



# ***Предложения к расчетному анализу и защите крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения***

Академик РААСН, д.т.н., профессор В.И. Колчунов  
Советник РААСН, д.т.н., профессор С.Г. Емельянов  
Советник РААСН, к.т.н., доцент Е.В. Осовских



# Постановка проблемы и задач исследования



## Существующая нормативная база:

-Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"

-ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований.

-Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий, М., 1999.

-МДС 20-2.2008. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного обрушения. / ФГУП «НИЦ «Строительство». — М.: ОАО «ЦПП», 2008

-СТО – 008 – 02495342 – 2009 Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. М., 2009



# Общий вид локального разрушения крупнопанельного здания при взрыве газо-воздушной смеси





# Общий вид прогрессирующего обрушения крупнопанельного здания при особых воздействиях

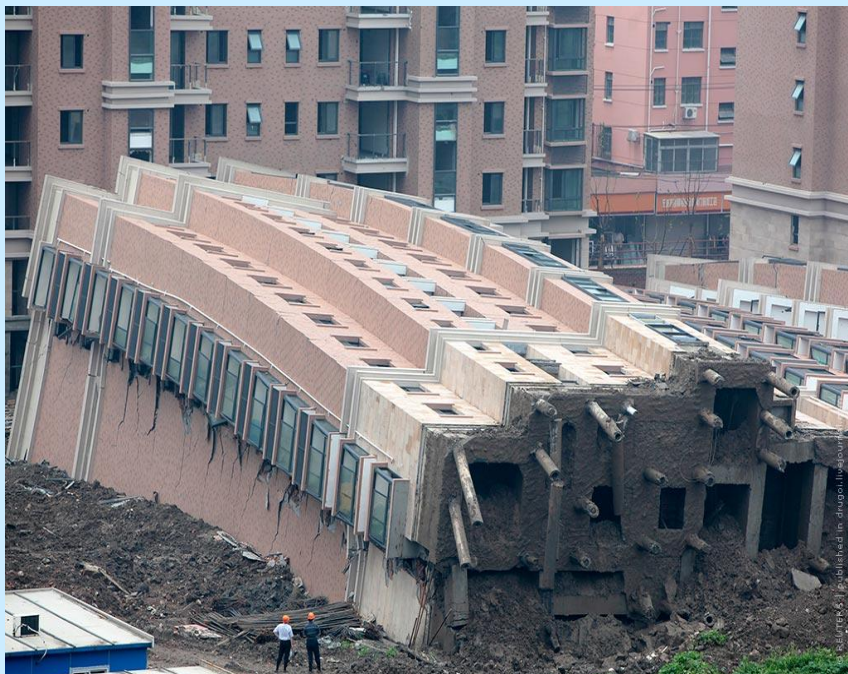
*г. Астрахань*



*г. Владивосток*



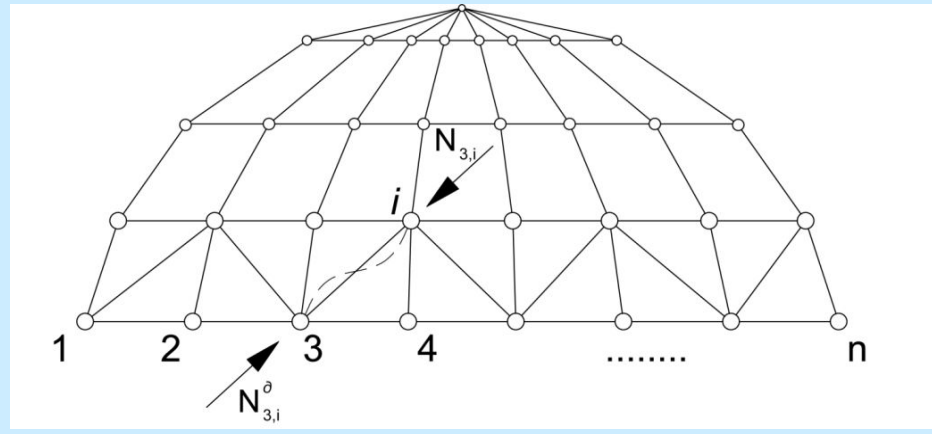
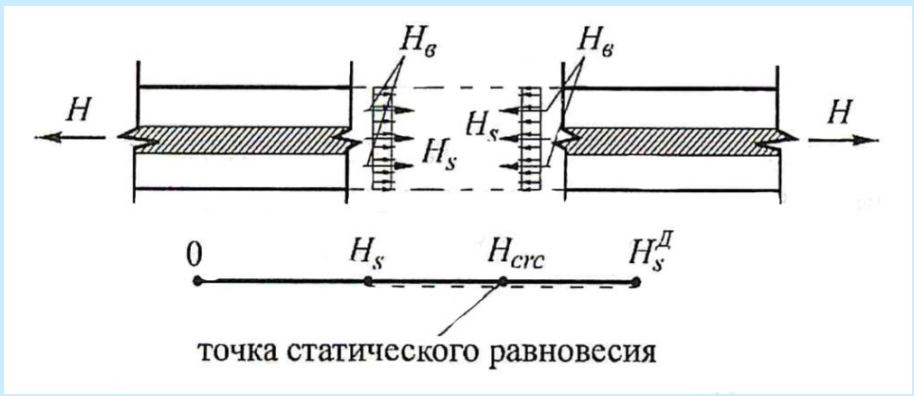
# Общий вид обрушения каркасного здания в результате оползня в г. Шанхай, КНР



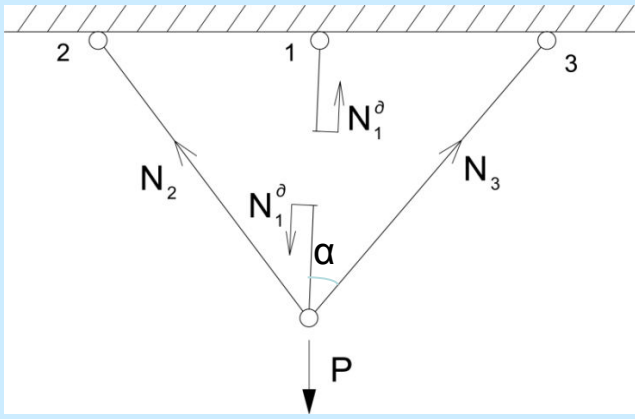




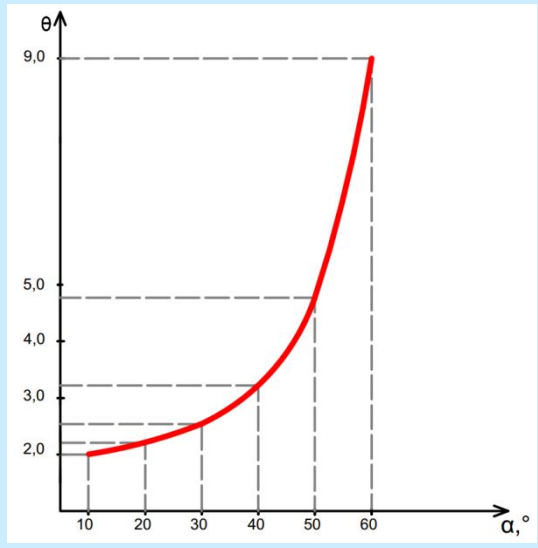
# Примеры внезапного изменения внутренних свойств конструктивной системы



$$H_s^D = H_s + 2H_b$$



$$N_1^D = 2N_1$$





# Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при особых воздействиях



- Традиционные решения задач конструктивной безопасности – метод предельных состояний ;
- Учет силовых, средовых и особых воздействий ;
- Методы расчетного анализа при внезапном выключении одного из несущих элементов
- Кинематический метод предельного равновесия;
- Статический метод предельного равновесия ;
- Моделирование кинетики неравномерных процессов и нормирование параметра живучести в режиме «медленного» и «быстрого» времени;
- Исследование специфики построения расчетных моделей и подготовки методов расчета при особых воздействиях.



# Основные определения



**«Живучесть»** - способность конструктивной системы распределять нагрузку между остальными элементами в случае повреждения или ослабления одного из элементов (коррозия, внезапное выключение лишних связей статически неопределимых систем).

**«Прогрессирующее обрушение»** - последовательное разрушение несущих конструкций здания (сооружения) обусловленное начальным локальным повреждением отдельных несущих конструктивных элементов и приводящее к обрушению всего здания или его значительной части. (СТО-008-02495342-2009)

**«Экспозиция живучести»** - При неравновесной постановке задачи (наложение во времени деформаций ползучести коррозионных повреждений) продолжительной сохранения потенциала живучести строительной системы во времени разрушительным воздействием агрессивной среды с выключением из системы конструктивных элементов ответственных за геометрическую неизменяемость сооружения.





# Цель и задачи исследования



**Цель исследования:** проведение экспериментальных и аналитических исследований направленных на систематизацию и обоснование правил и принципов проектирования конструктивных систем в виде крупнопанельных зданий из железобетона, обеспечивающих механическую безопасность как характеристику недопустимого риска и исключение прогрессирующего разрушения таких объектов в условиях чрезвычайных ситуаций.

**Задачи исследования:**

1. Обобщение и систематизация накопленных новых знаний о деформировании и разрушении физически и конструктивно-нелинейных несущих систем зданий и сооружений в предельных и запредельных состояниях.
2. Экспериментальная проверка деформирования и разрушения статически неопределимых элементов составных конструкций и фрагментов конструктивных систем в предельных и запредельных состояниях.
3. Определение нормируемых параметров для расчетного анализа прогрессирующего конструктивно и физически нелинейных несущих конструктивных систем зданий и сооружений при внезапном выключении одного из элементов.
4. Разработка методики расчетного анализа прогрессирующего разрушения конструктивных и физически нелинейных конструкций и систем зданий при внезапном выключении одного из элементов.

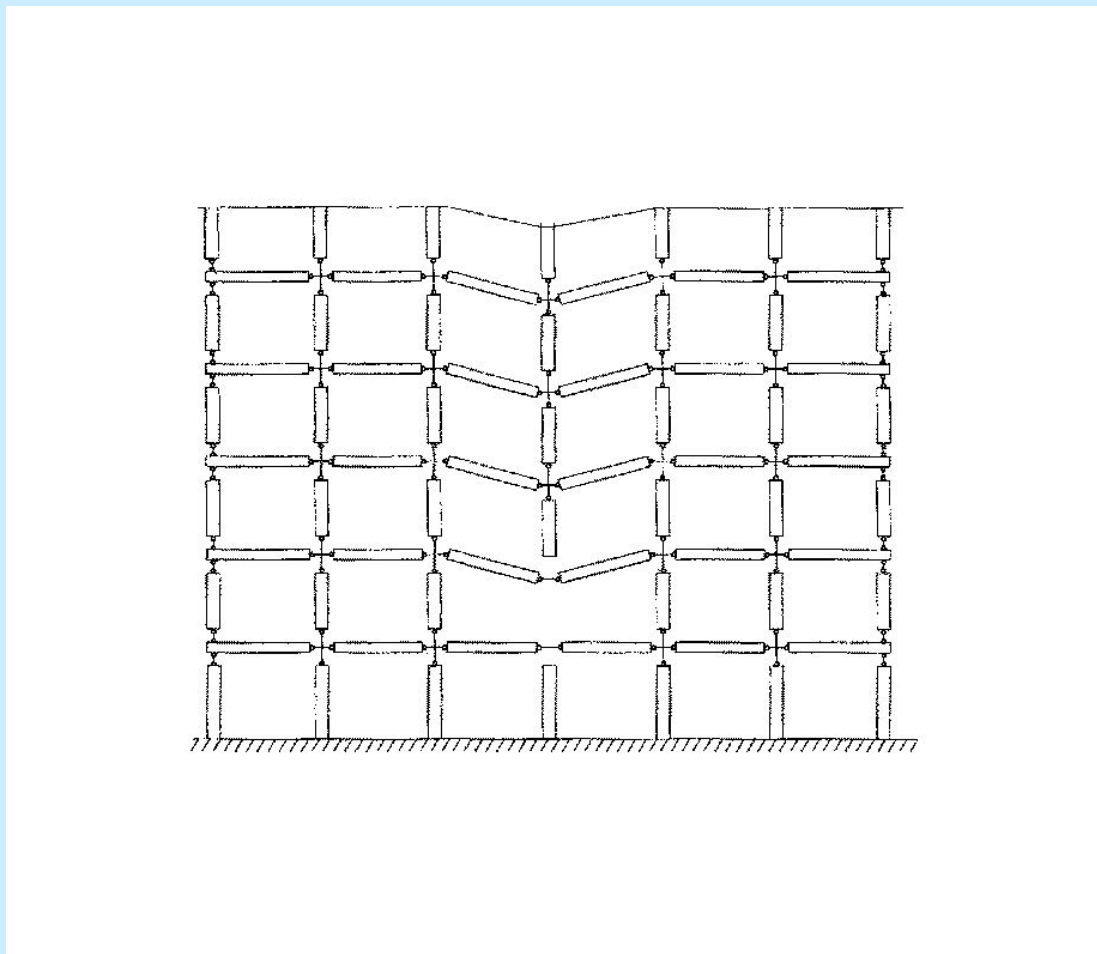


## **Результаты систематизации и анализа данных о деформировании и разрушении физически и конструктивно-нелинейных несущих систем зданий и сооружений**

1. Несущая система жилых зданий должна быть устойчива к прогрессирующему (лавинообразному) обрушению. В случае локального разрушения отдельных конструкций при аварийных воздействиях (взрыв бытового газа, пожар и т.п.) конструктивная система должна обладать способностью «перераспределить» существующие напряжения между сохранившимися конструкциями, даже если изначально они не были несущими.
2. Допускаются локальные разрушения отдельных несущих конструкций, но эти первичные разрушения не должны приводить к обрушению соседних конструкций, на которые передается нагрузка, воспринимавшаяся ранее элементами, поврежденными в результате аварийного воздействия.
3. Устойчивость к прогрессирующему обрушению проверяется расчетом на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций. Коэффициенты надежности по нагрузкам следует принимать равными единице.

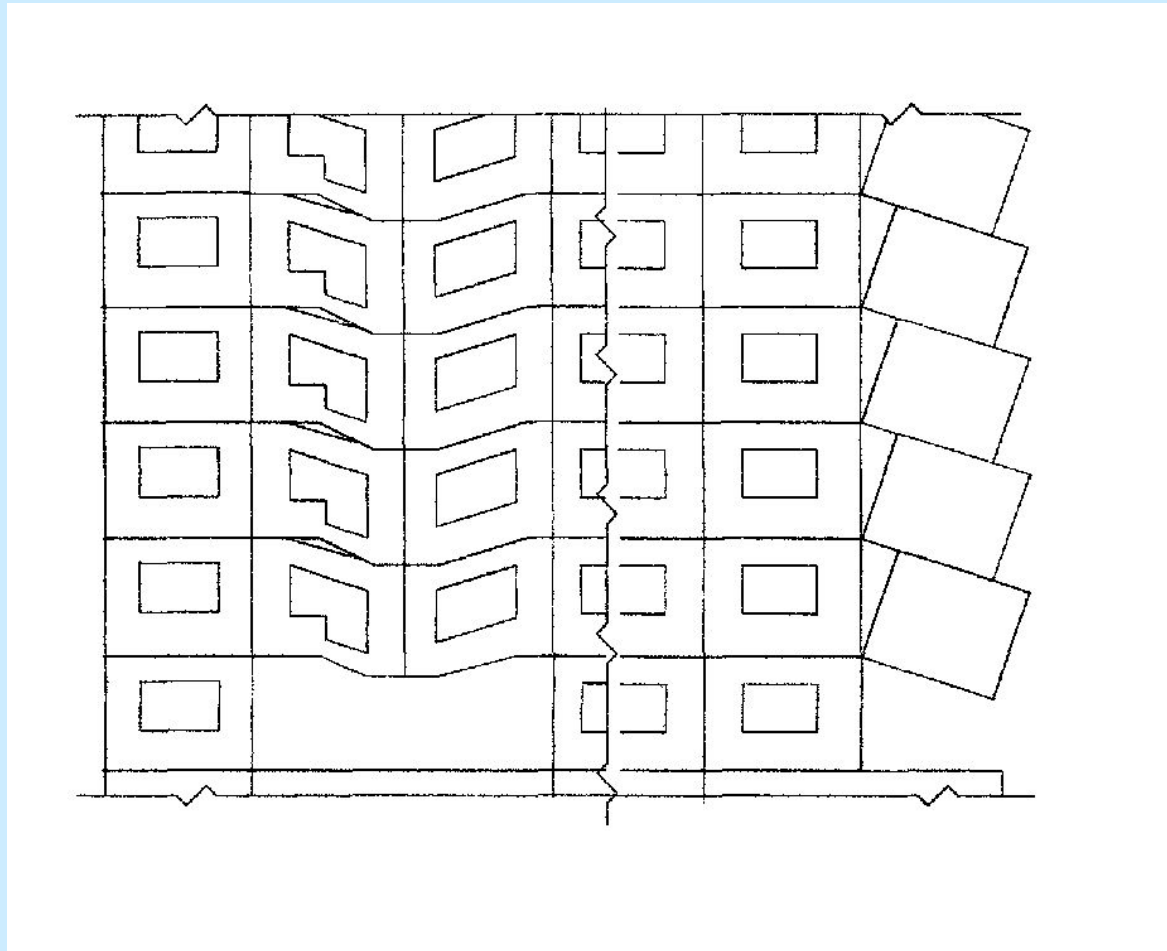


# Схема деформирования плит перекрытия как элементов висячей системы





## Схема деформирования элементов наружных стен крупнопанельного здания





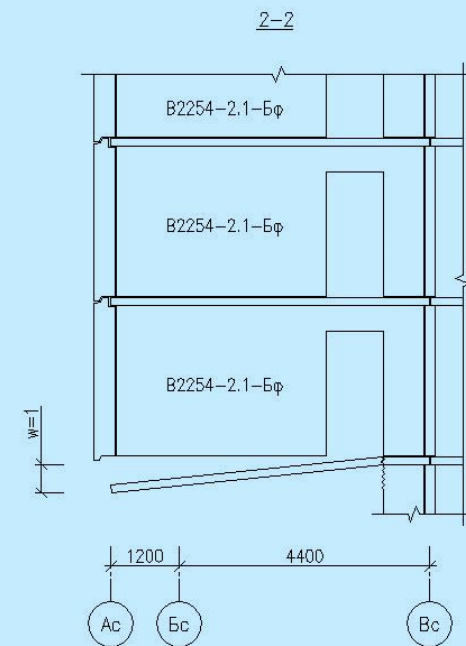
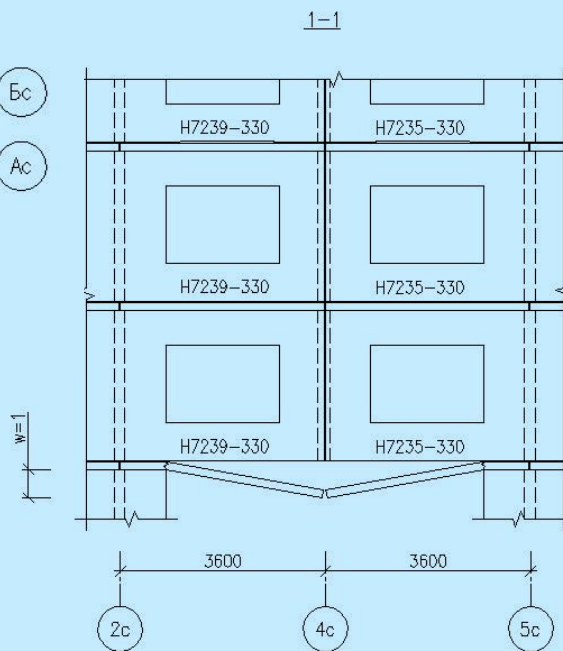
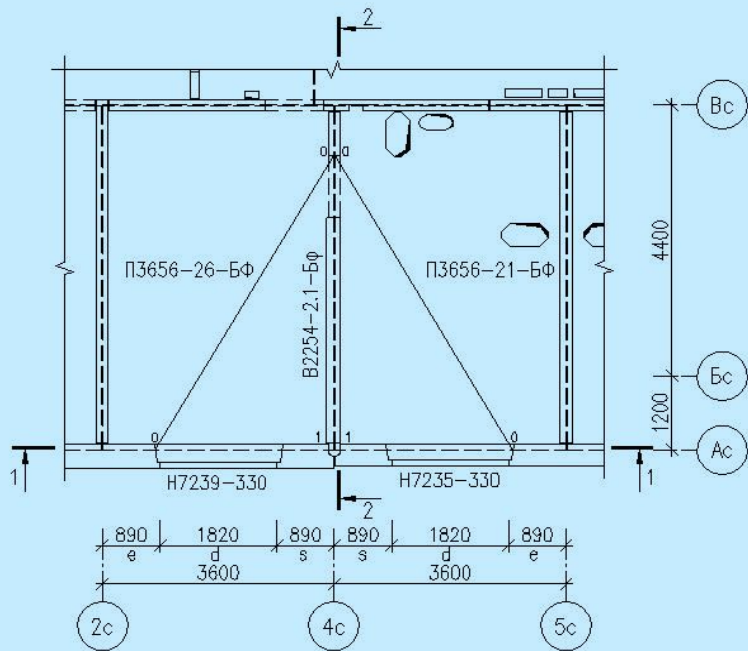




# Наиболее вероятные механизмы прогрессирующего разрушения конструкций многоэтажного здания



## Третий тип обрушения

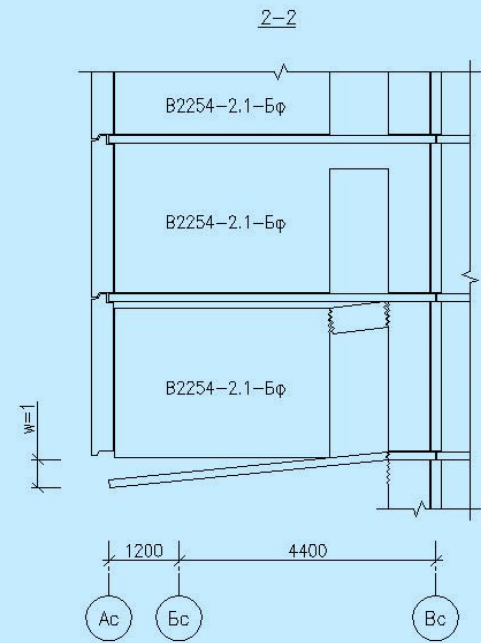
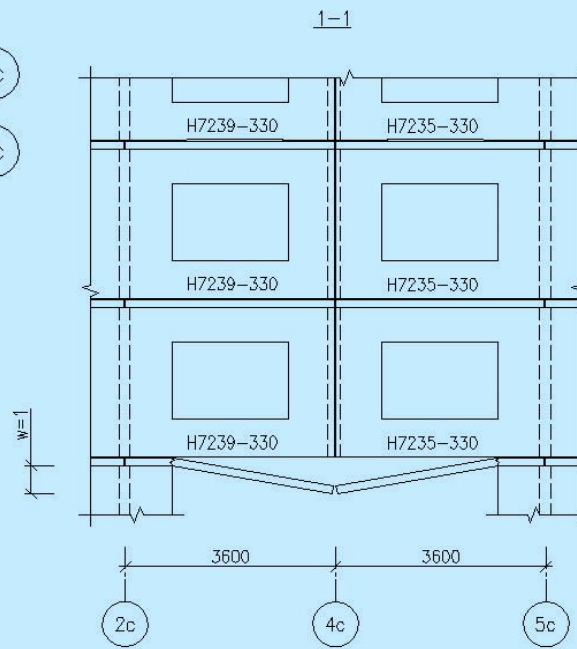
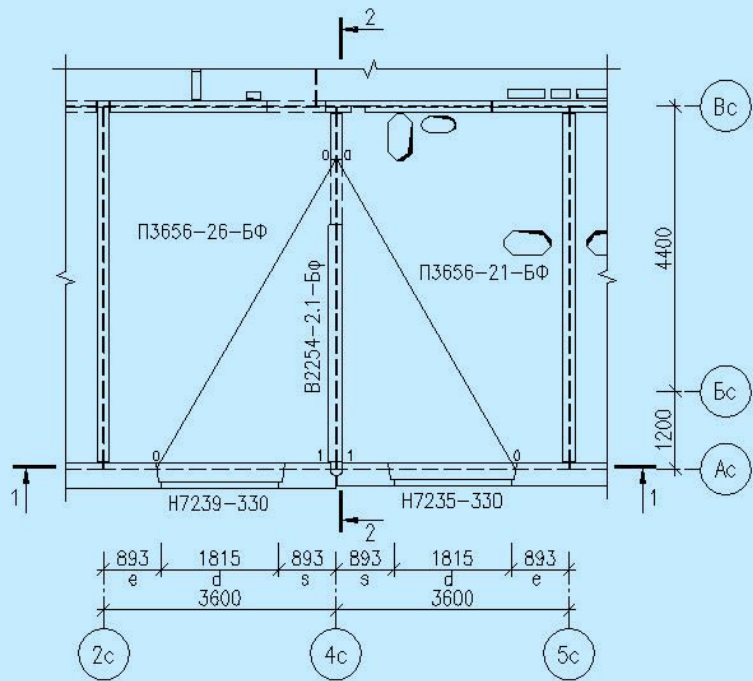




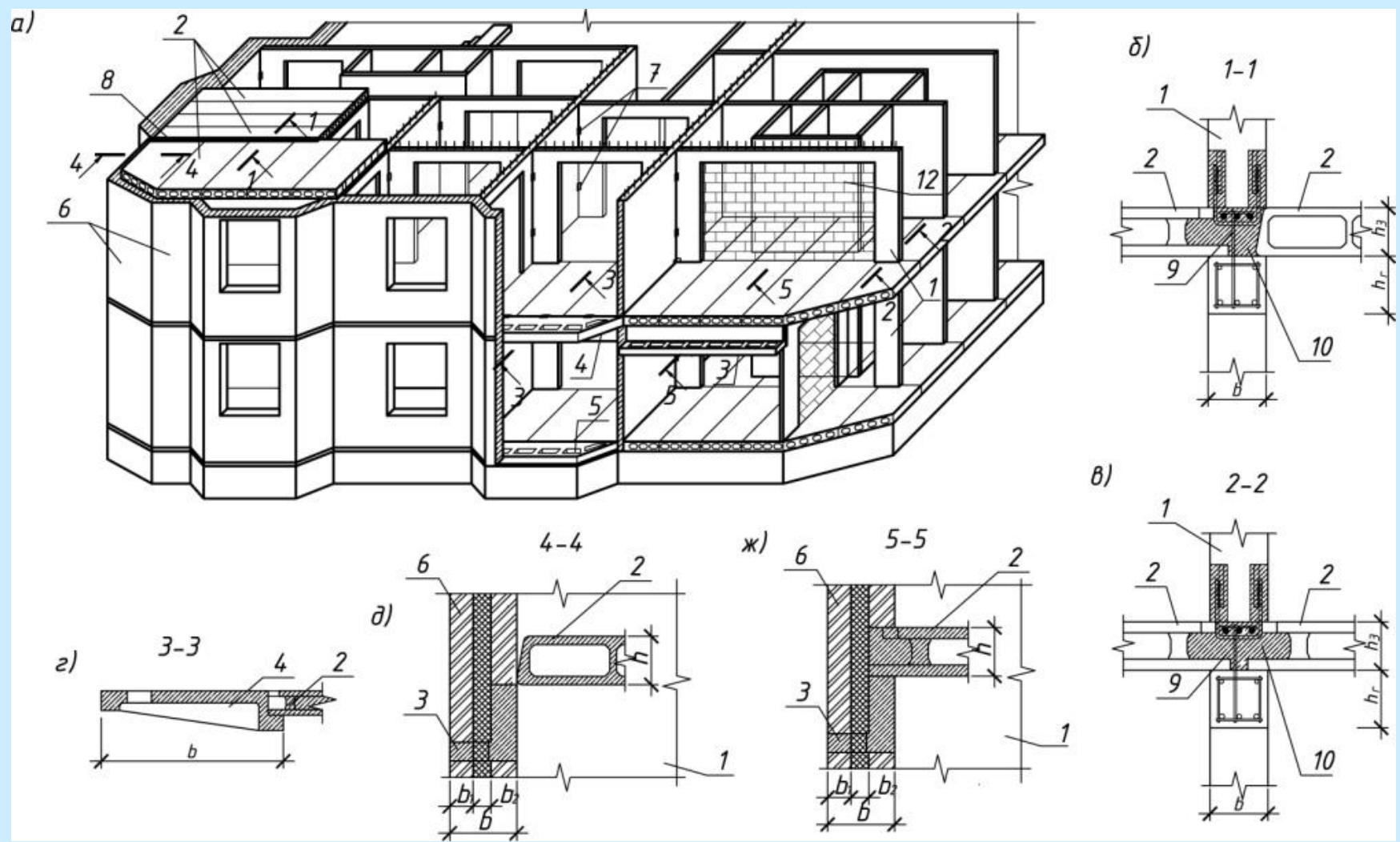
# Наиболее вероятные механизмы прогрессирующего разрушения конструкций многоэтажного здания



## Четвертый тип обрушения



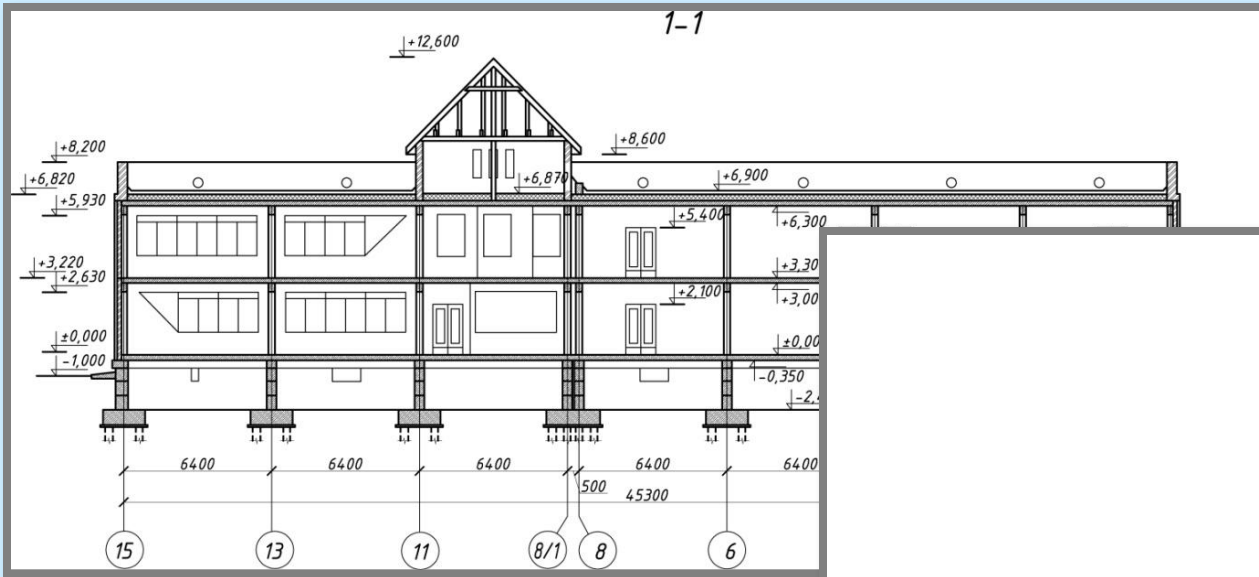
# Схема облегченного каркаса жилого крупнопанельного здания





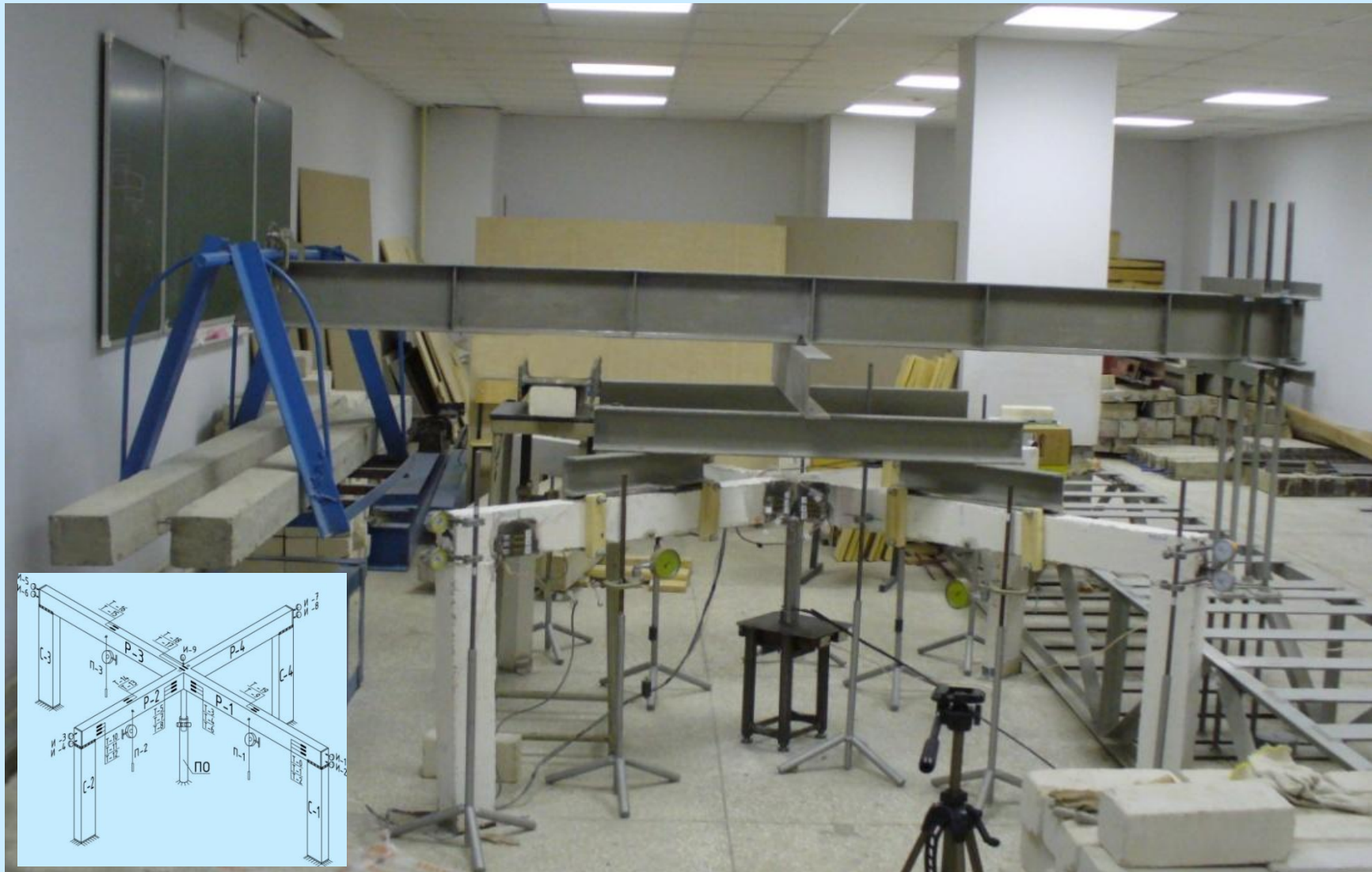


# Схема конструктивной системы из панельных элементов здания ДОУ





# Конструкция и общий вид испытаний фрагмента каркаса на прогрессирующее разрушение





# Общий вид разрушения узлов пространственной железобетонной рамы в момент начала выключения линейной связи







# Определения параметра живучести



В качестве обобщенного параметра живучести ( $\lambda$ ) принята величина, равная значению нагрузки, при которой в конструктивной системе начинается процесс структурных преобразований, вызывающих последовательное изменение её статической неопределимости от выключения первой связи до затухания процесса статической неопределимости или до превращения системы в изменяемую

$$A \cdot \overset{\Delta}{X} + B \cdot \overset{\Delta}{Z} + \overset{\Delta}{\Delta}_p + \overset{\Delta}{\delta}_p \cdot P_0 = 0; \tag{1}$$

$$C \cdot \overset{\Delta}{X} + D \cdot \overset{\Delta}{Z} + \overset{\Delta}{R}_p + \overset{\Delta}{r}_p \cdot P_0 = 0, \tag{2}$$

коэффициенты матриц  $A, B, \overset{\Delta}{\Delta}_p, \overset{\Delta}{\delta}_p, \overset{\Delta}{R}_p, \overset{\Delta}{r}_p$  определяются по известной схеме строительной механики.

Значения усилий в выключенных связях от суммарного воздействия постоянной и параметрической нагрузок

$$X_i = X_{iP} + x_{iP} \cdot \lambda_m \quad (i = 1, 2, \dots, k) \tag{3}$$

где  $X_{iP}$  и  $x_{iP}$  - соответственно  $i$ -е элементы матриц-столбцов  $\overset{\Delta}{X}_p$  и  $\overset{\Delta}{x}_p$

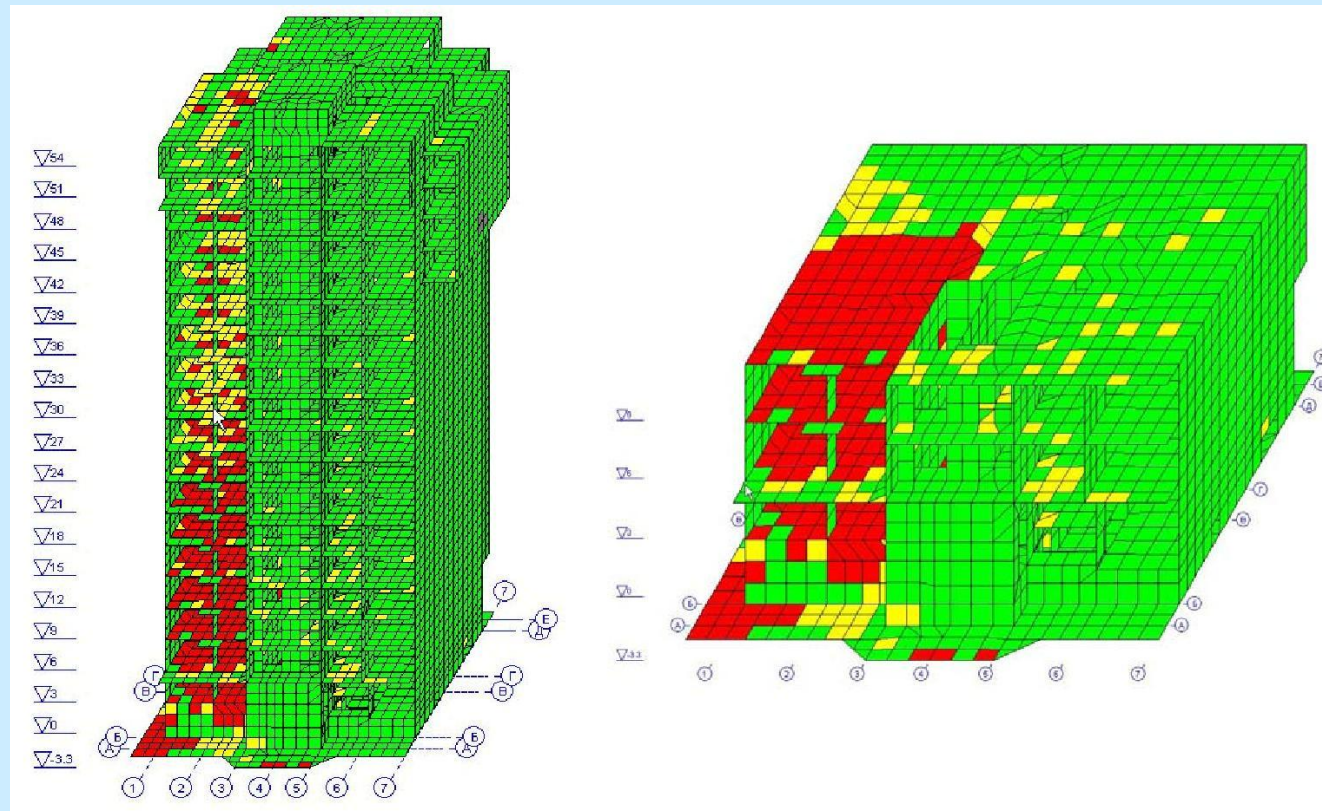
Для всех усилий в вычисленных связях должна удовлетворяться система неравенств

$$|X_i| \equiv |X_{iP} + x_{iP} \cdot \lambda_m| \leq M_i^{np} \quad (j = 1, 2, \dots, k) \tag{4}$$

$$\lambda_{(m)} = \left( M_i^{np} \boxtimes |X_{iP}| \right) / |x_{iP}| \tag{5}$$



# Пример расчета на прогрессирующее обрушение МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



Результаты расчета на прогрессирующее обрушение в трехцветной шкале (осторожная оценка)

Результаты расчета в зоне обрушившегося пилона по оси 2/B (красный цвет соответствует вышедшим из строя элементам при осторожной оценке)



# Некоторые результаты и выводы



1. Установлено, что при внезапных структурных перестройках в конструктивной системе опасным становится не только выключение гипотетически разрушающегося элемента из работы системы, но и возникающий при этом эффект динамического воздействия на другие элементы конструкции.
2. По результатам испытаний и расчетного анализа прогрессирующего разрушения конструктивно и физически нелинейных несущих систем зданий и сооружений при внезапном выключении одного из элементов предложены и обоснованы параметры для нормирования степени разрушения конструктивной системы и динамических догрузений ее элементов при внезапных структурных перестройках.
3. Количественную оценку параметра живучести конструктивной системы и коэффициента динамических догрузений предложено выполнить с использованием неординарного варианта смешанного метода в сочетании со статическим методом предельного равновесия на энергетической основе без привлечения аппарата динамики сооружений.
4. Разработана методика расчетного анализа прогрессирующего разрушения физически нелинейных конструкций и систем зданий при внезапном выключении одного из элементов, базирующаяся на кинематическом методе предельного равновесия и задаваемых наиболее вероятных механизмах предельного разрушения.



# Методы защиты крупнопанельных зданий для предотвращения прогрессирующего обрушения



С одной стороны:

- Невозможно полностью исключить вероятность возникновения аварийных воздействий или ситуаций, вызванных деятельностью человека или природными явлениями

С другой стороны:

- Необходимо обеспечить определенную степень безопасности находящихся в зданиях людей и сохранности их имущества за счет уменьшения вероятности прогрессирующего обрушения

Методы защиты:

- Обеспечить повышение квалификации проектировщиков и строителей;
- Обеспечить общее упрочнение всего здания;
- Обеспечить упрочнение наиболее чувствительных узлов;
- Обеспечить взаимосвязь элементов, исключая прогрессирующее обрушение всей конструктивной системы (например, армирование элементов, адекватное перераспределению силовых потоков)