



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



Специальные технические условия [СТУ] для проектирования и расчета школьных зданий на сейсмические воздействия, включая усиление в рамках проекта ERIK

Светлана Бржев

Профессор Университета Британской Колумбии [UBC], Канада
Президент Сербской Ассоциации по сейсмостойкому строительству [SUZI-SAEE]
Почетный профессор МУИТ

Улугбек Бегалиев

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

12 - апреля 2024 г.

Основные положения СТУ

- СТУ составлены в развитие положений СН КР 20-02:2018* и СН КР 22-01:2018 и должны соблюдаться при инженерном обследовании и проектировании определенного здания школы;
- Необходимостью СТУ на проектирование является разработка критериев для осуществления инженерного обследования, разработки проекта реконструкции существующего или проектирования нового здания
- Содержание СТУ:
 - **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ** [Область применения, краткое описание объекта];
 - **МЕТОДИКА ОБСЛЕДОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ** [Анализ проектной документации, Обследование конструкций здания и Результаты испытаний];
 - **ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ** [Расчет каркасных зданий и комплексной конструкции, Результаты расчетно-аналитической оценки];
 - **ПРОЦЕДУРЫ СЕЙСМОУСИЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ УСИЛЕННОГО ЗДАНИЯ** [Усиление сборного каркаса и зданий комплексной конструкции, Оценка поведения усиленных зданий]

Специальные технические условия [СТУ]

- Конструктивные системы зданий новых и существующей застройки
- Конструктивные системы [типологии], распространенные в КР:
 - ✓ Железобетонные каркасные системы – сборные [например, Серии ИИС-04] и монолитные
 - ✓ Каменные конструкции – только комплексные конструкции

ЖБ каркасно-стеновые конструктивные системы [дуальные] не включены и не рассматриваются в СТУ!

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Основные положения:

- Сейсмические недостатки
- Расчетно-аналитическая оценка
- Критерии приемлемости для конструктивных элементов в зависимости от вида [компонента] воздействия

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Основные положения – сейсмические недостатки

- Пример: **недостатки** зданий существующей застройки комплексной конструкции:
- Недостаточная прочность кладки стен и простенков в плоскости
- Недостаточное соединение [из плоскости] между стенами из кладки с перекрытием / покрытием
- **Гибкие [тонкие]** стены из кладки с недостаточной способностью **к горизонтальному пролету** между соседним перекрытием / покрытием [из плоскости]
- Внутренние перегородки из кладки с недостаточной прочностью или соединением с основной несущей конструкцией [из плоскости]

Указанные недостатки следует проверить, применив процедуру, включенную в СТУ. Усиление потребуется, если какой-либо из этих недостатков подтвердится расчетно-аналитической оценкой.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Основные положения – расчетно-аналитическая оценка

- Расчет и анализ зданий новых и существующей застройки железобетонных каркасных систем [будет обсуждаться на лекции 3 сегодня]
- Расчет и анализ зданий существующей застройки комплексной конструкции

Цель предварительного **обследования** – помочь проектировщику ознакомиться со зданием, возможными недостатками и поведением.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Основные положения – расчетно-аналитическая оценка

Процедура, основанная на **максимальной несущей способности** – оценивает нелинейную реакцию несущей конструкции путем определения максимальных перемещений и соответствующих усилий в конструктивных элементах.

Расчет и анализ основан на

1. Не сниженных горизонтальных сейсмических силах [с учетом коэффициента поведения $q_{\text{horiz}}=1$] и ожидаемых неупругих [пластических] перемещениях от сейсмического воздействия;
2. Ожидаемая прочность элемента увеличивается за счет коэффициента пластичности для оценки несущей способности элементов сопротивляться нелинейным воздействиям.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Расчетно-аналитическая оценка

- Определение конструктивных элементов в расчетно-аналитической модели следует основывать на ожидаемых свойствах материала и жесткости, соответствующей уровню трещинообразования при сейсмическом воздействии. Отношение между нормативными и ожидаемыми свойствами материала описано в разделе 3.1.3.4;
- Жесткость конструктивных элементов следует принимать в соответствии с положениями **СН КР 20-02:2024, Приложение Е, раздел Е.2.б**);
- Для элементов из бетона и кладки, ожидаемая жесткость [модуль упругости и модуль сдвига] может быть принята в **1.25 раза больше** нормативных свойств.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Воздействия на элементы [компоненты]

- Воздействия следует классифицировать как контролируемые деформациями или контролируемые силами.
- Воздействие, контролируемое деформацией, определяется как воздействие, имеющее соответствующую деформацию, которая может превышать значение предела текучести; соответствующая максимальная деформация ограничена пластичностью элемента [компонента]. *Так описывается пластическое или полу-пластическое поведение, например, текучесть элемента каркаса [рамы] при изгибе.*
- Воздействие, контролируемое силой, определяется как воздействие, имеющее соответствующую силу или [изгибающий] момент, который не превышает значение предела текучести. *Так описывается хрупкое поведение, например, срез в железобетонных колонах или соединение конструктивных элементов.*

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Воздействия на элементы [компоненты]: контролируемые деформациями или контролируемые силами

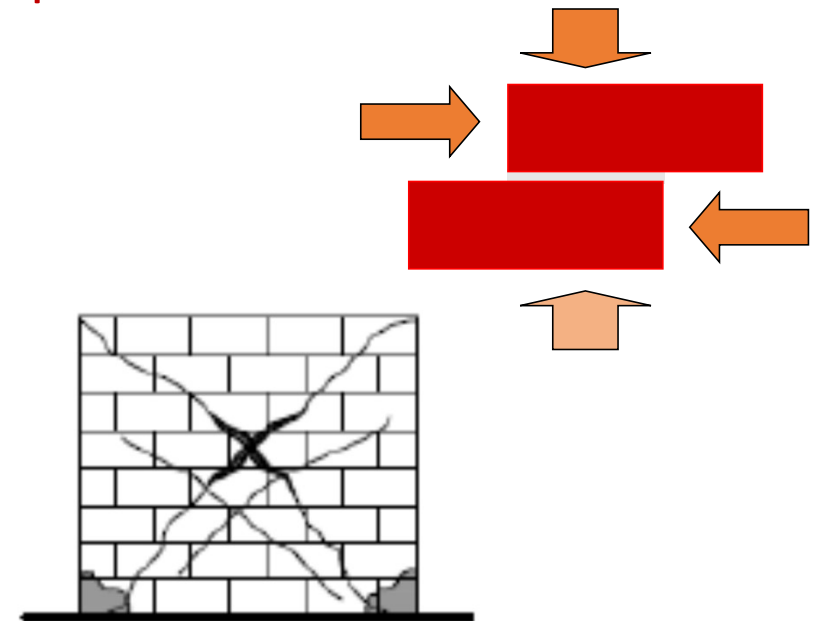
Пример стен из кладки, подверженных сейсмическим воздействиям

Поведение	Тип воздействия
1. Растяжение по диагонали	Контролируемое силой
2. Горизонтальные трещины по швам раствора	Контролируемые деформациями
3. Раскачивание от напряжения у основания стены	Контролируемое деформацией



Воздействия, контролируемые силами

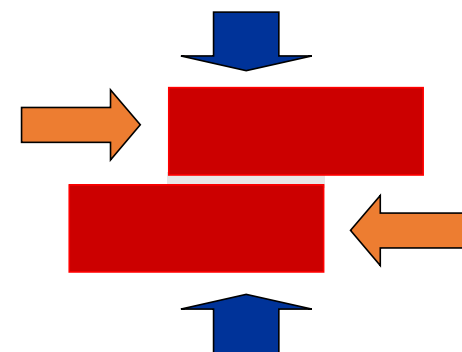
1) *Растяжение по диагонали* = разрушение происходит при достижении **предела прочности кладки при растяжении** [контролируемая прочностью / силой]



Воздействия, контролируемые деформациями

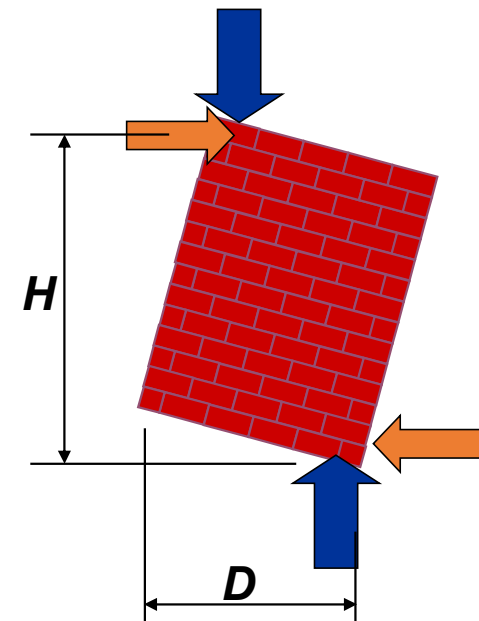


2) *Горизонтальные трещины по швам кладки* = разрушение происходит из-за трещинообразования по швам раствора



Воздействия, контролируемые деформациями

3) Раскачивание => Поперечные силы распределяются в результате трения у основания стены.



Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Воздействия на элементы – прочность элементов [элемент – компонент]

Прочность элемента следует принимать как **ожидаемую прочность - Q_{CE} для воздействий, контролируемых деформациями,**

и как номинальную / нормативную прочность – Q_{CN} для воздействий, контролируемых силами.

Если не рассчитано иначе, ожидаемую прочность предполагается принимать равной номинальной / нормативной прочности, умноженной на 1.25.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Критерии приемлемости: воздействия, контролируемые деформациями

Проверка приемлемости:

Прочность > Усилие [Capacity > Demand]

$$mQ_{CE} \geq Q_{UD} \quad (3-6)$$

где:

Q_{UD} = Воздействие от вертикальных и сейсмических нагрузок;

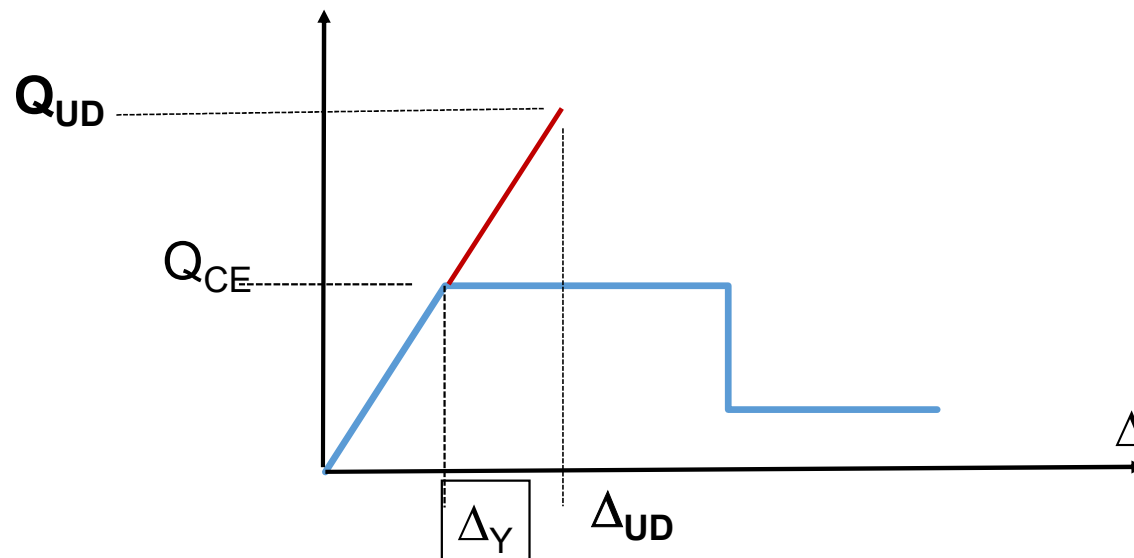
m = Коэффициент модификации несущей способности, учитывающий ожидаемую пластичность элемента;

Q_{CE} = Ожидаемая прочность элемента для рассматриваемого уровня деформации - рассчитывается с учетом всех сопутствующих воздействий, вызванных вертикальными и сейсмическими нагрузками.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Критерии приемлемости: воздействия, контролируемые деформациями

$$\frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} = \frac{\Delta_{UD}}{\Delta_Y} \leq m$$



Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Критерии приемлемости: воздействия, контролируемые деформациями

Коэффициент m является функцией неупругого поведения, которое может быть допущено в конкретном конструктивном элементе на основе конструирования, типа поведения и последствий разрушения.

В отличие от норм проектирования, в которых сейсмические силы уменьшаются, а затем объединяются с вертикальными нагрузками, **коэффициент m применяется к несущей способности элемента с учетом всех приложенных нагрузок [сейсмических, вертикальных].**

Коэффициенты m в откалиброваны для получения сейсмических характеристик, соответствующих требованиям норм проектирования для зданий школ существующей застройки, подлежащих оценке сейсмостойкости и усилению.

Пример: колонны, контролируемые прочностью на изгиб в зданиях существующей застройки ЖБ каркасной системы [раздел 3.2.2.6 СТУ] следует оценивать как **контролируемые деформациями**:

$m=2.5$ если осевое напряжение (P/Ag) меньше $0,1f'c$

$m=1.5$ если осевое напряжение больше $0,4f'c$.

Если поперечное [косвенное] армирование в колоннах соответствует требованиям норм проектирования для учета пластического поведения:

$m=5.0$ если осевое напряжение (P/Ag) меньше $0,1f'c$

$m=2.0$ если осевое напряжение больше $0,4f'c$.

Линейная интерполяция используется для промежуточных значений осевого напряжения .

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Критерии приемлемости: воздействия, контролируемые силами

Элементы, контролируемые силами, оцениваются или проектируются как упругие без ожидаемого нелинейного поведения, следовательно для элементов, контролируемых силами, коэффициенты модификации несущей способности не применяются. Предпочтительно, чтобы **усилия** на элементы, контролируемые силами, были ограничены несущей способностью элементов, контролируемых деформациями, для распределения усилий на элементы, контролируемые силами.

Приемлемость элементов, контролируемых силами следует определять следующим образом:

$$Q_{CN} \geq Q_{UF} \quad (3-7)$$

где:

Q_{UF} = Воздействие от вертикальных и сейсмических нагрузок;

Q_{CN} = Номинальная / нормативная прочность элемента для рассматриваемого уровня деформации - рассчитывается с учетом всех сопутствующих воздействий, вызванных вертикальными и сейсмическими нагрузками.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Расчет и анализ зданий существующей застройки комплексной конструкции: соображения

При расчете и анализе комплексной конструкции, следует учитывать, как минимум, следующие три аспекта:

- Поведение в плоскости [несущих] стен и простенков из кладки на срез;
- Поведение в плоскости перемычек;
- Поведение из плоскости [несущих] стен и простенков из кладки на срез.

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Расчет и анализ зданий существующей застройки комплексной конструкции:
критерии приемлемости

Поведение стен и простенков из кладки приемлемо [допустимо], если элементы соответствуют одной из следующих **моделей поведения**:

- 1) Поведение, контролируемое раскачиванием;
- 2) Поведение, контролируемое срезом.

Важно: критерии приемлемости стен и простенков комплексной конструкции **могут основываться** на **усилиях** и **прочности**, характерных для неармированной кладки [*влияние ЖБ включений игнорируется*].

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Расчет и анализ зданий существующей застройки комплексной конструкции:
критерии приемлемости

1) Модель, контролируемая раскачиванием.

Если **прочность простенка при раскачивании** меньше **прочности простенка на срез**, то есть $V_r < V_a$, для каждого простенка в стене на данном уровне, то [поперечные] силы в стене на этом уровне, V_{wx} , следует распределять на каждый простенок пропорционально $P_D D/H$, и для стены на этом уровне, формула 3-13 должна соответствовать условию.

- $0.7V_{wx} < \sum V_r$ (3-13)

где

- V_{wx} – [поперечная] сила в рассматриваемой стене на данном уровне
- V_r – **прочность** рассматриваемой стены или простенка при раскачивании

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Расчет и анализ зданий существующей застройки комплексной конструкции:
критерии приемлемости

2) Модель, контролируемая срезом.

Если **прочность простенка на срез** меньше **прочности простенка при раскачивании**, то есть $V_a < V_r$, в одном или нескольких простенках на одном уровне, то [поперечные] силы в стене на этом уровне, V_{wx} , следует распределять на отдельные простенки стены, V_p , пропорционально D/H .

Следующие формулы должны соответствовать условиям для каждого простенка на этом уровне:

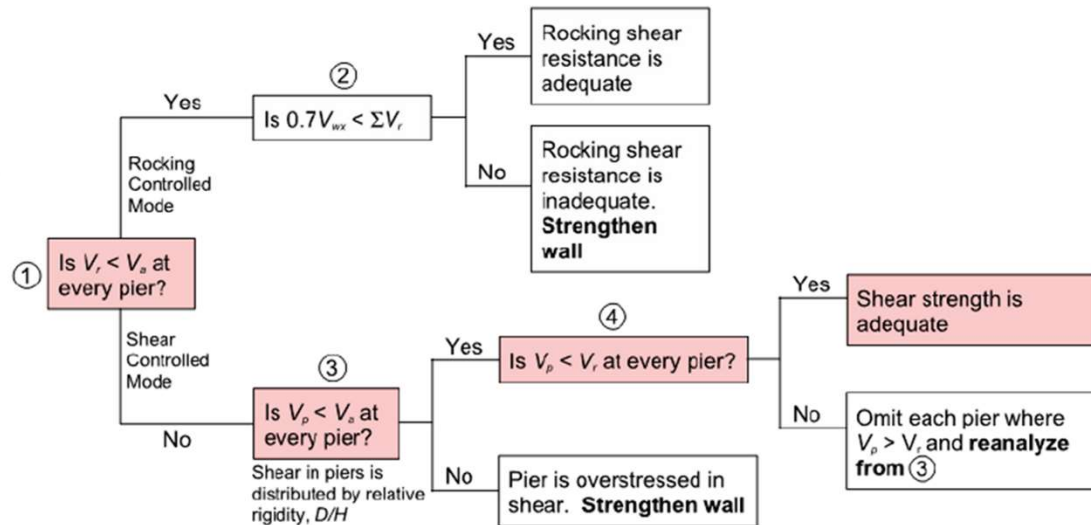
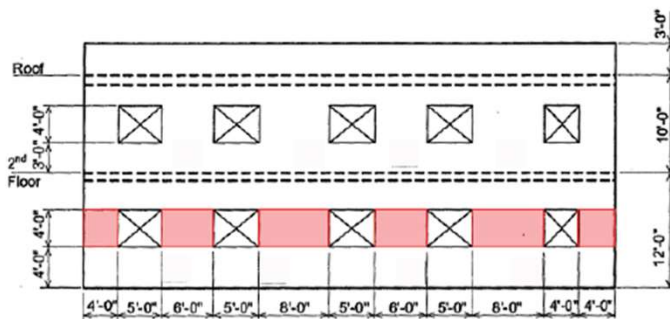
- $V_p < V_a$ (3-14)

- $V_p < V_r$ (3-15)

Глава 3 - Оценка несущей способности здания

Расчет и анализ зданий существующей застройки комплексной конструкции: критерии приемлемости

Пример из публикации FEMA P-2006

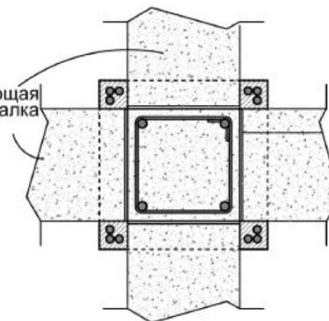
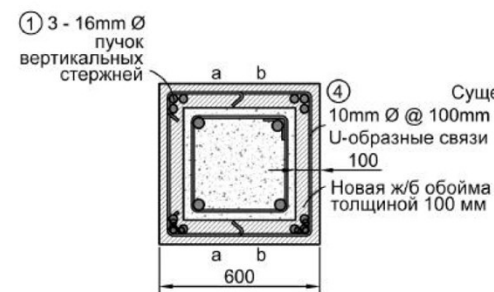
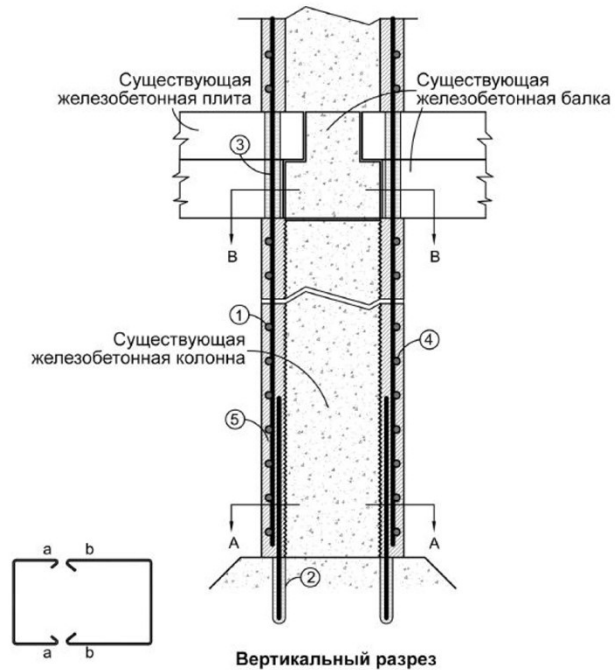


Глава 4 - Усиление

Усиление ЖБ каркасных систем

1) Основные положения по усилению:

- Внутренние перегородки;
- Наружные сборные стеновые панели;
- Колонны.

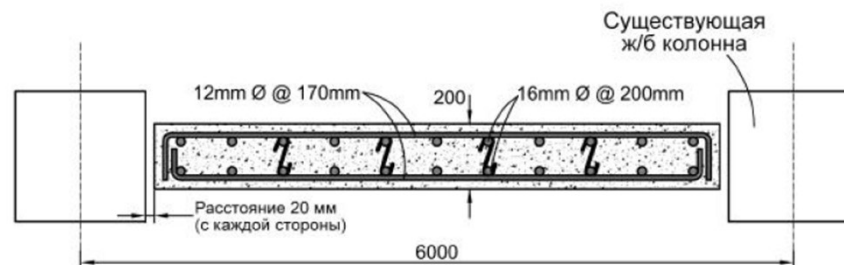
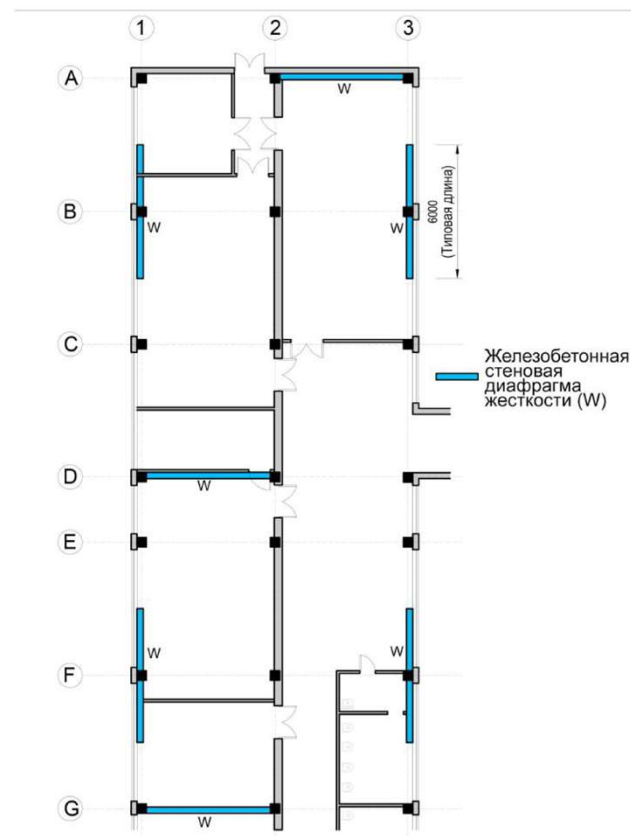


Глава 4 - Усиление

Усиление ЖБ каркасных систем

2) Дополнительные положения по усилению:

В дополнение к основным мерам по усилению, может потребоваться дополнительное усиление **существующей конструкции** в зависимости от поведения и **несущей способности [прочности] существующей каркасной системы**. При необходимости, сейсмическое усиление может заключаться в добавлении диафрагм для повышения **общей горизонтальной прочности конструкции** и **уменьшения горизонтального перегиба** с целью защиты второстепенных конструктивных элементов в соответствии с положениями **документа о критериях**.



Глава 4 - Усиление

Усиление комплексной конструкции

1) Основные положения по усилению:

- Внутренние перегородки;
- Анкеровка [несущих] стен из кладки;
- Устойчивость [несущих] стен из кладки из плоскости.

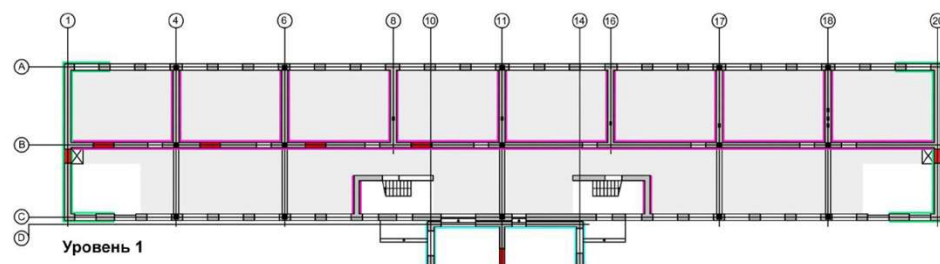
Глава 4 - Усиление

Усиление комплексной конструкции




2) Дополнительные положения по усилению:

В дополнение к основным мерам по усилению, может потребоваться дополнительное усиление **существующей комплексной конструкции** в зависимости от **несущей способности [прочности]** существующих стен и простенков из кладки.

При необходимости, сейсмическое усиление комплексной конструкции может состоять из **торкретирования** существующих стен и простенков из кладки - бетоном или добавления отдельных диафрагм для повышения **общей горизонтальной прочности конструкции**.

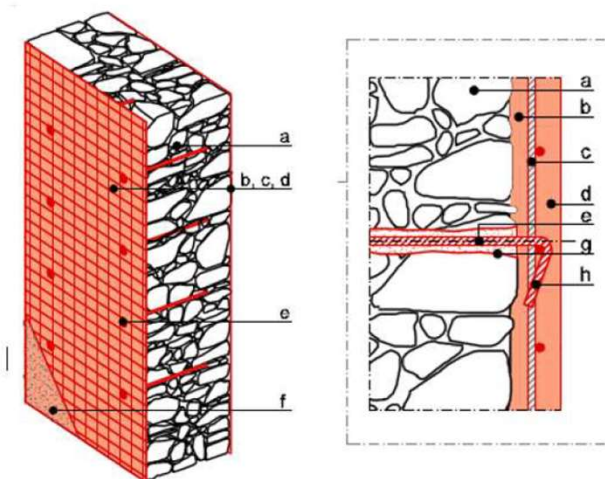


Условные обозначения:

	Усиление железобетонной облойкой - вариант J1 Два слоя толщиной 8 см и стальная сетка Ø12 Расстояние между вертикальными арматурными стержнями 20 см Расстояние между горизонтальными арматурными стержнями 10 см		Усиление железобетонной облойкой - вариант J3 Два слоя толщиной 8 см и стальная сетка Ø10 Расстояние между вертикальными и горизонтальными арматурными стержнями 20 см
	Усиление железобетонной облойкой - вариант J2 Два слоя толщиной 8 см и стальная сетка Ø10 Расстояние между вертикальными арматурными стержнями 20 см Расстояние между горизонтальными арматурными стержнями 10 см		Усиление железобетонной облойкой - вариант J4 Два слоя толщиной 8 см и стальная сетка Ø8 Расстояние между вертикальными и горизонтальными арматурными стержнями 20 см

Глава 4 - Усиление

Retrofit of complex masonry structures



Армированная поверхность стены покрыта торкретированием (обрызгиваемый бетон) в 2 слоя (на фотографиях - после 1-слоя)

Глава 4 – Усиление: Дальнейшее изучение по методам сейсмического усиления

Публикация:

"Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике"

- Светлана Бржев и Улугбек Бегалиев

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/765151593525566669/pdf/Practical-Seismic-Design-and-Construction-Manual-for-Retrofitting-Schools-in-The-Kyrgyz-Republic.pdf>



Полезные ссылки

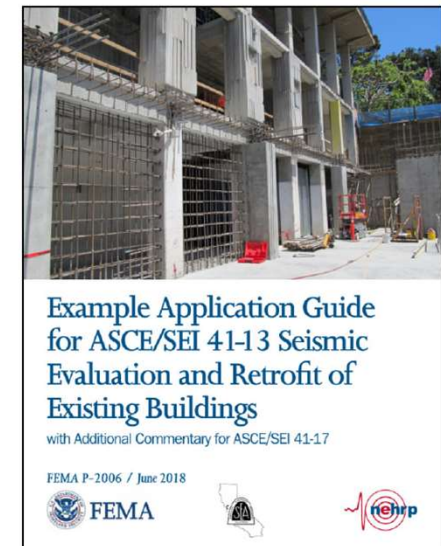
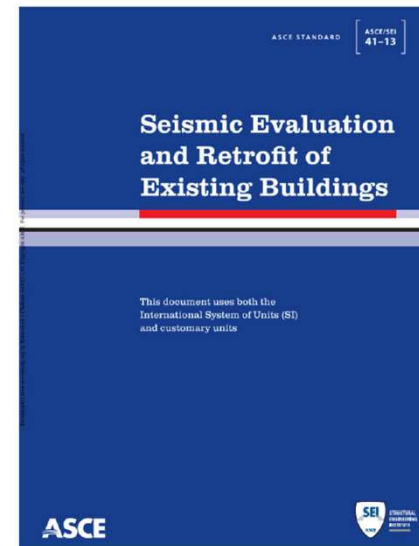
1. Специальные технические условия по проектированию сейсмоусиления школьного здания на основе линейного анализа
2. Светлана Бржев и Улугбек Бегалиев (2018).

Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике. Всемирный банк, Вашингтон, США.

Технические источники: публикации США

1. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. ASCE standard ASCE/SEI 41-13, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA. [Оценка сейсмостойкости и усиление зданий существующей застройки. Стандарт ASCE/SEI 41-13, Американское сообщество инженеров-строителей, г. Рестон, Вирджиния.]
2. FEMA P-2006, Example Application Guide for ASCE/SEI 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings; with Additional Commentary for ASCE/SEI 41-17. [FEMA P-2006, Руководство с примерами применения для ASCE/SEI 41-13 Оценка сейсмостойкости и усиление зданий существующей застройки; с дополнительными комментариями к ASCE/SEI 41-17.]

<https://www.atccouncil.org/docman/fema/300-fema-p-2006/file>



Спасибо за
ваше внимание!

