

**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)

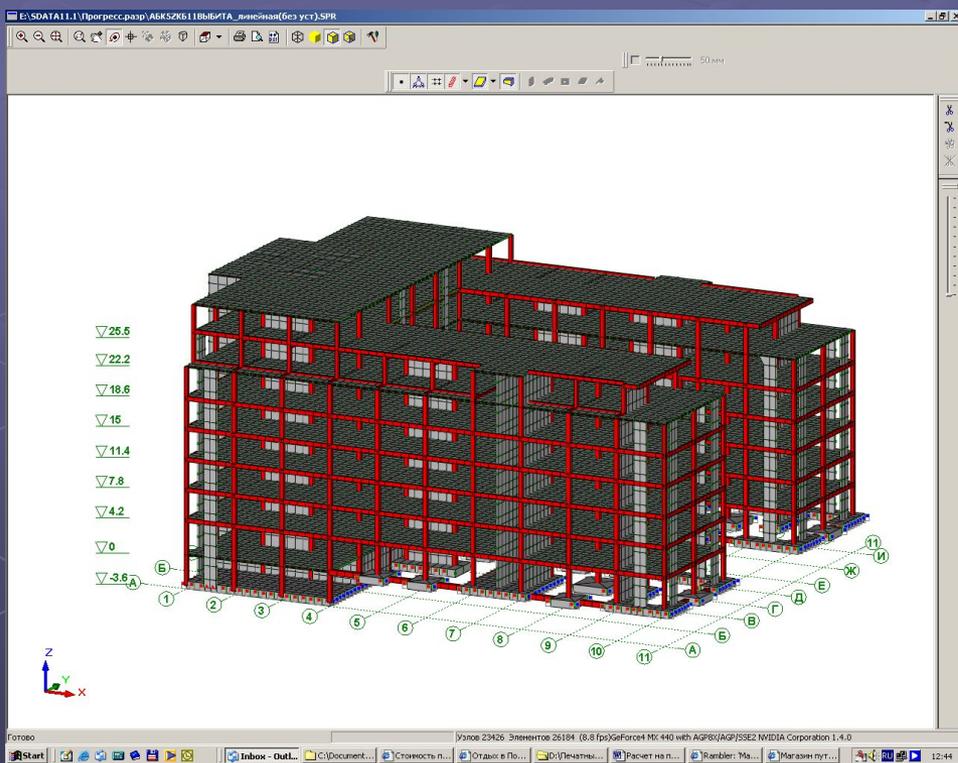
1. Обеспечение устойчивости к прогрессирующему обрушению в случае **локального разрушения отдельных конструкций** при аварийных воздействиях (*взрыв бытового газа, пожар и т.п.*)
2. Локальные разрушения отдельных несущих конструкций, которые **не должны приводить к обрушению соседних конструкций**.
3. 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 Collapse). It contains several input fields and checkboxes for configuring the analysis. The "Список элементов" (List of elements) field contains "37". The "Группы удаляемых элементов" (Groups of elements to be removed) field contains "Группа элементов №3". The "Расчет произвести с учетом комбинации загрузений:" (Calculate taking into account the combination of loads) dropdown is set to "(L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1". The "Вес обрушившихся конструкций взять из группы" (Take the weight of collapsed structures from the group) dropdown is set to "С.В.". The "Коэффициенты динамичности для учета:" (Dynamic coefficients for consideration) section has two input fields, both set to "2": "эффекта падения обрушившихся конструкций" (effect of falling collapsed structures) and "внезапности удаления элементов конструкции" (sudden removal of structure elements). The "Интервал неопределенности" (Interval of uncertainty) is set to "5" with a percentage sign. There are two unchecked checkboxes: "Осторожная оценка" (Cautious assessment) and "Выполнить расчет с учетом геометрической нелинейности" (Perform calculation taking into account geometric nonlinearity). The "Количество итераций" (Number of iterations) and "Количество шагов" (Number of steps) are both set to "5". The "Метод" (Method) dropdown is set to "Простой шаговый" (Simple stepwise). There are three buttons at the bottom: "ОК", "Отмена" (Cancel), and "Справка" (Help). A "Удалить данные" (Delete data) button is also present on the right side.



## 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

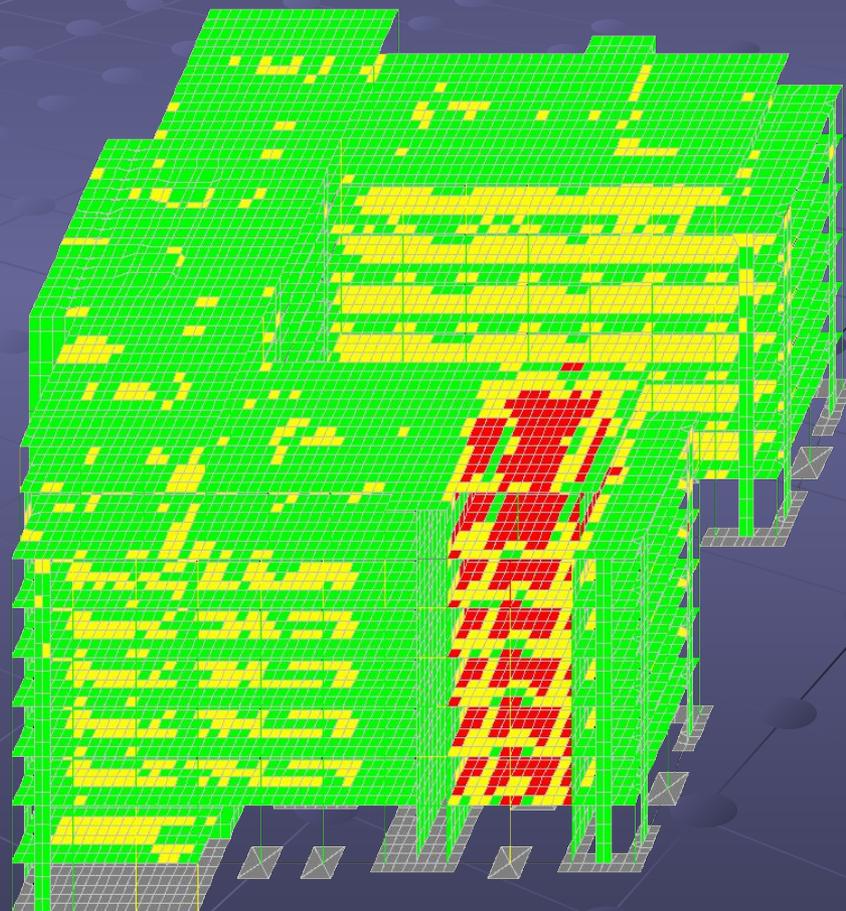
графической форме в двух и трехцветной цветовой шкале

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

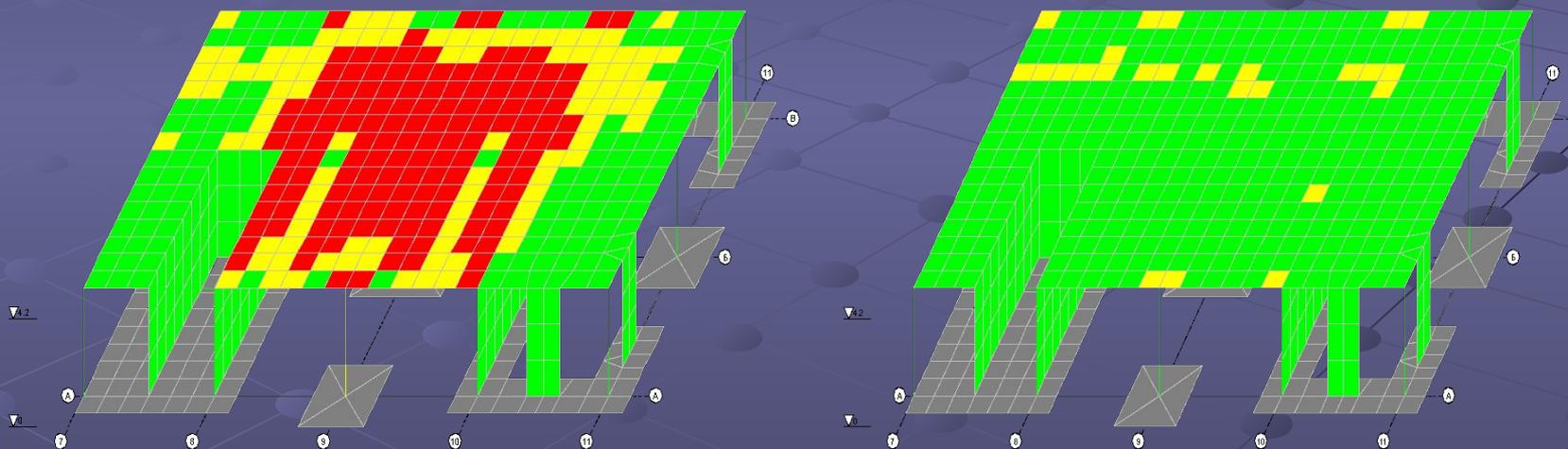
$(1 - \$ < K_{max} < 1 + \$)$

Значение интервала неопределенности  $\$$  назначается пользователем.



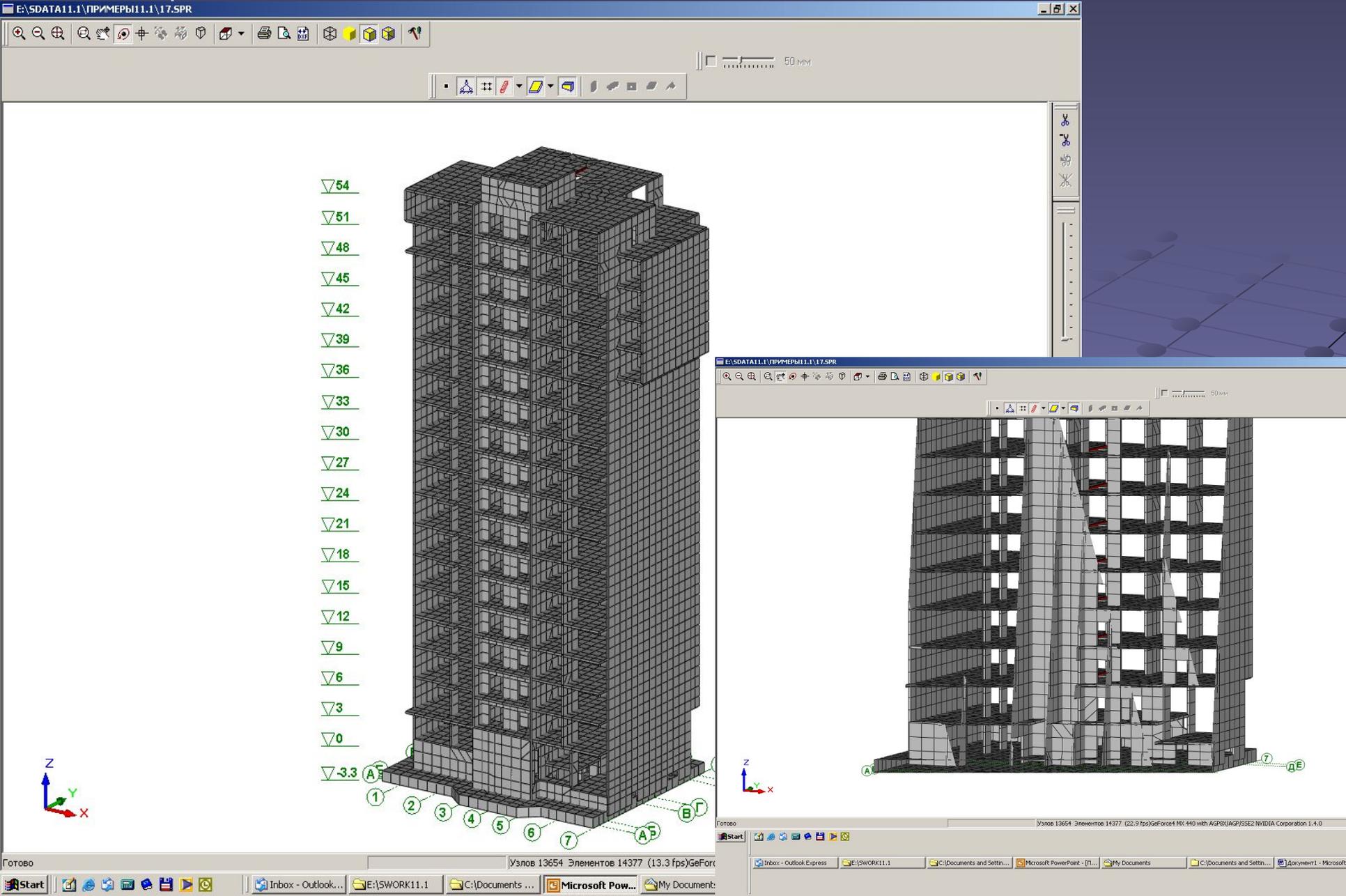


Осторожная оценка (слева) и  
учет геометрической нелинейности (справа)



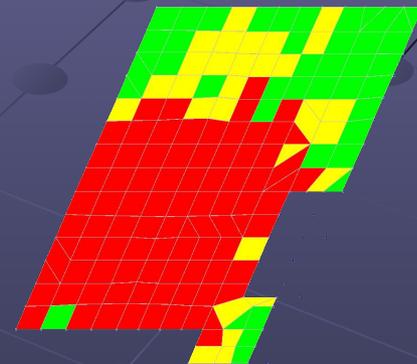
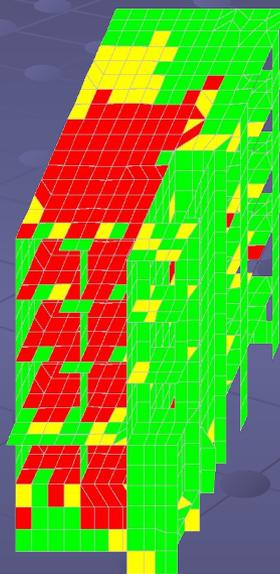
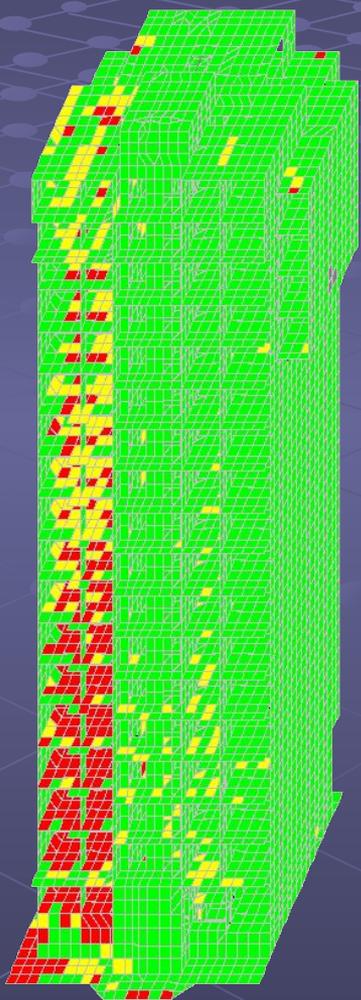


• ЭВМ, нормы и расчетная практика





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

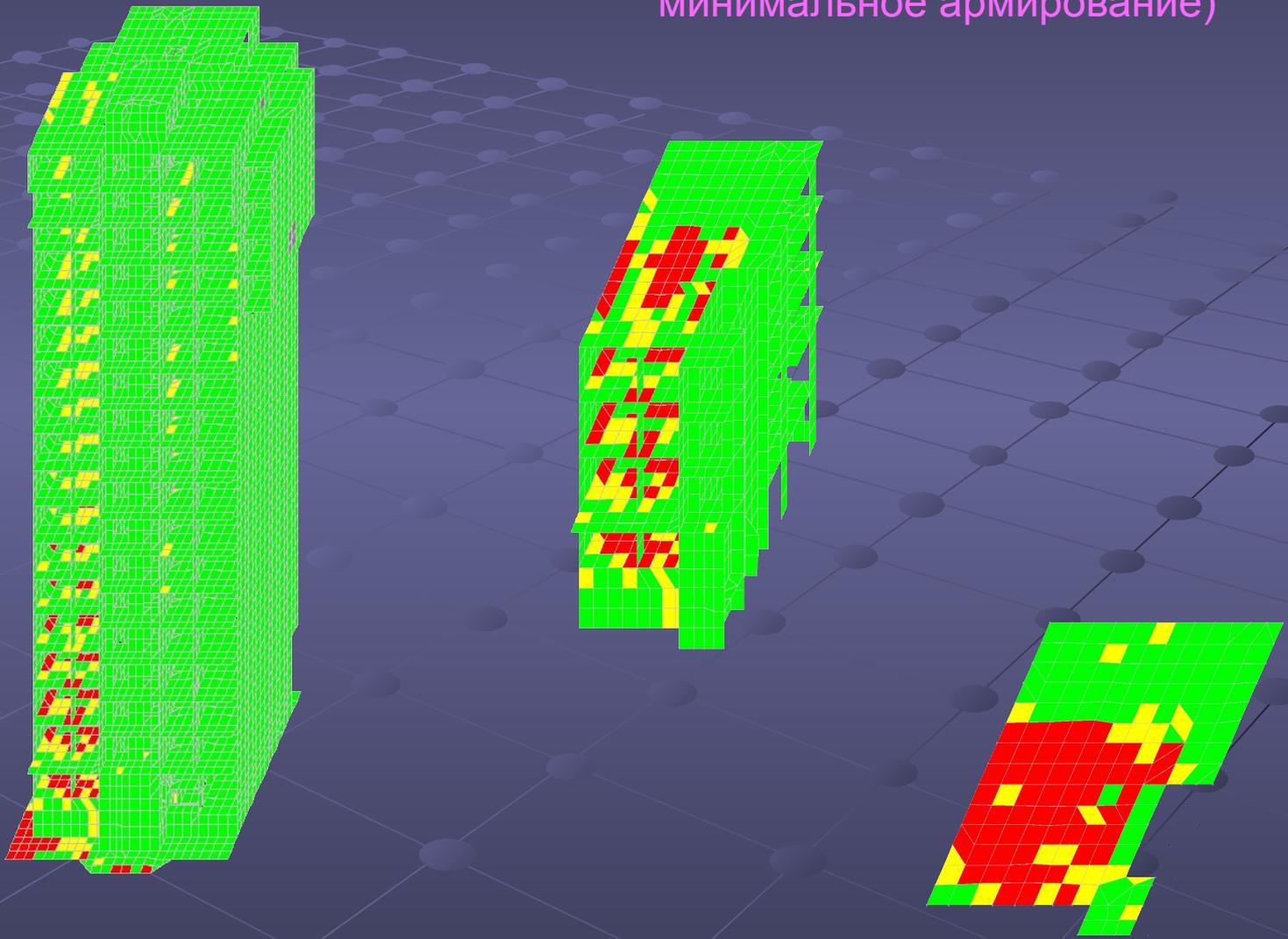
Расчет Выход Справка

- 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

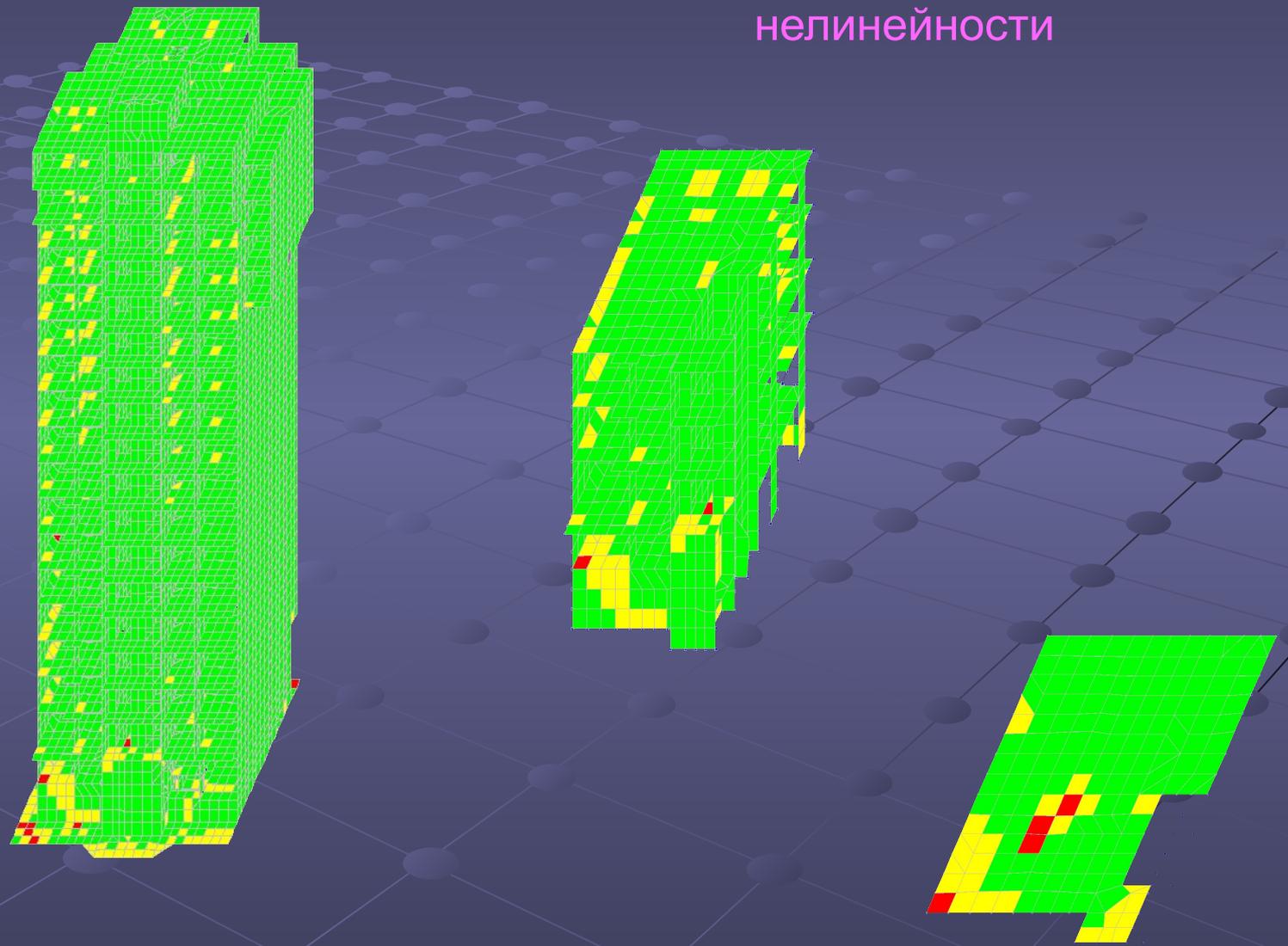
Осторожная оценка (заданное минимальное армирование)





- 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>**