



Проект «Повышение устойчивости к
рискам стихийных бедствий» [ERIK]



Способы анализа сейсмостойкости и проектирования школьных зданий на сейсмические воздействия по последним нормам

Улугбек Бегалиев

Д.т.н., профессор и ректор МУИТ, президент МАЭСС

12 - апреля 2024 г.

Содержание

- Прошедшие землетрясения на территории КР;
- Нормы проектирования сейсмостойких сооружений в КР;
- Оценка сейсмической опасности района строительства;
- Определение расчетной сейсмической нагрузки спектральным методом;
- Повышение этажности с применением систем сейсмозащиты;
- Требования по проектированию рамной и рамно-связевой конструктивной системы
- Требования по проектированию стеновой конструктивной системы комплексной конструкции
- Создание диафрагмы жесткости из сборных плит перекрытий
- Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки;
- Выводы и рекомендации

Прошедшие землетрясения в Кыргызской Республике

Землетрясение (интенсивность по шкале MSK)	Дата (день.месяц.год)	Координаты		Магнитуда,
Ошское (7)	14.11.1883	40, ⁰ 5	72, ⁰ 8	2 группа I
Беловодское (9–10)	03.07.1885	42, ⁰ 7	74, ⁰ 1	2 группа I
Верненское (9–10)	09.06.1887	43,1	77,0	2 группа I
Чиликское (9–10)	12.07.1889	43,2	78,6	1 группа I
Андижанское (9)	03.12.1902	40,7	72,4	2 группа I
Андижанское (8–9)	16.12.1902	70,7	72,4	2 группа I
Аимское (8)	28.03.1903	40,8	72,7	2 группа I
Эски-Ноокатское (8)	15.09.1907	40,3	72,0	2 группа I
Кеминское (10)	03.01.1911	42,8	76,7	8
Куршабское (7–8)	06.07.1924	40,5	73,0	6 ¹ / ₂
Куршабское (8)	12.07.1924	40,5	73,0	6 ¹ / ₂
Наманганское (8)	12.08.1927	41,0	71,6	5 ³ / ₄
Фрунзенское (4)	23.08.1928	42,0	73,0	5 ¹ / ₂

Прошедшие землетрясения в Кыргызской Республике

Землетрясение (интенсивность по шкале MSK)	Дата (день.месяц.год)	Координаты		Магнитуда,
Тюпское (6–7)	24.12.1932	42,8	78,2	5 ¹ / ₂
Кемино-Чуйское (8–9)	20.06.1938	42,7	75,8	6 ¹ / ₂
Чаткальское (9)	02.11.1946	41,8	71,8	7 ¹ / ₂
Сары-Камышское (8–9)	05.06.1970	42,5	78,6	6,8
Жаналаш-Тюпское (8–9)	24.03.1978	42,8	78,6	7,1
Байсорунское (8)	12.11.1990	43,00	77,57	6,3
Кочкор-Атайское (8)	15.05.1992	41,06	72,25	6,1
Суусамырское (9 и более)	19.08.1992	42,04	73,38	7,3
Пограничная область Кыргызстан-Синьцзян (8)	14.02.2005	41,728	79,440	6,1
Баткенское (8)	08.01.2007	39,803	70,312	6,0
Алайское (8)	05.10.2008	39,533	73,824	6,7
Кадамжайское (8)	19.07.2011	40,081	71,410	6,1
Сары-Ташское (8)	26.06.2016	39,479	73,339	6,4



Раскрытие активного разлома в Алматы при Кеминском землетрясении, январь, 1911



Раскрытие активного разлома в Алматы при Кеминском землетрясении, январь, 1911



Землетрясеніе 1910 г. Провалы на почтовомъ трактѣ на сѣверномъ берегу озера Иссык-Куль, близъ сел. Алексѣевского (Уй-талъ). (Фот. А. И. Кориньса).

Раскрытие активного разлома на Иссык-Куле при Кеминском землетрясении, январь, 1911



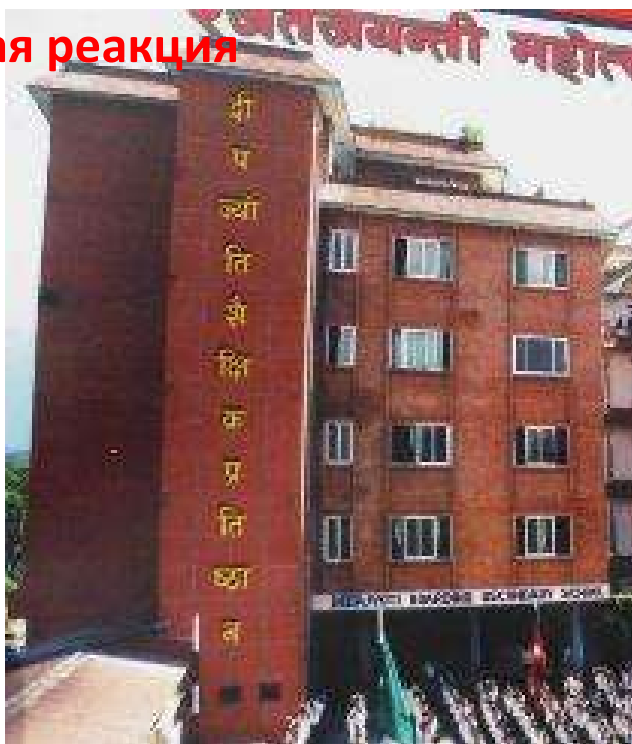
Повреждение школ в Кочкорском районе, кирпичная и глинистая кладка без усиления, во время Кочкорского землетрясения 2006, 2007, интенсивность 7 баллов



Повреждение школы им.Ленина в городе Ош, здание из кирпичной кладки без усиления после Карасуйского землетрясения 2008 года

Монолитный ЖБ каркас с кирпичным заполнением

Сейсмическая реакция



a)



b)

Полное обрушение железобетонного здания школы в Катманду, Непал, вследствие землетрясения в Горкха в 2015 году: а) до землетрясения; и b) после землетрясения (Фото: С. Бржев)

Монолитный ЖБ каркас с кирпичным заполнением

Сейсмическая реакция



a)



b)

Обрушение первого этажа сельской школы в районе Синдхупалчок, Непал, землетрясение 2015г.: а) общий вид здания — разрушение первого этажа; и б) вид разрушения первого этажа — разрывы арматур колонн (Фото: С. Бржев)

Монолитный ЖБ каркас с кирпичным заполнением

Сейсмическая реакция



a)



b)

Обрушение железобетонного здания школы в результате землетрясения в Бингёле, Турция, в 2003 году: а) здание школы после землетрясения; и б) обрушение первого этажа (фотографии: П. Гюлькан)

Нормы проектирования сейсмостойких сооружений в КР

Название	Период
Руководство для строительства в Семиреченской области	1887-1927
Технические условия для строительства на территории Восточного Туркестана и Сибири	1928-1936
Руководящие принципы для сейсмостойкого строительства	1937-1948
ТУ-58-48 Технические условия проектирования и строительства в сейсмических зонах	1948-1950
ПСП-101-51 Руководство для строительства в сейсмических районах	1951-1956
СН-8-57 Нормы и правила для строительства в сейсмических районах	1957-1961
СНиП II.А-12.62 Строительство в сейсмических районах	1962-1968
СНиП II.А-12.69 Строительство в сейсмических районах	1969-1980
СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах	1981- 1986
СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах	1986 - 2002
СНиП 2.01.02-94 КР Строительство в районах КР с сейсмичностью более 9 баллов	1994-2018*
СНиП 2.01.01-93 КР Застройка территории г.Бишкек с учетом сейсмического микрорайонирования и грунтово-геологических условий	1993-2024
СНиП КР 20-02:2009 (2002, 2004) Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования	2002-2024

Нормы проектирования сейсмостойких сооружений в КР

Название	Период
СНиП КР 31-02:2001 (1995, 1999) Перепрофилирование помещений жилых зданий существующей застройки	2001 -
СНиП КР 20-03:2006 Системы сейсмоизоляции. Основные положения	2006 -
СН КР 31-02:2018 (СНиП 2008) Проектирование и застройка территорий г.Бишкек и сел, примыкающих к Ысыккатынскому разлому	2018*-
СН КР 22-01:2018* (СНиП 1998) Оценка сейсмостойкости зданий существующей застройки	2018*-
СН КР 20-02:2024 (2018*) Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования	2024 -

Нормы проектирования и расчета конструкций зданий

Название	Период
СНиП КР 31-07:2011 Быстровозводимые здания из легких конструкций. Нормы проектирования	2011-
СН КР 52-02:2022 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения	2022 -
СН КР 53-01:2022 Стальные конструкции. Нормы проектирования	2022 -
СН КР 31-08:2022 (СНиП 2013) Школьные здания. Нормы проектирования	2022 -
СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции (СП Р 2004, 2020)	1983 -
СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия (СП Р 2003, 2011, 2016)	1987 -
СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции (СП Р 2012)	1987 -
...	

Сейсмическая опасность площадки строительства

$$a_g = a_{gR} \cdot S(a_{gR}) \cdot S_T,$$

Сейсмичность площадки строительства в баллах и значения коэффициента $S(a_{gR})$

Типы грунт. условий	Сейсмичность площадки строительства при сейсм. района				Средние знач. $v_{s,10}$ и $v_{s,30}$, м/с	Значение коэффициента $S(a_{gR})$ в зависимости от величины a_{gR}
	7	8	9	>9		
II	7	8	9	>9	$230 \leq v_{s,10} < 350$ $270 \leq v_{s,30} < 550$	$1,1 \leq (2,0 - 2,5 \cdot a_{gR}/g) \leq 1,6$
III	8	9	>9	по рез. иссл.	$v_{s,10} < 230$ $v_{s,30} < 270$	$1,3 \leq (2,5 - 3,0 \cdot a_{gR}/g) \leq 2,4$

Определение расчетной сейсмической нагрузки спектральным методом

$$F_{ik} = \gamma_{lh} \cdot S_d(T_i) \cdot m_{ik}$$

$$0 \leq T \leq T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q} \quad m_{ik} = m_k \cdot \eta_{ik}$$
$$T \geq T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right], \quad \text{но не менее } \beta \cdot a_g$$

Коэффициент поведения q

Конструктивные типы зданий	коэфф. q
2 Здания со стенами из монолитного железобетона, крупнопанельные: а) со стенами, опирающимися по четырем сторонам на стены;	5,0
3 Каркасные здания: а) рамно-связевые; связевые; каркасно-стеновые; б) других конструктивных систем , за исключением указанных в а)	4,0 3,3
4 Здания со стенами комплексной конструкции	3,3

Классы ответственности зданий и сооружений

Классы ответственности зданий по назначению

Классы	Здания
III	Здания и сооружения, сейсмостойкость которых важна с позиций социальных последствий их разрушения

Классы ответственности зданий по этажности

Классы	Характеристика класса ответственности	Высота
I	Малоэтажные здания	1-2 этажа
II	Здания средней этажности	3-5 этажей

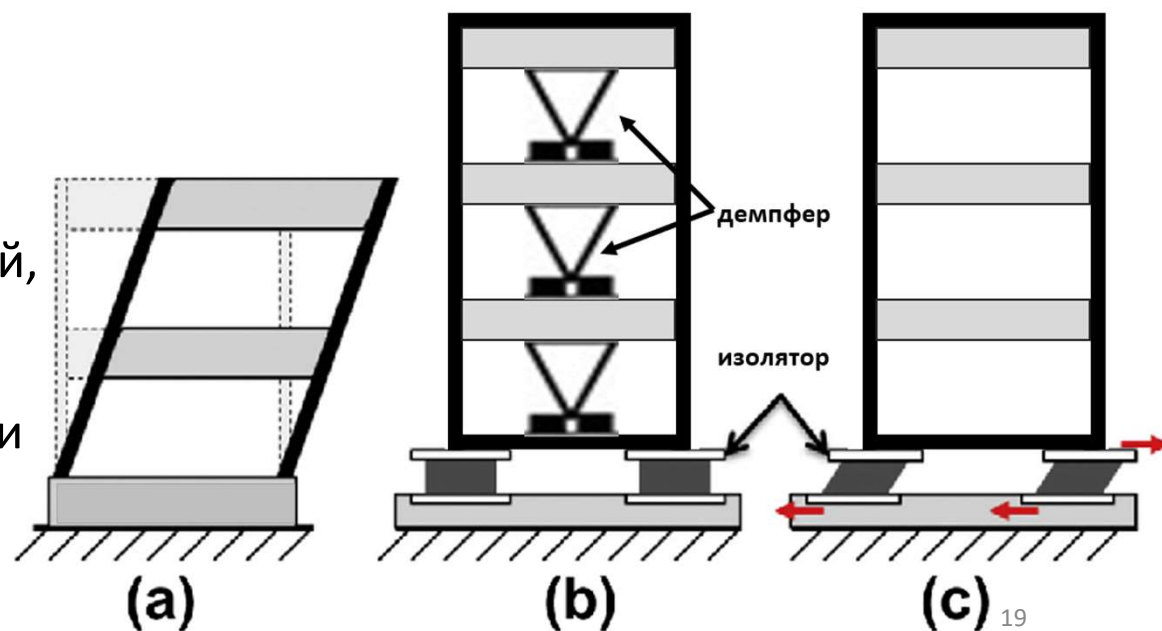
Коэффициент ответственности по назначению и этажности

Классы ответств. зданий		Значения коэфф. γ_{Ih} и γ_{Iv} , применяемые при определении эффектов сейсмических воздействий	
по назнач.	по этажн.	горизонтальных	вертикальных
III	I-II	$\gamma_{Ih}=1,25$	$\gamma_{Iv}=1,25$
	III-V	$1,295 \leq 1,25 + 0,045 \cdot (n-5) \leq 1,8$	$1,27 \leq 1,25 + 0,02 \cdot (n-5) \leq 1,5$

Повышение этажности зданий с системой сейсмозащиты

п. 9.1.4 СН КР 20-02:2024

- На строительных площадках сейсмичностью 8 и 9 баллов высота школ и больниц ограничивается тремя и двумя этажами, а дошкольных учреждений двум и одним этажом соответственно.
- На строительных площадках сейсмичностью более 9 баллов высота школ, больниц и дошкольных учреждений ограничивается одним этажом.
- **В случае** если по функциональным требованиям возникает необходимость **повышения этажности проектируемого здания школы и больницы** сверх указанной, **следует применять специальные системы сейсмозащиты** (сейсмоизоляция, демпфирование и т.п.) для снижения сейсмических нагрузок.



Требования по проектированию рамной и рамно-связевой конструктивной системы

- Конструктивные системы каркасных зданий :
 - рамные со всеми жесткими узлами сопряжений ригелей (поперечных и продольных) с колоннами;
 - рамно-связевые; связевые; каркасно-стеновые.
- Каркасы одноэтажных зданий могут проектироваться по следующим конструктивным схемам:
 - комбинированной, в одном направлении рамная схема, а в другом – связевая;
 - в виде стоек, заземленных в фундаментах и шарнирно сопряженных со стропильными конструкциями;
 - в виде пространственных рамных конструкций шарнирно сопряженных с фундаментами.
- При выборе конструктивных схем каркасных зданий предпочтение следует отдавать схемам, в которых зоны пластичности могут возникнуть в первую очередь в горизонтальных элементах каркаса (ригелях, балках).

Требования по проектированию рамной и рамно-связевой конструктивной системы

- В каркасных зданиях диафрагмы жесткости должны быть непрерывными по высоте. Диафрагмы допускается устанавливать с убывающей по высоте здания жесткостью. В каждом направлении здания должно устанавливаться не менее двух диафрагм жесткости, расположенных в разных вертикальных плоскостях. Диафрагмы продольного и поперечного направлений целесообразно объединять в пространственные элементы
- Ядра жесткости в каркасных зданиях рекомендуется располагать симметрично относительно центральных осей здания.
- Для площадок сейсмичностью 9 и более 9 баллов количество ядер жесткости следует принимать не менее двух на каждый отсек здания. Одно ядро жесткости допускается, если его площадь в плане составляет более 25% от площади этажа.

Требования по проектированию рамной и рамно-связевой конструктивной системы

- Железобетонные обвязки, устраиваемые по верху ригелей каркасных зданий, следует армировать: по промежуточным рядам колонн – плоскими каркасами; по крайним рядам колонн – пространственными каркасами;
- Междуетажные перекрытия и покрытия железобетонных каркасных зданий с диафрагмами и ядрами жесткости рекомендуется выполнять из монолитного железобетона. Соединения перекрытий с диафрагмами и ядрами жесткости должны обеспечивать совместную работу всех вертикальных элементов конструктивной системы.
- При опирании многопустотных плит по верху ригелей в последних должны быть предусмотрены связи в виде вертикальных выпусков арматуры с шагом не более 400 мм и диаметром: на площадках сейсмичностью 7 и 8 баллов – 12 мм; на площадках сейсмичностью 9 и более баллов – 16 мм.
- Расчет каркасных зданий рамно-связевых и связевых конструктивных систем следует выполнять с учетом податливости перекрытий.

Требования по проектированию рамной и рамно-связевой конструктивной системы

- Лестничные клетки и лифтовые шахты каркасных зданий с заполнением, не участвующим в работе, рекомендуется устраивать в виде ядер жесткости, воспринимающих сейсмическую нагрузку, или в виде встроенных конструкций с поэтажной разрезкой, не влияющих на жесткость каркаса.
- В железобетонных колоннах многоэтажных каркасных зданий (рамных, рамно-связевых, связевых и других), площадь поперечного сечения продольной арматуры следует принимать по результатам расчетов, но не менее: при сейсмичности площадки строительства 7 и 8 баллов – 0,8 % от площади поперечного сечения колонны; при сейсмичности площадки строительства 9 и более 9 баллов – 1,2 % от площади поперечного сечения колонны.
- Общая площадь поперечного сечения продольной арматуры в железобетонных колоннах каркасных зданий не должна превышать 4 % от площади поперечного сечения колонн.
- Шаг хомутов, устанавливаемых в колоннах каркасных зданий, кроме запроектированных по связевым схемам, не должен превышать $1/2h$, а в колоннах каркасных зданий, запроектированных по связевым схемам – $3/4h$, где h – наименьший размер стороны поперечного сечения колонны.
- Диаметр хомутов следует принимать не менее 8 мм.
- Жесткие узлы железобетонных рам должны быть усилены сварными сетками, спиралями или замкнутыми хомутами, установленными с шагом не более 100 мм.

Определение жесткости каркасных и комплексных конструкций

- При определении реакций зданий и сооружений спектральным методом в линейно-упругой постановке жесткости железобетонных или комплексных конструкций в СН КР 20-02:2024 заложен принцип равнопрочности конструкций;
- при определении расчетных сейсмических нагрузок и усилий в конструкциях – учитываются полные сечения элементов конструкций и начальные значения модуля упругости бетона или каменной кладки;
- при определении величин перемещений, с учетом антисейсмических швов и проверок соответствия горизонтальных перекосов этажей и эффектов второго рода (Р-Δ эффектов) нормативным ограничениям – учитываются полные сечения элементов конструкций, но принимая начальные модули упругости бетона и каменной кладки с понижающим коэффициентом 0,5.
- Фактическое распределение сейсмических нагрузок между конструкциями зданий и сооружений зависит не от абсолютных значений жесткостей конструкций в упругой стадии работы, а от соотношений между их жесткостями на стадии пластического деформирования
- Распределение сейсмических нагрузок между конструкциями допускается определять, принимая во внимание расчетные величины жесткостей конструкций при образовании в них трещин на стадии начала текучести арматуры.
- Расчеты зданий по вышеуказанному положению позволяют: - прогнозировать влияние нелинейного поведения конструкций на распределение между ними сейсмических нагрузок; - влиять на формирование механизмов развития пластических деформаций в конструктивных системах.

Выдержки из положений норм СН КР 20-02:2024

- **А.68 специальные технические условия (СТУ):** Технические нормы, разработанные для конкретного объекта строительства и содержащие отсутствующие в действующих нормах или дополнительные требования к его безопасности.
 - СТУ разрабатывают и применяют в качестве документа, дополняющего действующие нормы.
 - СТУ на проектирование объектов, разрабатываются уполномоченным госорганом по разработке и реализации политики в сфере архитектурно – строительной деятельности.
- п.1.5 Проектирование и строительство объектов, перечисленных в п.1.4 и п.6.4.3, до разработки соответствующих норм следует осуществлять по СТУ;
- К.1.4 Если установлено, что здание является чрезмерно нерегулярным в плане или по высоте, или крутильно-податливым, то его конструктивная схема подлежит пересмотру или проектированию по СТУ.
- п.1.7 Уровень расчетных нагрузок и конструктивных мероприятий, предусмотренный нормами, является минимальным и по усмотрению заказчика может быть повышен;

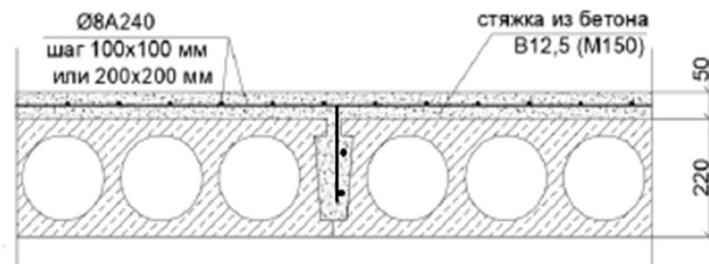
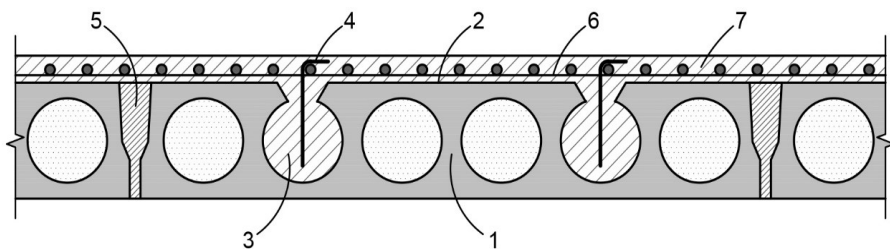
Выдержки из положений норм СН КР 20-02:2024

п.5.4 При проектировании зданий и сооружений:

- обеспечивать диафрагмальное (жесткое) поведение междуэтажных перекрытий и реакции здания (сооружений) на сейсмические воздействия как единой конструктивной системы;
- предусматривать мероприятия, обеспечивающие способность конструкций к пластическому деформированию;
- обеспечивать устойчивость и геометрическую неизменяемость конструктивных систем при развитии в их конструкциях и/или соединениях между ними пластических деформаций;

Выдержки из положением норм СН КР 20-02:2024

- **А.17 диафрагма жесткости вертикальная:** Стена или система вертикальных связей, длиной **не менее 4-х кратной толщины** диафрагм жесткости, запроектированные **по результатам расчетов и воспринимающие горизонтальные сейсмические нагрузки в системе здания и передаче их фундаментам;**
- 9.4.2 Жесткость и прочность сборных железобетонных перекрытий и покрытий следует обеспечивать путем выполнения одного из нижеперечисленных:
 - а) устройства связей, воспринимающих усилия, возникающие в швах между плитами;
 - б) устройства монолитных железобетонных обвязок в швах между раздвинутыми плитами перекрытий;
 - в) **устройства по верху перекрытий монолитных железобетонных слоев.**



Выдержки из положений норм СН КР 22-01:2018*

- п.1.8 Степень сейсмостойкости обследованных зданий следует оценивать исходя из их соответствия конструктивным и расчетным требованиям действующих норм;
- п.1.9 В качестве альтернативы степень сейсмостойкости зданий может оцениваться по результатам испытаний натуральных объектов;
- п.5.4.3 Детальное обследование следует проводить с целью уточнения (при наличии проектно-технической документации) или получения (при отсутствии проектно-технической документации) данных, необходимых для всесторонней оценки сейсмостойкости здания;
- Детальное обследование требуется при исследованиях, связанных с выполнением полного комплекса расчетов конструкций (полный расчет здания, расчеты конструкций усиления, определение коэффициента сейсмостойкости);

Оценка сейсмостойкости существующего здания

п.14.1.7 Для определения спектров расчетных реакций значение периода колебаний зданий и сооружений T рекомендуется замерить экспериментально.

- Применяется классификация зданий по степени сейсмостойкости
- Соблюдаются положения по Пушвер-анализу конструкций здания
- Оценивается сейсмостойкость здания с помощью коэффициента сейсмостойкости (безопасности):

$$r_s = \frac{C}{D},$$

Характеристика зданий и сооружений	r_s
5. Зд. детских садов, школ, вузов, больниц, домов престарелых и т.п.	0,8

- При определении реакций зданий и сооружений спектральным методом в линейно-упругой постановке жесткости железобетонных или комплексных конструкций в СН КР 20-02:2024 заложен принцип равнопрочности конструкций;
- В строительных нормах СН КР 20-02:2024 не приведены положения по определению прочности в зависимости от конкретных характеристик здания и сейсмичности строительной площадки;
- Проверка прочности должна быть выполнена в соответствии с нормами проектирования по конструкциям (Н: СН КР 52-02:2022 «Бетонные и железобетонные конструкции» или СП 63.13330.2018) и другими специальными руководствами

Спасибо за
ваше внимание!



Приглашаем на V Международную научно-практическую конференцию по сейсмостойкому строительству, Бишкек-Иссык-Куль, 9-14-сентября, 2024г.
Веб-сайт: icee.kg/