



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



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ЭКСПЕРТОВ
ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

IAEEEE

СЕЙСМОТУРУШТУУ КУРУЛУШ БОЮНЧА
ЭКСПЕРТТЕРДИН ЭЛАРАЛЫК АССОЦИАЦИЯСЫ

Оценка сейсмостойкости, проектирование и расчет школьных зданий с железобетонной каркасно-стеновой системой с учетом пластического сейсмического поведения

Светлана Бржев

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

Улугбек Бегалиев

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

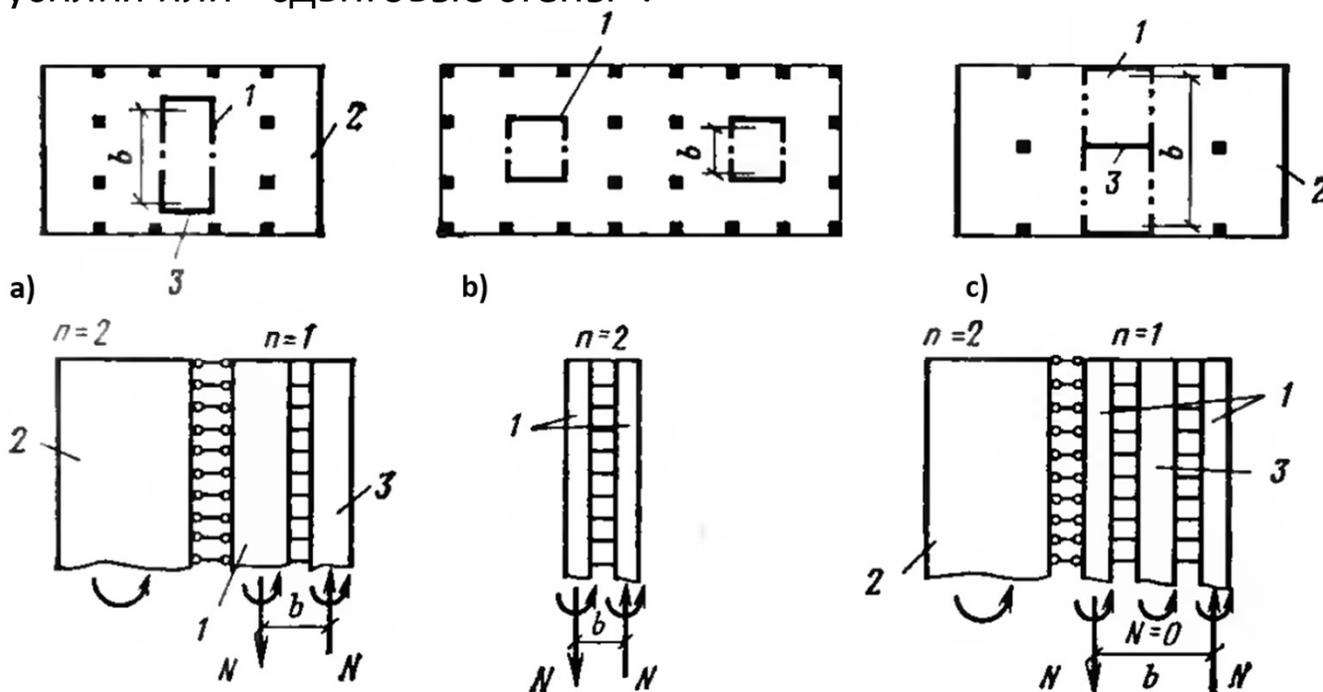
12 - апреля 2024 г.

Темы

- Каркасно-стеновая [дуальная] конструктивная система: расчетные требования согласно СН КР 20-02:2024
- Железобетонные [вертикальные] диафрагмы жесткости – введение
- Сейсмическое поведение [вертикальных] диафрагм жесткости
- Проектирование и расчет на прочность с учетом сейсмического воздействия
- Проверка пластичности
- Детали армирования
- Примеры расчета

Каркасная и каркасно-стеновая конструктивные системы

- Рамы каркаса практически не оказывают сопротивления горизонтальным перемещениям здания из-за малой несущей способности и жесткости узлов каркаса. Поэтому пространственная неизменяемость рам обеспечивается системой вертикальных элементов, которых в КР принято считать «диафрагмой жесткости», за рубежом – стены, воспринимающие сдвиговые усилия или «сдвиговые стены».



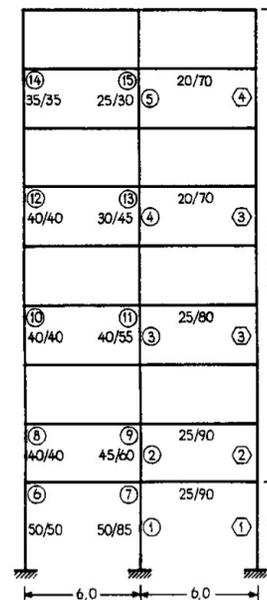
Расчет рамно-связевой системы возможно выполнять согласно «Указаниям по расчету прочности, устойчивости и деформативности зданий с диафрагмами жесткости» [Серия 1.020-1/83]

Каркасно-стеновая [дуальная] конструктивная система

А.28 Конструктивная система каркасно-стеновая

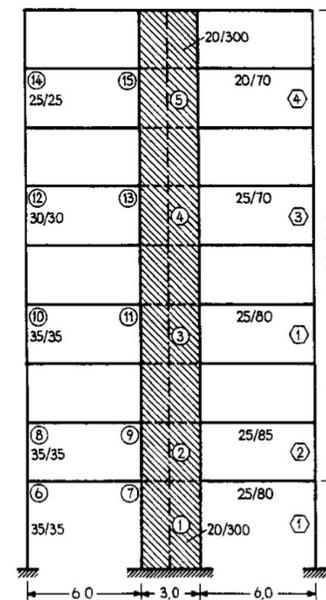
[Приложение А, СН КР 20-02:2024]: Пространственная конструктивная система в виде каркаса и несущих стен, в которой стены воспринимают и передают основанию не менее 60% вертикальных нагрузок и не менее 80% горизонтальных нагрузок.

Каркасная система



100% сейсмических сил – элементы рамы [каркаса]

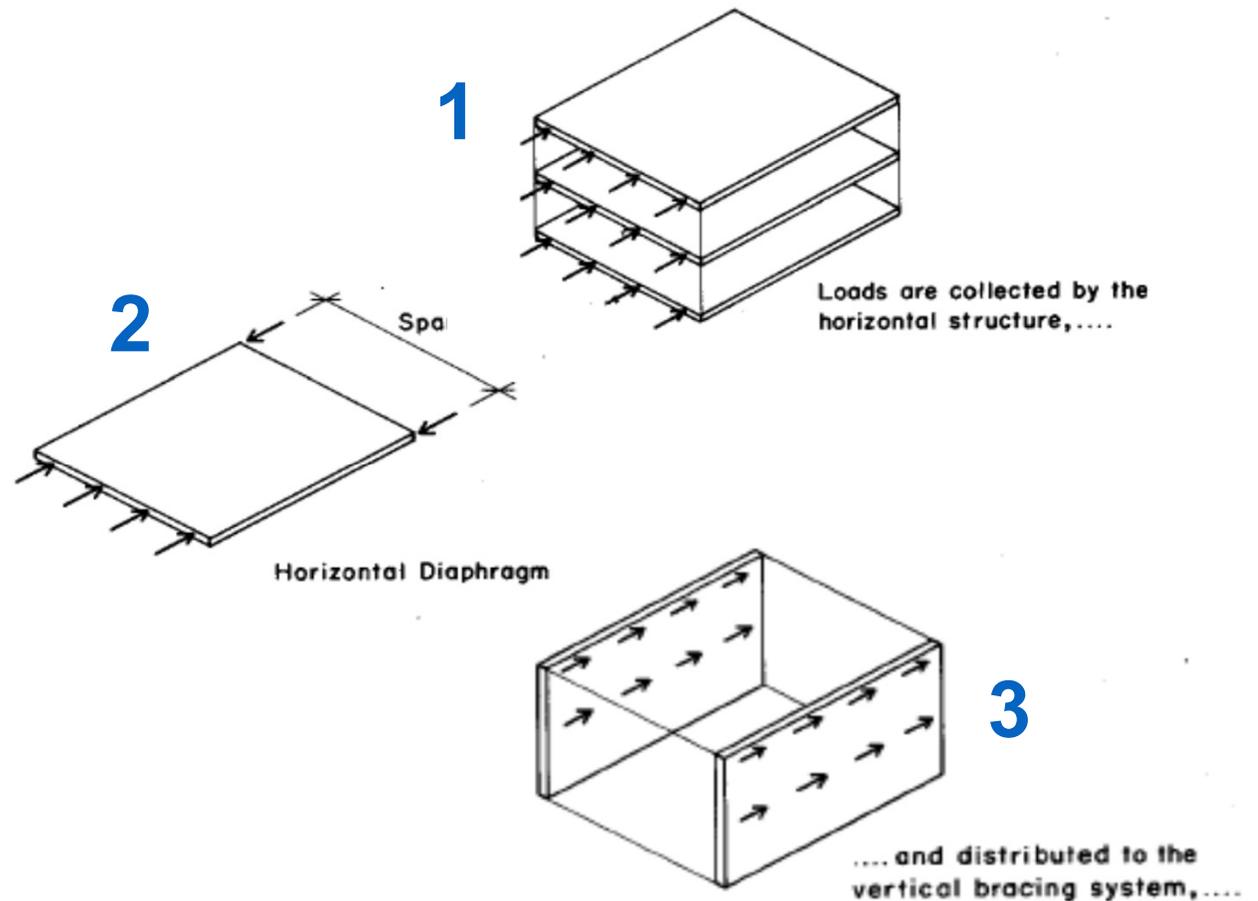
Каркасно-стеновая система



80% сейсмических сил – диафрагмы жесткости
20% сейсмических сил – элементы рамы [каркаса]

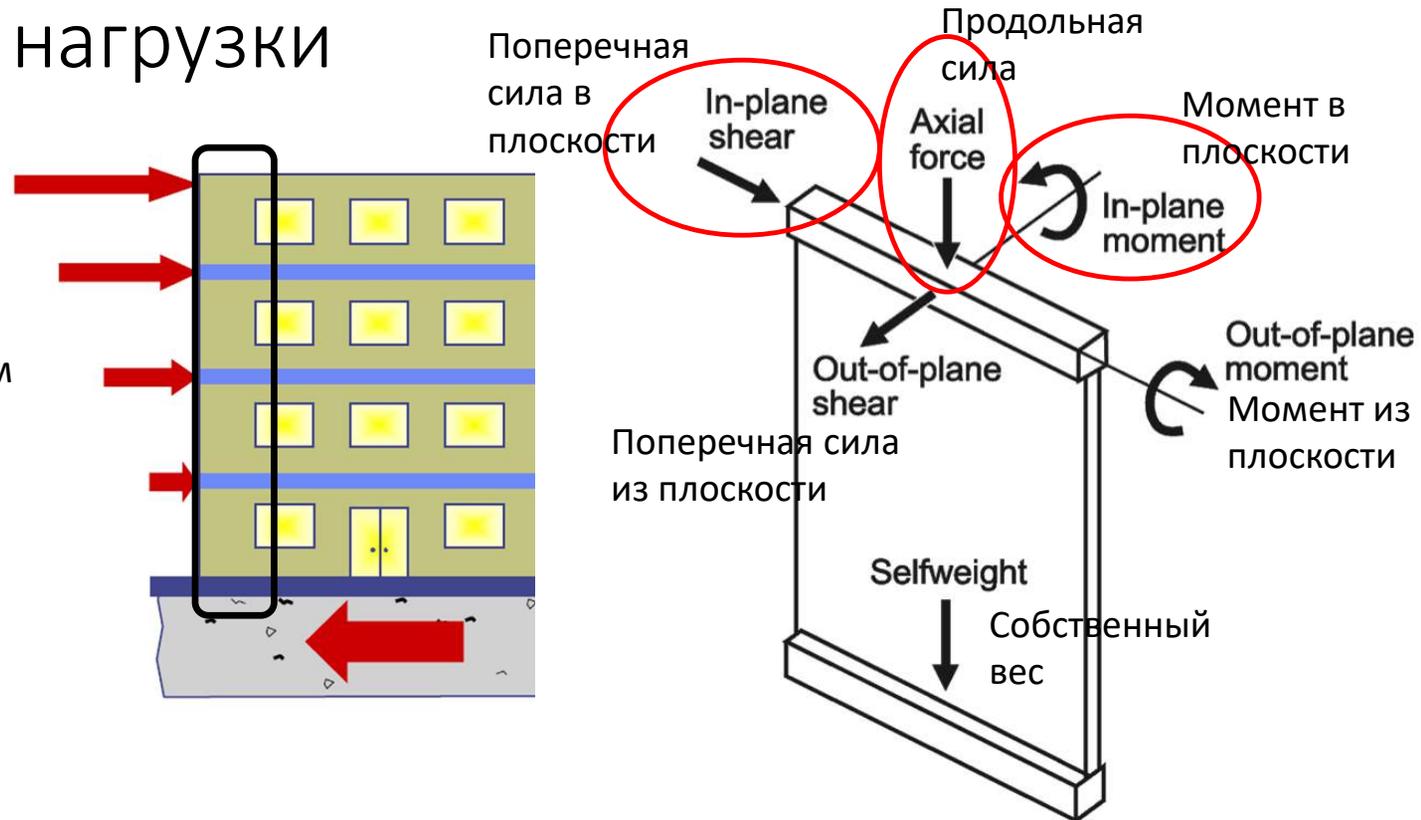
Распределение нагрузок: Как горизонтальные сейсмические силы распределяются в здании

- Горизонтальные силы распределяются от перекрытий и покрытий на диафрагмы жесткости.
- Сейсмические силы у основания диафрагм жесткости распределяются на фундаменты.



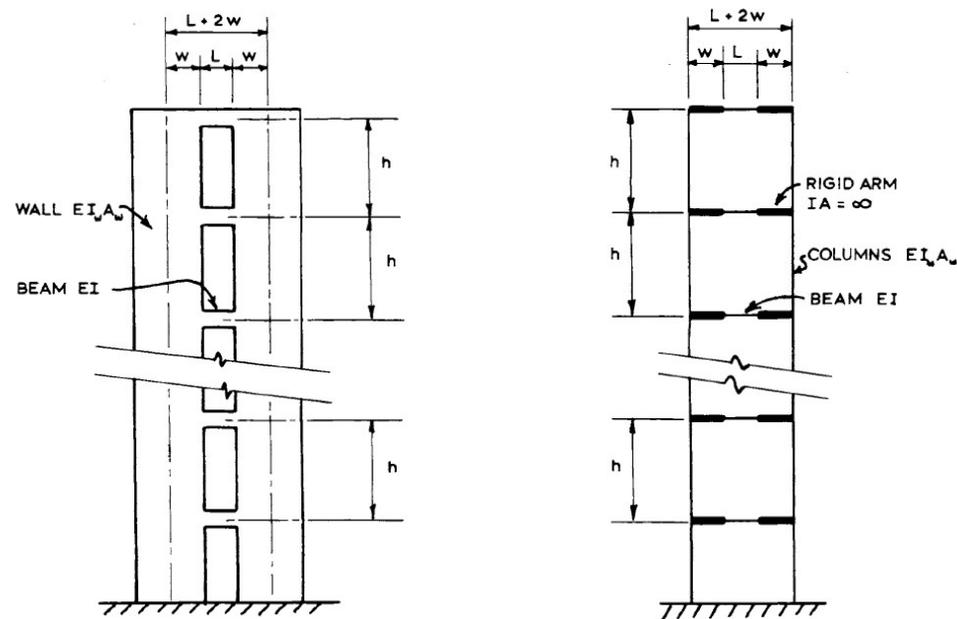
Диафрагмы жесткости: Сейсмические нагрузки

- Железобетонные [ЖБ] диафрагмы жесткости представляют собой вертикальные конструктивные элементы, которые сопротивляются горизонтальным ветровым и сейсмическим нагрузкам в плоскости стены [силам в плоскости].
- Одни и те же диафрагмы жесткости могут подвергаться воздействию сил и изгибающих моментов, перпендикулярных плоскости стены, однако подход к расчету на сейсмические воздействия различен.



Диафрагмы жесткости: плоские [пластичные] или линейные элементы

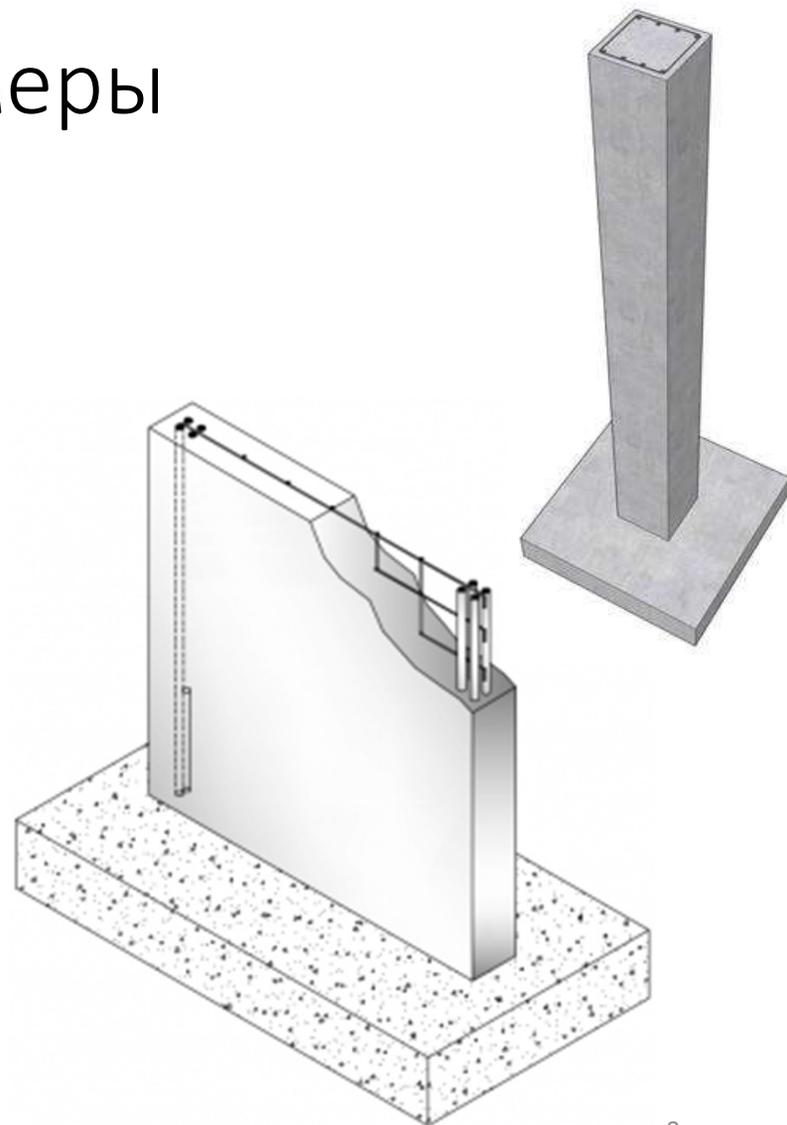
- Диафрагмы жесткости представляют собой плоские [пластичные] элементы [двухмерные 2D], однако по существу, они ведут себя как вертикальные консоли [защемленные на уровне фундамента и свободные наверху], которые подвергаются воздействиям горизонтальных сейсмических сил.
- Проектирование диафрагм жесткости аналогично проектированию линейных [1-мерных 1D] элементов, таких как железобетонные колонны и балки.



Stafford Smith (1970)

Диафрагмы жесткости: Размеры

- **Согласно СН КР 20-02:2024, (А.82)** Стена: Элемент конструктивной системы, поддерживающий другие элементы; стена должна быть непрерывная с дверными и оконными проемами. **В предыдущей версии норм проектирования - 2018* [А.77], для стены, в т.ч. для диафрагмы жесткости, требовалось соотношение длины к толщине $[l_w/b]$ равной не мене 4.0.**
- Для того чтобы диафрагма жесткости могла эффективно сопротивляться сейсмическим нагрузкам, необходимо иметь большее соотношение $[l_w/b]$ – в противном случае, диафрагма жесткости будет работать как колонна. В некоторых странах [например, в Турции], нормы проектирования по сейсмостойкому строительству предписывают минимальное соотношение $[l_w/b]$ равное 7.0.
- Длина $[l_w]$ диафрагмы жесткости существенно влияет на ее жесткость. Распределение сейсмических сил в здании зависит от относительной жесткости вертикальных конструктивных элементов [**стен и колонн**].



Ж/Б диафрагмы жесткости: Армирование

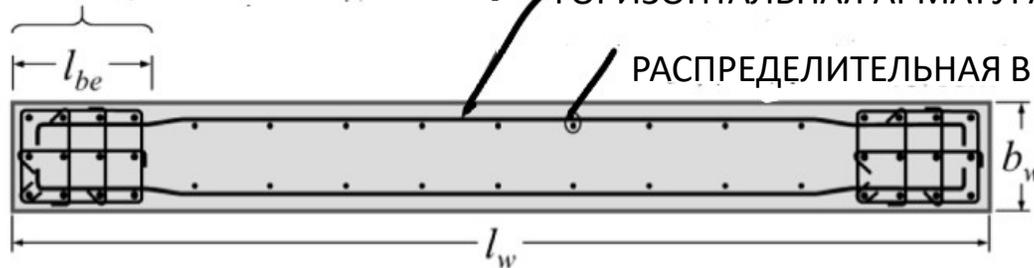
- **Вертикальная арматура** в диафрагмах жесткости сопротивляется воздействию комбинированного изгибающего момента и продольной [вертикальной] силы.
- **Сосредоточенная арматура**: некоторые вертикальные арматурные стержни сосредоточенные на концах диафрагмы жесткости [которые также называются граничными элементами], поскольку в этих местах, арматура наиболее эффективно сопротивляется изгибу.
- **Распределительная арматура**: оставшаяся вертикальная арматура, распределенная по длине диафрагмы жесткости.
- **Горизонтальная арматура** предназначена для сопротивления горизонтальным поперечным силам в диафрагме жесткости.

ГРАНИЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

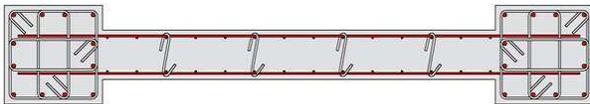
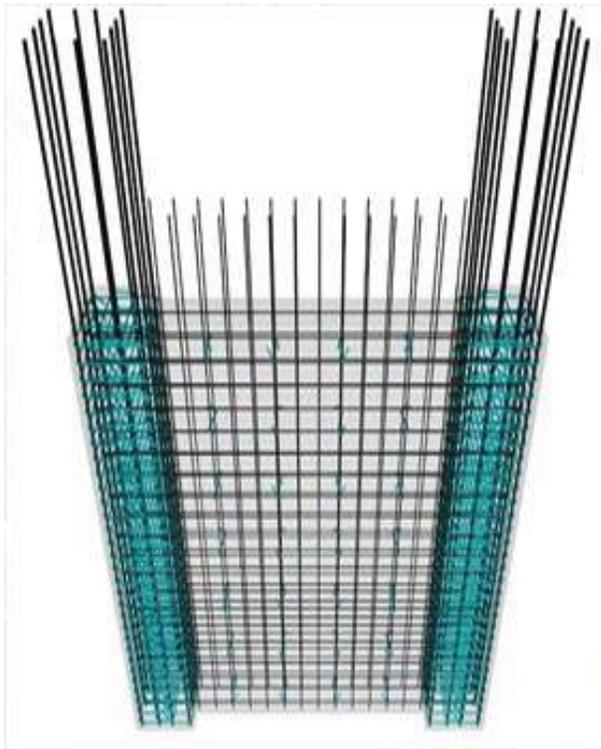
[СОСРЕДОТОЧЕННАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ АРМАТУРА]

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ АРМАТУРА

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ АРМАТУРА



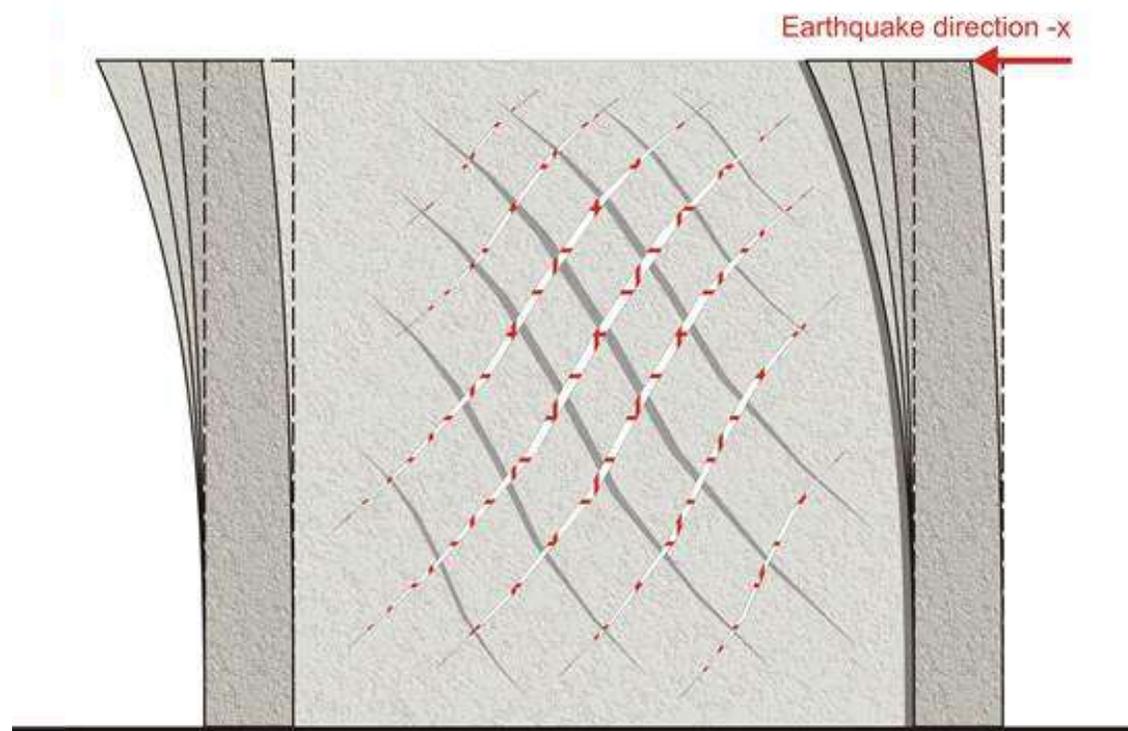
Ж/Б диафрагмы жесткости: Армирование и строительство



Сейсмическое поведение Ж/Б диафрагм

- Поведение Ж/Б диафрагм, подвергающихся сейсмической нагрузке, зависит от нескольких факторов, включая соотношение высоты и длины **диафрагмы**, **уровень осевого напряжения вертикальной нагрузки** и т.д.
- Сейсмическое поведение **диафрагм** зависит от **преобладающего компонента жесткости** – изгиба или сдвига.
- Стены с большим соотношением высоты/длины [в высотных зданиях] обычно демонстрируют **преобладающее поведение при изгибе** и **ведут себя подобно** линейным элементам [балкам и колоннам]. Диафрагмы жесткости в зданиях средней и высокой этажности обычно имеют соотношение $h_w/l_w \geq 2,0$, и их сейсмическое поведение определяется изгибом.
- В малоэтажных зданиях **преобладает поведение диафрагм жесткости при сдвиге**.

Сейсмическое поведение Ж/Б диафрагм



Горизонтальная жесткость Ж/Б диафрагм

Консольная расчетная схема

$$\Delta = \frac{Hh^3}{3E_m I} + \frac{H}{A_v G} h$$

$$A_v = \frac{5}{6} A_g$$

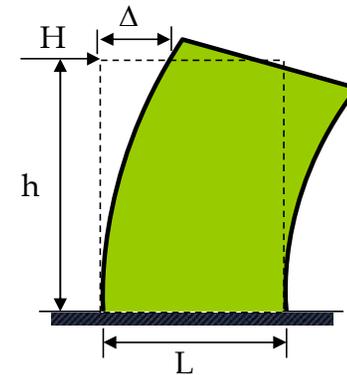
$$G = 0.4E_m$$

$$\Delta = \frac{Hh^3}{3E_m I} + \frac{1.2Hh}{A_g(0.4E_m)}$$

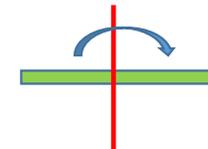
$$= \frac{4Hh^3}{E_m bL^3} + \frac{3Hh}{bLE_m}$$

$$\Delta = \frac{H}{bE_m} \left(\frac{h}{L}\right) \left[4 \left(\frac{h}{L}\right)^2 + 3 \right]$$

$$R = \frac{H}{\Delta} = \frac{bE_m}{\left(\frac{h}{L}\right) \left[4 \left(\frac{h}{L}\right)^2 + 3 \right]}$$



$$I_g = \frac{bL^3}{12}, A_g = bL$$



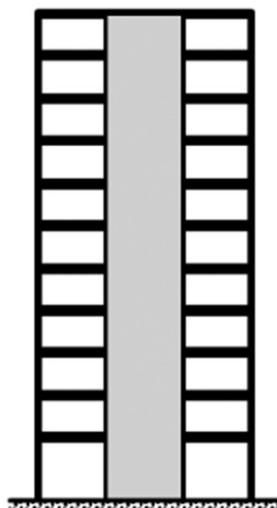
Горизонтальная жесткость Ж/Б диафрагм

- Жесткость $[R/Et]$ и соотношение высоты/длины $[h/L]$
- **Примечание: значительное уменьшение $[R/Et]$ при увеличении $[h/L]$**



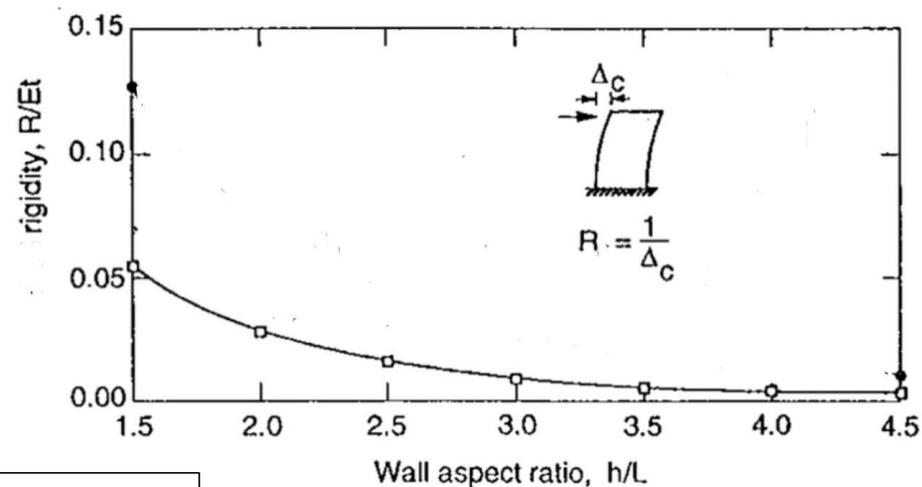
$h/L = 1.5$

Преобладающее поведение
при сдвиге



$h/L \geq 3.0$

Преобладающее поведение
при изгибе



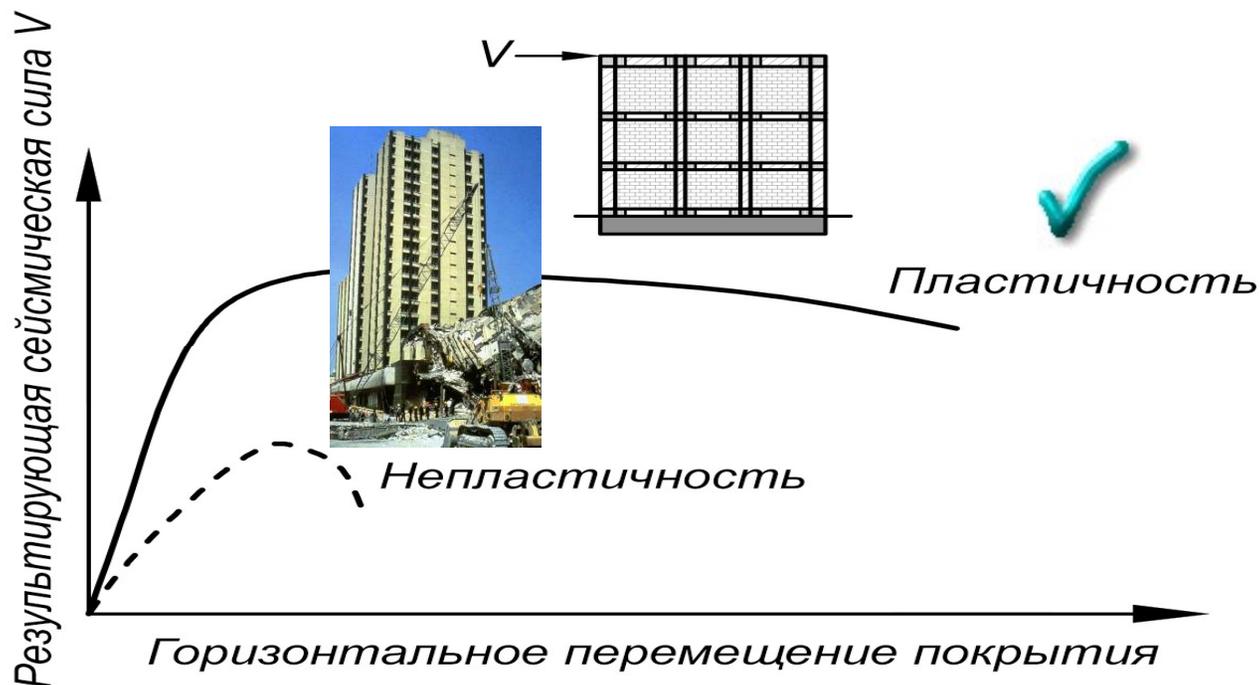
Разрушение Ж/Б диафрагм при землетрясении: пластическое или хрупкое?

- Хрупкое разрушение Ж/Б диафрагм ожидается в диафрагмах жесткости с преобладающим поведением при сдвиге.
- Пластического разрушения можно ожидать, если диафрагмы жесткости спроектированы и армированы так, чтобы воспринимать преобладающее поведение при изгибе.

Международными строительными нормами проектирования требуется пластическое поведение диафрагм жесткости при сейсмической нагрузке.

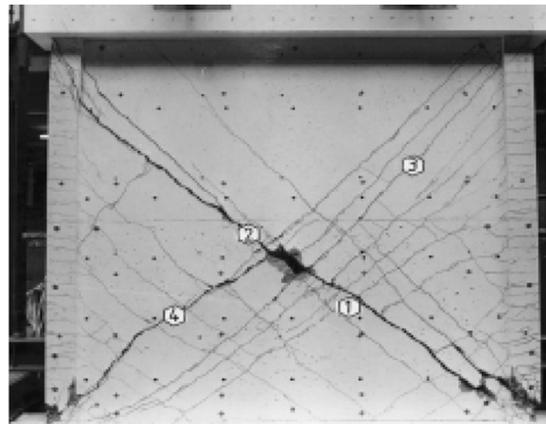
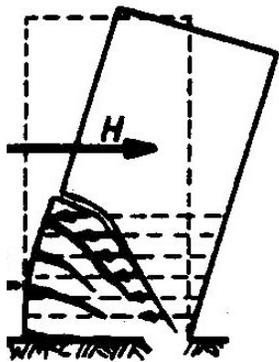
Пластическое и непластическое [упругое] сейсмическое поведение

Пластическое поведение: повреждения допустимы при сильных землетрясениях, однако необходимо избежать обрушения!



Разрушение Ж/Б диафрагм при сдвиге от сейсмической нагрузки

- Повреждения при сдвиге имеют вид наклонной [X-образной] трещины.
- Поведение при сдвиге приемлемо при наличии достаточного горизонтального армирования, однако такое поведение нежелательно.



Brittle shear failure of RC shear wall
Paulay and Priestley (1992)
Source: FEMA 307

*[Хрупкое разрушение Ж/Б
диафрагм при сдвиге,
Поли и Пристли (1992)
Источник: FEMA 307]*

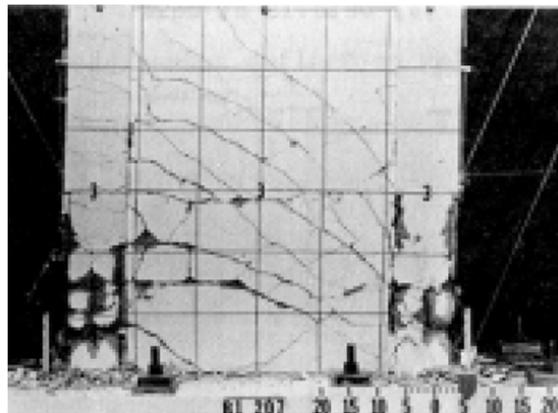
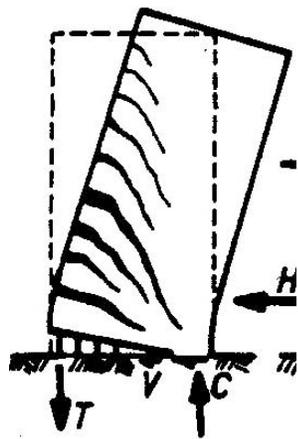
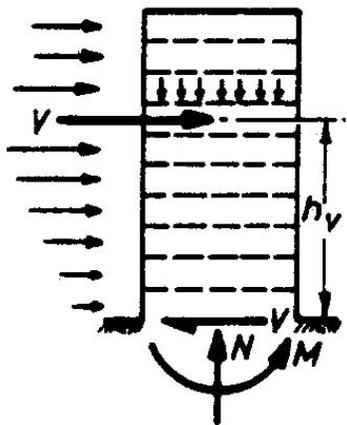
Пластическое поведение Ж/Б диафрагм при изгибе

- Податливая диафрагма жесткости сопротивляется сейсмическим силам и рассеивает энергию за счет **изгиба** в области **пластического шарнира**.
- Область пластического шарнира расположена у основания диафрагмы жесткости, где изгибающие моменты наибольшие.
- Предполагается, что область пластического шарнира будет подвержена значительным повреждениям, включая растрескивание бетона и срыва вертикальной арматуры.



Пластическое поведение Ж/Б диафрагм при изгибе: Испытания

Трещины при изгибе горизонтальны и расположены у основания диафрагмы жесткости



Ductile flexural failure
Oesterle et al. (1976)
Source: FEMA 307
[Пластическое
разрушение при изгибе
Оестерле и др. (1976)
Источник: FEMA 307]

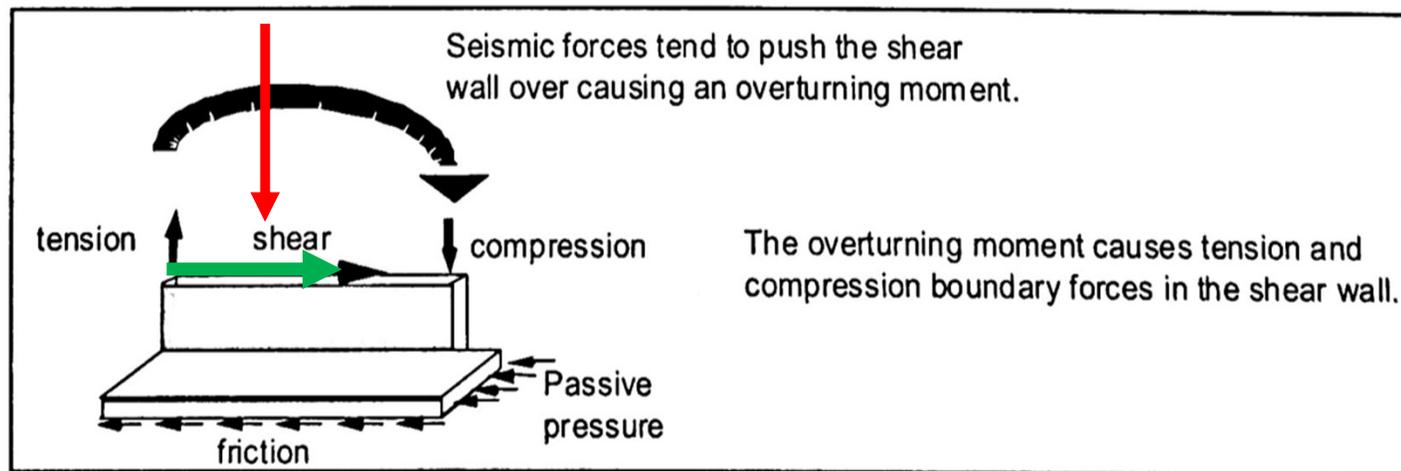
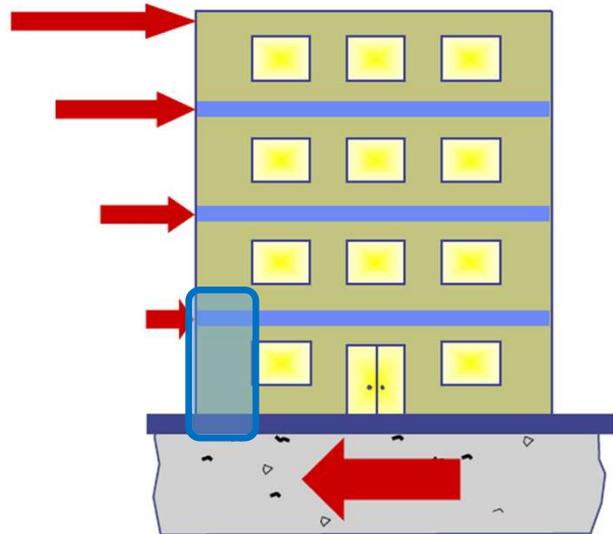
Проектирование и расчет Ж/Б диафрагм на сейсмическое воздействие: Наиболее важные соображения

- Проектирование и расчет диафрагмы жесткости на сейсмическое воздействие выполняется таким образом, чтобы ее **прочность** и **пластичность** соответствовали условиям.
- Расчет на **прочность** выполняется с учетом расчетных сил [поперечных, продольных, изгибающих моментов], а также с использованием подхода «**Capacity Design**» - **Максимальной фактической несущей способности**.
- **Проверка пластичности** основана на деформациях диафрагмы жесткости [перемещениях, кручениях] при расчетных сейсмических нагрузках.

Проектирование и расчет Ж/Б диафрагм на прочность при сейсмическом воздействии

- Расчет на прочность выполняется в соответствии с расчетным подходом «Предельных состояний» – аналогично проектированию и расчету других Ж/Б конструктивных элементов [балок и колонн].
- Основными соображениями по проектированию и расчету Ж/Б диафрагм жесткости при сейсмическом воздействии являются:
 1. Поперечная сила [сдвиг]
 2. Комбинированная продольная сила и изгиб

Сейсмические силы в Ж/Б диафрагмах

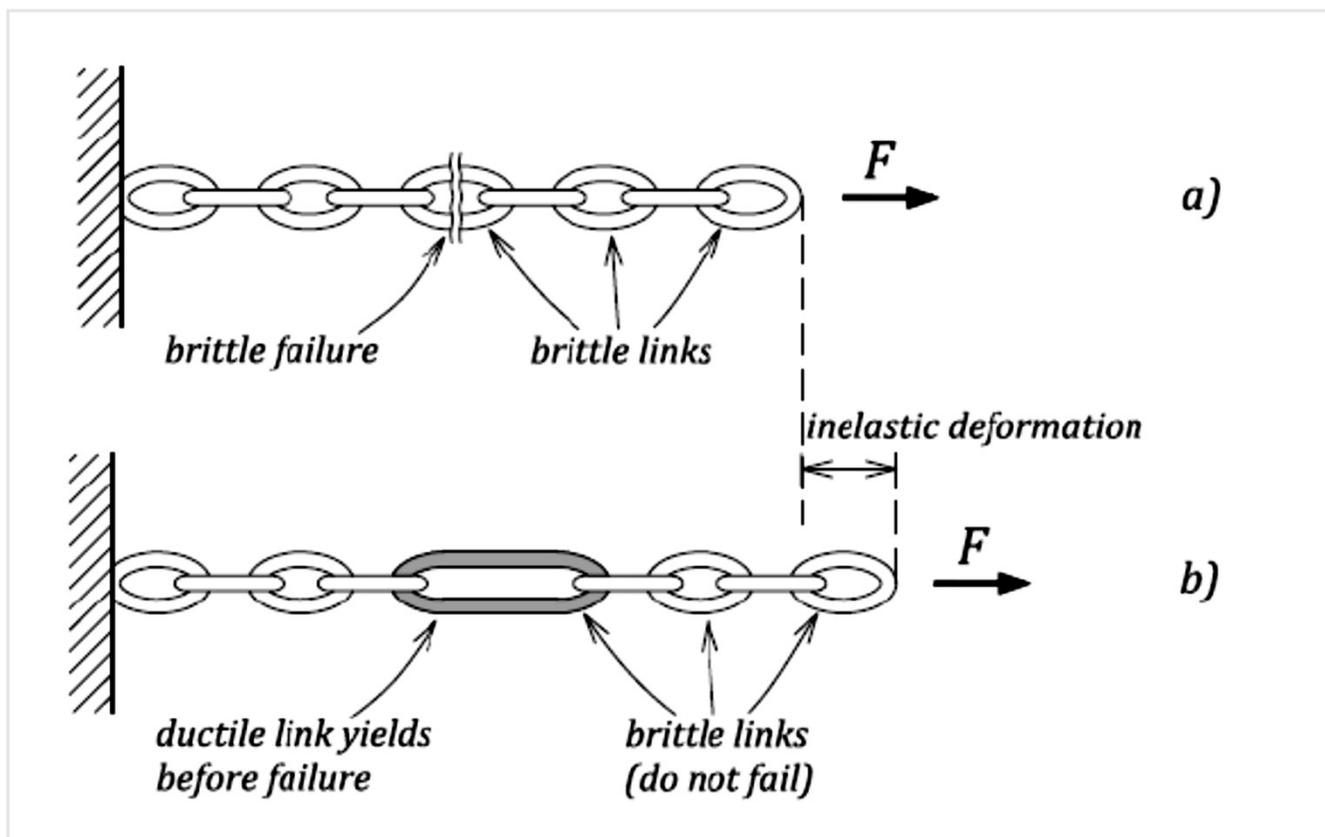


Проектирование и расчет податливой Ж/Б диафрагмы

- Подход «Capacity Design» - Максимальная фактическая несущая способность

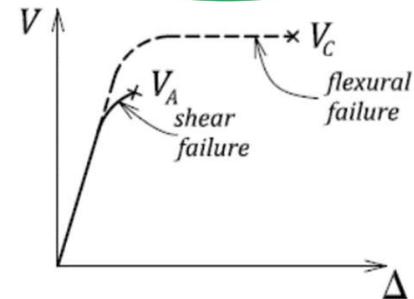
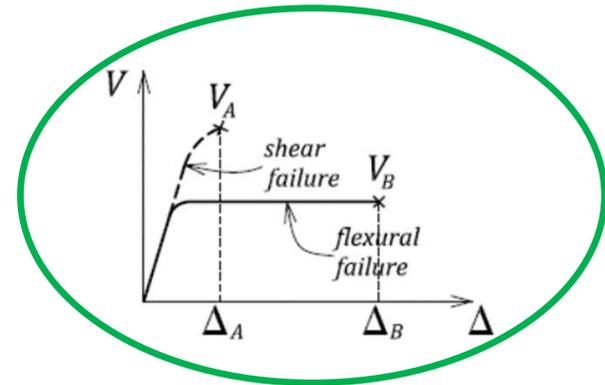
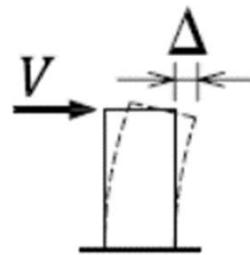
- Основная цель проектирования и расчета **податливых Ж/Б конструкций** — убедиться, что основные конструктивные элементы **будут испытывать изгиб** при сильном землетрясении.
- Разрушение при сдвиге считается хрупким, и его следует избежать.
- Податливости можно добиться, следуя подходу проектирования и расчета по «**Capacity Design**».
- Подход «**Capacity Design**» целенаправлен на проектирование и расчет конструктивного элемента с высоким **сопротивлением сдвигу** - намного выше, чем полученное с помощью стандартной процедуры проектирования и расчета конструкции с использованием ПК ЛИРА.

Подход «Capacity Design»: аналог на примере цепи



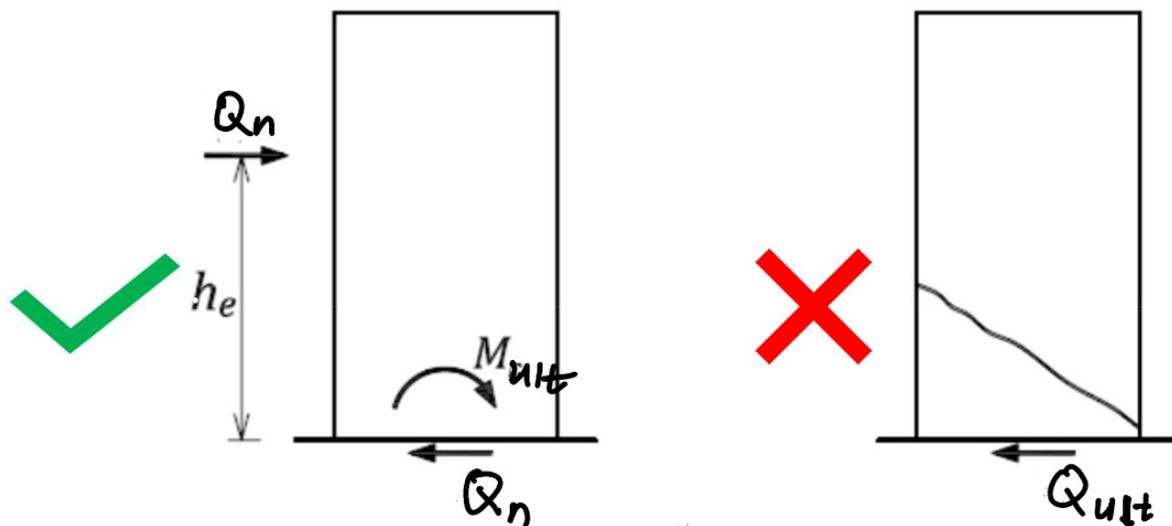
Подход «Capacity Design»: избежать разрушения при сдвиге

- Цель состоит в том, чтобы спроектировать и рассчитать диафрагму жесткости «более слабой» на изгиб, чтобы разработать механизм разрушения при изгибе.
- В результате, при проектировании и расчете потребуются более высокая прочность на сдвиг, большее количество горизонтальной арматуры, чем по стандартному проектированию и расчету.



Brzev and Anderson (2018)
[Бржев и Андерсон (2018)]

Подход «Capacity Design»: как определить расчетную [предельную] поперечную силу Q_{ult}



Важно:

$$Q_n \leq Q_{ult}$$

Q_{ult} = расчетная
[предельная] поперечная
сила !

Разрушение при изгибе может начаться, когда M_{ult} [с номинальной/нормативной прочностью стали и бетона] появится у основания диафрагмы жесткости.
Разрушение при изгибе приемлемо
=> Диафрагма жесткости должна быть «**слабее**» при изгибе!

Следует избежать разрушения при сдвиге.
=> **Диафрагма жесткости должна быть «прочнее» при сдвиге!**

Подход «Capacity Design»: как определить поперечную силу Q_n соответствующую механизму разрушения при изгибе

- Поперечная сила Q_n определяется от предельного изгибающего момента M_{ult}
$$Q_n = M_{ult} / h_e$$
- Предполагается, что сила Q_n действует на эффективной высоте h_e от основания диафрагмы жесткости.
- Эффективная высота h_e - это расстояние от основания диафрагмы жесткости до **результатирующей сейсмических сил**, действующих на диафрагму жесткости на разных уровнях перекрытия.
- Предполагается, что сейсмические силы распределены по высоте диафрагмы жесткости в виде треугольника [максимальные силы наверху, минимальные у основания].
- В результате h_e можно определить по общей высоте диафрагмы жесткости следующим образом:
$$h_e = (2/3) * h_w$$



Расчетная поперечная сила по Ж/Б диафрагмам

Предельная поперечная сила (Q_{ult}) по Ж/Б диафрагмам жесткости должна быть больше или равна

- 1) Расчетной поперечной силе (Q), полученной в результате расчета на сейсмические воздействия (ПК ЛИРА), и
- 2) Поперечной силе (Q_n), соответствующей предельному изгибающему моменту (M_{ult}) **для сечения диафрагмы жесткости, предполагая номинальную/нормативную прочность материала [бетона и стали].**

Процедура расчета на поперечную силу по Ж/Б диафрагмам

Предельная поперечная сила (Q_{ult}) для сечения диафрагмы жесткости равна совокупному сопротивлению бетона (Q_b) и стали (Q_{sw}).

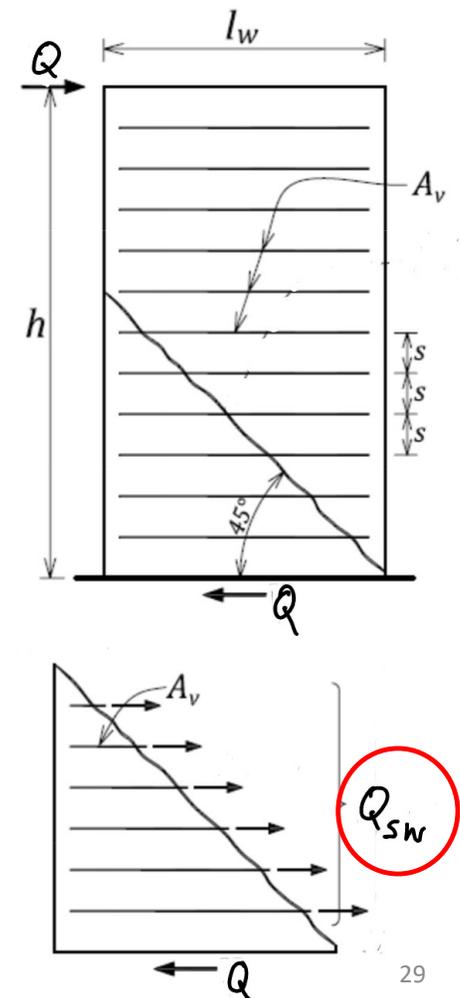
$$Q_{ult} = Q_b + Q_{sw}$$

✓ ✓ ?

Примечание: Q_{ult} определяется на основе подхода «Capacity Design», Q_b может быть определена на основе размеров диафрагмы жесткости и свойств материала.

Горизонтальная поперечная арматура [размер и шаг] определяется по Q_{sw} .

$$Q_{sw} = Q_{ult} - Q_b$$



Расчет диафрагм на комбинированную продольную силу и изгиб

- Примерная процедура «ручного» расчета **предельного изгибающего момента сопротивления M_{ult}** для поперечного сечения диафрагмы жесткости

Предположения:

- Продольная сила N известна [получена из расчета и анализа по ПК ЛИРА].
- Размеры диафрагмы жесткости [длина l_w и толщина b] известны
- Вертикальная арматура для диафрагмы жесткости известна
- **Текущность стали поддается как растяжению, так и сжатию [напряжение R_s].**

Расчет на комбинированную продольную силу и изгиб: Введение

Поперечное сечение диафрагмы жесткости, внутренние усилия и напряжения

Растянутая арматура:

A_{s1} и A_{s2}

Сжатая арматура:

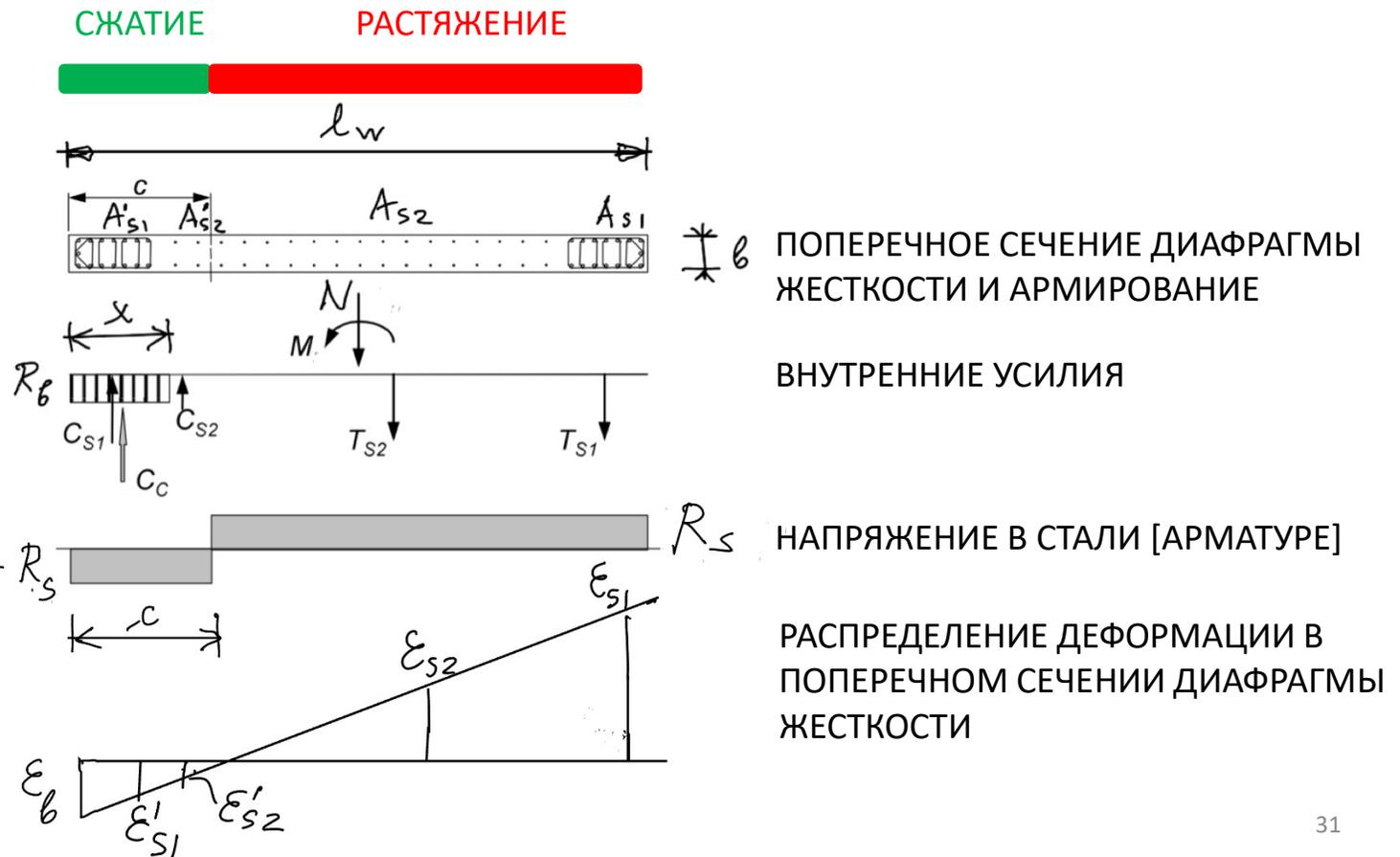
A'_{s1} и A'_{s2}

R_b и R_s = Расчетные
напряжения в бетоне и стали
[арматуре]

c = глубина нейтральной оси

x = глубина блока
эквивалентного напряжения
[бетон]

$\varepsilon_b = 0.0035$
деформация максимального
сжатия в бетоне



Момент сопротивления на комбинированную продольную силу и изгиб: Итерационная расчетная процедура [1/3]

Предполагается, что часть сечения диафрагмы жесткости - зеленым цветом, находится под сжатием, а оставшаяся часть [красным цветом] - под растяжением.

Внутренние усилия:

- Сила сжатия в бетоне:

$$C_c = R_b * x * b$$

- Сила сжатия в сосредоточенной арматуре [граничный элемент]:

$$C_{s1} = R_s * A'_{s1}$$

- Сила сжатия в распределительной арматуре:

$$C_{s2} = R_s * A'_{s2}$$

- Сила растяжения в распределительной арматуре:

$$T_{s2} = R_s * A_{s2}$$

- Сила растяжения в сосредоточенной арматуре [граничный элемент]:

$$T_{s1} = R_s * A_{s1}$$

Примечание: при проектировании и расчете, также учитывается приложенная продольная сила N [основанная на сочетании вертикальной и сейсмической нагрузки].

Момент сопротивления на комбинированную продольную силу и изгиб: Итерационная расчетная процедура [2/3]

Итерационная процедура оценки **момента сопротивления** диафрагм жесткости, **подвергающихся** комбинированной продольной силе и изгибу – этапы:

1. Предполагается первая итерация глубины нейтральной оси c .

$$c = 0.3l_w$$

2. Проводится расчет внутренних усилий в вертикальной арматуре. Используется отрицательный знак [-] для сил сжатия и положительный знак [+] для сил растяжения.

3. Проводится расчет внутренних усилий в бетоне на основе **уравнения равновесия**

$$C_c = N + T_{S1} + T_{S2} - C_{S1} - C_{S2}$$

4. Рассчитывается x .

$$x = C_c / (R_b * b)$$

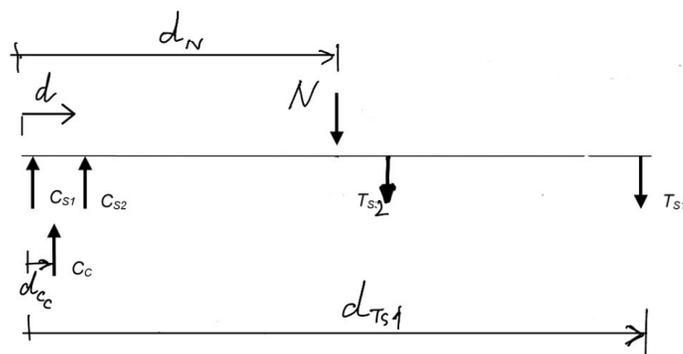
5. Рассчитывается c .

$$c = x / 0.8$$

6. Сравниваются значения c , рассчитанные по шагу 5 и шагу 1. Если разница превышает 5%, процедура повторяется, принимая новое значение c — используется значение, рассчитанное по шагу 5.

Момент сопротивления на комбинированную продольную силу и изгиб: Итерационная расчетная процедура [3/3]

Внутренние усилия для расчета **момента сопротивления** M_{ult}



Проводиться расчет внутренних усилия в бетоне на основе **уравнения равновесия**

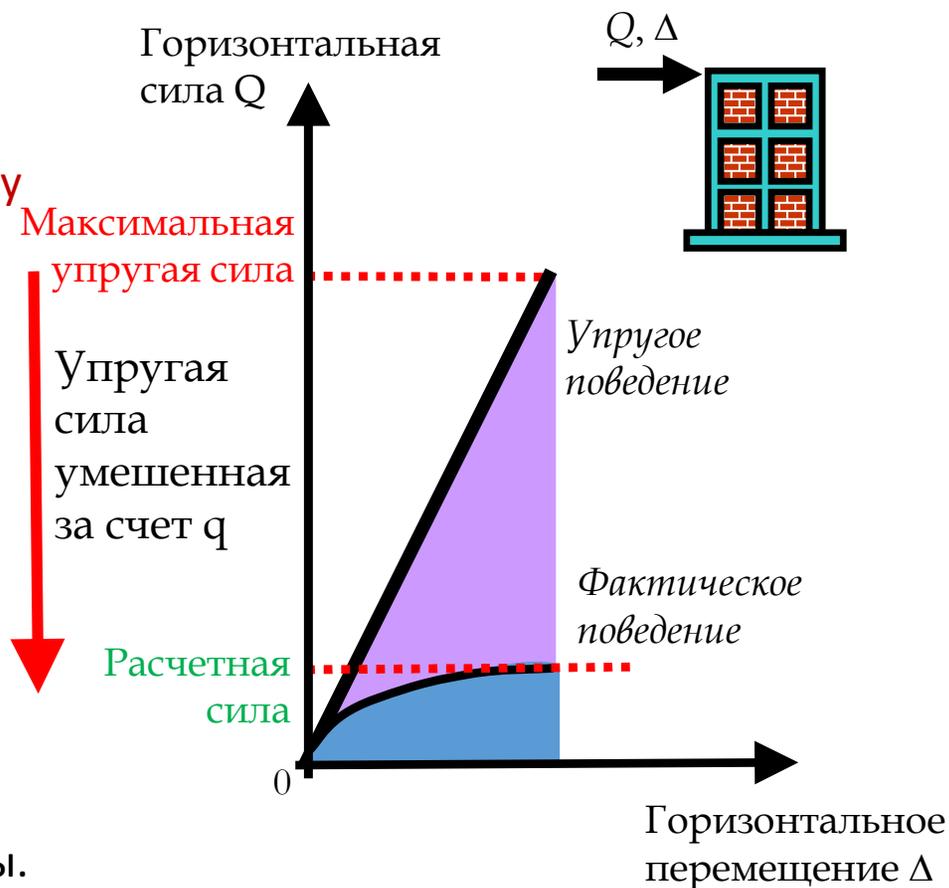
$$M_{ult} = N \times d_N + T_{s1} \times d_{ts1} + T_{s2} \times d_{ts2} - C_{s1} \times d_{cs1} - C_{s2} \times d_{cs2} - C_c \times d_{cc}$$

Пример расчета будет представлен во второй части лекции.

Проверка пластичности Ж/Б диафрагмы: для чего необходима?

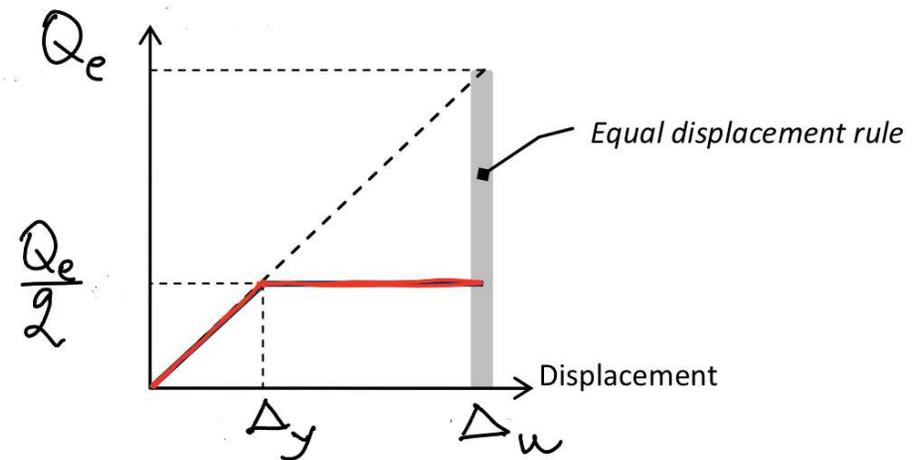
Цель проверки пластичности - доказать, что диафрагма жесткости имеет пластичность, соответствующую предполагаемому коэффициенту пластичности (q).

Перемещения, полученные в результате расчета и анализа по ПК ЛИРА, являются **упругими перемещениями**. Фактические перемещения больше, поскольку одно из **допущений проектирования и расчета на сейсмическое воздействие** заключается в том, что **сейсмические силы уменьшаются за счет коэффициента поведения (q)**, чтобы принять во внимание ожидаемую пластичность конструктивной системы.



Проверка пластичности Ж/Б диафрагмы: расчет полных перемещений

- Упругое перемещение, полученное в результате расчета и анализа по ПК ЛИРА (Δ_y), необходимо умножить на коэффициент поведения (q), чтобы получить полное перемещение (Δ_u).
- Это называется «**Принципом равного перемещения**».

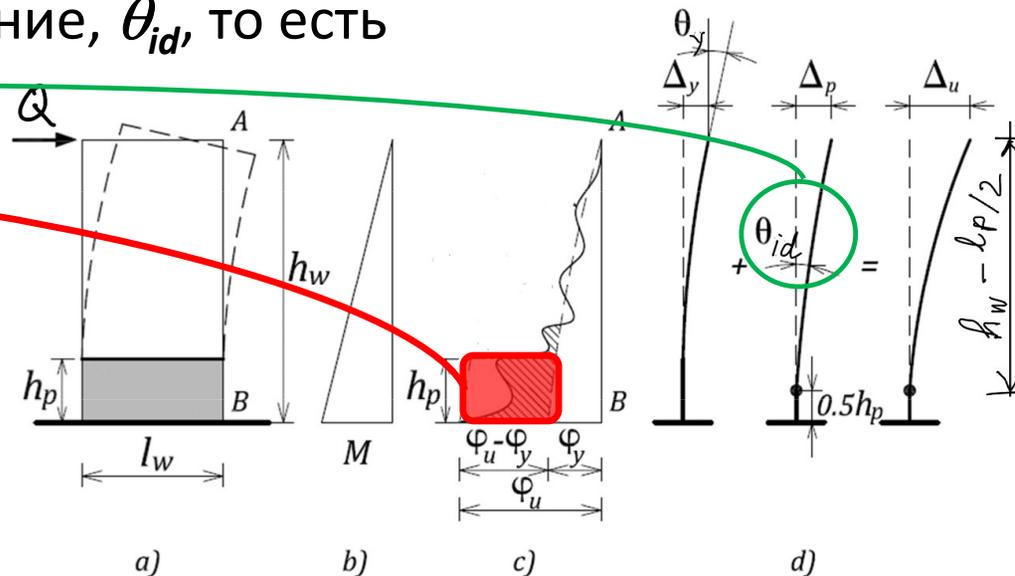


$$\Delta_u = q * \Delta_y$$

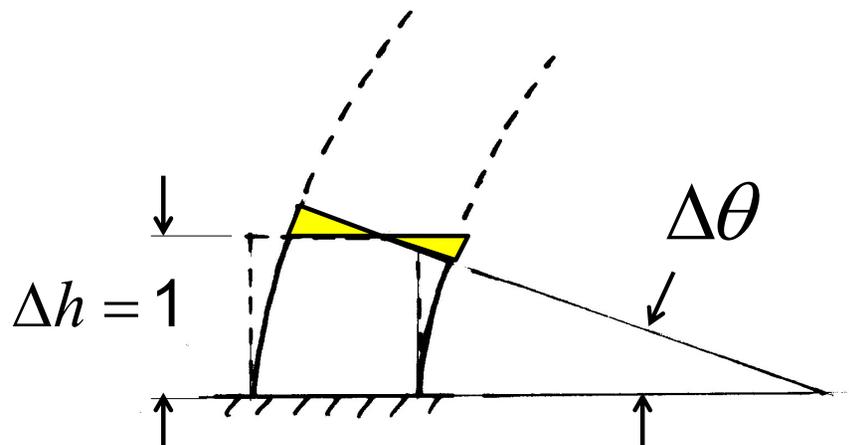
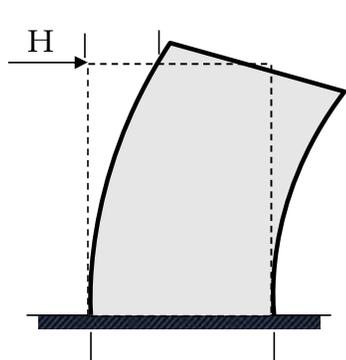
Проверка пластичности Ж/Б диафрагм: предлагаемый подход

- Проверка пластичности основана на перемещениях (Δ), кручениях (θ), и **кривизне** (φ).
- По проверке пластичности следует доказать, что неупругая крутильная способность пластического шарнира больше, чем его неупругое расчетное кручение, θ_{id} , то есть

$$\theta_{ic} \geq \theta_{id}$$

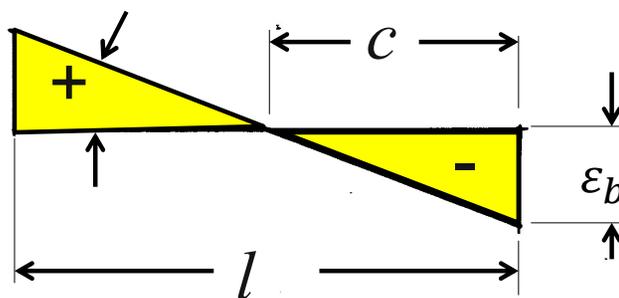


Кривизна сечения диафрагмы жесткости – объяснения



КРУЧЕНИЕ θ ДЕФОРМИРОВАННОЙ
ДИАФРАГМЫ ЖЕСТКОСТИ У
ОСНОВАНИЯ

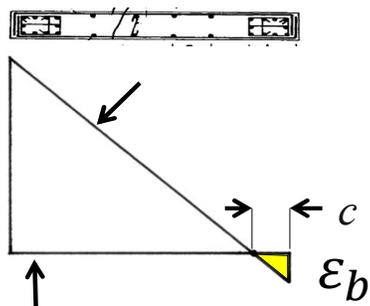
$$\varphi = \Delta \theta / \Delta h = \varepsilon_b / c$$



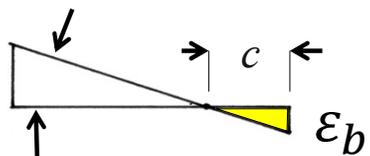
СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ
КРИВИЗНОЙ φ КРУЧЕНИЕМ θ

Кривизна увеличивается при увеличении сейсмической нагрузки во время землетрясения

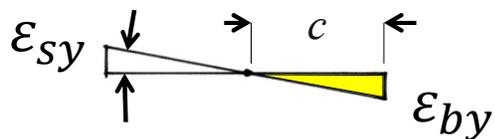
$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_b}{c}$$



Предельная кривизна =
максимальное значение



$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{by}}{l_w} \approx \frac{0.004}{l_w}$$

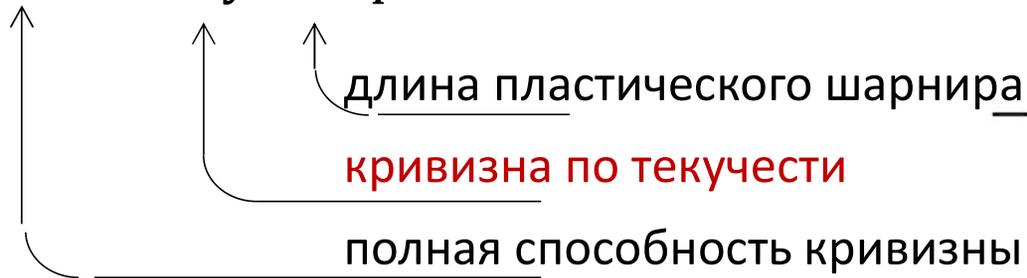


Кривизна по текучести =
минимальное значение

Способность кручения сечения Ж/Б диафрагмы θ_{ic}

КРУЧЕНИЕ θ = ИНТЕГРАЛ КРИВИЗНЫ ПО ДЛИНЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО ШАРНИРА h_p

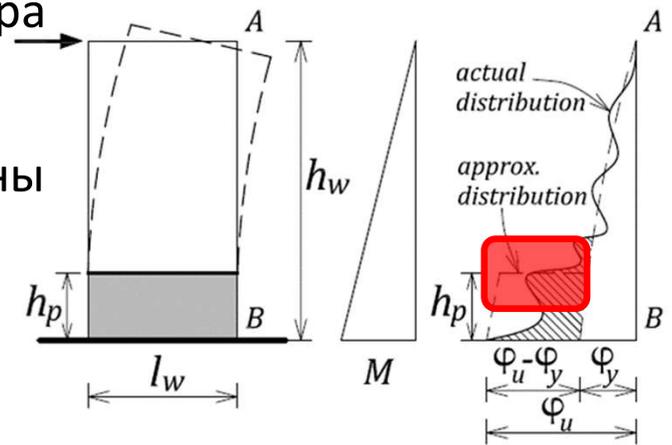
$$\theta_{ic} = (\varphi_u - \varphi_y) h_p$$



$$\theta_{ic} = \left(\frac{\varepsilon_b}{c} - \frac{\varepsilon_{sy} + \varepsilon_{by}}{\ell_w} \right) \frac{\ell_w}{2}$$

$$\theta_{ic} = \left(\frac{\varepsilon_b \ell_w}{2c} - 0.002 \right) \leq 0.025$$

ФИНАЛЬНАЯ ФОРМУЛА



Предположение: $h_p = \frac{\ell_w}{2}$

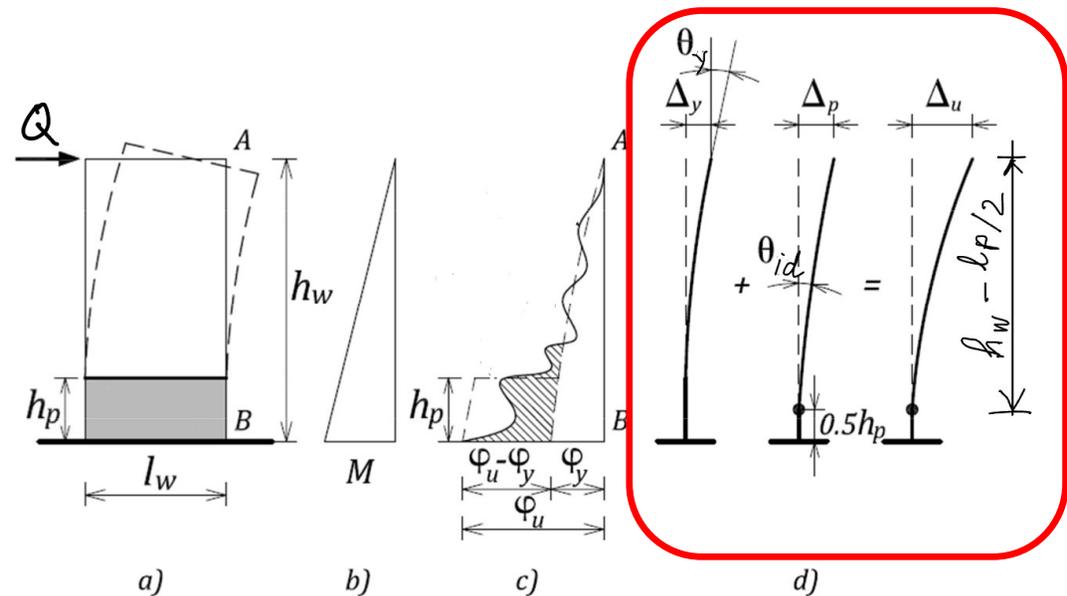
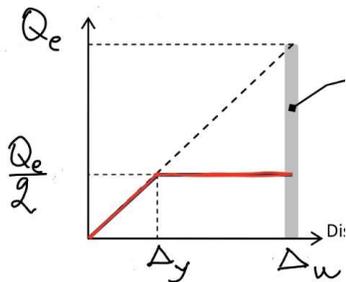
Неупругое расчетное кручение θ_{id}

Следует провести проверку пластичности, чтобы доказать **неупругое кручение**

$$\theta_{id} = \frac{(\Delta_u - \Delta_y)}{\left(h_w - \frac{l_w}{2}\right)} \geq 0.004$$

Полное перемещение $\Delta_u = q * \Delta_y$

Перемещение по текучести Δ_y



Проверка пластичности Ж/Б диафрагмы: вывод

В итоге, необходимо показать что

$$\theta_{ic} \geq \theta_{id}$$

Если проверка на пластичность не удовлетворена, необходимо изменить размеры диафрагмы жесткости [длину или толщину] или количество вертикальной арматуры.

Армирование в Ж/Б диафрагмах жесткости

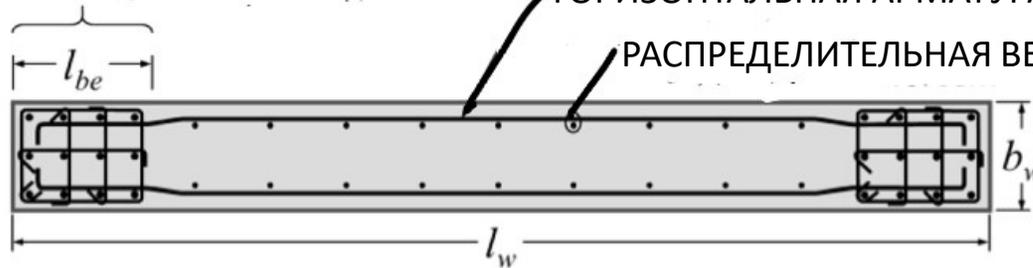
- **Вертикальная арматура** в диафрагмах жесткости **воспринимает** воздействие комбинированного изгибающего момента и продольной [вертикальной] силы.
 - **Сосредоточенная арматура**: некоторые вертикальные арматурные стержни сосредоточенные на концах диафрагмы жесткости [которые также называются граничными элементами], поскольку в этих местах, арматура наиболее эффективно сопротивляется изгибу.
 - **Распределительная арматура**: оставшаяся вертикальная арматура распределенная по длине диафрагмы жесткости.
- **Горизонтальная арматура** предназначена для сопротивления горизонтальным поперечным силам в диафрагме жесткости.

ГРАНИЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

[СОСРЕДОТОЧЕННАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ АРМАТУРА]

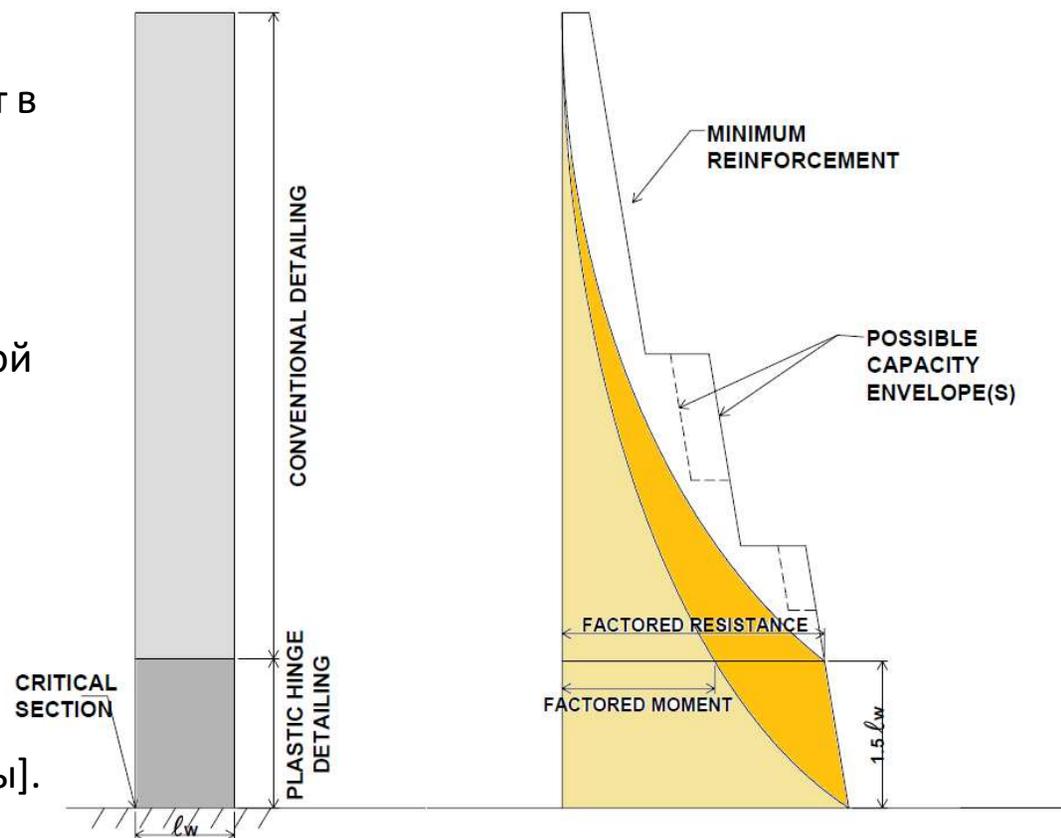
ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ АРМАТУРА

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ АРМАТУРА

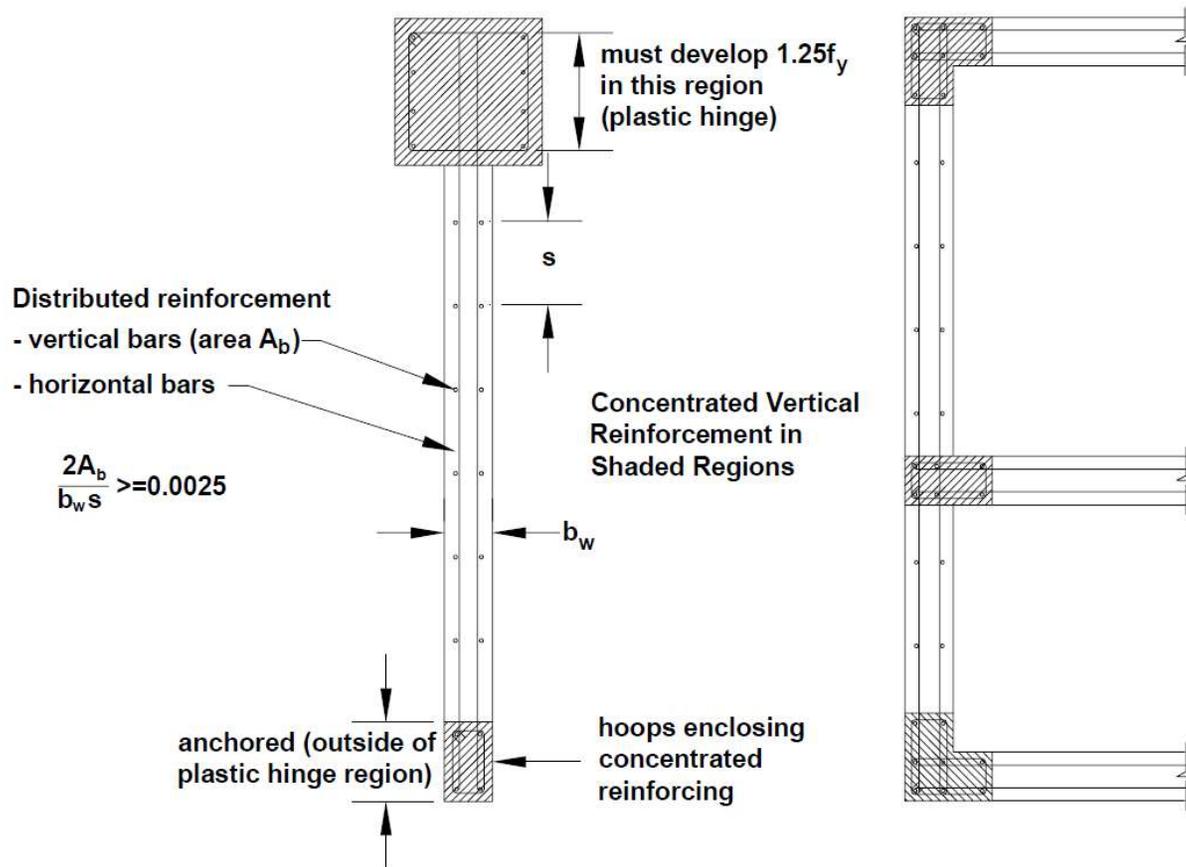


Распределение изгибающего момента в Ж/Б диафрагмах жесткости

- Максимальные изгибающие моменты возникают в зоне пластического шарнира.
- Международные нормы проектирования по сейсмостойкому строительству требуют различной детализации армирования внутри области пластического шарнира и за ее пределами.
- За пределами области пластического шарнира, возможно уменьшить количество вертикальной арматуры [поскольку изгибающие моменты малы].



Пример требований по армированию Ж/Б диафрагм жесткости: Канадский стандарт проектирования для железобетонных конструкций [CSA A23.3-14]



Пример требований по армированию Ж/Б диафрагм жесткости: Канадский стандарт проектирования для железобетонных конструкций [CSA A23.3-14]

	Plastic Hinge	Other Region
Distributed reinforcement		
Amount	$\rho \geq 0.0025$	$\rho \geq 0.0025$
Spacing	≤ 300 mm	≤ 450 mm
Tying	Buckling prevention ties, Clause 21.6.6.9	Column ties, Clause 7.6.5
Horizontal reinforcement anchorage	Develop $1.25 f_y$ within region of concentrated reinforcement	extend into region of concentrated reinforcement
Concentrated reinforcement		
Where required	at ends of walls and coupling beams, corners, and junctions	at ends of walls and coupling beams
Amount* (at least 4 bars)	$A_s \geq 0.0015 b_w l_w$ $A_s \leq 0.06 \times$ area of concentrated reinforcement region	$A_s \geq 0.001 b_w l_w$ $A_s \leq 0.06 \times$ area of concentrated reinforcement region
Hoop requirements	must satisfy Clauses 7.6 and 21.6.6.9	hoop spacing according to Clause 7.6
Splice requirements	$1.5 l_d$ and not more than 50% at the same location. Unless lap length less than $\frac{1}{4}$ storey height lap alternate floors	$1.5 l_d$ and 100% at the same location.

Полезные ссылки

1. NIST GCR 11-917-11REV-1 (2012). Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Special Structural Walls and Coupling Beams: Руководство для практикующих инженеров, Jack P. Moehle, Tony Ghodsi, John D. Hooper, David C. Fields, Rajnikanth Gedhada
<https://www.nist.gov/publications/nehrrp-seismic-design-technical-brief-no-6-seismic-design-cast-place-concrete-special>
2. ACI 318-14 (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
3. CSA A23.3-14 (2014). Design of Concrete Standards. Canadian Standards Association, Mississauga, ON, Canada.

Спасибо за
ваше внимание!

