

**РАСЧЕТ  
МОНОЛИТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ  
НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ  
(ЛАВИНООБРАЗНОЕ)  
ОБРУШЕНИЕ В СРЕДЕ  
СИСТЕМЫ «SCAD OFFICE».**

*д.т.н. Перельмутер А.В., гл. научный сотрудник;  
к.т.н. Криксунов Э.З., директор;  
инж. Мосина Н.В., зам. директора  
ООО «СКАД СОФТ»*



Термин "**прогрессирующее обрушение**" относится к ситуации, когда разрушение или повреждение какой-либо малой части конструкции ведет к полному или почти полному разрушению всей конструкции.

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 при локальных разрушениях несущих конструкций.

*Способы проектирования для предупреждения прогрессирующего обрушения:*

**-- общее упрочнение всего здания** ( разрушение одного из элементов здания не приводит к разрушению всего строения ),

**-- местное усиление** ( упрочнение наиболее чувствительных мест ),

**-- взаимосвязь элементов.**



## Рекомендации, разработанные МНИИТЭП и НИИЖБ, утвержденные и введенные в действие приказом Москомархитектуры в 2005 г.

(тезисы)

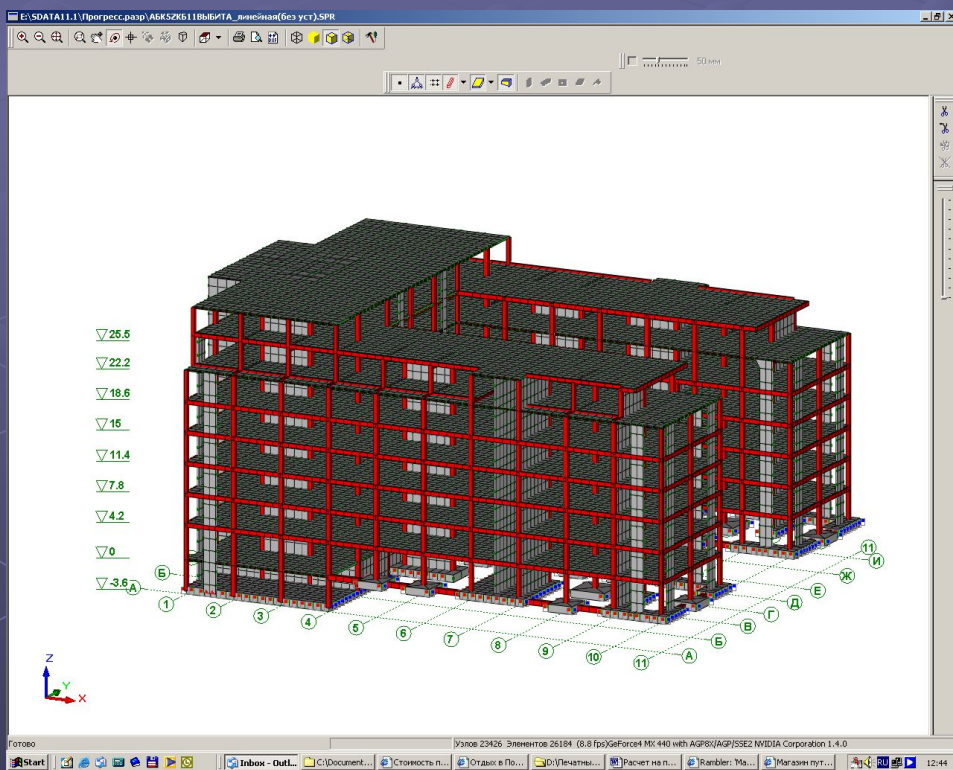
1. Обеспечение устойчивости к прогрессирующему обрушению в случае **локального разрушения отдельных конструкций** при аварийных воздействиях (*взрыв бытового газа, пожар и т.п.*)
2. Локальные разрушения отдельных несущих конструкций, которые **не должны приводить к обрушению соседних конструкций**.
3. Обеспечение прочности и устойчивости, как минимум **на время, необходимое для эвакуации людей** ( *при этом перемещения конструкций и раскрытие трещин не ограничивается*).
4. Устойчивость к прогрессирующему обрушению проверяется **расчетом на особое сочетание нагрузок и воздействий**, включающее постоянные и временные длительные нагрузки (*коэффициенты надежности = 1*).
5. Расчетные характеристики материалов повышают за счет **специальных коэффициентов надежности**. Расчетные сопротивления умножают на коэффициенты условий работы, учитывающие малую вероятность аварийных воздействий и рост прочности бетона после возведения здания, а также возможность работы арматуры за пределом текучести.



# Подготовка данных и расчет

- Первый этап включает следующие действия :

- статический и динамический (если это необходимо) расчеты с целью определения НДС конструкции в нормальных условиях эксплуатации;
- определение расчетных сочетаний усилий (PCУ);
- подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций с учетом первого и второго (трещиностойкость) предельных состояний;
- проверка и подбор прокатных сечений элементов стальных конструкций.





• Второй этап включает следующие действия :

- список конечных элементов, входящих во внезапно удаляемый фрагмент конструкции;
- проверочную комбинацию загрузений, в которую входят постоянные нагрузки и длительная часть временных нагрузок с коэффициентом 1;
- группу нагрузок, определяющую вес обрушившихся конструкций;
- коэффициент перегрузки (динамичности) —  $K_f$  для корректировки реакции системы при внезапном удалении элемента конструкции;
- коэффициенты перегрузки —  $K_g$  для для корректировки реакции системы на обрушение вышедших из строя конструкций (по умолчанию принимается  $K_g = K_f = 2$ );
- значение интервала неопределенности.

The screenshot shows a dialog box titled "Прогрессирующее разрушение" (Progressive destruction). It contains several input fields and checkboxes for configuring the simulation parameters.

- Список элементов** (List of elements): A text box containing "37".
- Группы удаляемых элементов** (Groups of elements to be removed): A dropdown menu showing "Группа элементов №3".
- Расчет произвести с учетом комбинации загрузений:** A dropdown menu showing "(L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1".
- Вес обрушившихся конструкций взять из группы:** A dropdown menu showing "С.В.". There is a double arrow button between the list and group boxes.
- Коэффициенты динамичности для учета:** Two input boxes, both containing the value "2".
  - эфекта падения обрушившихся конструкций
  - внезапности удаления элементов конструкции
- Интервал неопределенности:** An input box containing "5" followed by a percentage symbol "%".
- Two checkboxes:
  - Осторожная оценка
  - Выполнить расчет с учетом геометрической нелинейности
- Количество итераций:** An input box containing "5".
- Количество шагов:** An input box containing "5".
- Метод:** A dropdown menu with three options: "Простой шаговый" (selected), "Шаговый с учетом невязки", and "Шагово-итерационный".
- Buttons:** "ОК", "Отмена", "Справка", and "Удалить данные".



## В программе принят следующий порядок выполнения расчета:

- определяются реакции в узлах вышедших из строя элементов, примыкающих к остальной части схемы, от проверочной комбинации нагрузок;
- полученные значения реакций добавляются в расчетную комбинацию с коэффициентом  $K_f$ ;
- в проверочную комбинацию добавляется группа нагрузок от веса обрушившихся конструкций с коэффициентом  $K_g$ ;
- формируется новая расчетная схема, в которой разрушенные элементы будут неактивны;
- выполняется расчет полученной схемы на проверочную комбинацию; формируются расчетные сочетания усилий;
- выполняется экспертиза несущей способности элементов стальных и железобетонных конструкций.



•ЭВМ, нормы и расчетная практика

Результаты расчета на прогрессирующее обрушение отображаются в

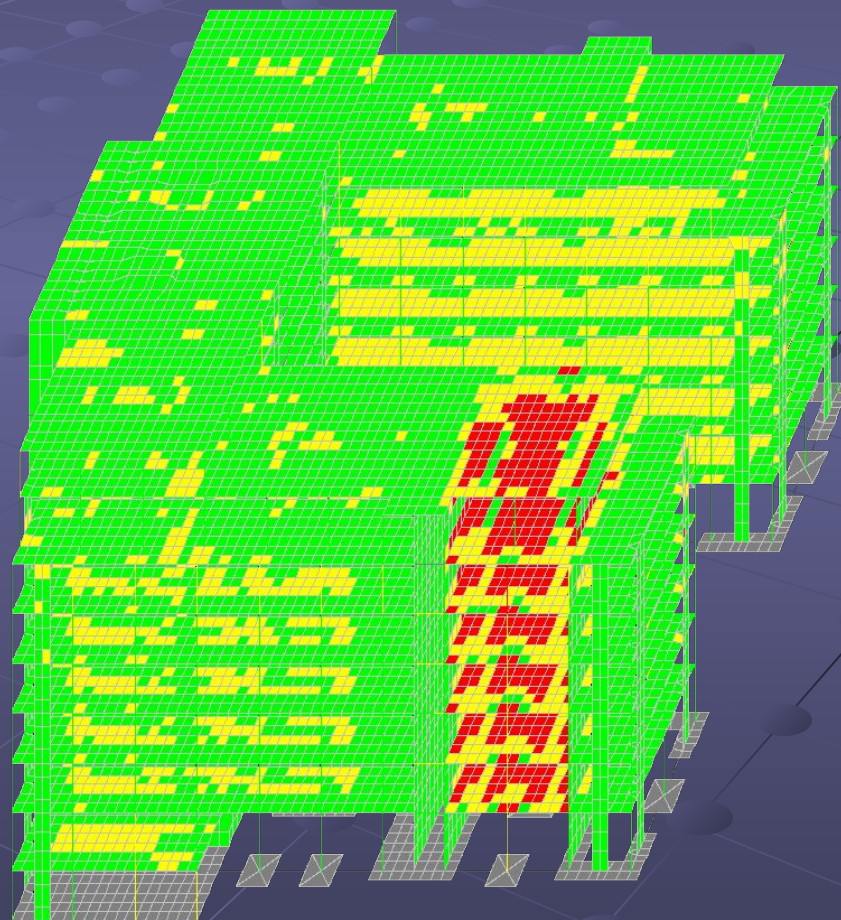
графической форме в двух и трехцветной цветовой шкале

В двухцветной шкале элементы разделяются по цвету на работающие ( $K_{max} < 1$ ) и вышедшие из строя ( $K_{max} \geq 1$ ).

В трехцветной шкале третий цвет используется для элементов, которые, по мнению расчетчика, с равной вероятностью могут быть отнесены и к вышедшим из строя, и к работающим

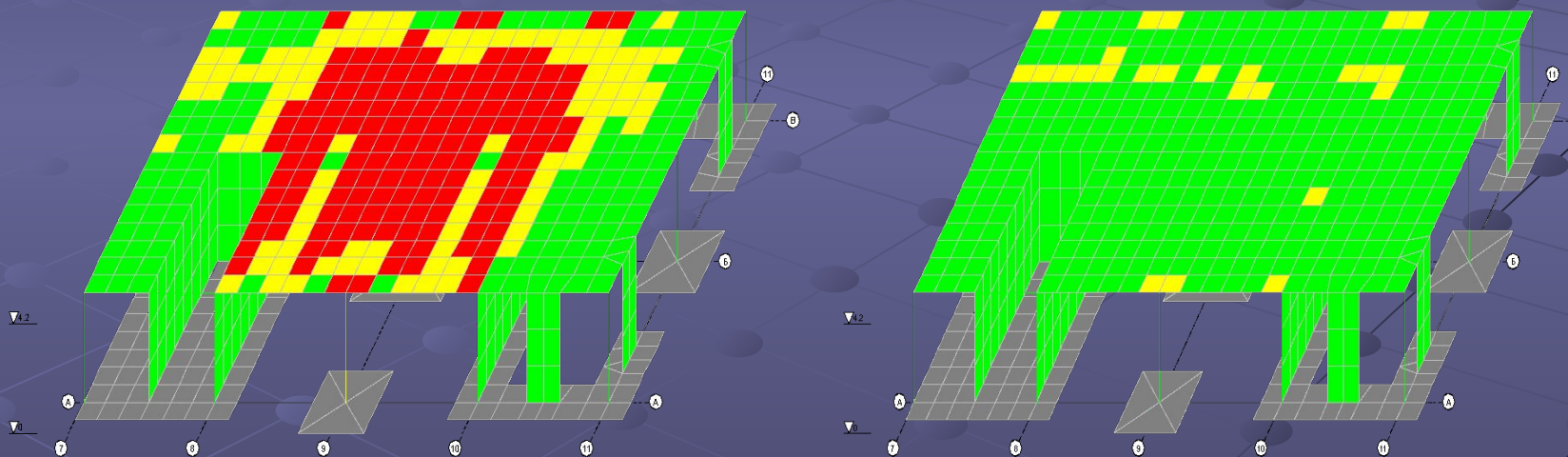
$(1 - \$ < K_{max} < 1 + \$)$

Значение интервала неопределенности  $\$$  назначается пользователем.





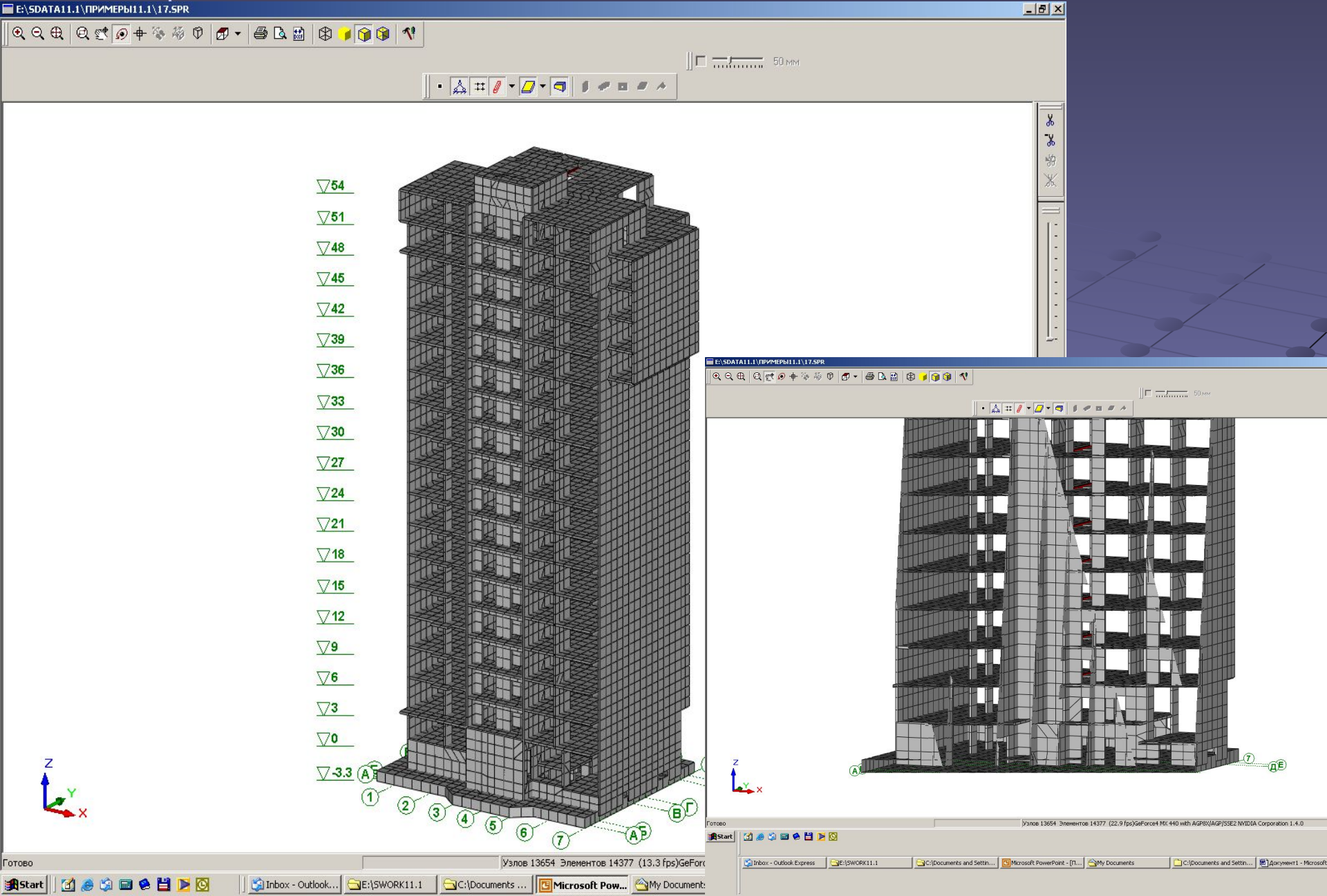
## Осторожная оценка (слева) и учет геометрической нелинейности (справа)





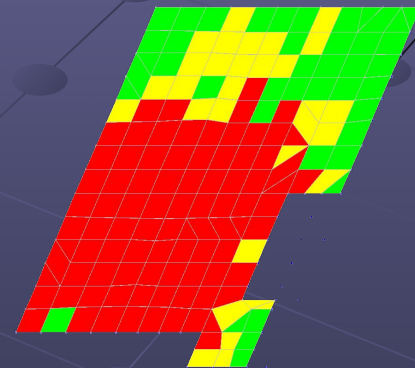
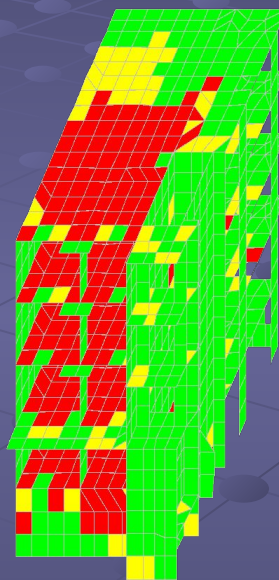
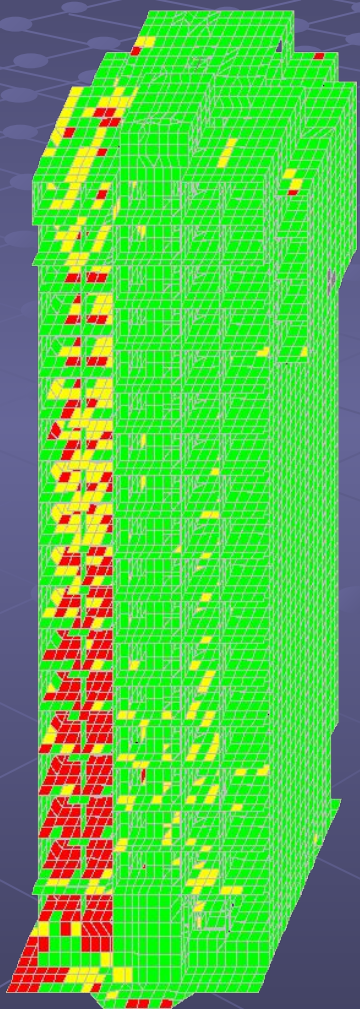


• ЭВМ, нормы и расчетная практика





Осторожная оценка  
(вычисленное армирование)



# Задание первоначального армирования

Армирование

Файл Параметры Сервис

Характеристики групп | Бетон | Арматура | Минимальное армирование

	N	AS1	AS2	AS3	AS4	ASW1	ШАГ	ASW2	ШАГ
1	3	5.6	5.6	5.6	5.6	3	15	3	15
2									
3									
4									
5									
6									
7									

N - номер последнего сечения с одинаковым минимальным армированием  
AS1, AS2, AS3, AS4 - продольное армирование [см<sup>2</sup>]  
ASW1, ASW2 - поперечное армирование [см<sup>2</sup>]  
ШАГ - шаг хомутов [см]

Группа - аналог 1

2003

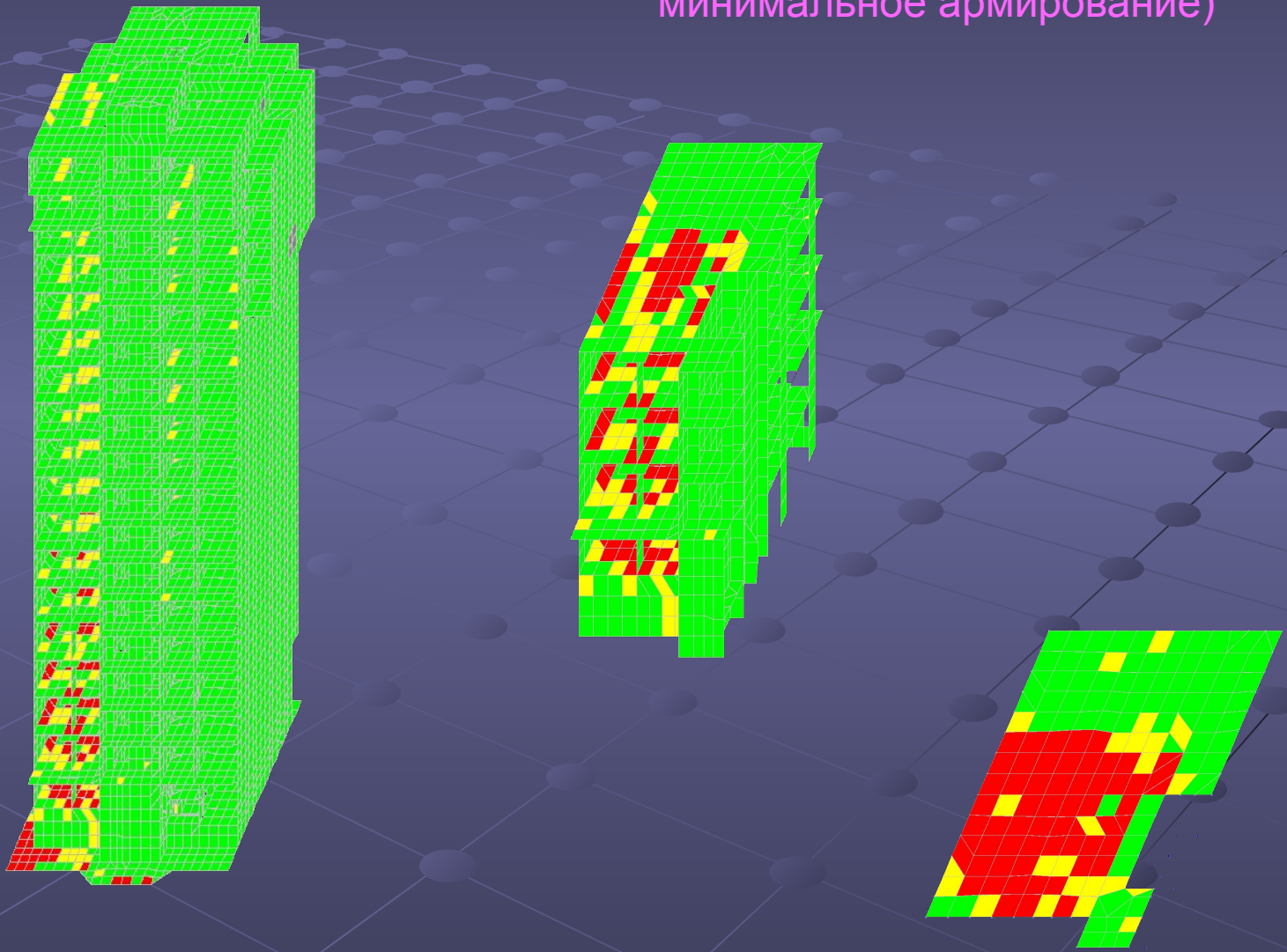
Расчет Выход Справка

- В результате разрушения части несущих конструкций характер напряженно-деформированного состояния элемента может измениться.
- В этом случае актуальна возможность задания некоего первоначального армирования, меньше которого в сечении быть не должно.
- Если при подборе арматуры окажется, что первоначального армирования недостаточно, то к нему будет добавлена необходимая арматура. В противном случае в сечении останется заданное первоначальное армирование.



- ЭВМ, нормы и расчетная практика

Осторожная оценка (заданное минимальное армирование)





- ЭВМ, нормы и расчетная практика

## Расчет с учетом геометрической нелинейности



# Некоторые выводы и обобщения

- При реализации данного режима авторами принималась во внимание очевидная условность исходных предпосылок, заключающаяся в следующем:
  - нет достоверной информации о месте и причине возникновения процесса и характере его протекания;
  - реальные параметры разрушения могут далеко отстоять от условий прочности, приведенных в нормах, т.к. известно, что расчетные значения параметров прочности могут существенно отличаться от наблюдаемых в натуре.
- Кроме того, в «Рекомендациях по снижению опасности (предотвращению) аварийных воздействий и лавинообразного (прогрессирующего) обрушения для большепролетных зданий», разработанных НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО» и ЦНИИСК им. Кучеренко, указано, что **„... невозможно запроектировать и построить сооружение абсолютно безопасным и при этом не учитывать стоимость предотвращения аварийных ситуаций...”, а также „... сооружения не могут быть совершенно свободными от риска обрушения из-за неопределенностей требований к системе, разброса технических свойств строительных материалов, трудностей адекватного моделирования поведения системы даже с использованием современных программных комплексов...”**.
- Таким образом, в результате численного моделирования можно получить качественную оценку характеристик устойчивости конструкции по отношению к прогрессирующему обрушению, а также сопоставить несколько возможных сценариев обрушения с целью выявления слабых мест конструкции.



•ЭВМ, нормы и расчетная практика

# Спасибо за внимание

**SCAD Soft**

**Тел. (+38 044) 249-71-91 или (495)267-40-76**

**e-mail: [scad@scadsoft.com](mailto:scad@scadsoft.com)**

**<http://www.scadsoft.ru>**