МПа, относительное удлинение при разрыве 250-500 %.

Фторопласт нетеплопроводен, сохраняет работоспособность в интервале температур от – 269 до +260°С, не поглощает воду, химически стоек к кислотам, щелочам и органическим растворителям, не горит, стоек к воздействию грибков и бактерий, отлично подвергается механической обработке, обладает высоким электрическим сопротивлением, практически не стареет. Коэффициент трения по стали 0,04 – 0,08 (в некоторых пасах до 0,02).

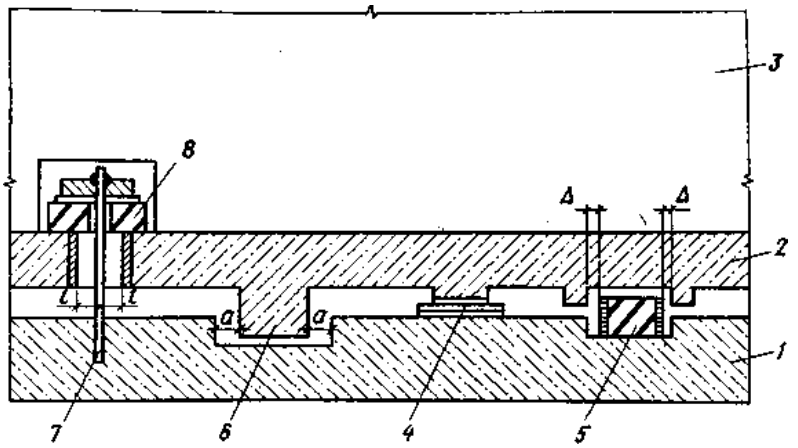


Рисунок 7 - Схема элементов сейсмоизолирующего скользящего пояса

1 – верхняя обвязка фундаментов (стен подвала или технического подполья);

2 – ростверк; 3 – надземные конструкции здания; 4 – скользящая опора;
5 - упругий ограничитель горизонтальных перемещений (демпфер);
6 – жесткий ограничитель горизонтальных перемещений (упор);
7 – ограничитель вертикальных перемещений (вертикальная связь);
8 — вертикальный амортизатор

Фторопласт выпускается промышленностью в широком ассортименте. Пластины толщиной 4-6 мм используются для экспериментальных зданий (расход фторопласта на 3-5-этажные здания не превышает 12 − 26 кг, а на девятиэтажные крупнопанельные дома с общей приведенной площадью 3,0 тыс. $м^2$ -140-160 кг).

Размеры скользящей опоры определяются расчетом при давлении на фторопласт не более 8 МПа. Размеры пластин из фторопласта обычно принимают 20х20 или 25х25 см для пятиэтажных зданий и 40х40 см – для девятиэтажных зданий, а пластин из нержавеющей стали толщиной 2 мм на 20-30 см больше. Каждая пластина прикрепляется к стальным закладным деталям (плитам), которые замоноличиваются в ростверке и в верхней обвязке стен фундамента (подвала или технического подполья). Допускается также расположение сверху как пластин из фторопласта, так и пластин из нержавеющей стали. Шаг опор - не более 3,6м.

В настоящее время для строительства зданий рекомендуются опоры совмещенного типа (рис.8), в которых в пределах одного устройства размещаются сами опоры, упругие и жесткие ограничители перемещений. Скользящие опоры, типа, показанного на рисунке 8 а, можно применять для зданий высотой до пяти этажей включительно. Скользящая опора на рисунке 8 б, выполняется с наклонными участками нижней пластины, с переменным углом наклона (3^0 и 6^0).

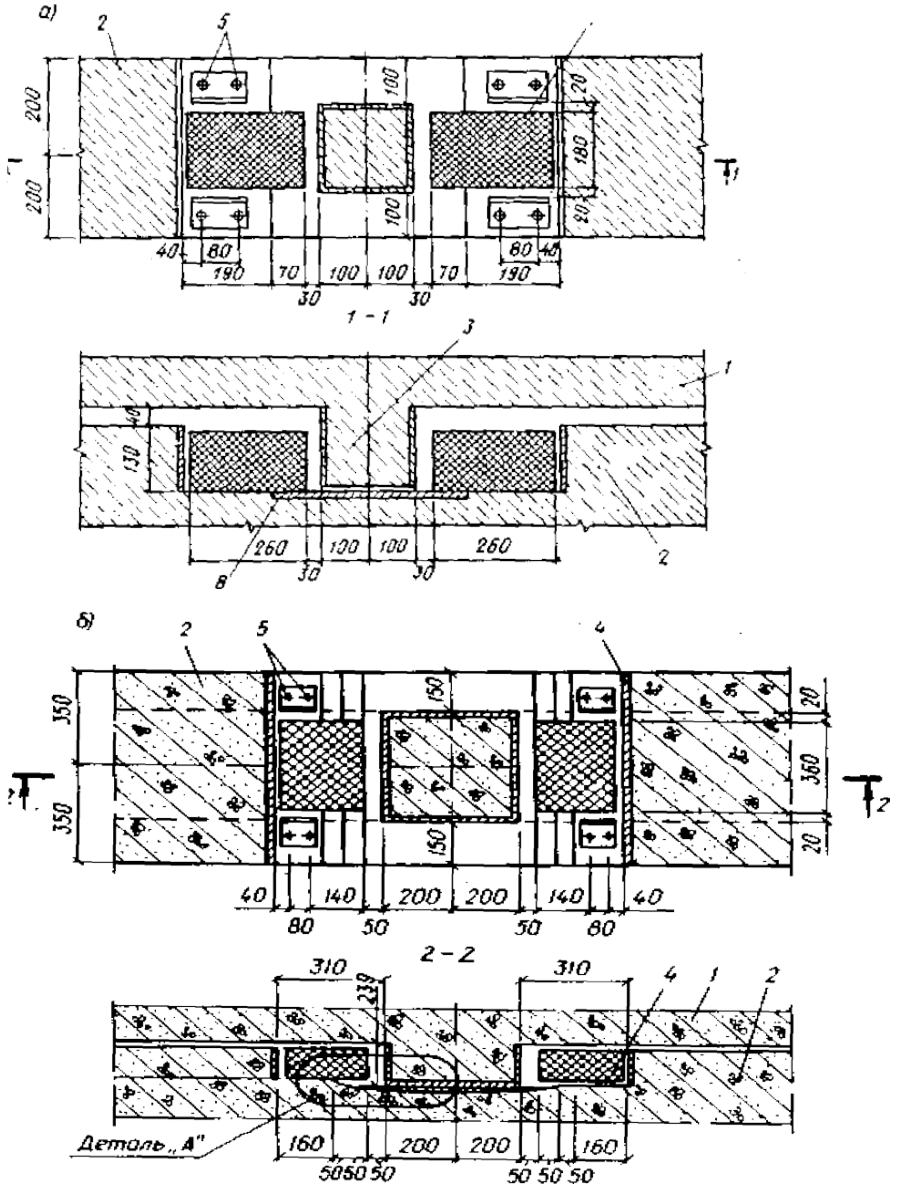


Рисунок 8 - Конструкция скользящих опор совмещенного типа
а - для пятиэтажных зданий с горизонтальной нижней пластиной;
б - для девяти-этажных зданий с наклонной нижней пластиной;
1 - железобетонный ростверк; 2 - упор; 3 - скользящая опора; 4 - резинометаллический демпфер; 5 - анкерный болт защитного уголка; 8 – нижняя стальная пластина

Благодаря наклонным участкам и возникновению при надвижке опоры на эти участки гравитационной восстанавливающей силы создаются благоприятные условия для уменьшения амплитуд колебаний надземных конструкций относительно фундамента и возвращения здания в исходное положение после окончания землетрясения.

Испытания и расчетные исследования подтвердили правильность исходных предпосылок, позволили выявить механизм

формирования сейсмических нагрузок на надземные конструкции и их существенного снижения (в 3-8 раз) по сравнению с нагрузками на здания традиционного типа.

Разработаны рекомендации по проектированию зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом. С их использованием различными проектными институтами совместно с ЦНИИСК им. Кучеренко разработан широкая номенклатура проектных решений жилых домов и зданий социально-бытового назначения для строительства в районах с разными природно-климатическими и производственными условиями.

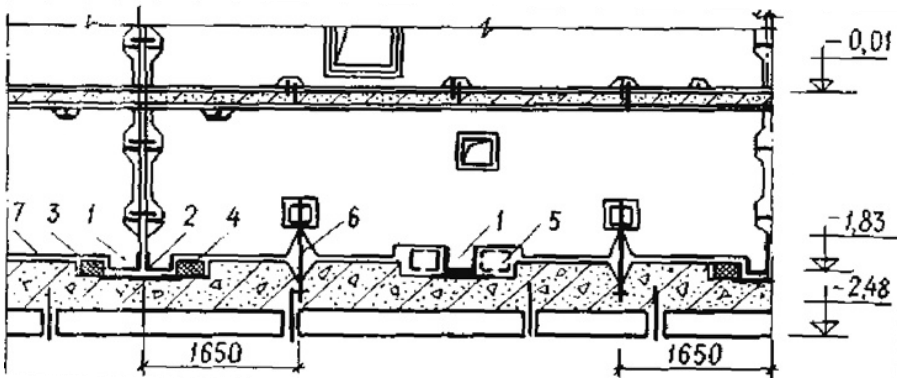
Одним из основных мероприятий по расширению объемов строительства зданий с системой сейсмозащиты является разработка технологичных решений скользящих опор, максимальной унификации типоразмеров элементов ростверка и верхней обвязки фундамента. Это достигается применением сборно-монолитных и сборных конструкций скользящего пояса, в том числе с использованием типовых цокольных панелей. Такое решение разработано КБ по железобетону им. Якушева и ЦНИИСК им. Кучеренко применительно к пяти- и девятиэтажным жилым домам серии. Поступающие на монтаж цокольные панели с пластинами из фторопласта устанавливают на опорные стальные пластины, забетонированные в монолитном железобетонном поясе по верху сборных железобетонных блоков (рис. 9). Соединение цокольных панелей между собой осуществляют с помощью шпонок. Все остальные надземные конструкции зданий используют без каких-либо изменений. Такое сборно-монолитное решение элементов скользящего шва позволяет унифицировать проектные решения конструкций для районов с различной сейсмичностью и добиться существенного повышения эффективности от использования системы сейсмозащиты, исключая необходимость переналадки оборудования на заводах ЖБИ.

В целом применение сейсмоизолирующего скользящего пояса, по результатам экспериментального проектирования и строительства, позволяет:

- сократить расход стали на 7—10 кг/м приведенной общей площади, или на 7-12 %;
- снизить сметную стоимость зданий на 3-6 %;
- расширить области применения типовых конструкций путем застройки районов с повышенной сейсмичностью, повышения

высоты зданий при использовании тех же конструкций.

Для обеспечения возможности регулирования положения плит скользящего пояса, а также осмотра и замены плит в процессе эксплуатации в ряде случаев в зданиях предусматриваются



регулирующие устройства с применением высокопрочных болтов.

Рисунок 9 - Схема сейсмоизолирующего скользящего шва КПД
1 - опорные выступы из цокольных панелей; 2 - пластины из фторопласта; 3 - пластины из нержавеющей стали; 4 - резиновый демпфер; 5 - гидравлический домкрат; 6 - упругий ограничитель вертикальных перемещений; 7 – зазор

Упругие ограничители горизонтальных перемещений (демпферы) предназначены для смягчения соударений опор и жестких упоров. Ограничители располагаются вблизи скользящих опор вдоль всех продольных и поперечных наружных и внутренних стен и должны устанавливаться с зазором Д = 1,5-3 см для зданий высотой до пяти этажей и Д = 4-5 см - для зданий высотой до девяти этажей включительно. Конструкция упругих ограничителей должна предусматривать возможность их свободной посадки в гнезда, например, на мастике или гипсе, и в случае необходимости, осмотра и замены.

Жесткие ограничители горизонтальных перемещений (упоры) предназначены для ограничения горизонтальных подвижек надземных конструкций, которые по результатам исследований рекомендуется принимать а = 7–8 см для зданий высотой не более пяти этажей и а = 10-12 см - для девятиэтажных зданий.

Для обеспечения свободного пространства между горизонтальными поверхностями упоров и ростверком вертикальные зазоры в свету следует принимать не менее 3,5 см.

Упругие ограничители вертикальных перемещений (вертикальные связи и амортизаторы) предназначены для обеспечения устойчивости сейсмоизолируемого здания от опрокидывания и гашения вертикальных колебаний. Они располагаются вдоль всех наружных стен, симметрично относительно осей здания.

Сечения вертикальных связей определяются расчетом из условия недопущения отрыва надземной части здания от стен фундамента. Вертикальная связь может выполняться в виде стержней арматуры (диаметром 30-42 мм) или пучков 7-прядевых канатов К-7 (диаметром 9-15 мм). Одним концом вертикальные связи заанкериваются в бетоне ростверка, а другим - в верхней обвязке. Вертикальные связи пропускаются через стальную гильзу с внутренним диаметром d = 2a, забетонированную в верхней обвязке, и в отверстие вертикального амортизатора и крепятся с помощью жесткого анкера (для вертикальных связей из стержней арматуры) или специального гильзостержневого анкера (для связей из пучков каната).

Конструкция вертикального амортизатора аналогична конструкции демпфера. В нем предусматривается отверстие для пропуска вертикальной связи.

Ростверк представляет собой систему монолитных железобетонных перекрестных балок сечением 40х50 см из бетона класса В22,5 с арматурой класса А-400. Стены здания комплексной конструкции запроектированы из кирпича М100 на растворе М-75. Они усилены монолитными вертикальными и горизонтальными железобетонными включениями, и сетчатым армированием в швах в соответствии с требованиями для кладки II категории по сейсмостойкости. В уровне перекрытия каждого этажа предусмотрены монолитные железобетонные пояса и обвязки.

2.3 Адаптивные системы

Системы односторонних выключающихся и включающихся связей, располагаемых между элементами каркаса и диафрагмами жесткости нижнего этажа или двух этажей здания, предназначены для изменения его динамических характеристик после превышения определенного порогового усилия в конструкциях или сопряжениях. При этом за счет увеличения периодов собственных колебаний зданий происходит их отстройка от максимальных амплитуд колебаний грунта, и усилия в конструкциях резко снижаются, предотвращая повреждения.

Кучеренко была разработана конструкция зданий с выключающимися связями, а совместно с Герсеванова - систем с включающимися связями (упорами). Разработана методика расчета зданий на сейсмические воздействия, в том числе с использованием инструментально зарегистрированных и синтезированных акселерограмм. Система сейсмической защиты с выключающимися связями названа адаптивной и предназначена для снижения инерционных нагрузок в здании, возникающих при сейсмическом воздействии.

2.3.1 Системы с выключающимися связями

Такие системы относятся к классу нестационарных динамических систем, т. е. таких систем, которые в процессе колебаний под действием динамических нагрузок могут менять свои характеристики во времени, причем эти изменения являются необратимыми. Изменения динамических характеристик системы происходят за счет разрушения выключающихся связей при достижении некоторого порогового уровня амплитуд колебания системы. В качестве выключающихся связей применяются как специальные резервные элементы, так и отдельные несущие конструкции (рис. 5).

Система с выключающимися связями применима в основном для зданий с жесткой конструктивной схемой, имеющих первый гибкий этаж. Это связано с тем, что необходимым условием

эффективной работы этой системы является значительное снижение жесткости несущих конструкций здания в конце землетрясения в сравнении с начальной жесткостью системы до землетрясения. Учитывая, что трудно практически реализовать конструкцию здания с периодом собственных колебаний более 2 – 3 с, можно сказать, что системы с выключающимися связями применимы для зданий с периодом собственных колебаний не более 0,5-0,7 с.

Сейсмозащита зданий с выключающимися связями наиболее эффективна и может применяться в районах, где наиболее вероятны землетрясения с преобладанием высокочастотных составляющих. Она нашла уже сравнительно широкое практическое применение, в частности на трассе БАМ, где город Северобайкальск в значительной степени застраивается зданиями по типовому проекту 122 серии с выключающимися связями. Однако данной системе присущи и некоторые недостатки. Так, после разрушения выключающихся связей во время землетрясения необходимо немедленное их восстановление, что не всегда практически осуществимо. Кроме того, известно, что в некоторых случаях в процессе землетрясения в его заключительной стадии происходит снижение доминантной частоты и в связи с этим имеется возможность вторичного совпадения собственной частоты здания (с уже разрушенными в начальной стадии землетрясения выключающимися связями) с доминантной частотой землетрясения, что может привести к потери несущей способности конструкций здания. Избежать последнего можно в случае применения системы с выключающимися связями и упорами - ограничителями горизонтальных перемещений.

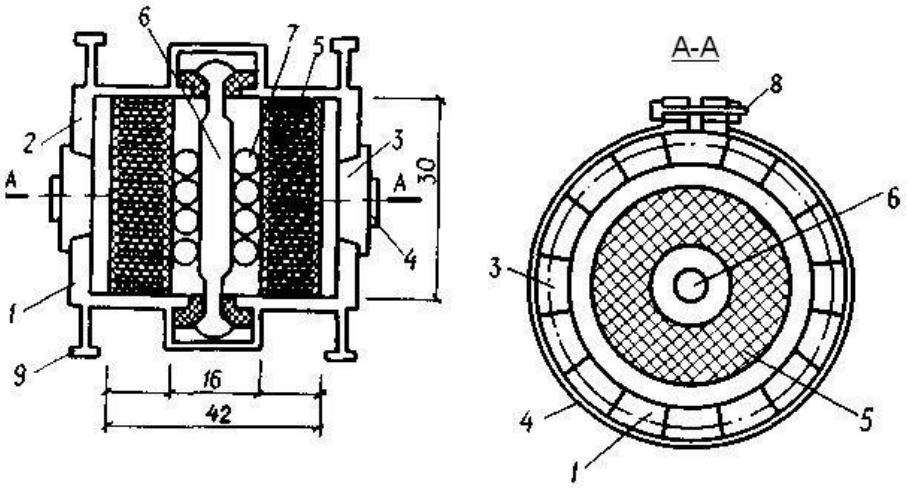
2.3.2 Системы с включающимися связями

Эти системы относятся к классу нелинейных динамических систем с жесткой характеристикой. В отличие от систем с выключающимися связями, в системах с включающимися связями не происходит разрушения связей, и нет необходимости их восстанавливать после землетрясения. Здание с включающимися

связями проектируется таким образом, чтобы оно имело низкую частоту собственных колебаний. При землетрясении в случае возникновения значительных перемещений основных несущих конструкций здания происходит включение связей, что приводит к существенному изменению жесткости системы и к увеличению «мгновенной» частоты собственных колебаний здания, в результате чего здание «уходит» от опасного для него резонансного режима колебаний. Выполнить условие низкой час тоты собственных колебаний системы можно практически для здания любой этажности. Для многоэтажного каркасного здания это условие выполняется автоматически, для здания малой этажности с жесткой конструктивной схемой следует применять гибкий первый этаж.

Осуществлять сейсмозащиту зданий с помощью включающихся связей целесообразно в районах, где возможно возникновение землетрясений как высокочастотных, так и низкочастотных. Достоинство системы с включающимися связями заключается в том, что она работает е полной нагрузкой лишь при землетрясениях, имеющих значительные ускорения на низких частотах, а такие землетрясения бывают довольно редко. При достаточно часто возникающих высокочастотных землетрясениях система с включающимися связями сохраняет все преимущества систем с сейсмоизоляцией. К недостатку системы с включающимися связями следует отнести возможность возникновения значительных усилий в конструкциях включающихся связей. Эффективность и надежность систем с включающими и выключающимися связями можно существенно повысить в случаи их совместного применения.

В качестве примера опоры с включающимися и выключающимися связями, можно привести конструкцию, являющуюся в период между землетрясениями неподвижной пространственно-жесткой, а при землетрясении - податливой. Конструкция состоит из жесткого стального разборного цилиндрического кожуха, внутри которого помещена многослойная резинометаллическая опора (рис.2.3.1). При сейсмическом воздействии запорное устройство кожуха ослабевает или разрушается (т.е. жесткие связи выключаются), верхняя часть



кожуха опускается и опирается на резинометаллическую опору (т.е. в работу включается резинометаллическая опора).

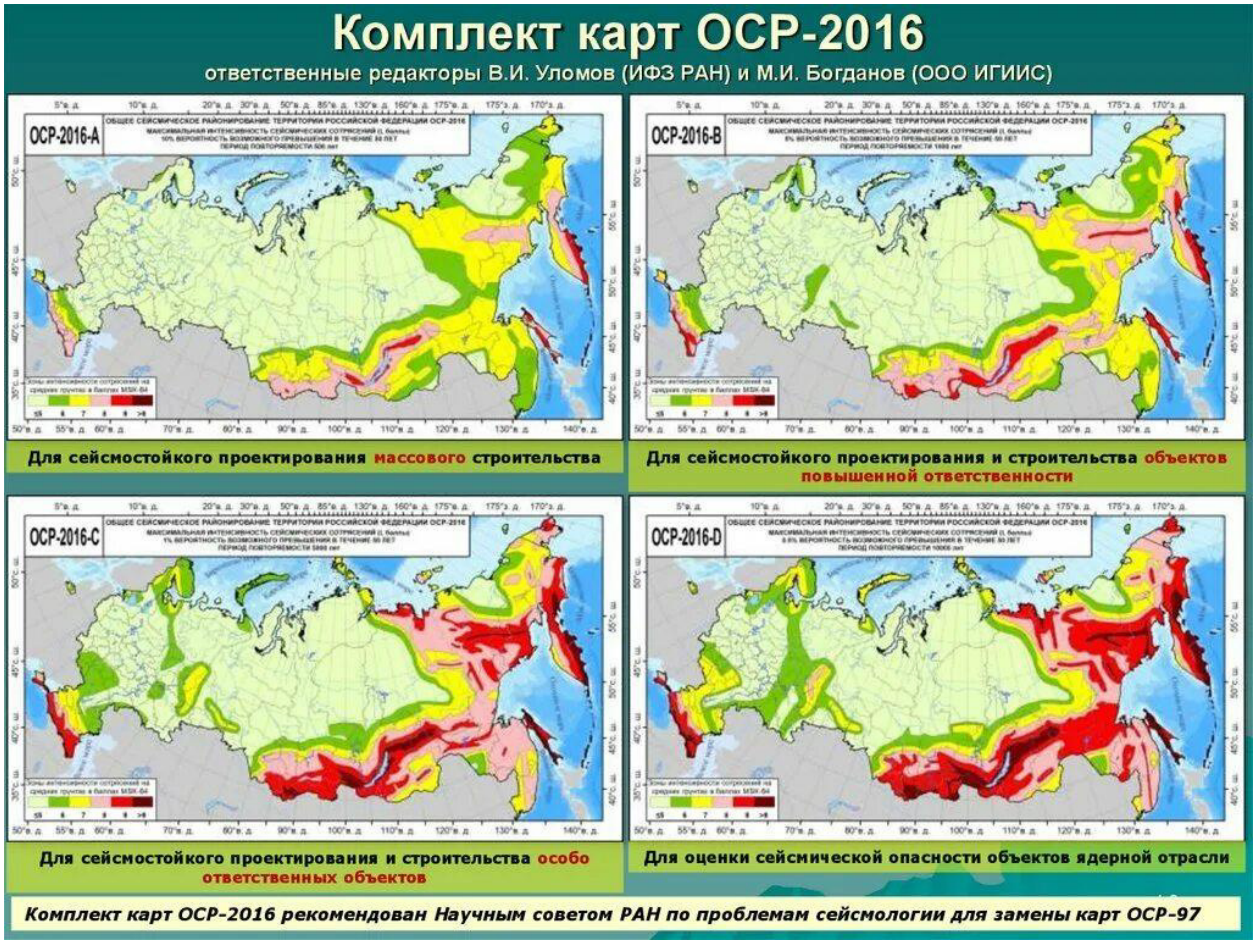
Рисунок 10 - Конструктивная схема опоры с выключающимися связями жесткости и с включающимися податливыми слоистыми опорами:

1 - нижняя часть кожуха; 2 - верхняя часть кожуха; 3 - клин; 4 - запорное кольцо; 5 - резинометаллическая опора; 6 - стабилизирующий стержень; 7 - стабилизирующие кольца; 8 - болтовое соединение запорного кольца; 9 – анкер

По принципу опор с выключающимися связями разработана система сейсмоизоляции с опорами маятникового типа, состоящая из нескольких вертикальных коротких качающихся железобетонных опор-стоек ромбической формы, расположенных в замкнутом пространстве, заполненном неопреновой массой. В конструкциях

фундамента этого типа могут быть предусмотрены упоры из хрупкого материала, которые в период между землетрясениями ограничивают горизонтальные перемещения надземной части здания относительно фундамента, а при землетрясении разрушаются (т.е. выполняют функцию выключающихся связей).

Приложение 1



Список литературы

1. СП 14.13330.2021 https://stolf.ru/upload/sp-14133302014-stroitelstvo-v-sejsmicheskih-rajonah-snip-ii-7-81.pdf

2.Теличенко В. И. Технология возведения зданий и сооружений: учебник / В. И. Теличенко [и др.]. - М.: Высшая школа, 2001. - 320 с.

3. Соколов, Г. К. Технология возведения специальных зданий и сооружений: учебное пособие / Г. К. Соколов, А. А. Гончаров. - М.: Академия, 2005. - 352 с. - (Высшее профессиональное образование).

4. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона, инженерного назначения и в особых условиях строительства: учебное пособие / А. Д. Кирнев [и др.]. - Ростов н/Д.: Феникс, 2008. - 513 с.

5. Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: межвуз. сб. научн. тр. - Пермь: ППИ, 1990. - 147 с.

6. Леденев В. В. Основания и фундаменты при сложных силовых воздействиях (опыты) : монография для научных работников, аспирантов и магистрантов строительного профиля / В. В. Леденев. - Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015