



**Анализ расчетных моделей для  
определения расчетных длин колонн  
многоэтажных стальных рам в  
программном комплексе SCAD и  
программе Кристалл**

По материалам специального курса

«Расчет и проектирование стальных конструкций с использованием  
программного комплекса «SCAD Office».

Андрей Теплых

ООО «НПФ «СКАД СОФТ», Российская Федерация

[www.scadsoft.com](http://www.scadsoft.com)

[www.scadhelp.ru](http://www.scadhelp.ru)

# Рассуждения о расчетных длинах в технической литературе

- Нормы не могут охватить все разнообразие встречающихся случаев. Ввиду этого, на практике коэффициенты свободной длины берутся «на глаз», что, очевидно, приводит в одних случаях, к излишнему расходу материала, в других – к снижению коэффициента запаса устойчивости [Устойчивость упругих стержневых систем часть 1 (Н-169.) Трест ПРОЕКСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ, 1951 г.].
- Выбор граничных условий при расчете на устойчивость сжатых элементов является одним из наименее изученных вопросов расчета строительных конструкций [Справочник проектировщика под. ред. В.В. Кузнецова. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. п. 4.7.1.].
- У подхода, основанного на использовании понятия расчетной длины, по сути нет ясного теоретического обоснования, и его следует считать эвристическим приемом. [Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия и родственные проблемы. Том III.]
- Чем же можно объяснить столь широкое распространение данной методики? Во первых, отсутствием альтернативы. Во вторых, виртуозным умением проектировщиков трактовать нормы в свою пользу, обеспечивая необходимую надежность конструкции [Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия и родственные проблемы. Том III.].

# Основные требования норм к определению расчетных длин элементов стальных конструкций

- Расчетные длины сжатых, внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов стержневых и рамных систем необходимо устанавливать в случаях, когда выполнять расчет конструкций как единых систем по деформированной схеме с учетом пластических деформации не представляется возможным (п. 8.1.1 СП 294.1325800.2017).
- Использование понятия расчетной длины предполагает разделение стержневых элементов на отдельные элементы, при этом необходимо учитывать взаимодействие рассматриваемого элемента с основанием и другими элементами, примыкающими к нему в узлах (п. 8.1.1 СП 294.1325800.2017).
- Под расчетной длиной стержня понимают условную длину однопролетного стержня, критическая сила которого при шарнирном закреплении его концов такая же, как для заданного стержня (п. 8.1.2 СП 294.1325800.2017).
- Для установления расчетной длины необходимо применять метод расчета на устойчивость систем с прямыми стержнями при наличии нагрузок в узлах в предположении упругих деформаций. При этом следует учитывать продольные усилия в стержнях и исключать из рассмотрения поперечные нагрузки и эксцентриситеты, вызывающие изгиб стержней (п. 8.1.2 СП 294.1325800.2017).
- Необходимо принимать такие расчетные схемы, которые отражают действительные условия нагружения стержней и закрепления их концов с учетом неравномерности распределения нагрузок между стержнями и различия их жесткостей, наличие конструктивных элементов, обеспечивающих ту или иную форму потери устойчивости здания или сооружения (п. 8.1.2 СП 294.1325800.2017).
- Определение расчетных длин колонн (стоек), в т.ч. сжатых элементов пространственных решетчатых конструкций, с использованием сертифицированных программных вычислительных комплексов выполняется в предположении упругой работы стали по недеформированной схеме (п. 10.3.11 СП 16.13330.2017).

# Реализация определения расчетных (свободных) длин в программе SCAD

Методика определения расчетных длин в SCAD  
хорошо описана в справочнике Лейтеса С.Д. от 1963 г.

- Расчетная длина элемента определяется на основе расчета системы на устойчивость в эйлеровом смысле.
- Предполагается неограниченная применимость закона Гука и пропорциональное возрастание продольных усилий в элементах системы вплоть до потери устойчивости.
- Определенная таким образом критическая сила элемента  $N^*$  не является реальной критической силой, но определяет собой характеристику упругой устойчивости элемента, входящего в состав системы.

- Сравнение рассматриваемого элемента с эталонным шарнирно опертым стержнем,

для которого эйлерова критическая сила равна  $N^* = \frac{\pi^2 EI}{l_{ef}^2}$ , дает возможность

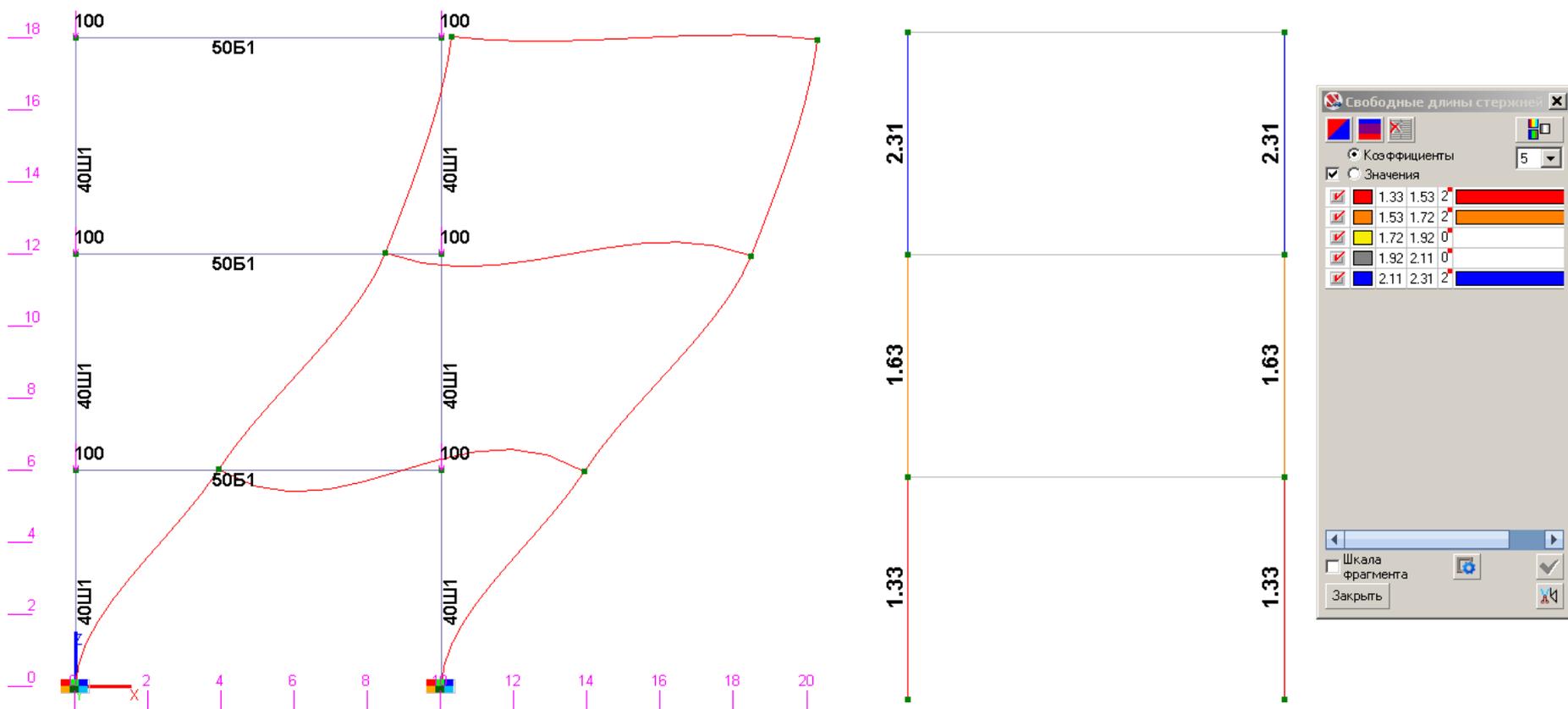
определить расчетную длину элемента  $l_{ef} = \pi \sqrt{\frac{EI}{N^*}}$ .

- Результатом расчета на устойчивость в SCAD является коэффициент запаса устойчивости системы  $\gamma_s$ , полученный при пропорциональном возрастании усилий в элементах системы для выбранной комбинации вплоть до потери устойчивости. Соответственно для каждого  $i$ -го конечного элемента в составе расчетной модели

$N_i^* = \gamma_s N_i$  и расчетная длина  $l_{efi} = \pi \sqrt{\frac{EI}{\gamma_s N_i}}$

# Проблема больших расчетных длин в пассивных элементах

Здесь и далее для выполнения расчетов использовался тип схемы «2 - Плоская рама».

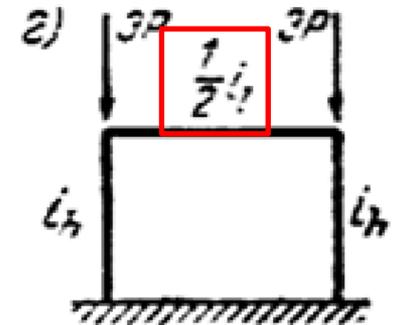
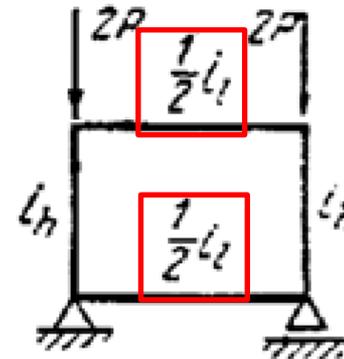
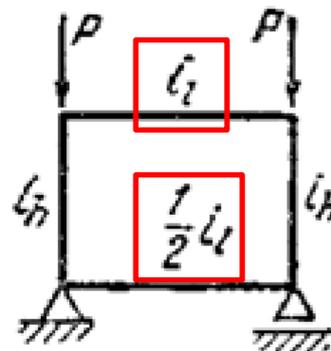
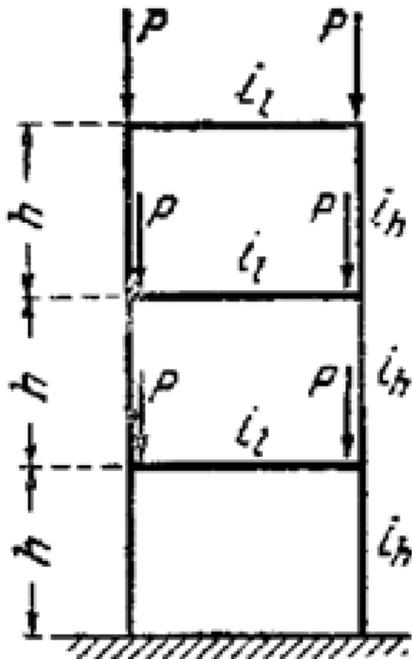


Из расчета в программе Кристалл по формулам СП 16.13330.2017 получены следующие значения коэффициентов расчетных длин:

- верхний этаж **1,57** (в SCAD **2,31** больше чем по СП в **1,5** раза);
- средний этаж 1,77 (в SCAD 1,63);
- нижний этаж 1,33 (в SCAD 1,33).

# Расчетные схемы для определения расчетных длин многоэтажных рам в нормах проектирования стальных конструкций

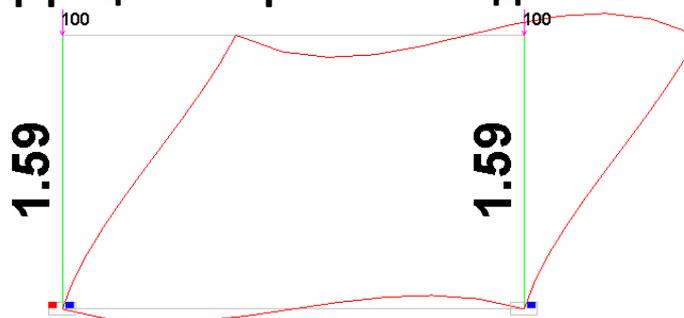
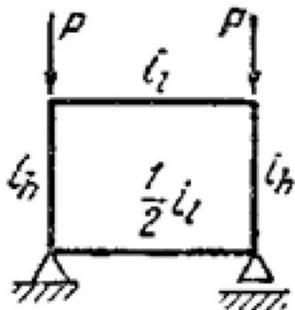
- Согласно п. 8.1.3 СП 294.1325800.2017 при практическом определении расчетных длин стоек многоэтажных рам в нормативных документах используется приближенная расчетная схема в виде простейшей ячейки независимо от числа этажей и соотношения продольных сил в стойках, **применение такой расчетной схемы не предполагает пропорционального возрастания нагрузок на систему в целом.**
- Ответ на вопрос, что за расчетная схема в виде простейшей ячейки используется в нормах для однопролетных рам найден в книге Корноухова Н.В. «Прочность и устойчивость стержневых систем» от 1949 г.



# Анализ расчетных схем простейших ячеек рам из книги Корноухова Н.В. от 1949 г. в программе SCAD

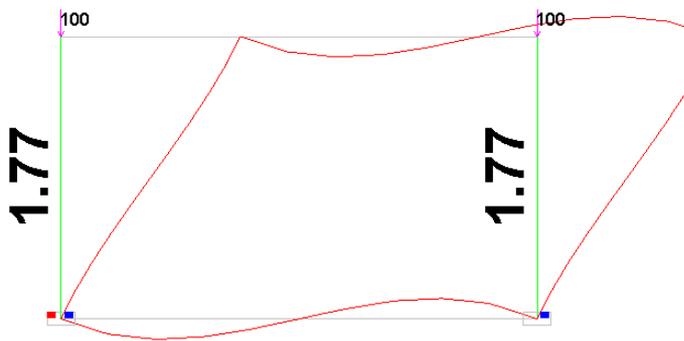
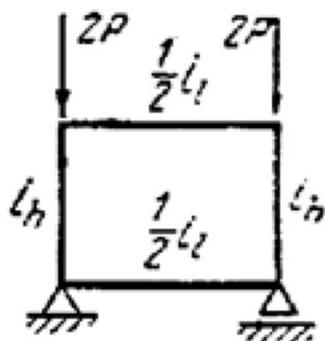
Для уменьшения в два раза жесткости ригелей в программе SCAD использован прием уменьшения модуля упругости в два раза.

## Коэффициенты расчетных длин в SCAD



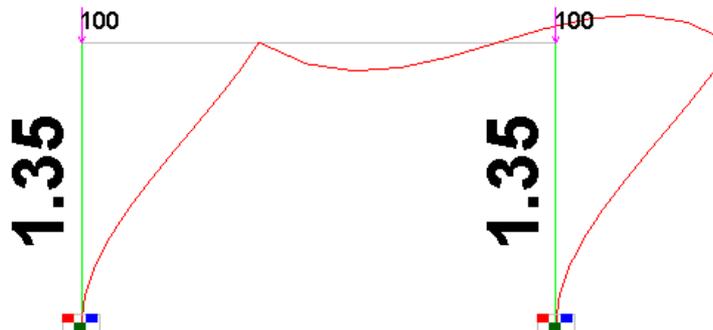
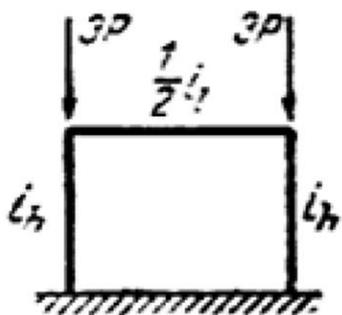
Разница с СП 16.13330.2017

$$1,59/1,57=1,01$$



Разница с СП 16.13330.2017

$$1,77/1,77=1$$



Разница с СП 16.13330.2017

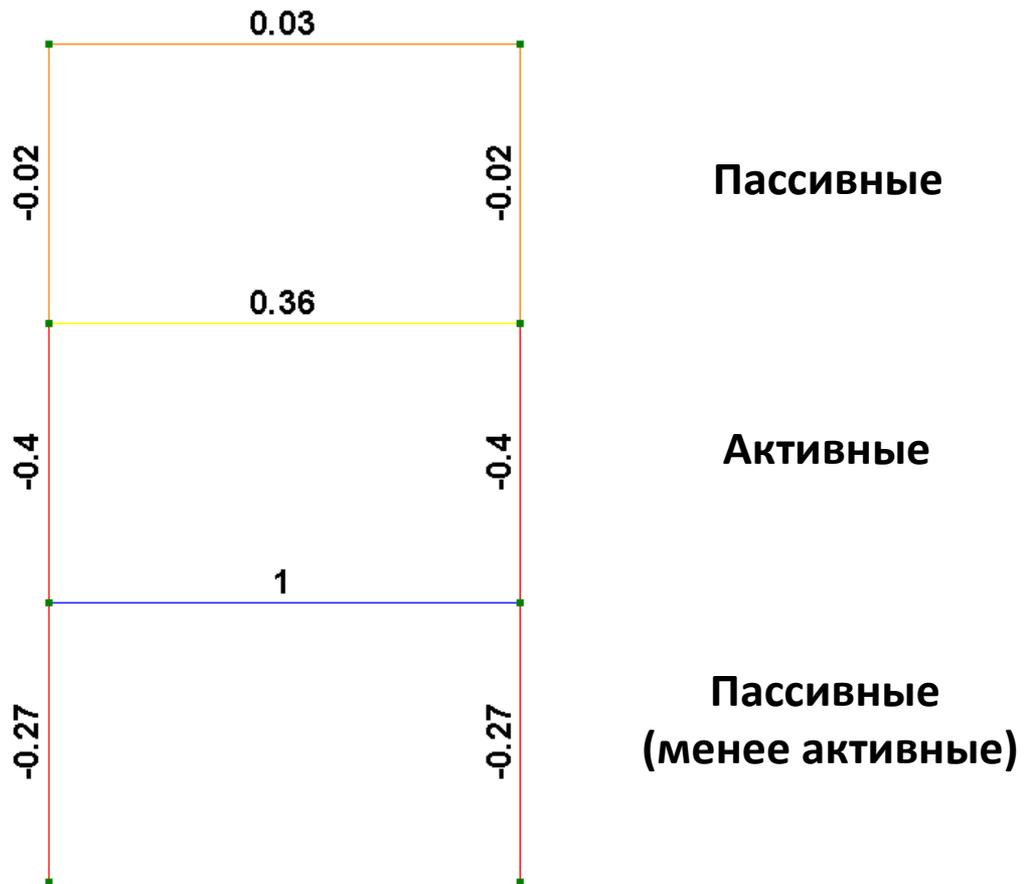
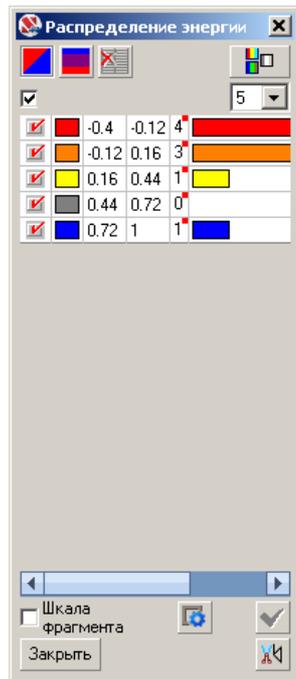
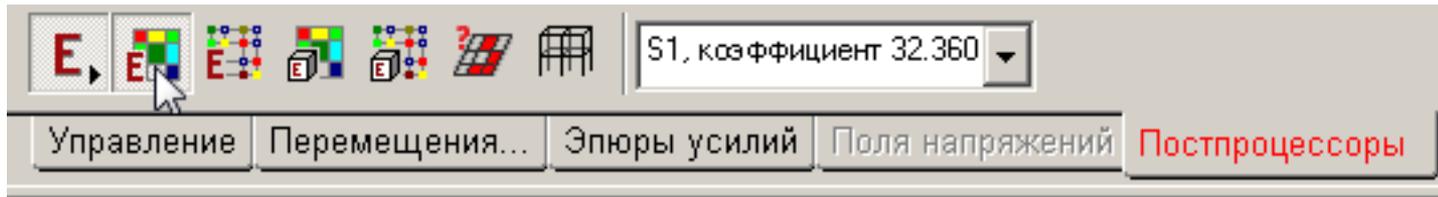
$$1,35/1,33=1,02$$

## Использование метода догрузки пассивных элементов для определения расчетных длин в равноустойчивом состоянии

- Проблема больших расчетных длин, получаемых в пассивных элементах из расчета на устойчивость системы хорошо описана в книге [Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Устойчивость равновесия и родственные проблемы. Том III. – М.: Издательство СКАД СОФТ, 2011] согласно которой более нагруженные (активные) стержни теряют устойчивость стесненно, увлекая за собой менее нагруженные (пассивные) стержни, которые теряют устойчивость принужденно. В первом случае свободные длины, найденные исходя из общей критической нагрузки, соответствуют форме потери устойчивости, и их можно в рамках существующей методики расчета использовать для проверки элементов несущих конструкций. Во втором случае формально получаемые величины свободных длин имеют малое отношение к форме потери устойчивости элементов, деформируемых принужденно, и они нуждаются в уточнении. **Действительное поведение пассивных стоек предлагается исследовать, догружая такие стойки и приближая их работу к активной**
- В статье Бельского Г.Е. и Ривкина А.И в № 6 журнала «Строительная механика и расчет сооружений» от 1974 г. приведено утверждение о том, что **при равноустойчивости или в условиях, близких к ней, во всех элементах системы получаются достаточно правильные значения свободных длин.**

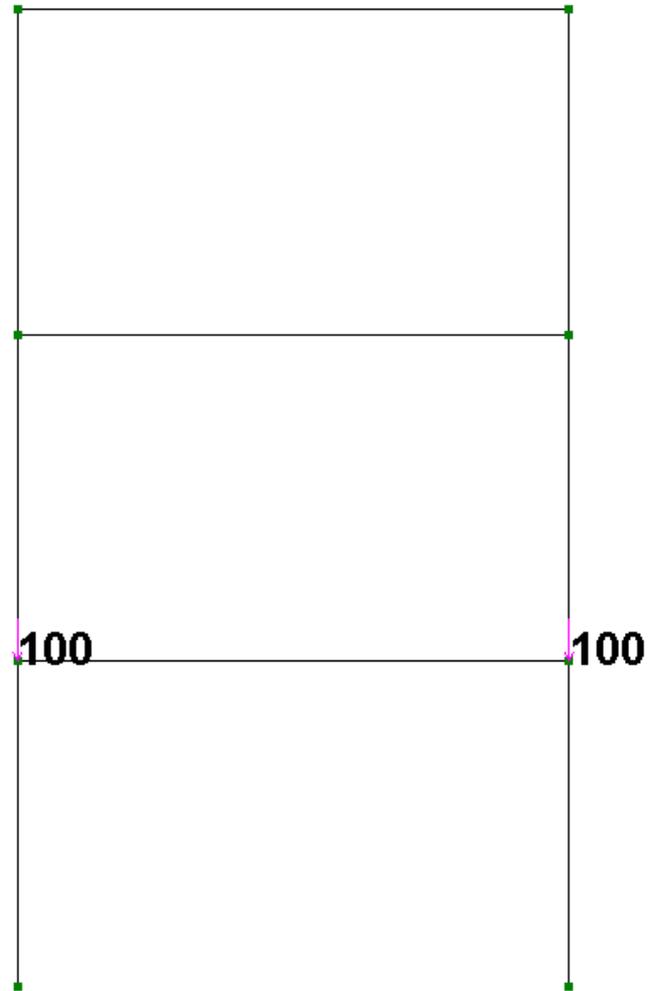
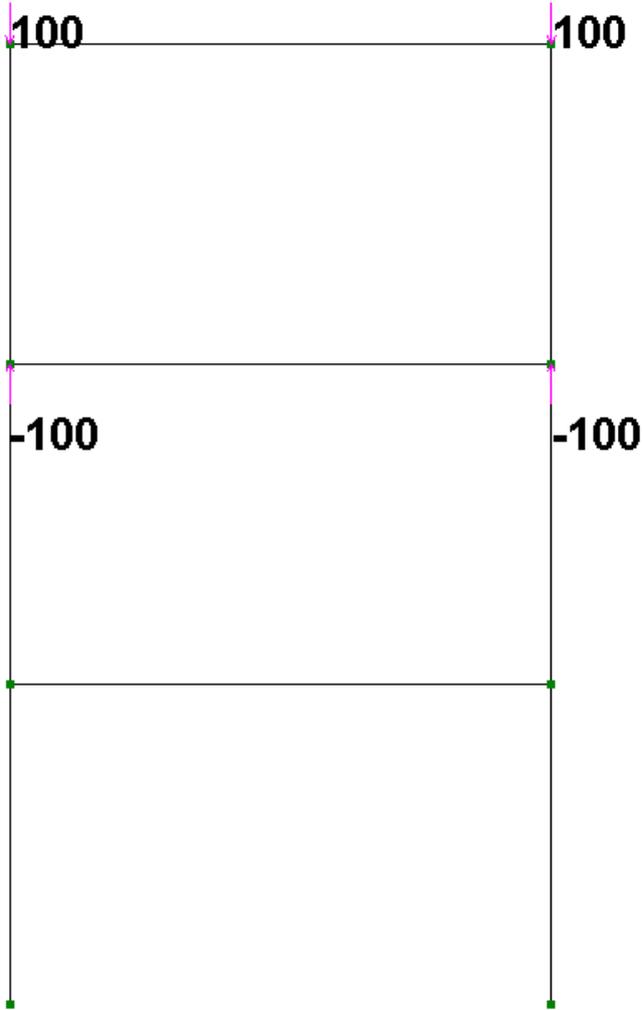
# Технология применения метода догрузки пассивных элементов в SCAD

Через энергетический постпроцессор путем подсчета значений энергии при деформировании по форме потери устойчивости определяется вклад элементов в потерю устойчивости



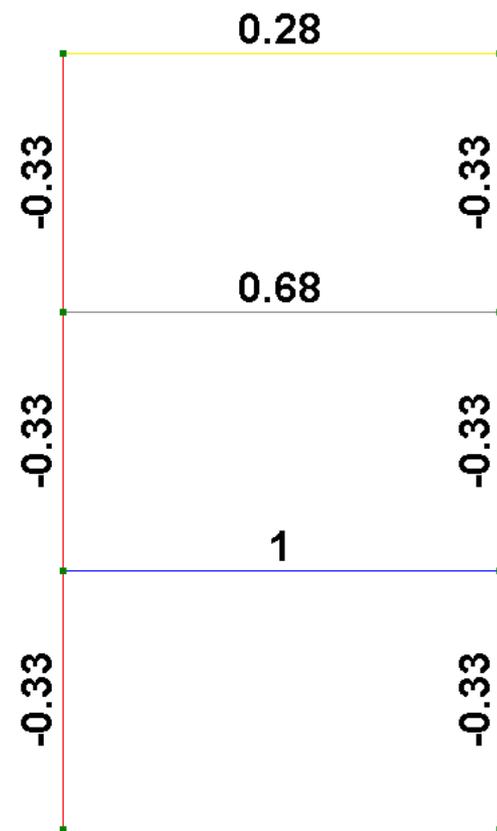
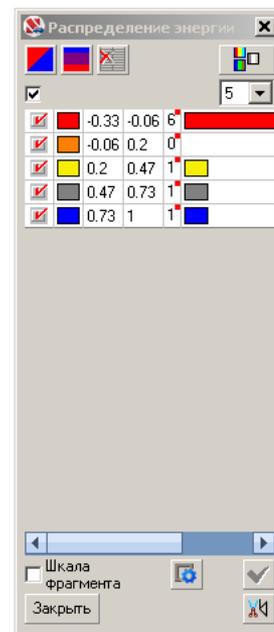
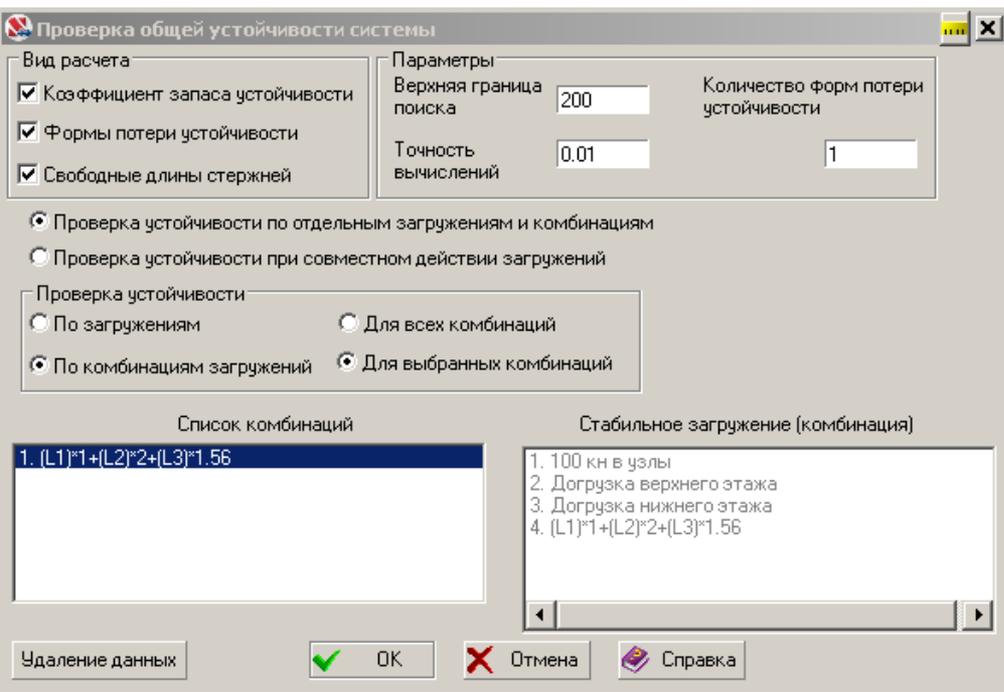
# Технология применения метода догрузки пассивных элементов в SCAD

Для пассивных элементов создаются загрузки с самоуравновешенными силами



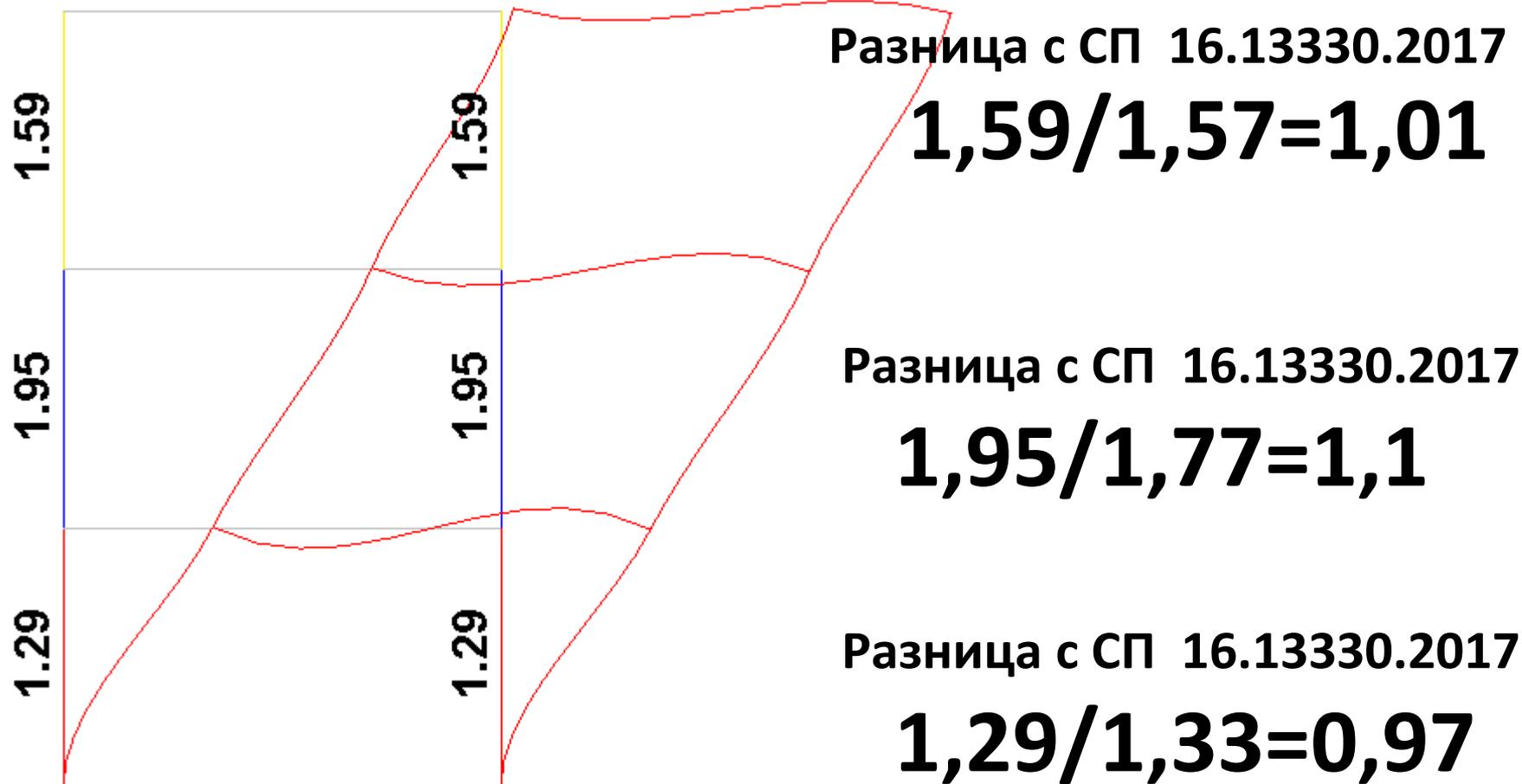
# Технология применения метода догрузки пассивных элементов в SCAD

В специально созданной комбинации коэффициенты сочетаний подбираются так, чтобы значения энергии при потере устойчивости во всех сжатых элементах были одинаковыми



# Технология применения метода догрузки пассивных элементов в SCAD

Коэффициенты расчетных длин элементов в равноустойчивом состоянии



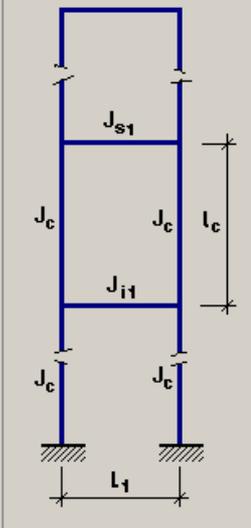
# Определение коэффициентов расчетных длин колонн четырехэтажной однопролетной рамы

## Результаты в Кристалл

Кристалл (64-бит) - Расчетные длины

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Вид конструкции Расчетные длины



Рама  
Количество пролетов: 1

Схема опирания  
 Шарнир  
 Защемление

Величина пролета  
слева,  $L_1$ : 10 м  
справа,  $L_2$ : 0 м

Ригели  
Жесткость ригеля примыкающего к верху колонны  
слева,  $J_{s1}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>  
справа,  $J_{s2}$ : 0 см<sup>4</sup>  
Жесткость ригеля примыкающего к низу колонны  
слева,  $J_{i1}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>  
справа,  $J_{i2}$ : 0 см<sup>4</sup>

Колонна  
Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж  
Высота колонны,  $L_c$ : 6 м  
Жесткость колонны,  $J_c$ : 30556.001 см<sup>4</sup>

Коэффициент расчетной длины: 1.57

Меню Вычислить Отчет Справка

Колонна

Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6

Жесткость колонны,  $J_c$ : 3056

Коэффициент расчетной длины: 1.57

Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6

Жесткость колонны,  $J_c$ : 3056

Коэффициент расчетной длины: 1.77

Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6

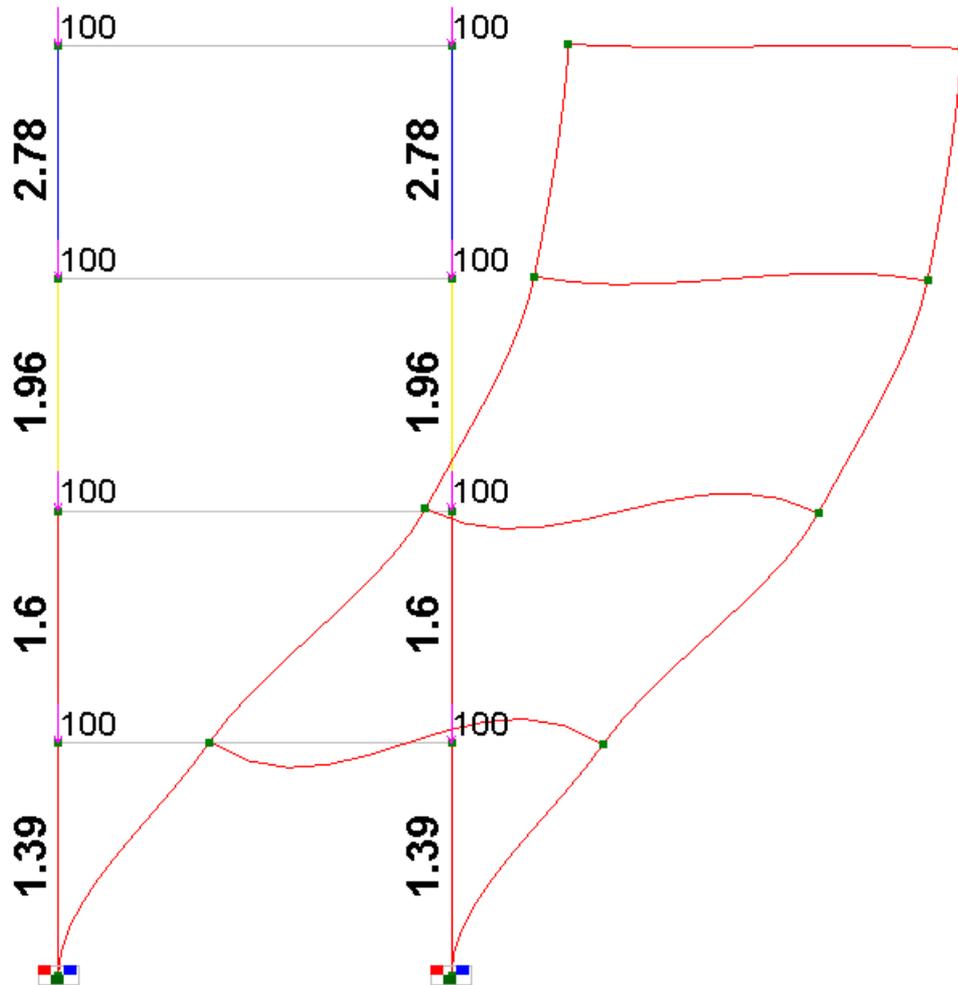
Жесткость колонны,  $J_c$ : 3056

Коэффициент расчетной длины: 1.33

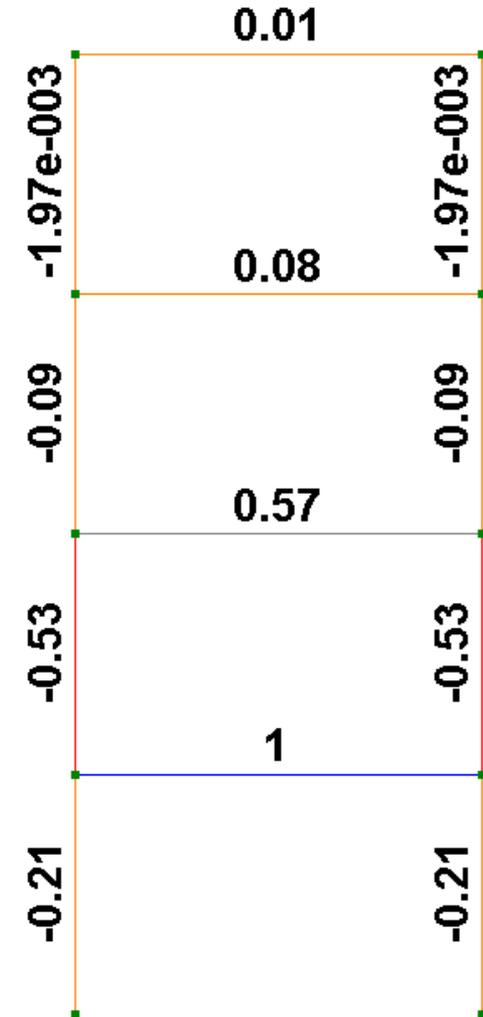
# Определение коэффициентов расчетных длин колонн четырехэтажной однопролетной рамы

Результаты в SCAD из расчета на устойчивость при пропорциональном увеличении нагрузок на систему

Коэффициенты расчетных длин

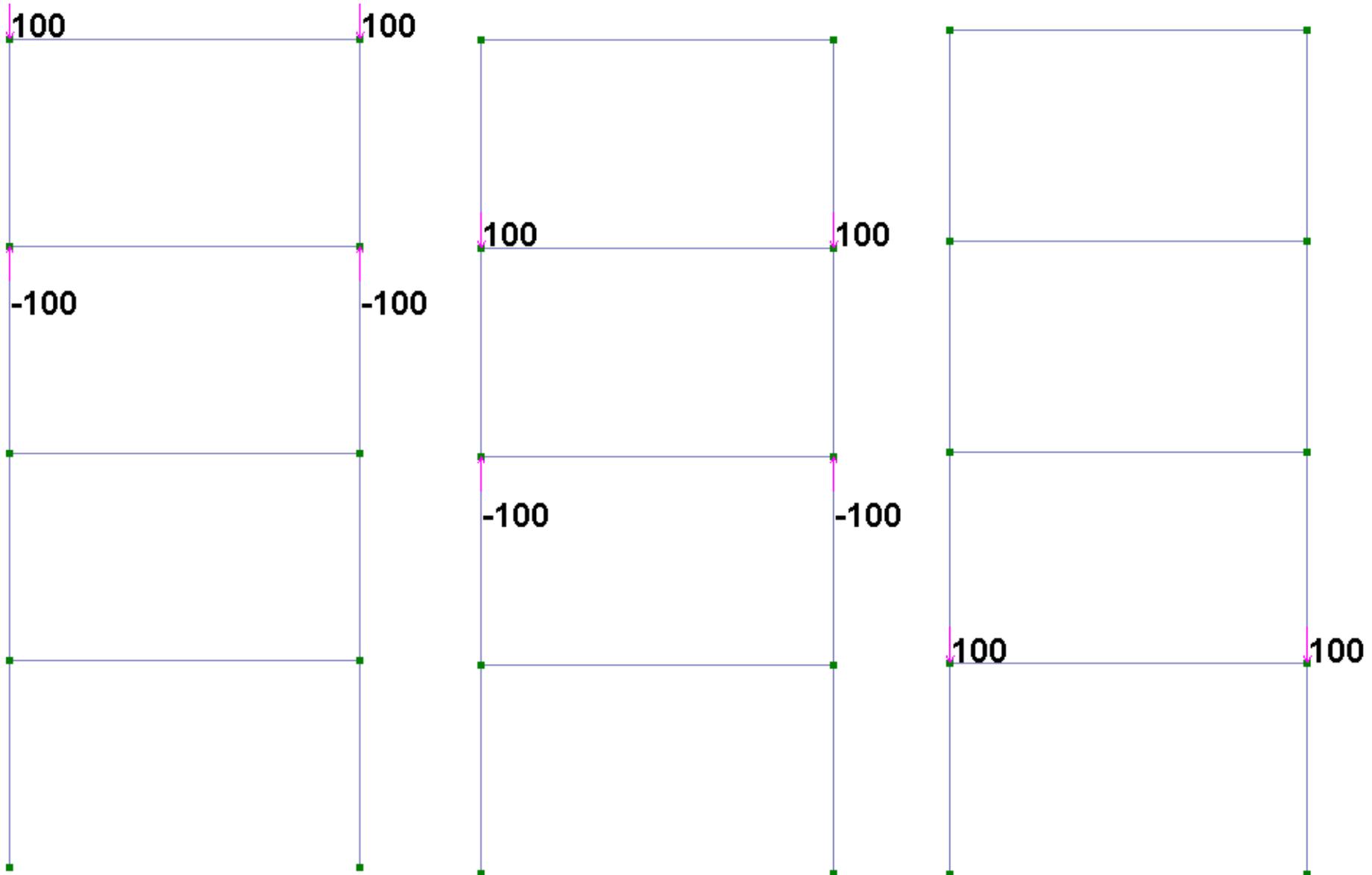


Распределение энергии



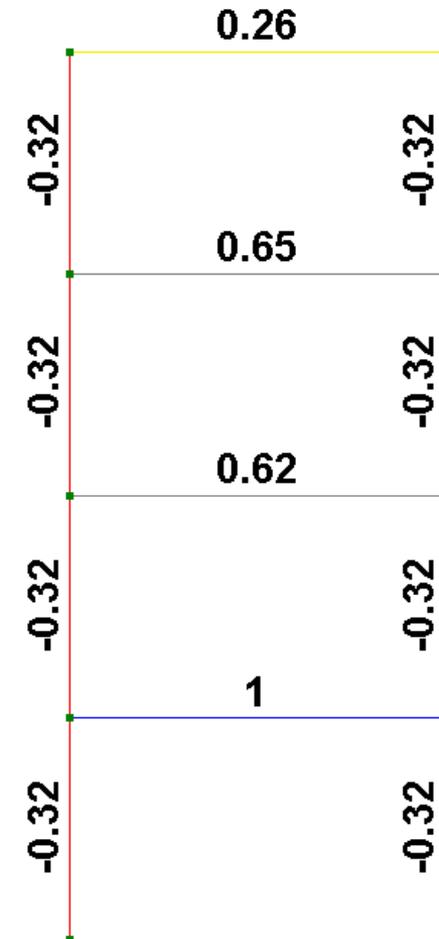
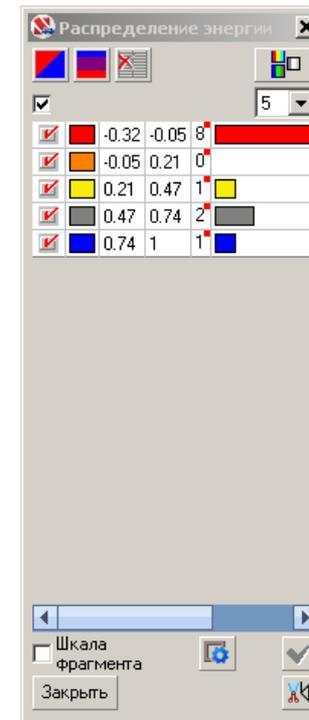
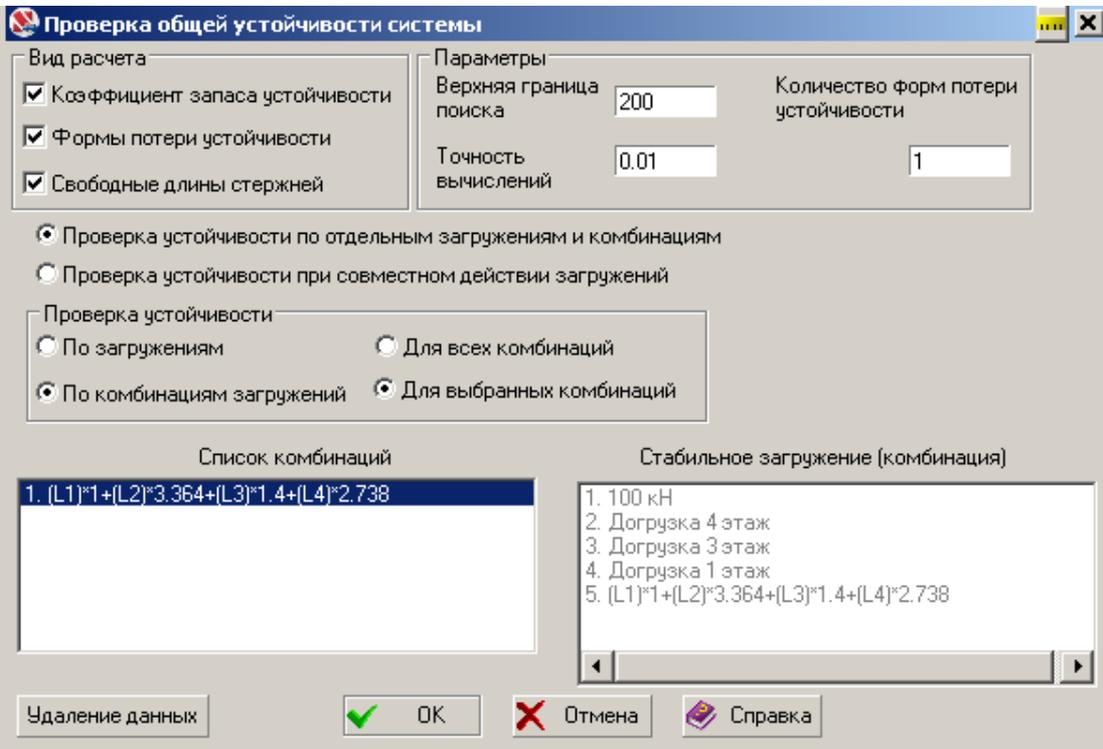
# Определение коэффициентов расчетных длин колонн четырехэтажной однопролетной рамы

## Догрузка пассивных элементов

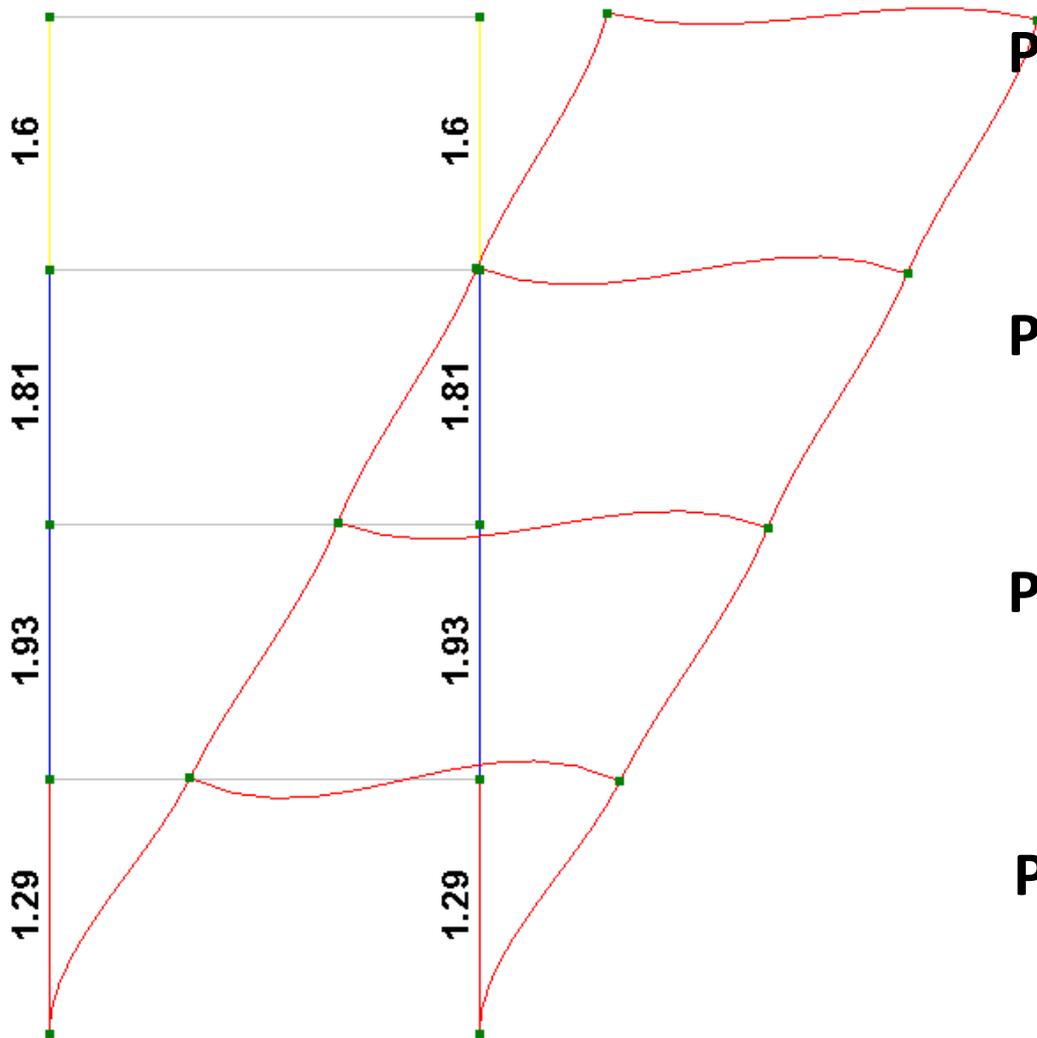


# Определение коэффициентов расчетных длин колонн четырехэтажной однопролетной рамы

## Подбор коэффициентов в комбинации для достижения равноустойчивости



Определение коэффициентов расчетных длин колонн четырехэтажной  
однопролетной рамы  
Коэффициенты расчетных длин в равноустойчивом состоянии



Разница с СП 16.13330.2017

$$1,6/1,57=1,02$$

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,81/1,77=1,02$$

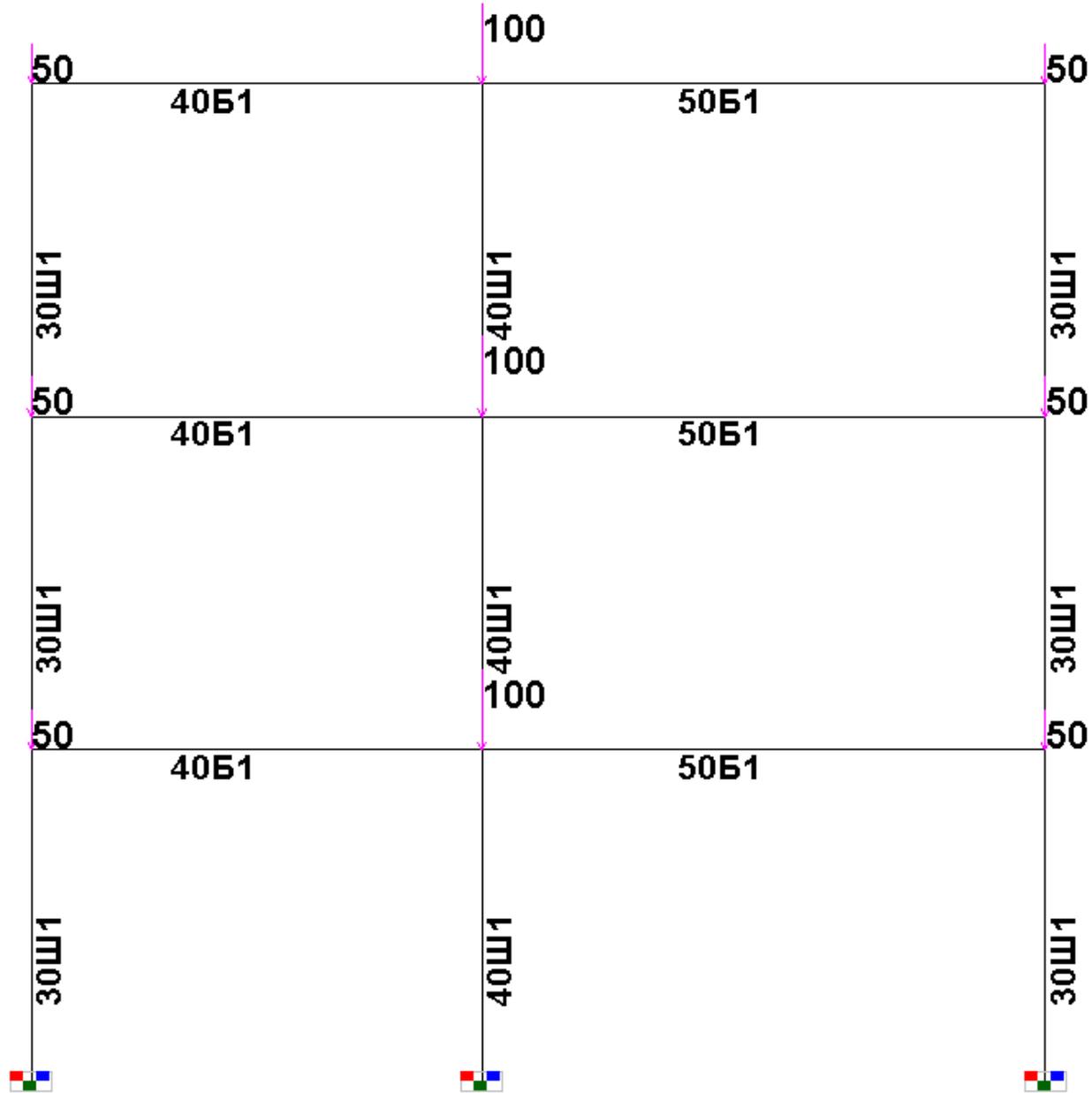
Разница с СП 16.13330.2017

$$1,93/1,77=1,09$$

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,29/1,33=0,97$$

# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам



## Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

Расчетные схемы и формулы к определению расчетных длин свободных многоэтажных рам из табл. 31 СП 16.13330.2017

	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Верхний этаж</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\frac{2k(n_1 + n_2)}{k + 1}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Средний этаж</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Нижний этаж</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\frac{2k(p_1 + p_2)}{k + 1}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}</math></td> </tr> </table>	Верхний этаж		$\frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$	$\frac{2k(n_1 + n_2)}{k + 1}$	Средний этаж		$\frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$	$\frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$	Нижний этаж		$\frac{2k(p_1 + p_2)}{k + 1}$	$\frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$	$\mu = \frac{(p + 0,68)\sqrt{n + 0,22}}{\sqrt{0,68p(p + 0,9)(n + 0,08) + 0,1n}}; \quad (143)$ <p style="text-align: center;">при <math>n &gt; 0,2</math></p> $\mu = \frac{(p + 0,63)\sqrt{n + 0,28}}{\sqrt{pn(p + 0,9) + 0,1n}} \quad (144)$
Верхний этаж														
$\frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$	$\frac{2k(n_1 + n_2)}{k + 1}$													
Средний этаж														
$\frac{k(p_1 + p_2)}{k + 1}$	$\frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$													
Нижний этаж														
$\frac{2k(p_1 + p_2)}{k + 1}$	$\frac{k(n_1 + n_2)}{k + 1}$													

Из примечания к таблице 31 СП 16.13330.2017

**Примечание** – Для крайней колонны свободной многопролетной рамы коэффициент  $\mu$  следует определять при значениях  $p$  и  $n$  как для колонн однопролетной рамы.

Из справки к программе Кристалл

Поскольку у многопролетных свободных рам расчетные длины крайней и средней колонн разнятся между собой (это не учитывается напрямую), то рекомендуется следующий прием: для средних колонн решение отыскивается как для многопролетной рамы, а для крайних колонн используется решение для однопролетной рамы. Для однопролетных рам условно используются обозначения длин и жесткостей по левой стороне от рассматриваемой стойки.

# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

## Определение расчетной длины средней колонны в программе Кристалл

Кристалл (64-бит) - Расчетные длины

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Вид конструкции Расчетные длины

Рама  
Количество пролетов: 2

Схема опирания  
 Шарнир  
 Зашемление

Величина пролета  
слева,  $L_1$ : 8 м  
справа,  $L_2$ : 10 м

Ригели  
Жесткость ригеля примыкающего к верху колонны  
слева,  $J_{s1}$ : 20020 см<sup>4</sup>  
справа,  $J_{s2}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>  
Жесткость ригеля примыкающего к низу колонны  
слева,  $J_{i1}$ : 20020 см<sup>4</sup>  
справа,  $J_{i2}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>

Колонна  
Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $l_c$ : 6 м  
Жесткость колонны,  $J_c$ : 30556.001 см<sup>4</sup>

Коэффициент расчетной длины: 1.28

Меню

Вычислить

Отчет

Справка

Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $l_c$ : 6 м

Жесткость колонны,  $J_c$ : 3055

Коэффициент расчетной длины: 1.28

Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $l_c$ : 6 м

Жесткость колонны,  $J_c$ : 3055

Коэффициент расчетной длины: 1.37

Расположение  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $l_c$ : 6 м

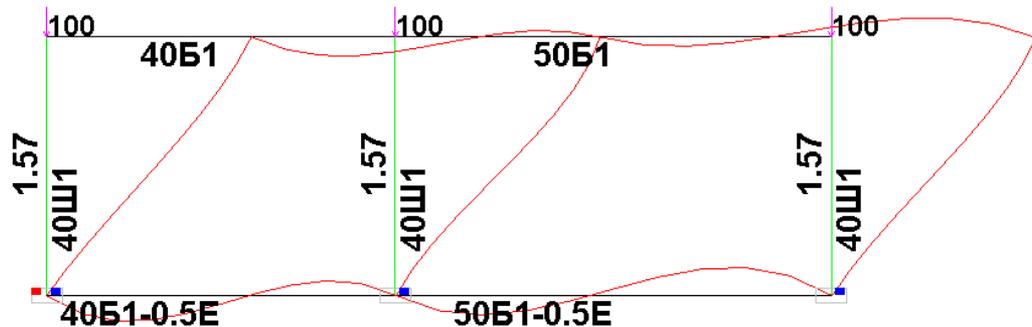
Жесткость колонны,  $J_c$ : 3055

Коэффициент расчетной длины: 1.16

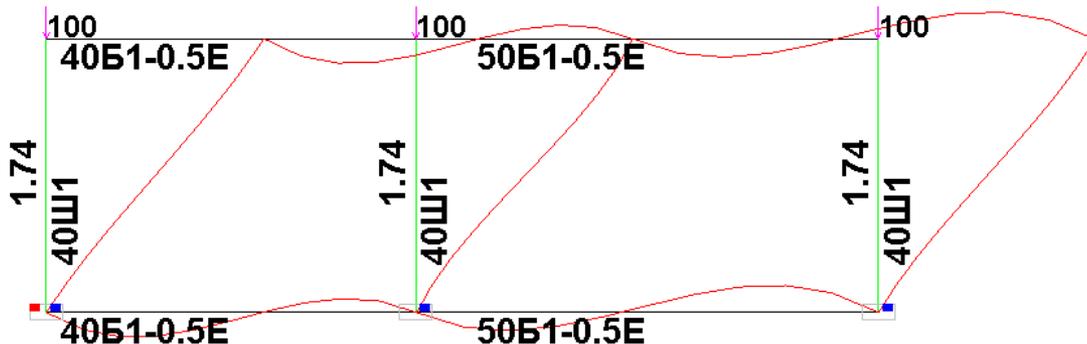
# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

Для уменьшения в два раза жесткости ригелей в программе SCAD использован прием уменьшения модуля упругости в два раза.

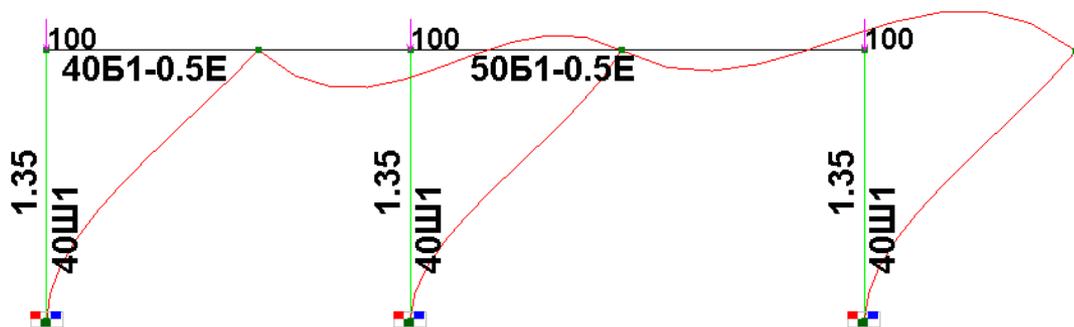
## Коэффициенты расчетных длин в SCAD



Верхний этаж  
Разница с СП 16.13330.2017  
 **$1,57/1,28=1,23$**



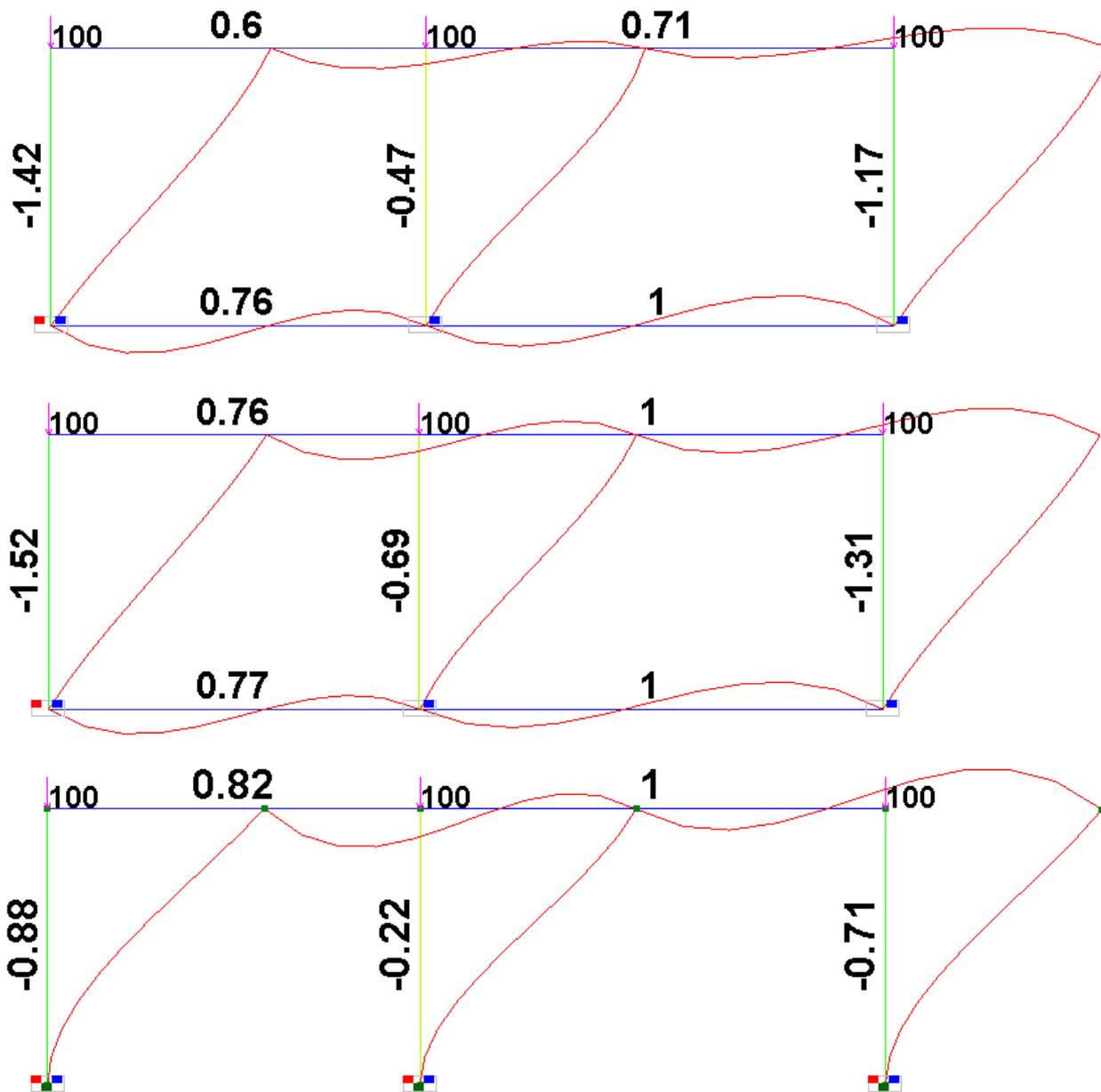
Средний этаж  
Разница с СП 16.13330.2017  
 **$1,74/1,37=1,27$**



Нижний этаж  
Разница с СП 16.13330.2017  
 **$1,35/1,16=1,16$**

# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

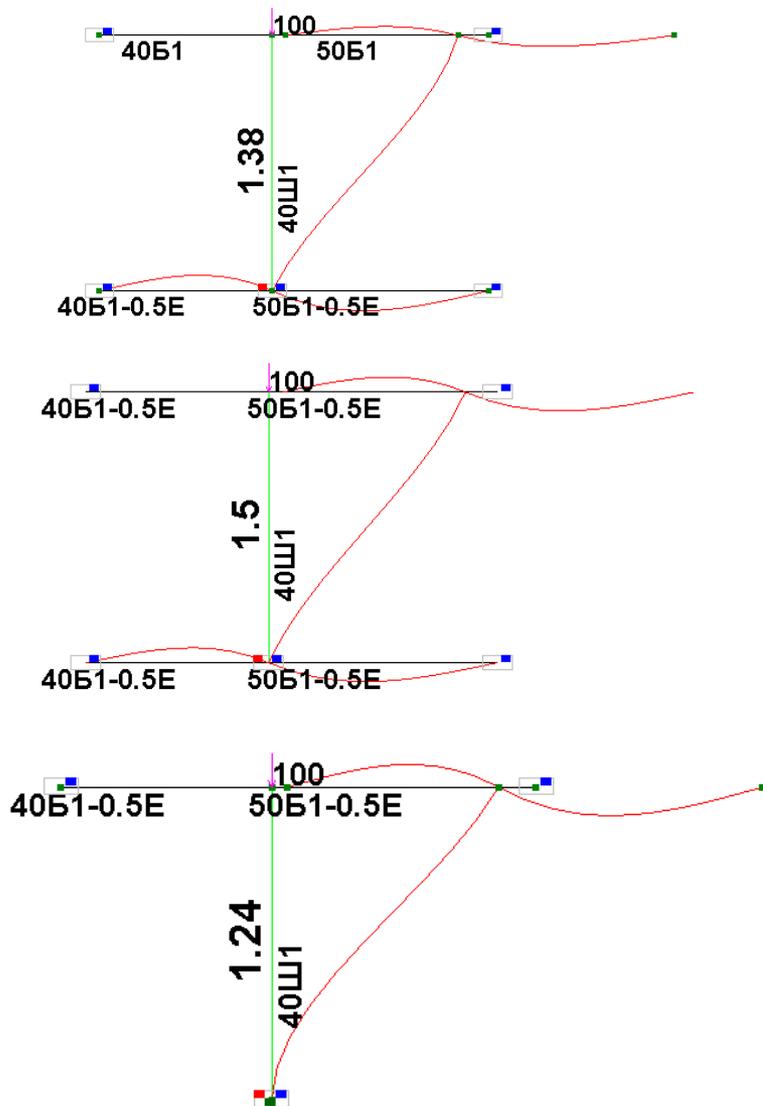
Энергетический постпроцессор показывает, что средние стойки являются пассивными



# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

Выделение моделей средних стоек с учетом изгибной жесткости примыкающих ригелей (п. 8.1.1 СП 294.1325800.2017) позволяет уточнить их расчетные длины (длина ригеля принята равной половине длине пролета, свободные концы ригелей закреплены по Z)

## Коэффициенты расчетных длин в SCAD



Верхний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,38/1,28=1,08$$

Средний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,5/1,37=1,09$$

Нижний этаж

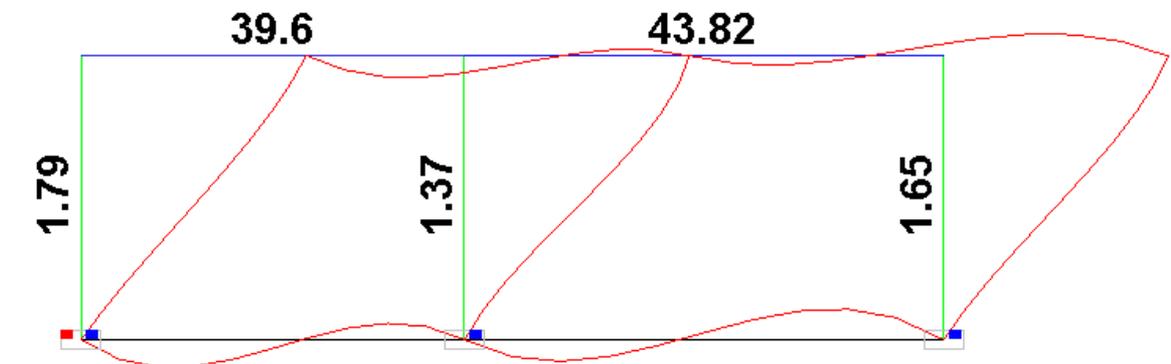
Разница с СП 16.13330.2017

$$1,24/1,16=1,07$$

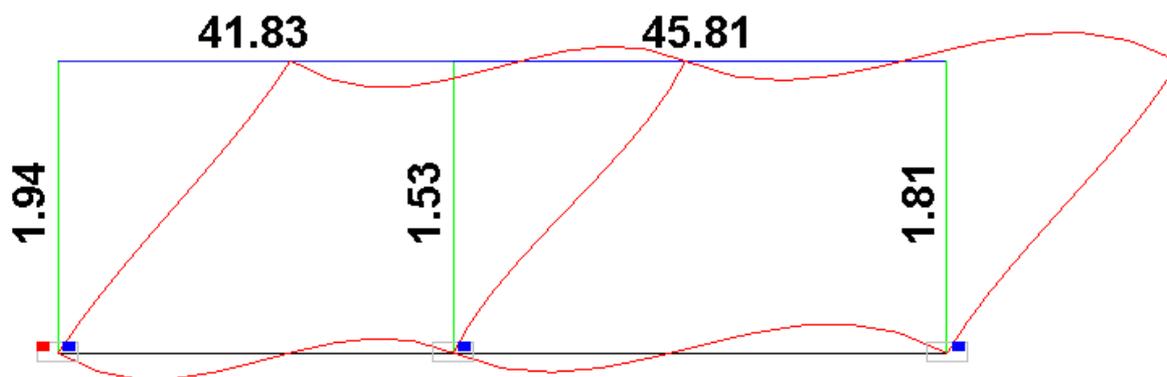
# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

Метод догрузки дает результаты, очень близкие к результатам выделения отдельной стойки с учетом жесткости примыкающих ригелей

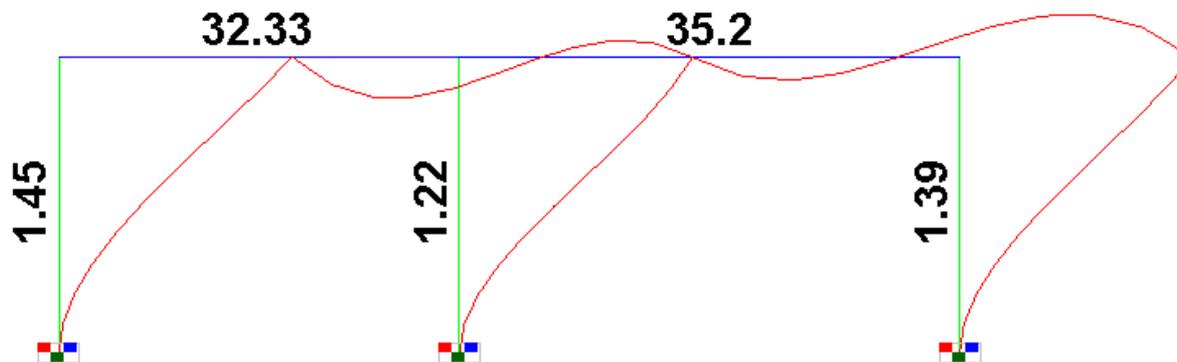
## Коэффициенты расчетных длин в SCAD



Верхний этаж  
Разница с СП 16.13330.2017  
 **$1,37/1,28=1,07$**   
Разница с методом  
выделения стойки  
 **$1,37/1,38=0,99$**



Средний этаж  
Разница с СП 16.13330.2017  
 **$1,53/1,37=1,11$**   
Разница с методом  
выделения стойки  
 **$1,53/1,5=1,02$**



Нижний этаж  
Разница с СП 16.13330.2017  
 **$1,22/1,16=1,05$**   
Разница с методом  
выделения стойки  
 **$1,22/1,24=0,98$**

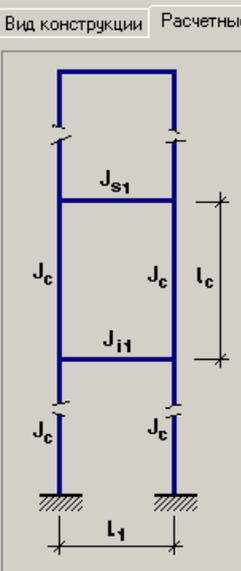
# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

## Коэффициенты расчетных длин левой колонны в Кристалл

Кристалл (64-бит) - Расчетные длины

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Вид конструкции Расчетные длины



Рама

Количество пролетов: 1

Схема опирания

Шарнир

Защемление

Величина пролета

слева,  $L_1$ : 8 м

справа,  $L_2$ : 10 м

Ригели

Жесткость ригеля примыкающего к верху колонны

слева,  $J_{b1}$ : 20020 см<sup>4</sup>

справа,  $J_{b2}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>

Жесткость ригеля примыкающего к низу колонны

слева,  $J_{i1}$ : 20020 см<sup>4</sup>

справа,  $J_{i2}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>

Колонна

Расположение

Верхний этаж

Средний этаж

Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6 м

Жесткость колонны,  $J_c$ : 11339 см<sup>4</sup>

Коэффициент расчетной длины: 1.34

Меню

Вычислить

Отчет

Справка

Расположение

Верхний этаж

Средний этаж

Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6

Жесткость колонны,  $J_c$ : 113

Коэффициент расчетной длины: 1.34

Расположение

Верхний этаж

Средний этаж

Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6

Жесткость колонны,  $J_c$ : 113

Коэффициент расчетной длины: 1.45

Расположение

Верхний этаж

Средний этаж

Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6

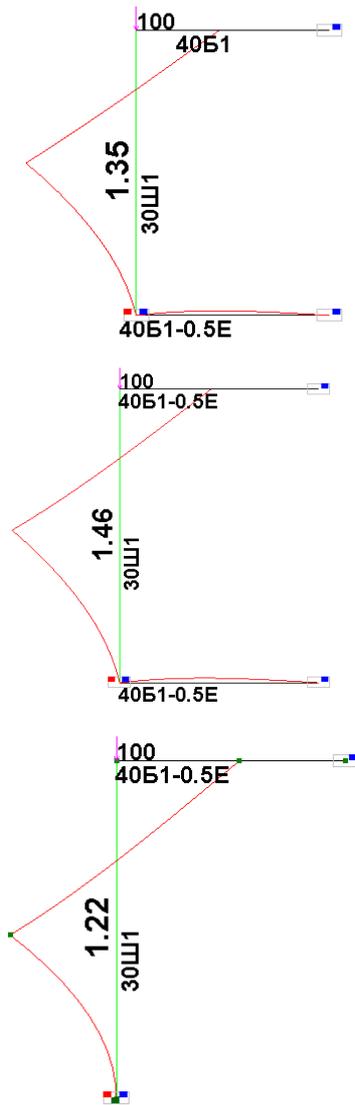
Жесткость колонны,  $J_c$ : 1133

Коэффициент расчетной длины: 1.19

# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

Выделение моделей левых стоек с учетом изгибной жесткости примыкающих ригелей (п. 8.1.1 СП 294.1325800.2017) позволяет уточнить их расчетные длины (длина ригеля принята равной половине длине пролета, свободные концы ригелей закреплены по Z)

## Коэффициенты расчетных длин в SCAD



Верхний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,35/1,34=1,007$$

Средний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,46/1,45=1,007$$

Нижний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,22/1,19=1,025$$

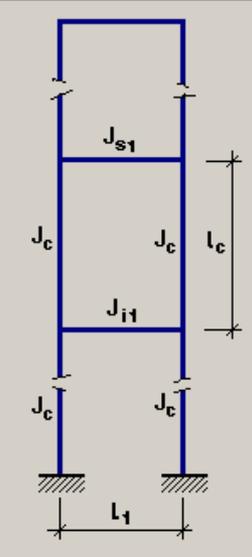
# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

## Коэффициенты расчетных длин правой колонны в Кристалл

Кристалл (64-бит) - Расчетные длины

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Вид конструкции Расчетные длины



**Рамы**  
Количество пролетов: 1

**Схема опирания**  
 Шарнир  
 Защемление

**Величина пролета**  
слева,  $L_1$ : 10 м  
справа,  $L_2$ : 10 м

**Ригели**  
Жесткость ригеля примыкающего к верху колонны  
слева,  $J_{s1}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>  
справа,  $J_{s2}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>  
Жесткость ригеля примыкающего к низу колонны  
слева,  $J_{i1}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>  
справа,  $J_{i2}$ : 36845.001 см<sup>4</sup>

**Колонна**  
Расположение:  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж  
Высота колонны,  $L_c$ : 6 м  
Жесткость колонны,  $J_c$ : 11339 см<sup>4</sup>

Коэффициент расчетной длины: 1.24

2017 Меню Вычислить Отчет Справка

Расположение:  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6 м  
Жесткость колонны,  $J_c$ : 11339 см<sup>4</sup>

Коэффициент расчетной длины: 1.24

Расположение:  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

Высота колонны,  $L_c$ : 6 м  
Жесткость колонны,  $J_c$ : 11339 см<sup>4</sup>

Коэффициент расчетной длины: 1.31

Расположение:  
 Верхний этаж  
 Средний этаж  
 Нижний этаж

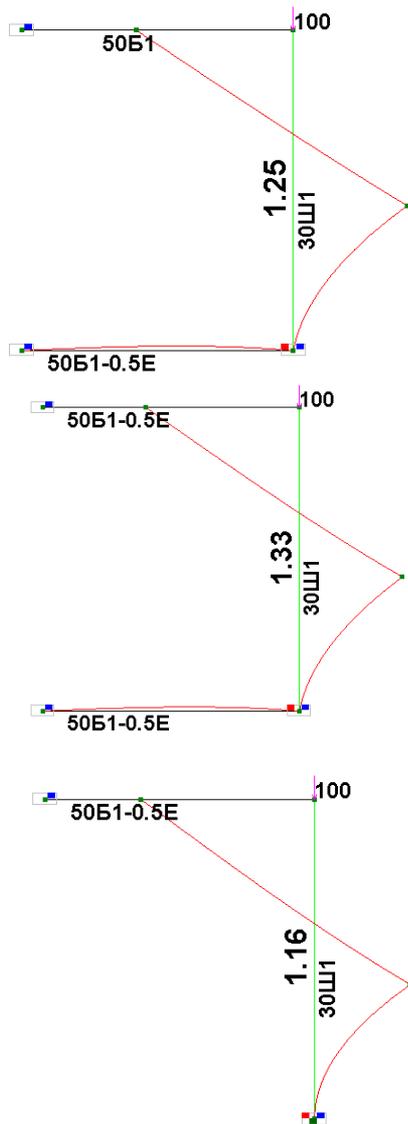
Высота колонны,  $L_c$ : 6 м  
Жесткость колонны,  $J_c$ : 11339 см<sup>4</sup>

Коэффициент расчетной длины: 1.13

# Определение коэффициентов расчетных длин колонн многопролетных многоэтажных рам

Выделение моделей правых стоек с учетом изгибной жесткости примыкающих ригелей (п. 8.1.1 СП 294.1325800.2017) позволяет уточнить их расчетные длины (длина ригеля принята равной половине длине пролета, свободные концы ригелей закреплены по Z)

## Коэффициенты расчетных длин в SCAD



Верхний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,25/1,24=1,008$$

Средний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,33/1,31=1,015$$

Нижний этаж

Разница с СП 16.13330.2017

$$1,16/1,13=1,027$$

# Выводы и рекомендации по использованию расчета на устойчивость в SCAD для определения расчетных длин элементов стальных конструкций

1. Для определения расчетных длин использовать плоские модели, а для исключения потери устойчивости из плоскости и удобства использования энергетического постпроцессора использовать тип схем «2 - Плоская рама». Если используется тип схемы «5 – Система общего вида», то разбивка на конечные элементы должна быть достаточно подробной, а плоская модель должна быть закреплена из плоскости.
2. При необходимости уточнения больших расчетных длин можно использовать метод деления системы на условные плоские схемы или прием догрузки пассивных элементов. Возможно применение комбинации указанных методов.
3. Приведенный анализ показал, что для многоэтажных стальных рам применение методов деления на условные плоские схемы и метода догрузки пассивных элементов дает результаты близкие к нормативным с точностью от 0,97 до 1,1.
4. Возможность принимать расчетные длины активных элементов из расчета устойчивости всей рамы при пропорциональном увеличении нагрузок, а пассивных по методу деления на условные плоские схемы или через метод догрузки требует исследования! В запас расчетные длины активных и пассивных элементов лучше принимать из одной расчетной модели (с догрузкой или без догрузки пассивных элементов), или путем применения указанных выше методов.
5. При применении условных расчетных схем в запас рекомендуется исключать элементы повышающие линейную жесткость узлов рассчитываемых элементов ( $C_n=0$ , для приведенной схемы).
6. Полученные расчетные длины для свободных одноэтажных и многоэтажных рам можно уменьшить по формуле (147) СП 16.13330.2017 или для наиболее загруженной колонны одноэтажной свободной рамы при наличии жесткого диска покрытия по формуле (146) СП 16.13330.2017.



$$\mu = 0,5 \dots 2$$



Детально представленный материал и многие другие вопросы в том числе и по расчетным длинам разбираются на специальном курсе

**«Расчет и проектирование стальных конструкций с использованием программного комплекса «Scad Office»**

Занятия проводятся в учебном классе Scad Soft в Москве

Программа курса на сайте Scad Soft по адресу в сети Интернет

<http://scadhelp.com/training.html>

Заявку можно отправить по ссылке

<http://scadhelp.com/request&price.html>

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

[www.scadsoft.com](http://www.scadsoft.com)

[www.scadhelp.ru](http://www.scadhelp.ru)