

Знакомство с МКЭ подсистемой

СтадиКон (СДК)

Линейный анализ плоской рамы



Содержание

Содержание	2
1. Описание задачи	3
2. Конечно-элементная FEA модель	4
2.1. Геометрия	5
2.2. Свойства материала	7
2.3. Разбиение стержней	8
2.4. Краевые условия	9
2.5. Нагрузки	9
2.6. Статический расчет	11
2.7. Результаты	12
2.8. Расчет с более реальными данными	15
2.9. Расчет по РСУ	19
2.10. Конструктивный расчет	22
2.11. Расчет коэффициентов расчетных длин	31
3. Создание модели через позиционный POS-проект	37

1. Описание задачи

В данном примере демонстрируется линейный анализ статически определимой плоской рамы.

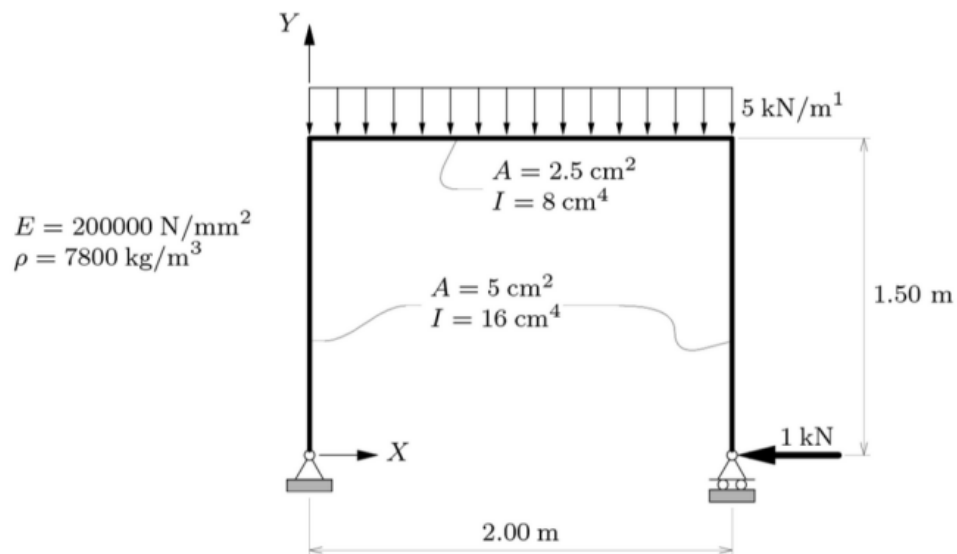


Рис. 1.1 – Схема рамы

Геометрические характеристики:

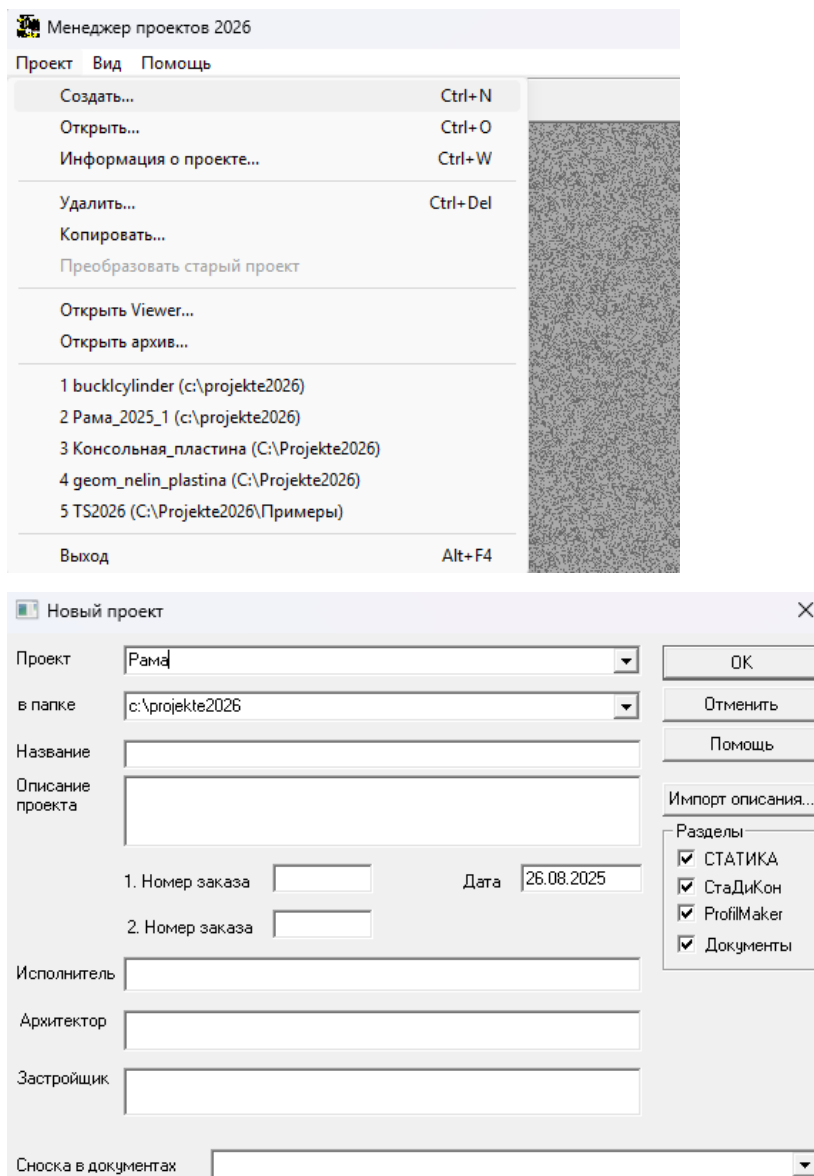
- ширина рамы = 2 м
- высота рамы = 1.5 м

Свойства материалов:

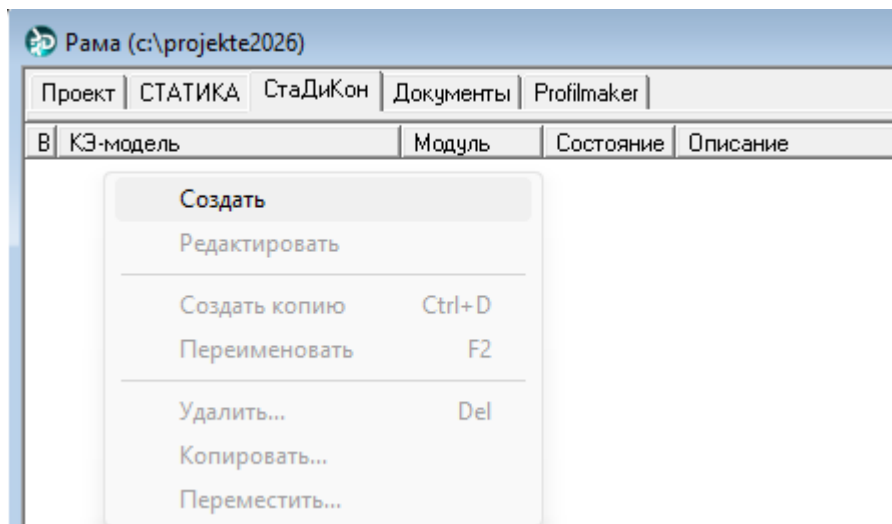
- модуль упругости $E = 2 \times 10^8$ кН/м²
- коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$
- модуль сдвига $G = 7.69231 \times 10^7$ кН/м²
- плотность $\rho = 7.8$ т/м³
- площадь поперечного сечения вертикальных стержней $A = 0.0005$ м²
- момент инерции вертикальных стержней $I = 16 \times 10^{-8}$ м⁴
- площадь поперечного сечения горизонтального стержня $A = 0.00025$ м²
- момент инерции горизонтального стержня $I = 8 \times 10^{-8}$ м⁴

2. Конечно-элементная FEA модель

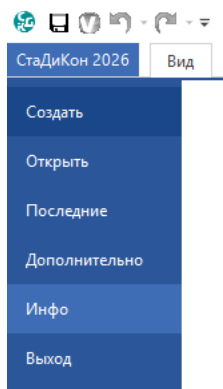
Создаем новый проект.



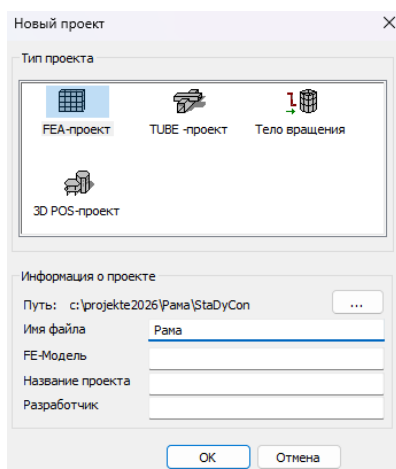
Во вкладке «СтаДиКон» нажимаем ПКМ в пустом окне и создаем новую КЭ модель.



Переходим в дерево проекта и выбираем «Создать».

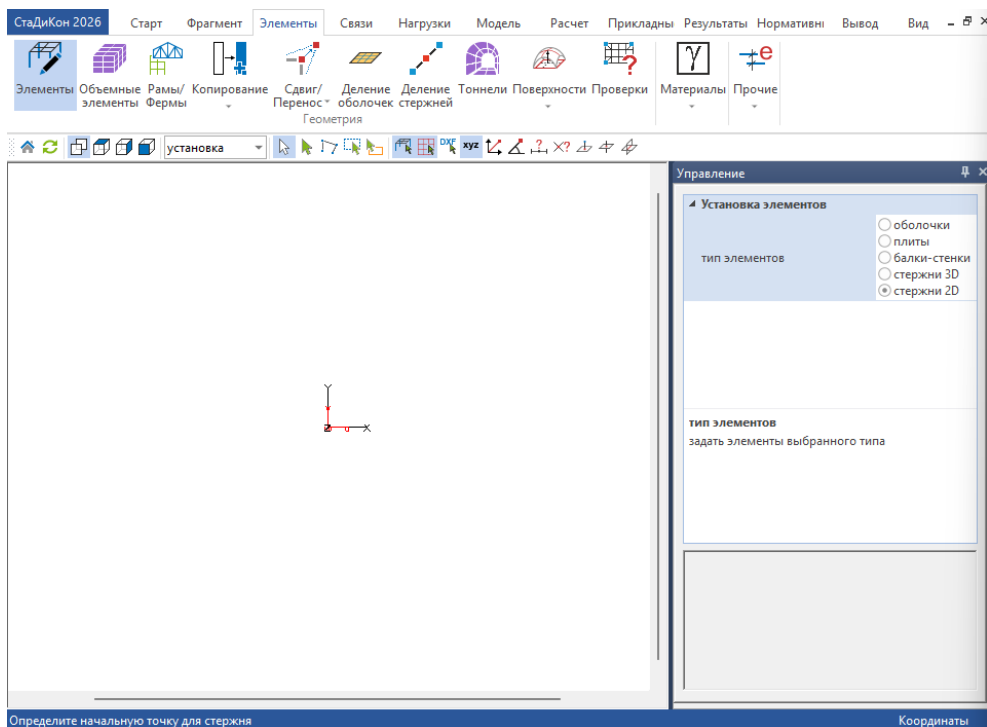


Создаем конечно-элементный «FEA-проект».

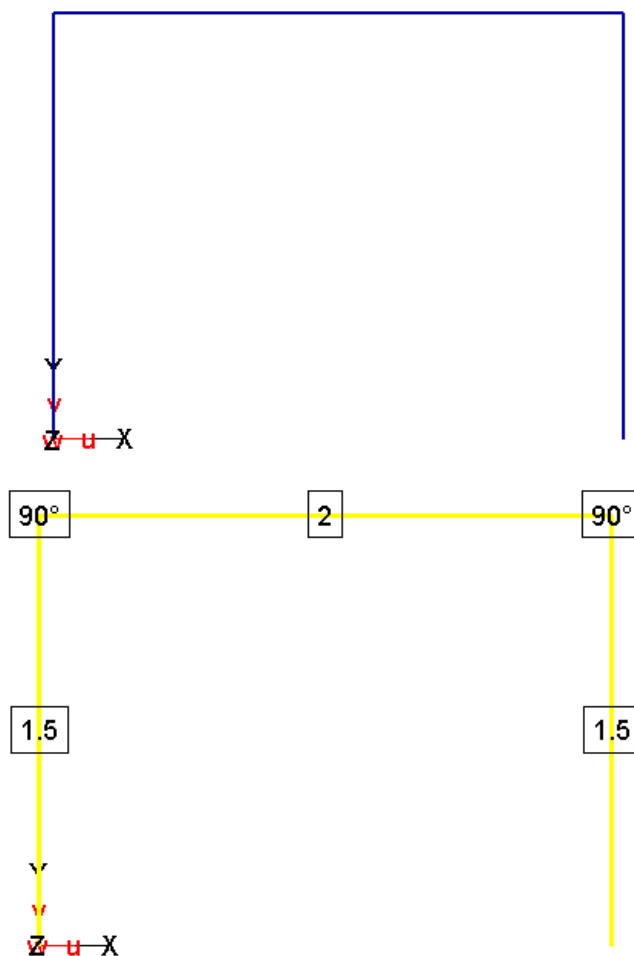
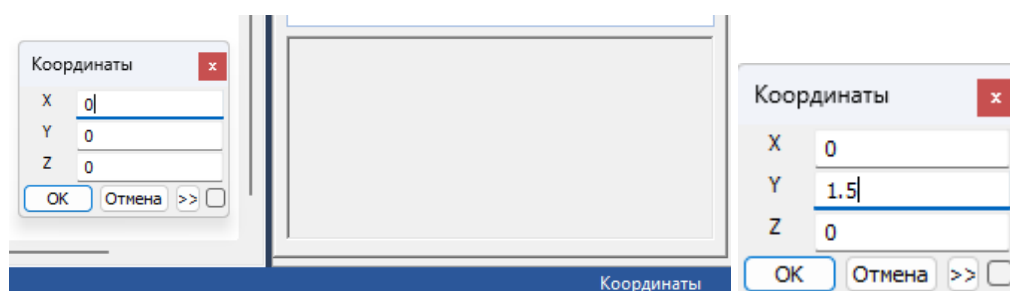


2.1. Геометрия

Переходим на вкладку «Элементы», и снова выбираем «Элементы». Тип КЭ – «*стержни 2D*», так как будем рассматривать плоскую задачу.

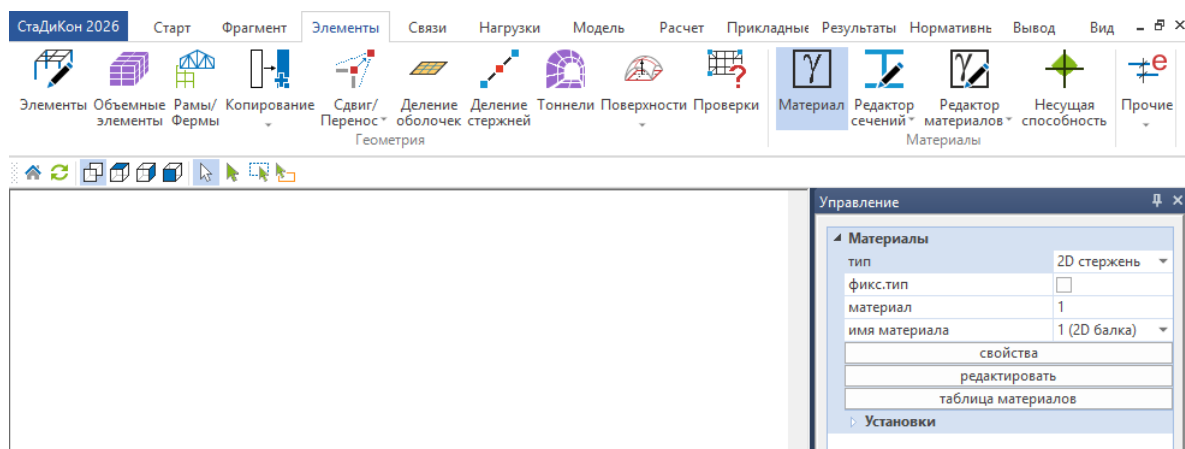


Нажимая на пустое окно в правом нижнем углу, чтобы отображались координаты предыдущего узла, создаем раму высотой 1.5м и шириной 2м.

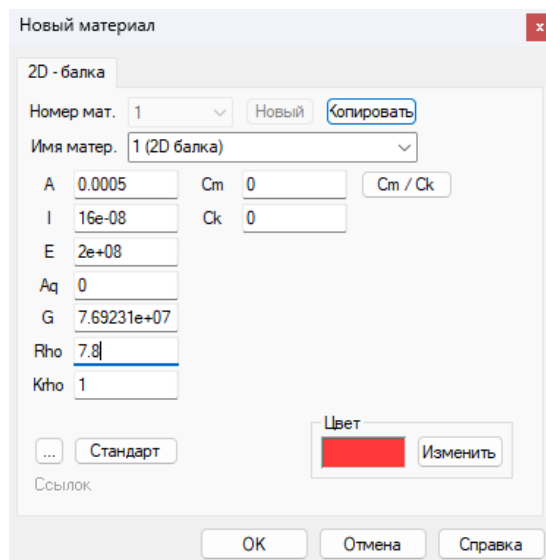


2.2. Свойства материала

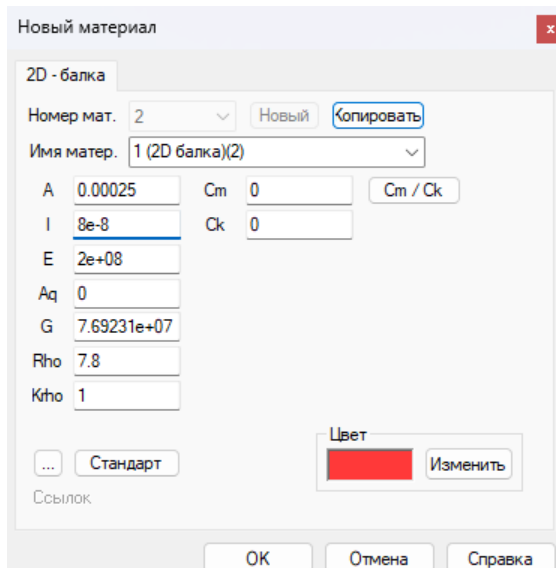
Переходим на окно «Материал», выбираем тип «**2D стержень**» и создаем его, нажав на «**новый**».



Задаем описанные ранее свойства для вертикальных стержней.

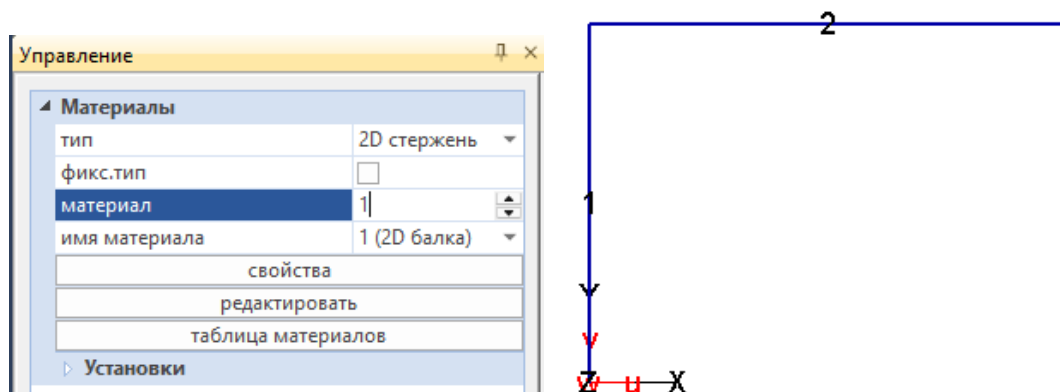


Нажимаем «Копировать» и меняем свойства для горизонтального стержня.



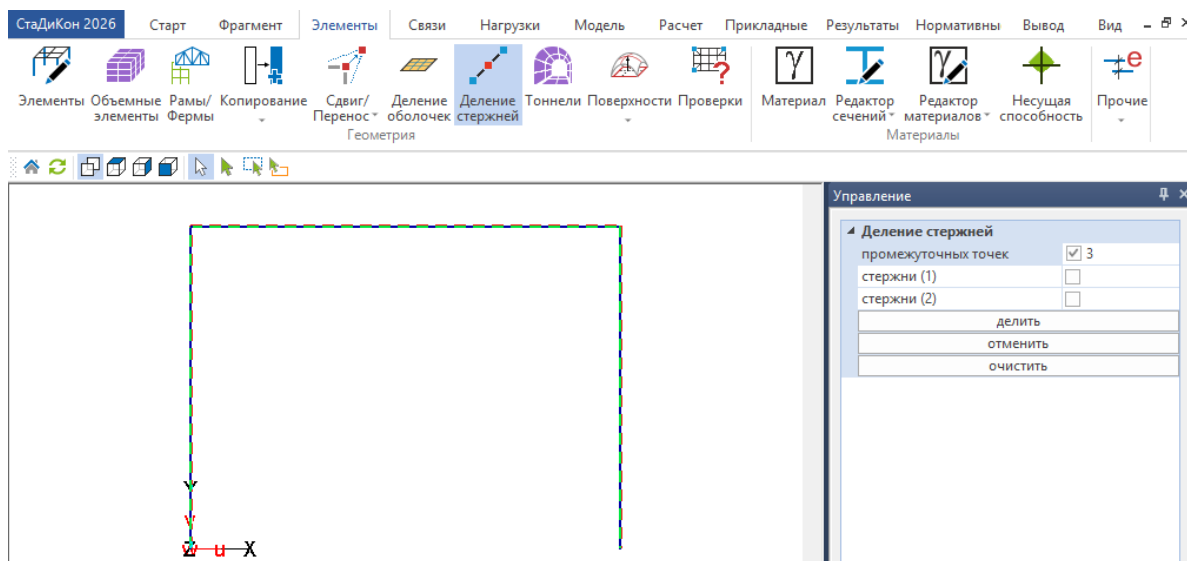
Завершаем создание материалов, нажав на «OK».

В окне «Управление» выбираем материал по номеру и назначаем его на соответствующие стержни нажатием ЛКМ.

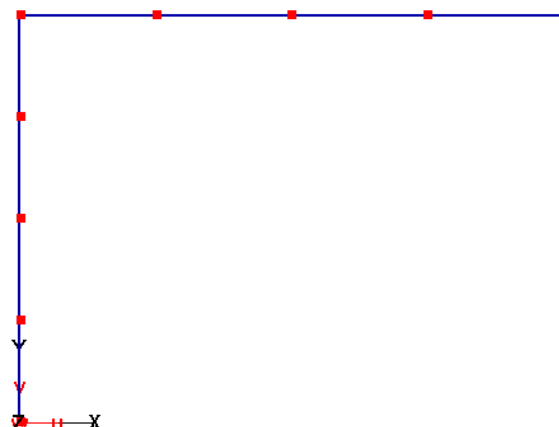


2.3. Разбиение стержней

Переходим на окно «Деление стержней», число «промежуточных точек» выбираем равное 3. Нажатиями ЛКМ выбираем все стержни, и завершаем разбиение нажав на «делить».

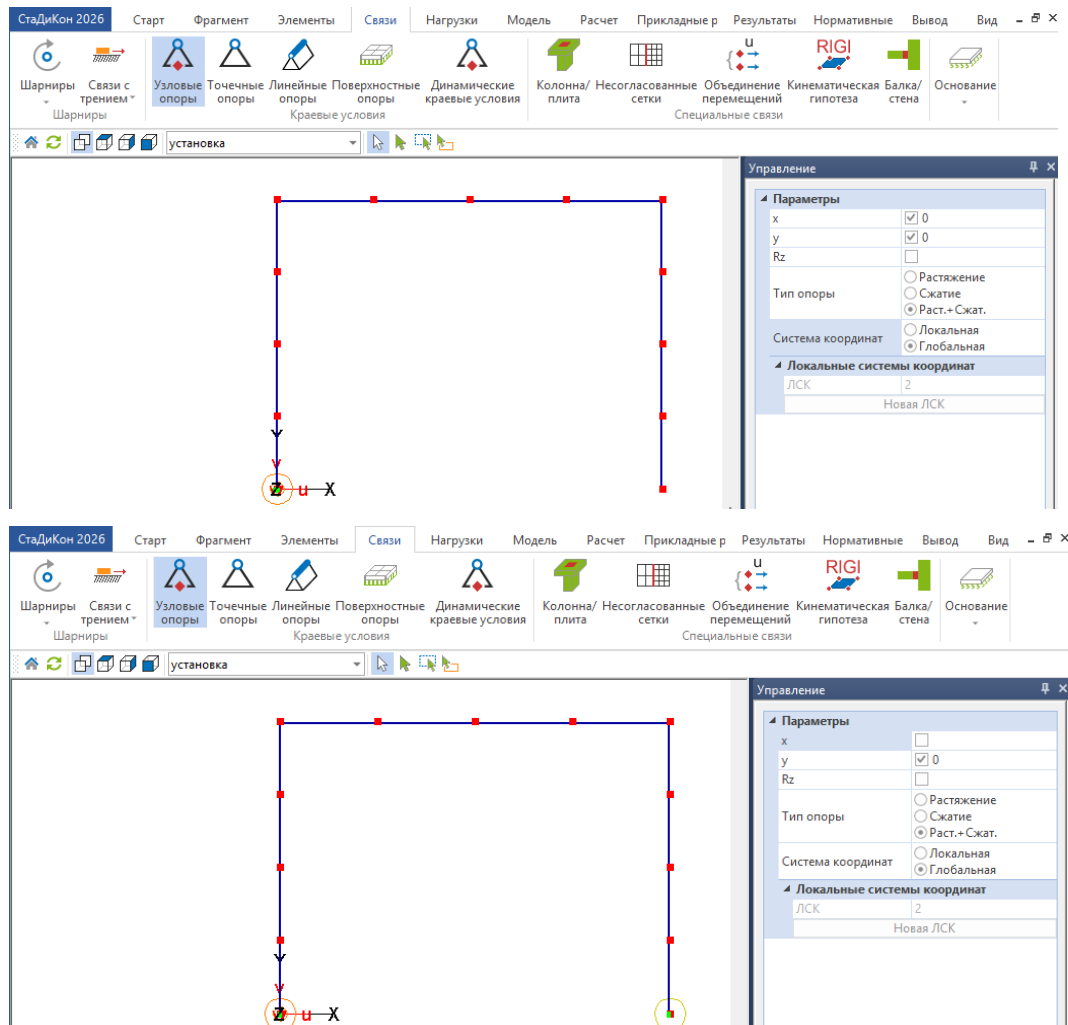


Во вкладке «Вид» можно включить отображение узлов.



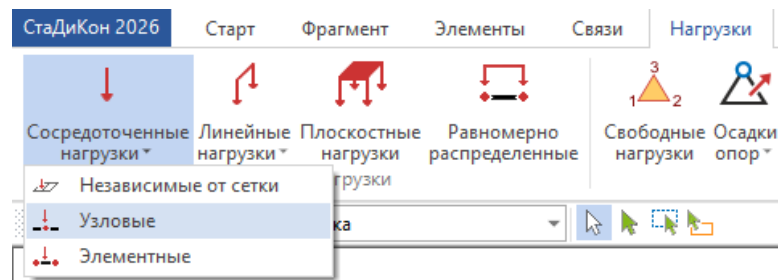
2.4. Краевые условия

На левом нижнем конце рамы шарнирно-неподвижная опора, на правом конце шарнирно-подвижная опора. Для установки переходим на вкладку «Связи», далее «Узловые опоры», выбираем «установка» и фиксируем узлы следующим образом:

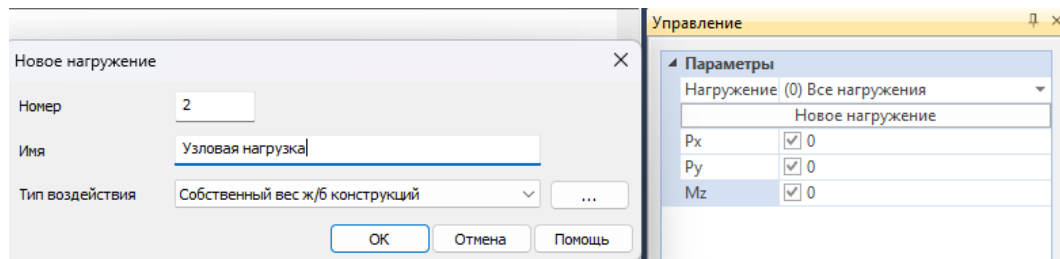


2.5. Нагрузки

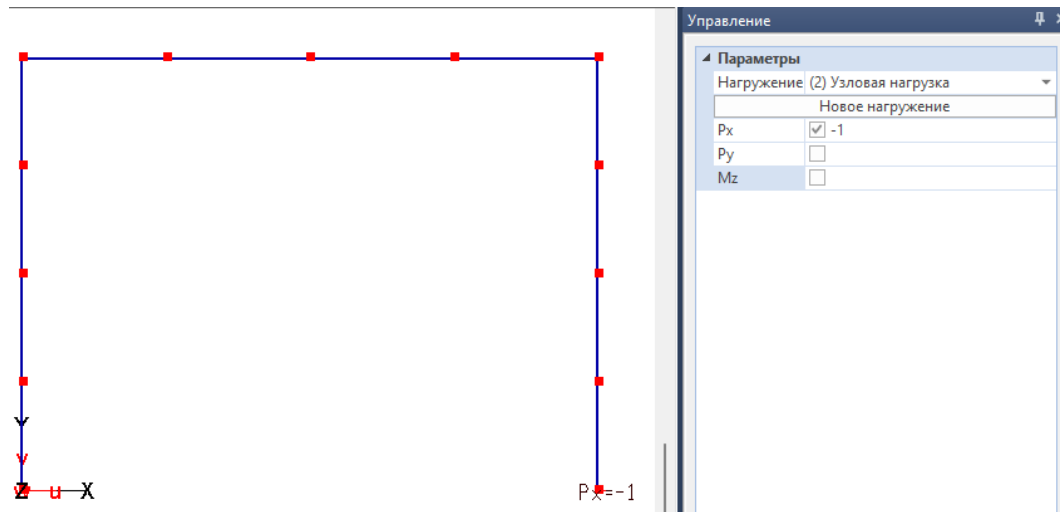
Для задания нагрузок переходим во вкладку «Нагрузки», нажимаем на «Сосредоточенные нагрузки» и выбираем «Узловые».



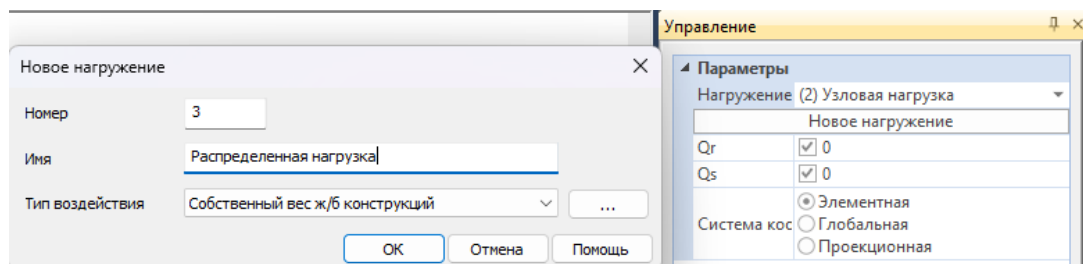
Создаем «Новое нагружение» нажав на соответствующую кнопку. Номер нагружения выбираем 2, так как в первое нагружение автоматически будет добавлен собственный вес рамы.



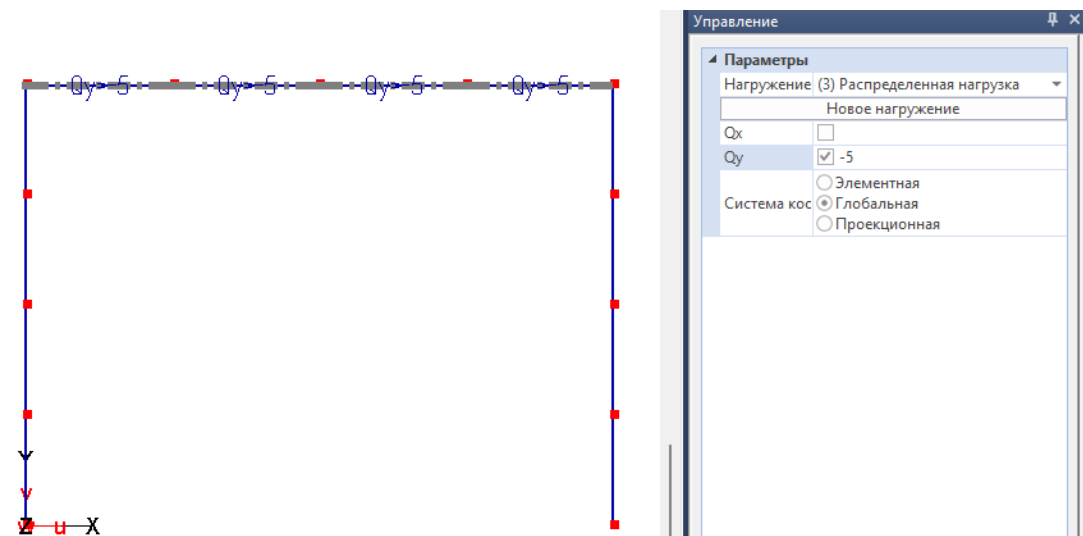
И задаем силу P_x равную «-1 кН».



Переходим на вкладку «Равномерно распределенные» нагрузки и создаем еще одно нагружение.

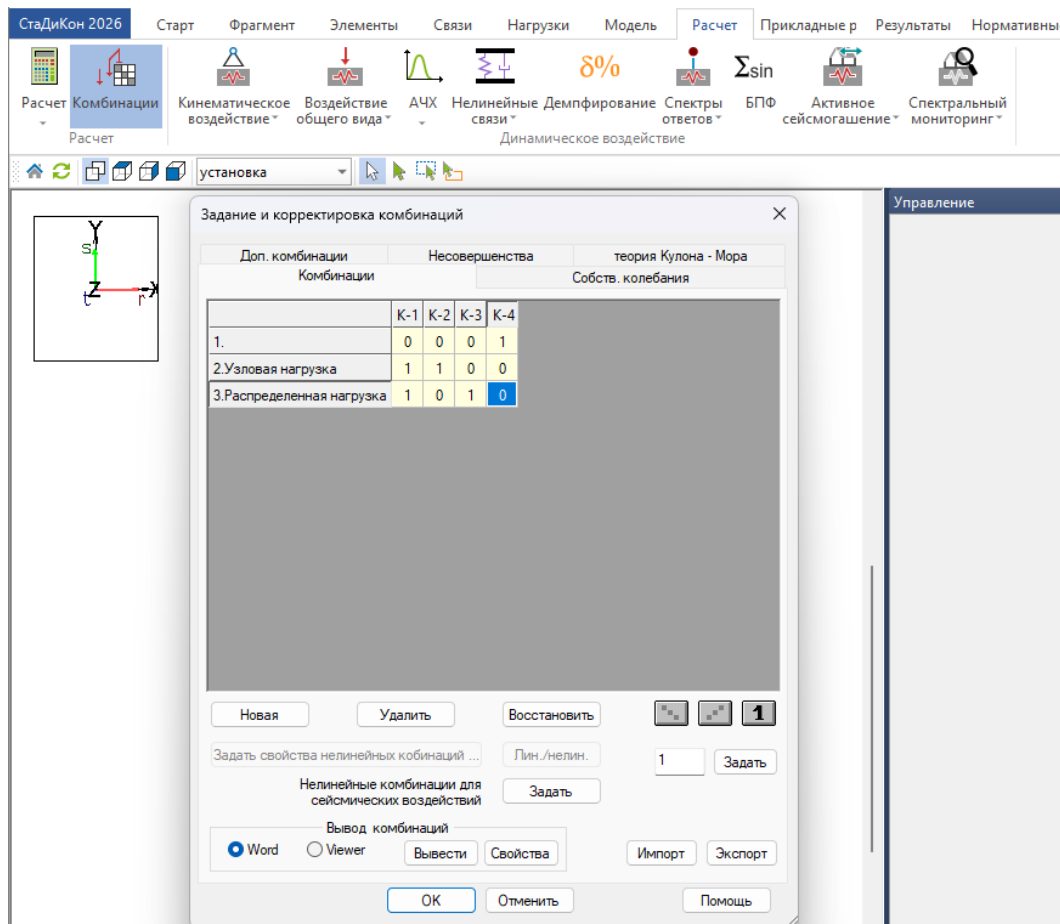


Задаем распределенную нагрузку Q_y равную «-5 кН*м» на горизонтальные стержни.

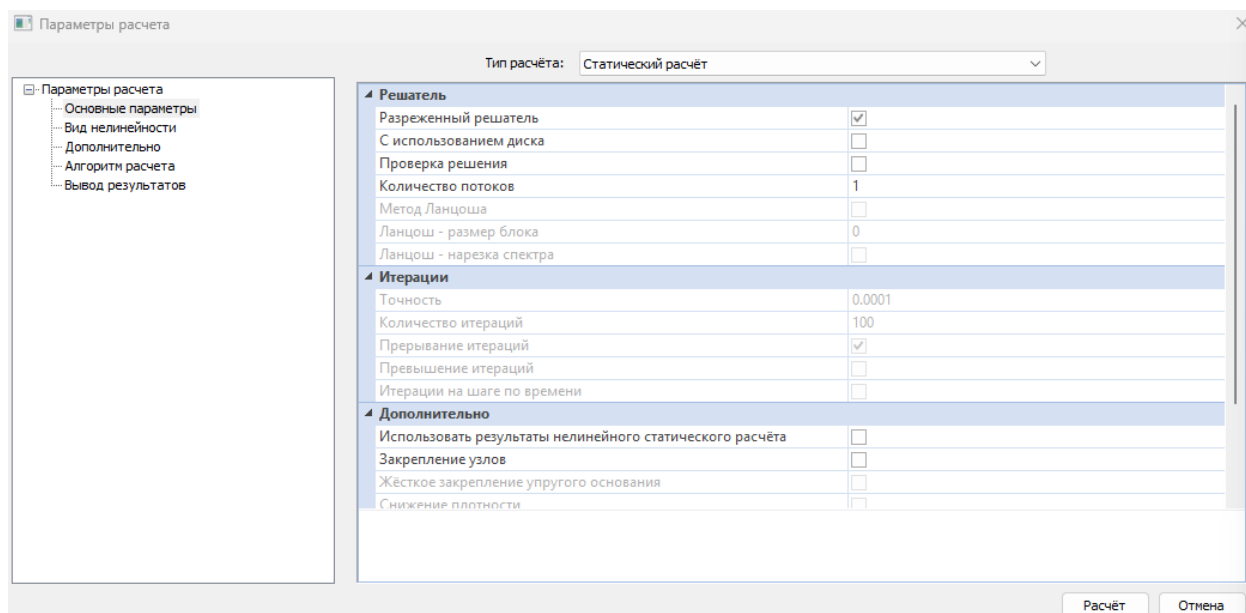


2.6. Статический расчет

Переходим на вкладку «Расчет» и выбираем «Комбинации». Создаем 4 комбинации воздействий для совместного воздействия узловой и распределенной нагрузок, для отдельных воздействий, и для собственного веса, который находится в нагружении «1».

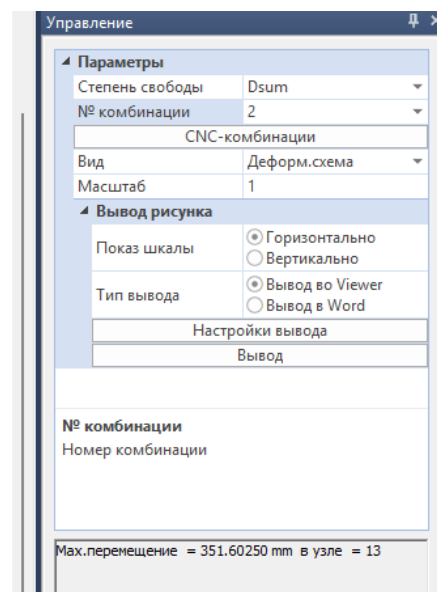
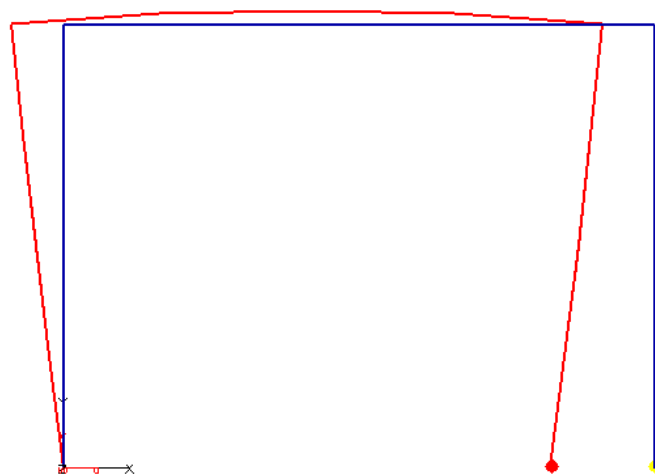
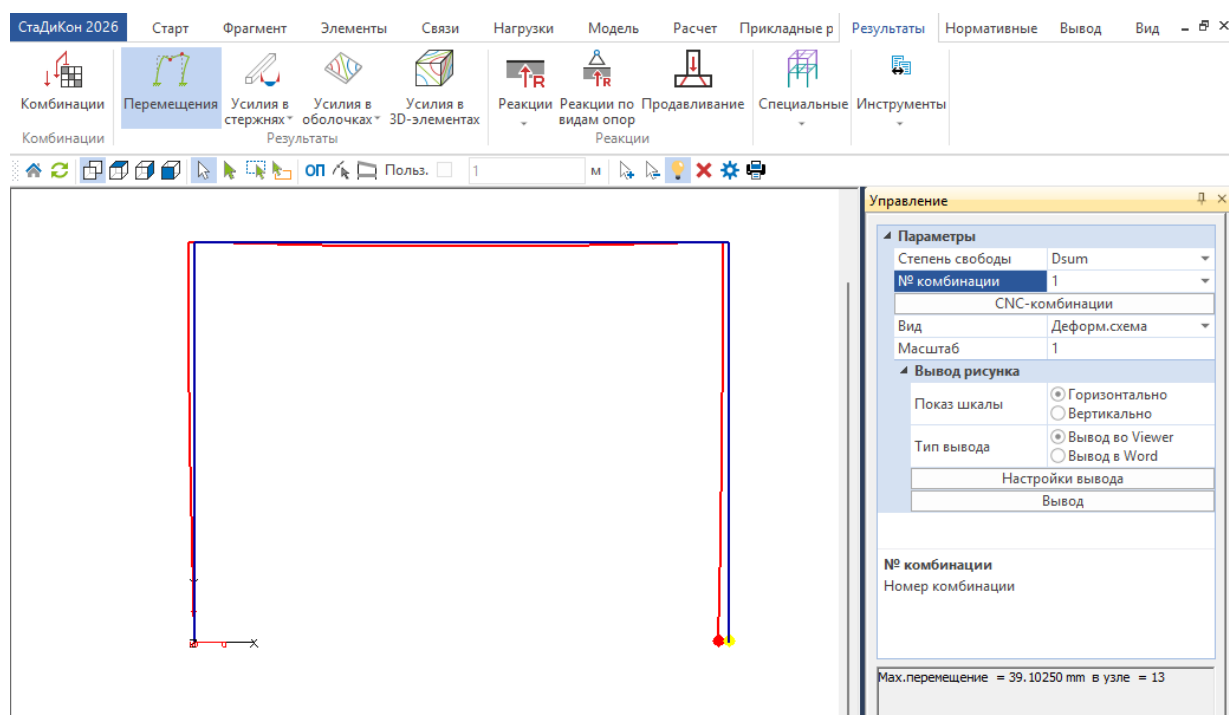


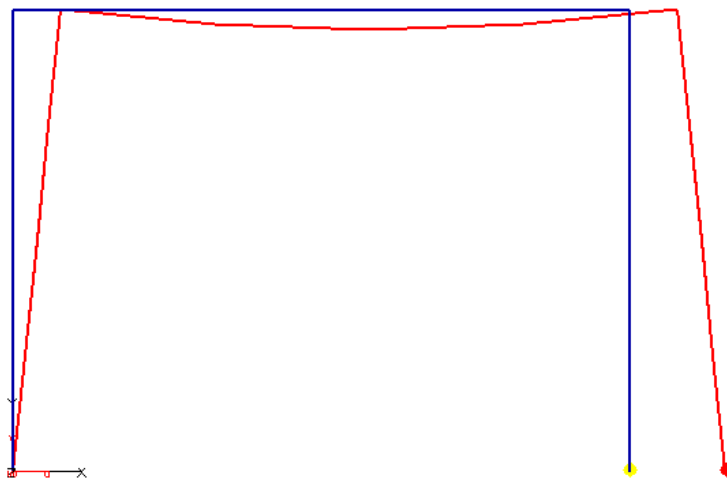
Далее нажимаем на «Расчет» и запускаем расчет соответствующей кнопкой, не изменяя параметров:



2.7. Результаты

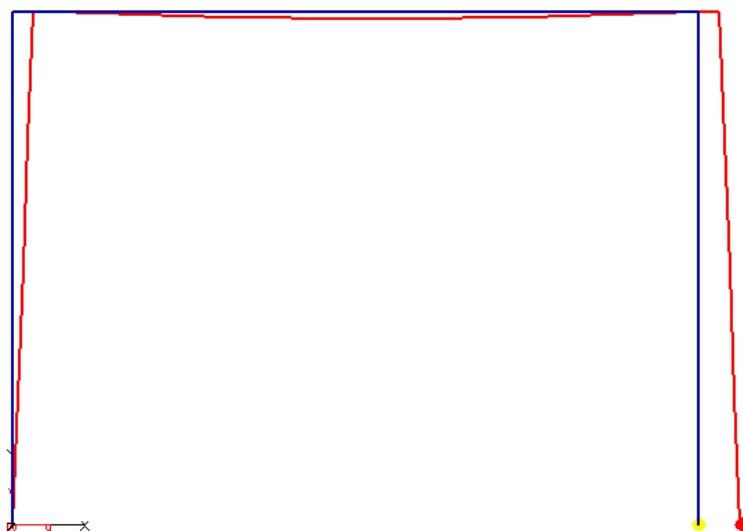
Переходим на вкладку «Результаты» и выбираем «Перемещения». В итоге были получены следующие результаты для четырех комбинаций:





Управление	
Параметры	
Степень свободы	Dsum
№ комбинации	3
CNC-комбинации	
Вид	Деформ.схема
Масштаб	1
Вывод рисунка	
Показ шкалы	☒ Горизонтально ☐ Вертикально
Тип вывода	☒ Вывод во Viewer ☐ Вывод в Word
Настройки вывода	
Вывод	
№ комбинации	
Номер комбинации	
Мах.перемещение = 312.50000 mm в узле = 13	

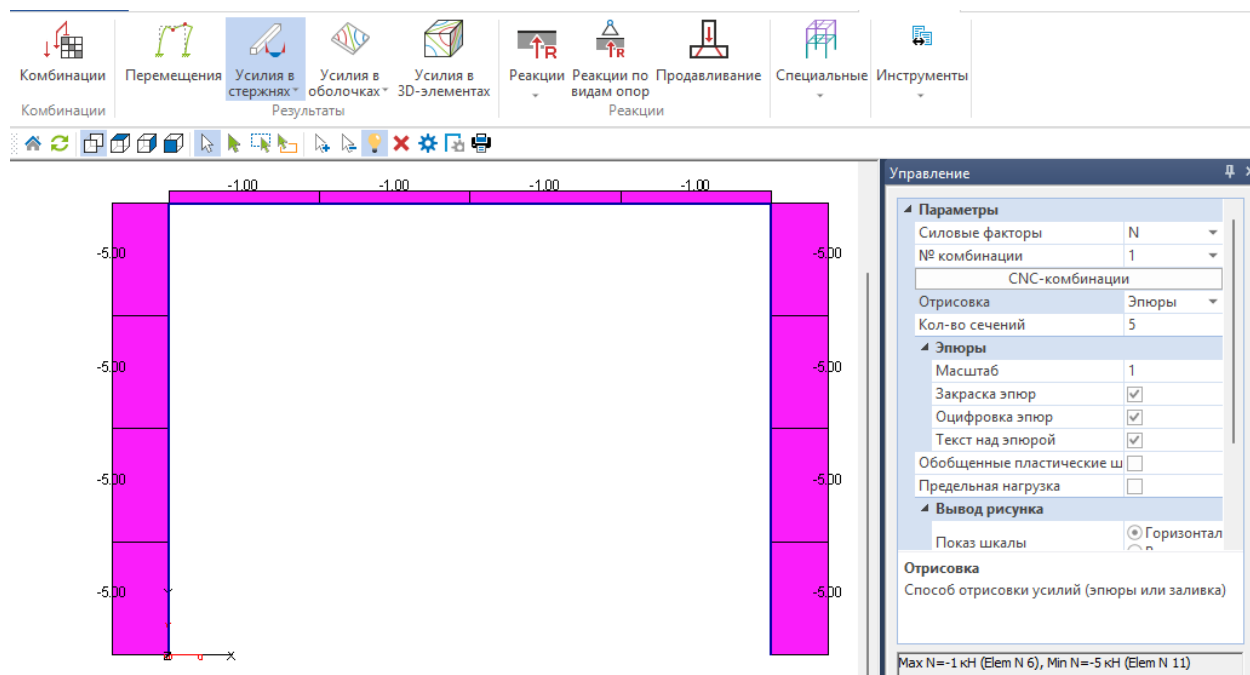
Для собственного веса масштаб установлен равным 100 для наглядности перемещений



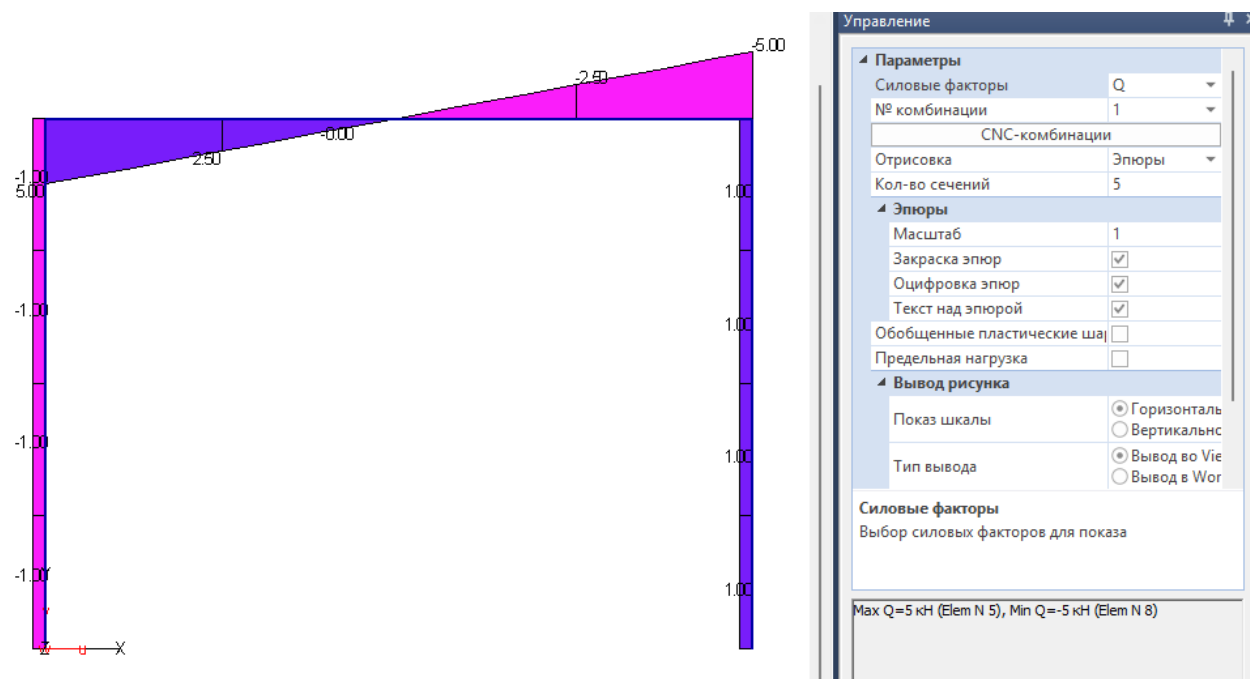
Управление	
Параметры	
Степень свободы	Dsum
№ комбинации	4
CNC-комбинации	
Вид	Деформ.схема
Масштаб	100
Вывод рисунка	
Показ шкалы	☒ Горизонтально ☐ Вертикально
Тип вывода	☒ Вывод во Viewer ☐ Вывод в Word
Настройки вывода	
Вывод	
Масштаб	
Масштабный коэффициент для показа перемещений	
Мах.перемещение = 1.21875 mm в узле = 13	

Теперь посмотрим на эпюры внутренних усилий на примере первой комбинации нагрузок. Для этого переходим на вкладку «Усилия в стержнях». В окне «Управление» выбираем «Отрисовка» - «Эпюры».

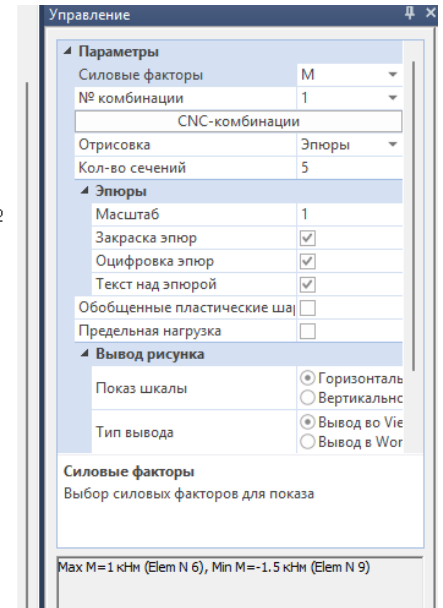
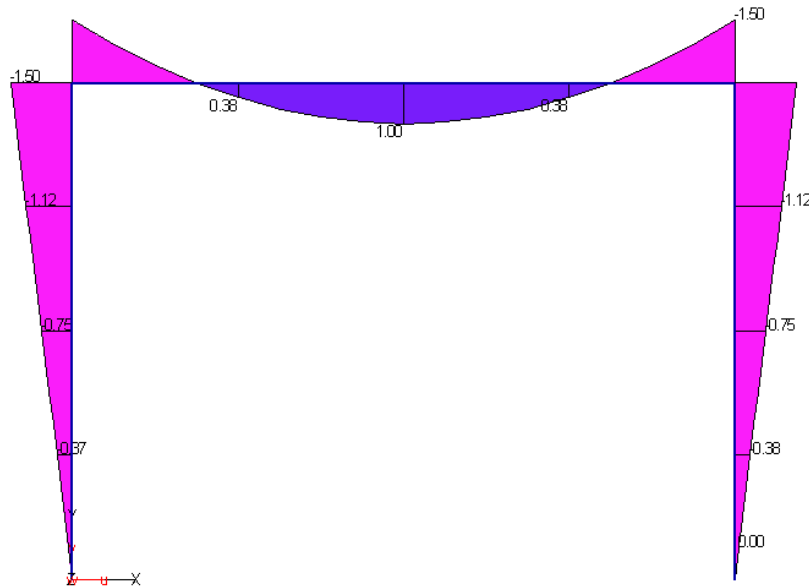
Эпюра продольных усилий.



Эпюра поперечных усилий.

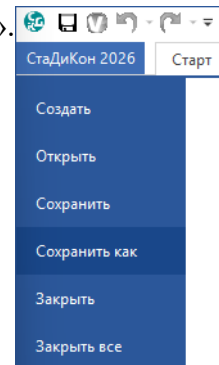


Эпюра изгибающих моментов.

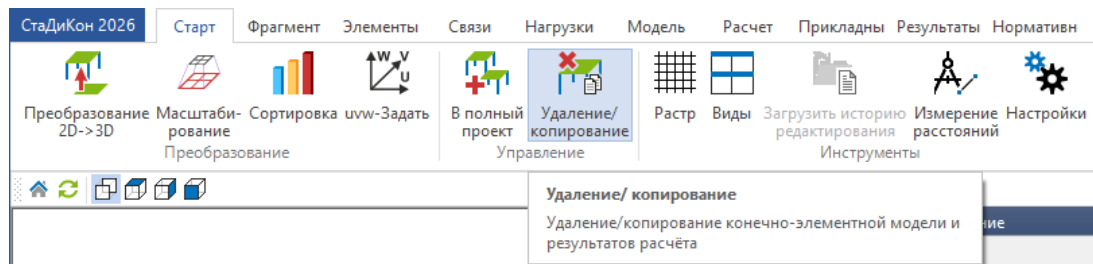


2.8. Расчет с более реальными данными

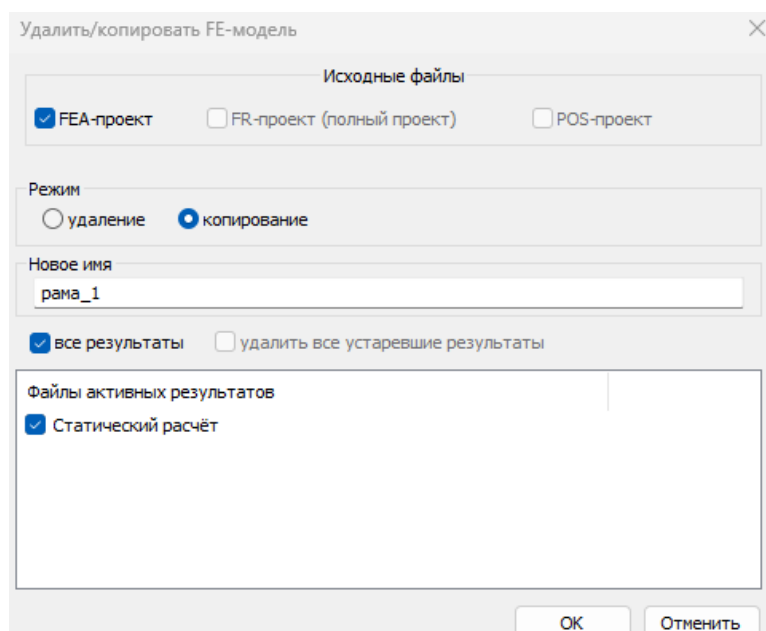
Теперь рассмотрим данную раму с близкими к реальным параметрами. Продолжим работу в новой КЭ модели. Есть несколько способов копирования. Можно воспользоваться функцией «Сохранить как» во вкладке «СтаДиКон».



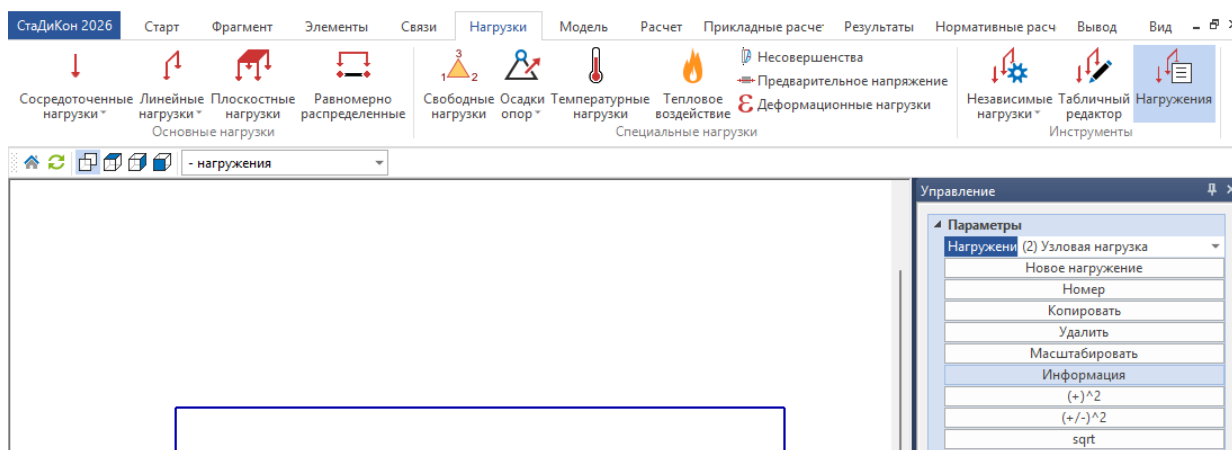
Или же использовать функцию «Удаление/копирование» во вкладке «Старт».



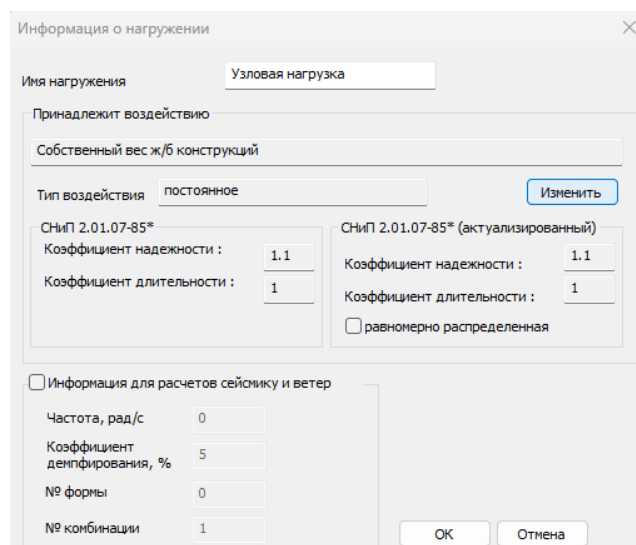
Выбираем режим «копирование» и задаем новое имя.



Переходим на вкладку «Нагрузки» и выбираем «Нагружения», далее «Информация».



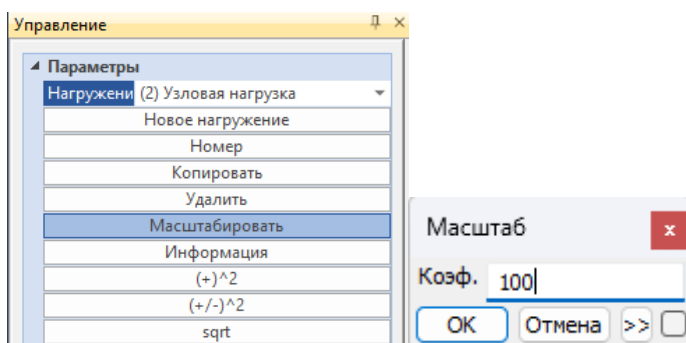
Изменим тип воздействия на более реальный. Так, для узловой нагрузки, выберем воздействие грунта. В строке «Тип воздействия» нажимаем «Изменить»



И выбираем следующее

Номер	Воздействие	Тип	Комментарий	Кн	Кдлит	Кн (СНиП А)	Кдлит (СНиП А)
1	постоянное ж/б	постоянное	Собственный вес ж/б конструкц...	1.1	1	1.1	1
2	постоянное -	постоянное	Собственный вес металлических...	1.05	1	1.05	1
3	грунт грунт	постоянное	Грунты в природном залегании	1.1	1	1.1	1
4	грунт грунт1	постоянное	Грунты насыпные	1.15	1	1.15	1
5	преднапряжение Пре...	постоянное	Нагрузка от преднапряжения	1.1	1	1.1	1
6	гидростатическое Да...	постоянное	Гидростатическое давление	1	1	1	1
7	переменное жилые	кратковреме...	Равномерно распределенная наг...	1.3	0.2	1.3	0.35
8	переменное -	длительное	Вес временных перегородок	1.1	1	1.1	1
9	переменное стацион...	длительное	Вес стационарного оборудования	1.05	1	1.05	1
10	переменное складир...	длительное	Вес складываемых материалов и ...	1.05	1	1.05	1
11	переменное служебн...	кратковреме...	Равномерно распределенная наг...	1.2	0.35	1.2	0.35
12	снег Снег-5	кратковреме...	Снеговая нагрузка t января мень...	1.43	0.5	1.4	0.5
13	снег Снег	кратковреме...	Снеговая нагрузка t января боль...	1.43	0.5	1.4	0
14	ветер Ветер	кратковреме...	Ветровая нагрузка	1.4	0	1.4	0
15	температурное Темп...	кратковреме...	Температурное воздействие	1.1	0.5	1.1	0.5
16	монтажное Монтажн...	кратковреме...	Монтажные нагрузки	1.1	0	1.1	0
17	крановое Кран	кратковреме...	Крановые нагрузки (группа кран...	1.2	0.5	1.2	0.5
18	особое -	Особое	Особое воздействие	1	0	1	0
19	сейсмика -	Особое	Сейсмическое воздействие	1	0	1	0

Далее увеличим значение узловой нагрузки в 100 раз. Для этого выбираем «Масштабировать».



Меняем нагружение на распределенную нагрузку и проделываем такие же действия, выбрав следующие воздействия и масштаб:

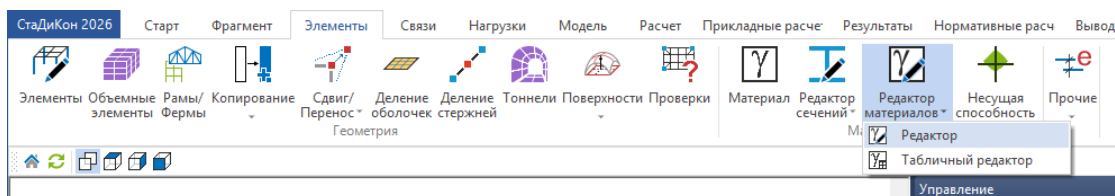
Номер	Воздействие	Тип	Комментарий	Кн	Кдлит	Кн (СНиП А)	Кдлит (СНиП А)
1	постоянное ж/б	постоянное	Собственный вес ж/б к...	1.1	1	1.1	1
2	постоянное -	постоянное	Собственный вес мета...	1.05	1	1.05	1
3	грунт грунт	постоянное	Грунты в природном з...	1.1	1	1.1	1
4	грунт грунт1	постоянное	Грунты насыпные	1.15	1	1.15	1
5	преднапряжение Пре...	постоянное	Нагрузка от преднапря...	1.1	1	1.1	1
6	гидростатическое Да...	постоянное	Гидростатическое давл...	1	1	1	1
7	переменное жилые	кратковреме...	Равномерно распреде...	1.3	0.2	1.3	0.35
8	переменное -	длительное	Вес временных перего...	1.1	1	1.1	1
9	переменное стацион...	длительное	Вес стационарного об...	1.05	1	1.05	1
10	переменное складир...	длительное	Вес складываемых мат...	1.05	1	1.05	1
11	переменное служебн...	кратковреме...	Равномерно распреде...	1.2	0.35	1.2	0.35
12	снег Снег-5	кратковреме...	Снеговая нагрузка t ян...	1.43	0.5	1.4	0.5
13	снег Снег	кратковреме...	Снеговая нагрузка t ян...	1.43	0.5	1.4	0
14	ветер Ветер	кратковреме...	Ветровая нагрузка	1.4	0	1.4	0
15	температурное Темп...	кратковреме...	Температурное воздей...	1.1	0.5	1.1	0.5
16	монтажное Монтажн...	кратковреме...	Монтажные нагрузки	1.1	0	1.1	0
17	крановое Кран	кратковреме...	Крановые нагрузки (гр...	1.2	0.5	1.2	0.5
18	особое -	Особое	Особое воздействие	1	0	1	0
19	сейсмика -	Особое	Сейсмическое воздейс...	1	0	1	0

Масштаб

Козф. 10

OK Отмена >> □

Теперь изменим некоторые свойства материалов. Открываем «Редактор материалов» во вкладке «Элементы» и для всех материалов поменяем плотность и множитель для плотности



Материалы

Прямоугольный нелинейн.бетон

Прямоугольная нелинейн.сталь

2D - балка

Номер мат. 1

Имя матер. 1 (2D балка)

A 0.0005 Cm 0

I 1.6e-07 Ck 0

E 2e+08

Aq 0

G 7.69231e+07

Rho 8.24

Krho 0.952

Стандарт

Ссылка 8

Цвет

Изменить

OK Отмена Справка

Материалы

Прямоугольный нелинейн.бетон

Прямоугольная нелинейн.сталь

2D - балка

Номер мат. 2

Имя матер. 1 (2D балка)(2)

A 0.00025 Cm 0

I 8e-08 Ck 0

E 2e+08

Aq 0

G 7.69231e+07

Rho 8.24

Krho 0.952

Стандарт

Ссылка 4

Цвет

Изменить

OK Отмена Справка

Выполняем расчет аналогично пункту 2.6 изменив комбинации нагрузок

Задание и корректировка комбинаций

Доп. комбинации

Несовершенства

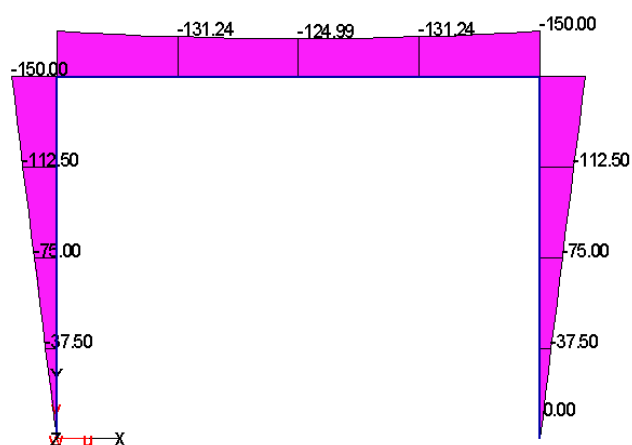
теория Кулона - Мора

Комбинации

Собств. колебания

	K-1	K-2	K-3	K-4
1.	1	1	1	1
2. Узловая нагрузка	1	0.82	1	0.82
3. Распределенная нагрузка	0	0	1	1

Для третьей комбинации получена следующая эпюра моментов



Управление

Параметры

Силовые факторы: M

№ комбинации: 3

CNC-комбинации

Отрисовка: Эпюры

Кол-во сечений: 5

Эпюры

Масштаб: 1

Закраска эпюр: ☒

Оцифровка эпюр: ☒

Текст над эпюрой: ☒

Обобщенные пластические: ☐

Предельная нагрузка: ☐

Вывод рисунка

Показ шкалы: ☒ Горизонтально ☐ Вертикально

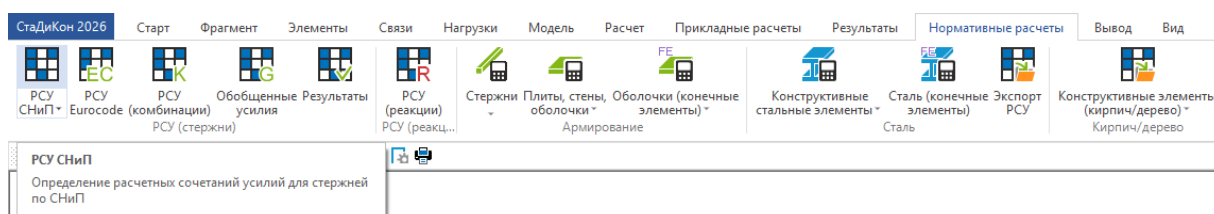
Тип вывода: ☒ Вывод во View ☐ Вывод в Word

Настройки вывода

Вывод

2.9. Расчет по РСУ

Переходим на вкладку «Нормативные расчеты» и выбираем «РСУ СНИП».



Коэффициенты автоматически были изменены в соответствии с выбранными типами воздействий. Установим количество сечений равное 3 и нажимаем «ОК».

Определение расчетных сочетаний усилий СНИП

Соответствие воздействий и нагрузок: ☐ Комбинирование сейсмических воздействий: ☐ Несочетаемые воздействия: ☐ Сопутствующие воздействия: ☐ Параметры расчета: ☐ Вывод на печать: ☐ СП 20.13330.2016

№	Имя	Тип	Источник	±/-	Нагрузки	К.н.	К.д.	Включить/Исключить	И. о.
1	Воздействие 1	Постоянное	Простое	☐	1	1.10		☐	
2	Узловая нагрузка	Постоянное	Простое	☐	2	1.10		☐	
3	Распределенная ...	Длительное	Простое	☐	3	1.05		☐	

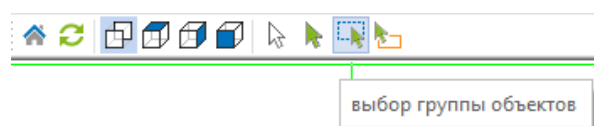
☐ Учитывать этапы возведения

Изменить этапы

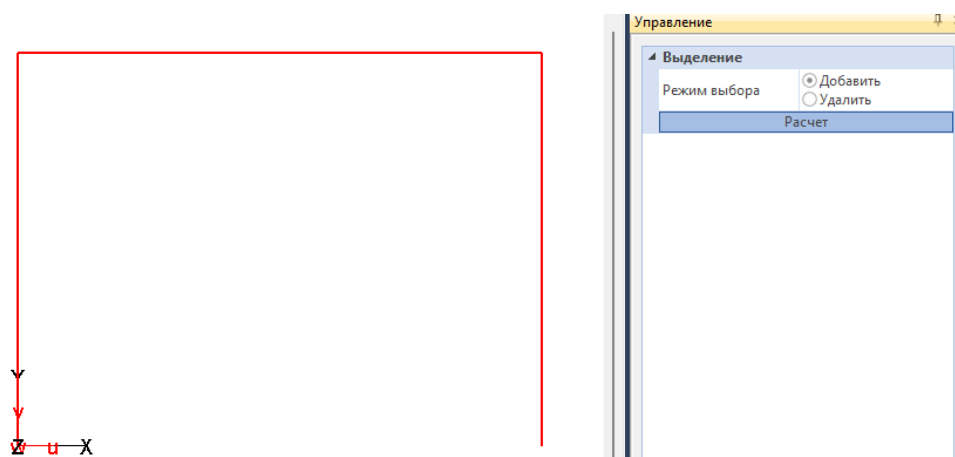
Свойства воздействий: ☐ Коэффициенты сочетаний: ☐ Из FE-модели: ☐ Количество сечений: 3

ОК Отменить Помощь

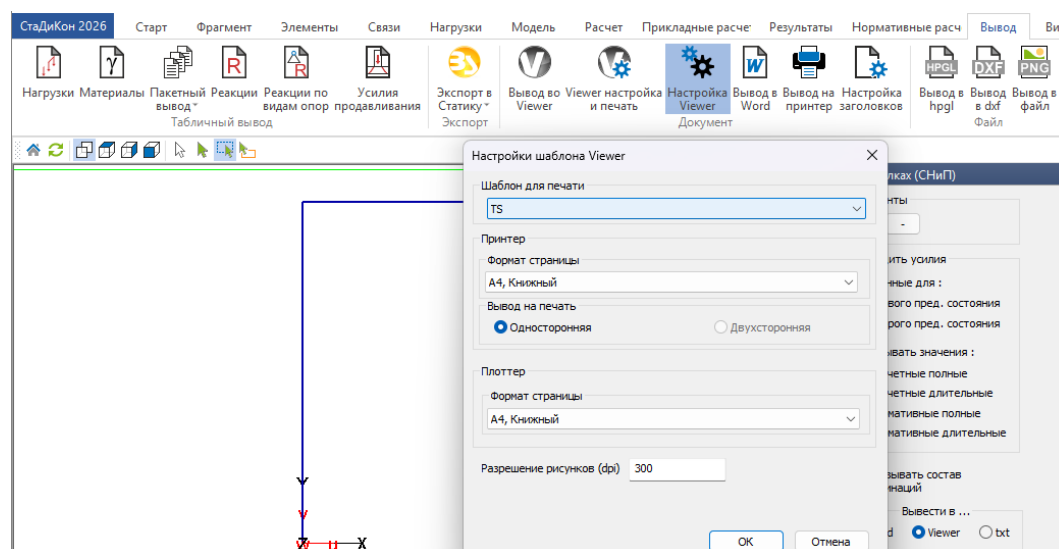
Для более удобного выбора можно включить выбор объектов областью



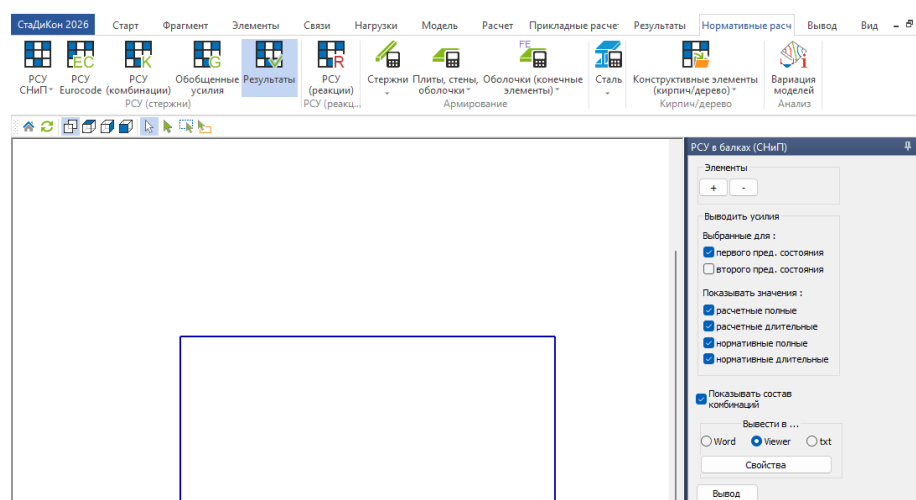
Выбираем всю раму и нажимаем «Расчет».



Из-за возможных проблем с выводом во Viewer изменим тип шаблона. Во вкладке «Вывод» открываем «Настройка Viewer» и меняем шаблон для печати на TS.



Выбираем «Результаты» во вкладке «Нормативные расчеты»



Выбираем один элемент



И жмем «Вывод». Как видно, были получены 4 комбинации.

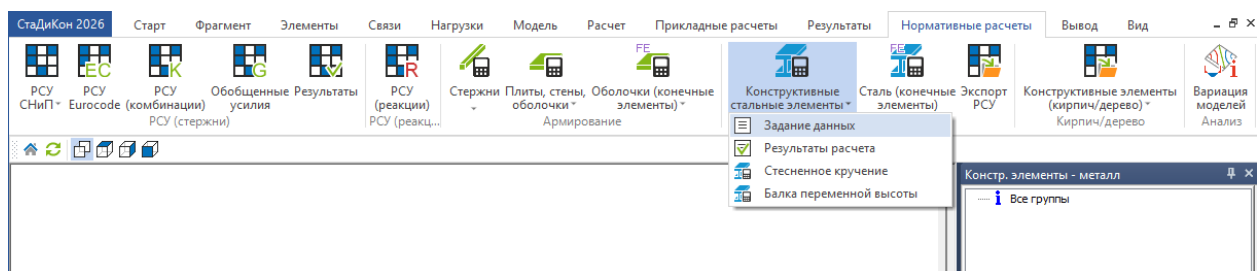
Результаты расчета РСУ по нормам СНиП 2.01.07-85

результаты расчета РСН по нормам СНиП 2.01.07-85									
Элем.	Коорд.	Nk	Тип	N	Qs	Qt	Mr	Ms	Mt
	м			кН	кН	кН	кНм	кНм	кНм
6	0.0	1	рп	-100	25	0	0	0	-131
			1(1.00), 2(1.00), 3(1.00)						
			рд	-100	25	0	0	0	-131
			1(1.00), 2(1.00), 3(1.00)						
			нп	-91	24	0	0	0	-118
			1(0.91), 2(0.91), 3(0.95)						
			нд	-91	24	0	0	0	-118
			1(0.91), 2(0.91), 3(0.95)						
		2	рп	-82	25	0	0	0	-104
			1(1.00), 2(0.82i), 3(1.00)						
			рд	-82	25	0	0	0	-104
			1(1.00), 2(0.82i), 3(1.00)						
			нп	-91	24	0	0	0	-118
			1(0.91), 2(0.91i), 3(0.95)						
			нд	-91	24	0	0	0	-118
			1(0.91), 2(0.91i), 3(0.95)						
		3	рп	-100	0	0	0	0	-150
			1(0.82i), 2(1.00)						
			рд	-100	0	0	0	0	-150
			1(0.82i), 2(1.00)						
			нп	-91	0	0	0	0	-136
			1(0.91i), 2(0.91)						
			нд	-91	0	0	0	0	-136
			1(0.91i), 2(0.91)						
		4	рп	-82	0	0	0	0	-123
			1(0.82i), 2(0.82i)						
			рд	-82	0	0	0	0	-123
			1(0.82i), 2(0.82i)						
			нп	-91	0	0	0	0	-136
			1(0.91i), 2(0.91i)						
			нд	-91	0	0	0	0	-136
			1(0.91i), 2(0.91i)						
0.2	1	рп	-100	13	0	0	0	-127	
		1(1.00), 2(1.00), 3(1.00)							
		рд	-100	13	0	0	0	-127	
		1(1.00), 2(1.00), 3(1.00)							
		нп	-91	12	0	0	0	-114	
		1(0.91), 2(0.91), 3(0.95)							
		нд	-91	12	0	0	0	-114	
		1(0.91), 2(0.91), 3(0.95)							
	2	рп	-82	13	0	0	0	-99	
		1(1.00), 2(1.00), 3(1.00)							
		рд	-82	13	0	0	0	-99	
		1(1.00), 2(1.00), 3(1.00)							

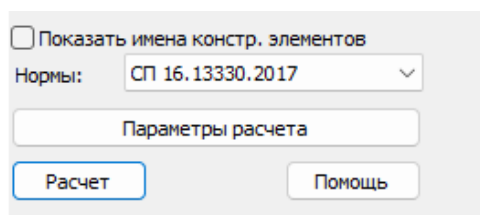
Стр. 1 (1 до 2) - А4, Книжная

2.10. Конструктивный расчет

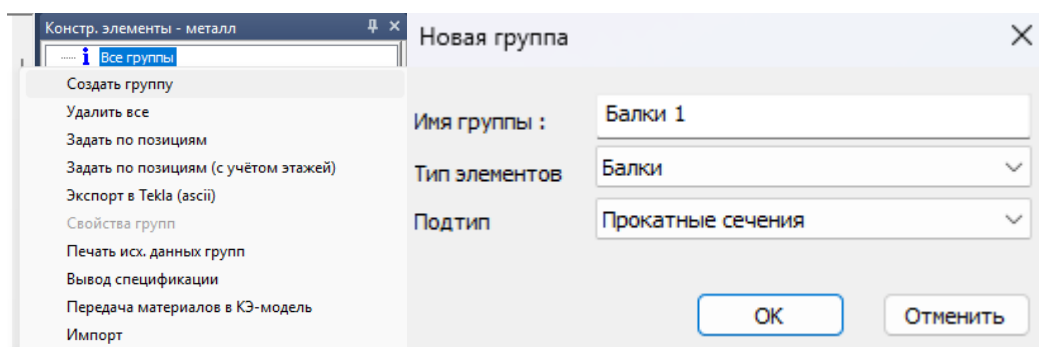
Во вкладке «Нормативные расчеты» выбираем «Конструктивные стальные элементы» - «Задание данных».



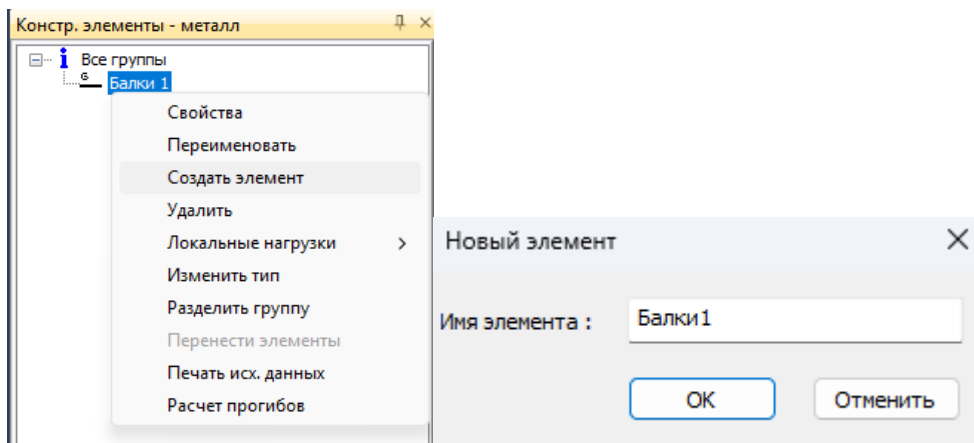
В качестве норм выберем «СП 16.13330.2017»



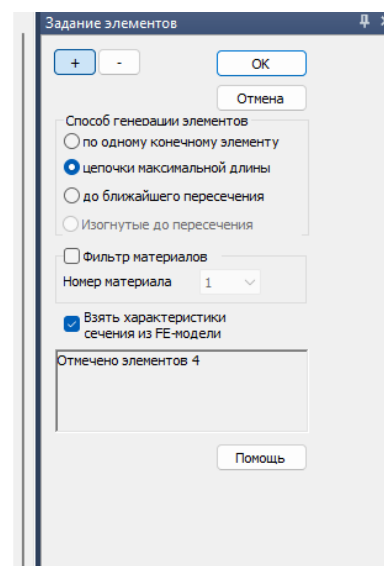
Нажимаем ПКМ по «Все группы» и выбираем «Создать группу». Создаем первую группу для горизонтального элемента балки.



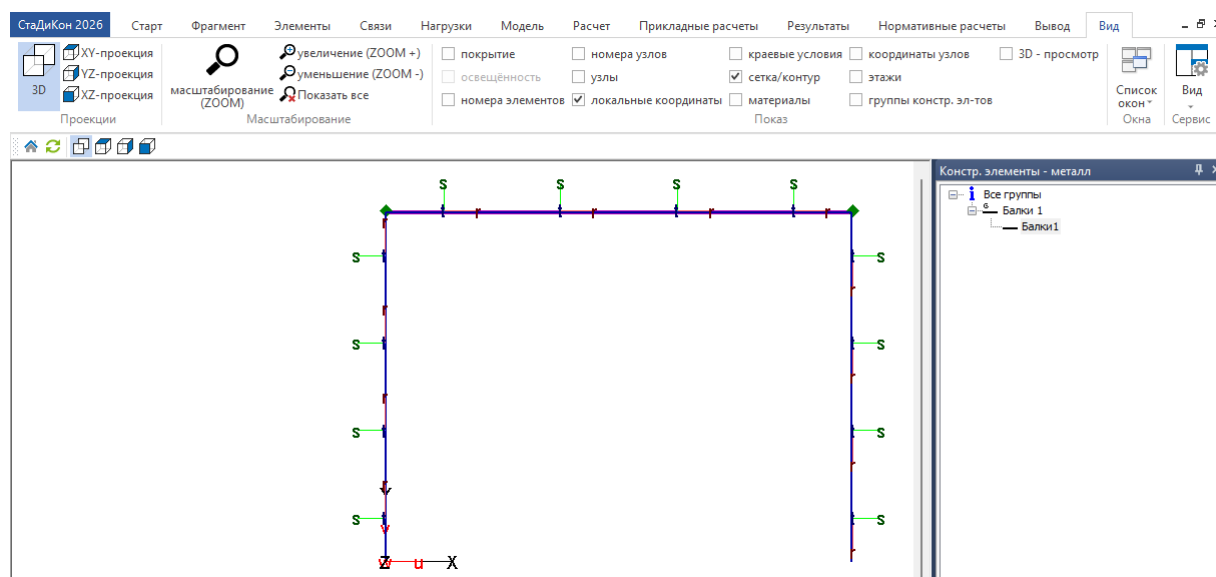
Далее нажатием ПКМ по созданной группе выбираем «Создать элемент».



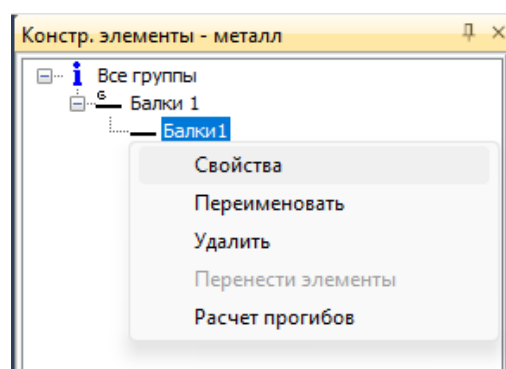
Выбираем все элементы балки и нажимаем «OK».



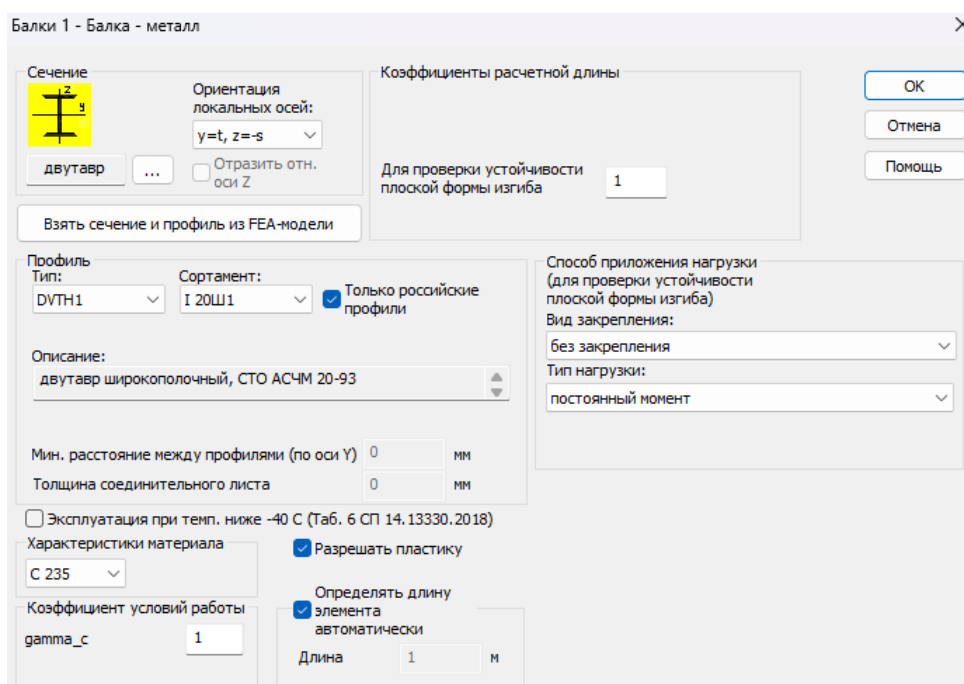
Для просмотра локальных осей элементов можно перейти во вкладку «Вид» и включить показ «локальные координаты». Это необходимо для правильной ориентации локальных осей сечений.



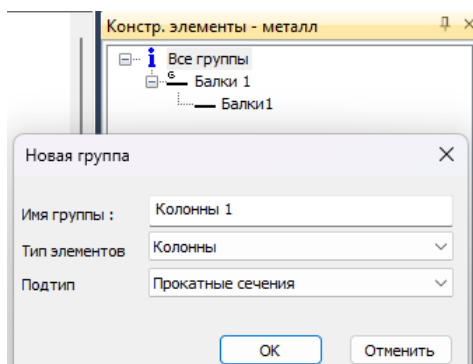
В окне «Констр. элементы – металл» с помощью ПКМ открываем свойства заданных ранее элементов.



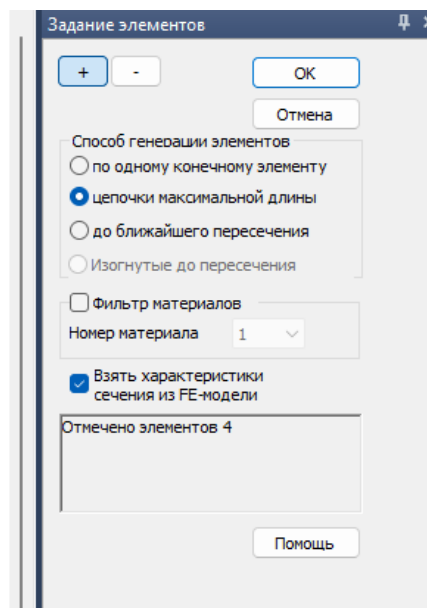
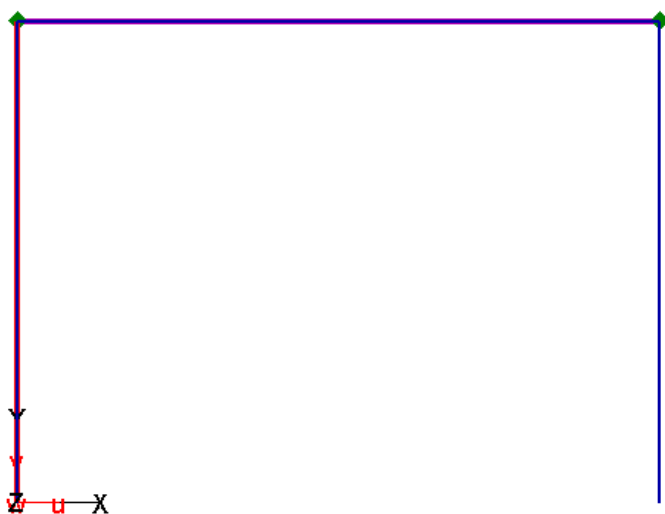
Здесь задаем сечение и проверяем ориентацию локальных осей сечения, а также выбираем профиль. Выберем для балок тип профиля DVTH1 – двутавр широкополочный.

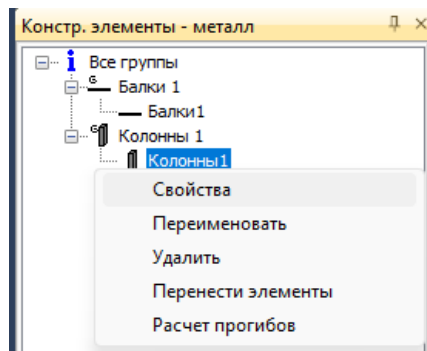


Аналогично создаем группу для левой колонны.

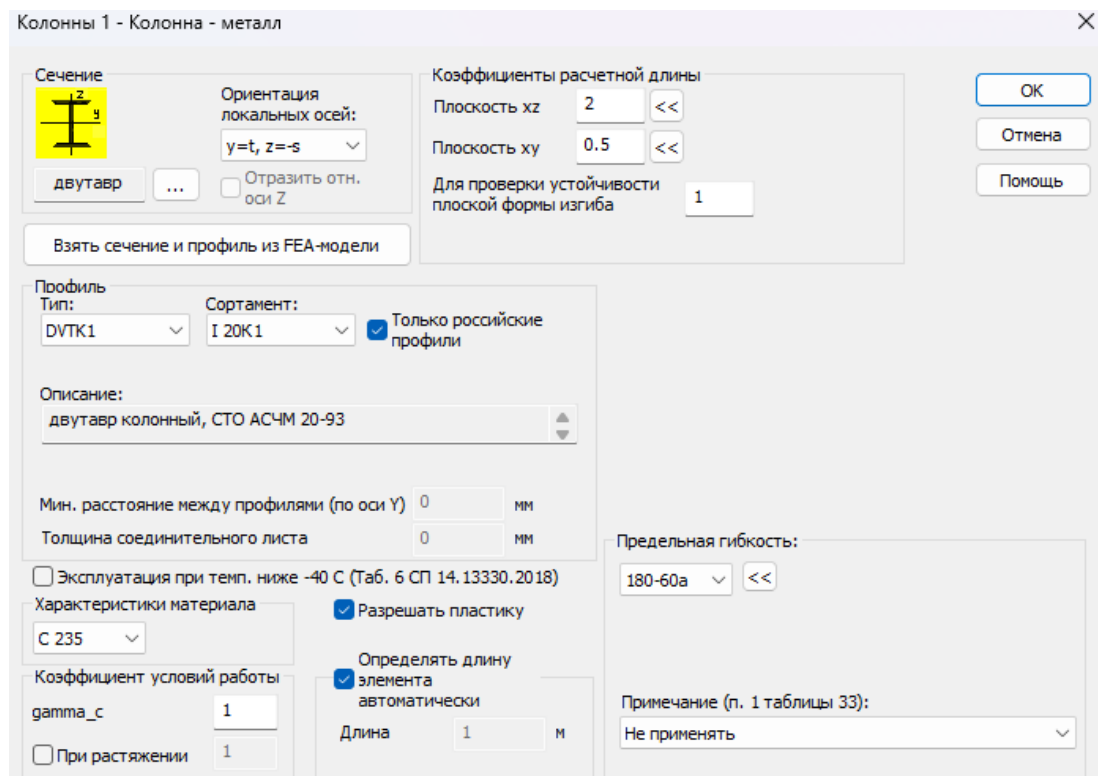


Выбираем левую колонну.

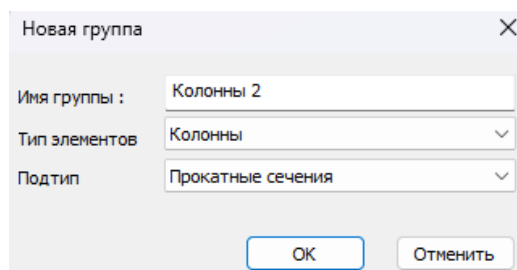




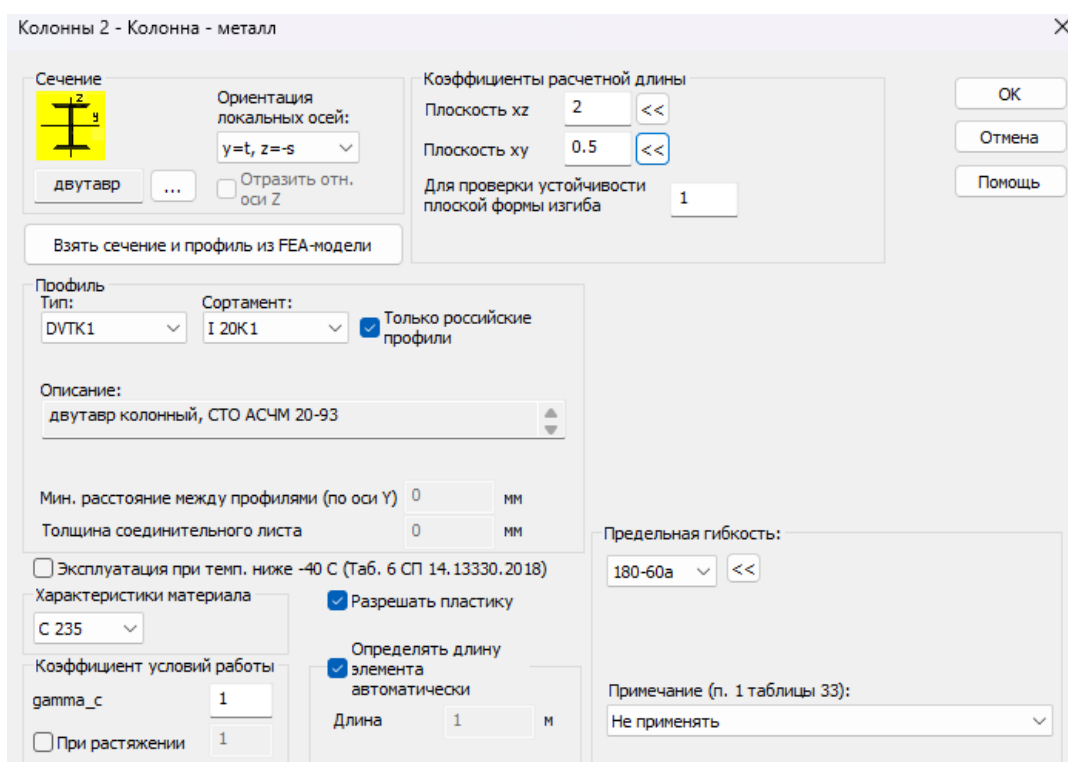
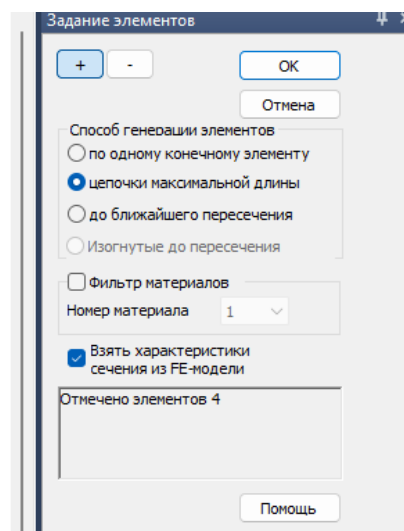
Устанавливаем профиль DVTK1 – двутавр колонный, и также редактируем коэффициенты расчетной длины.



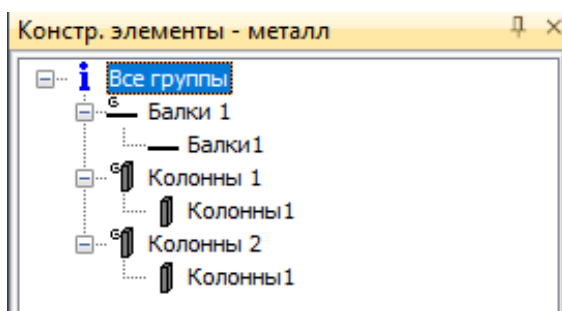
Таким же образом создаем еще одну группу для правой колонны.



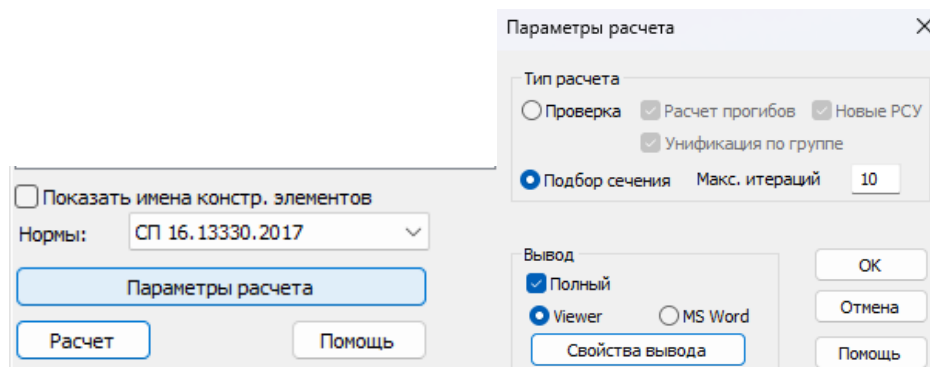
Выбираем правую колонну.



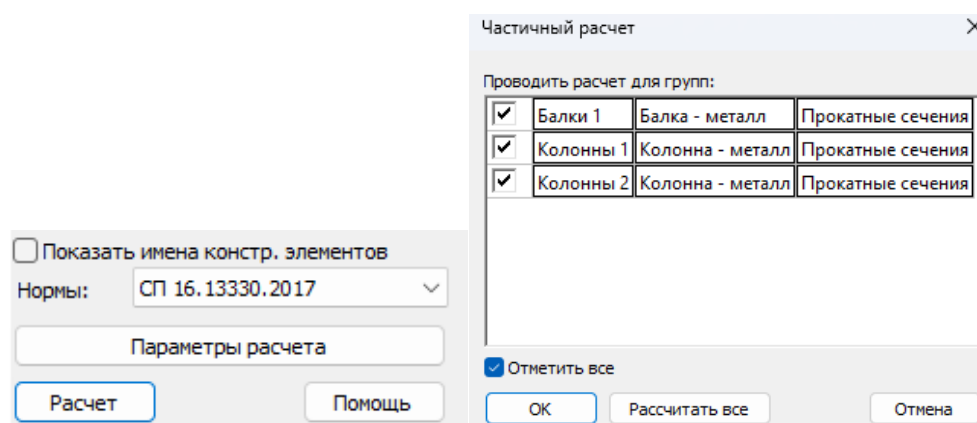
Итого получаем три группы.



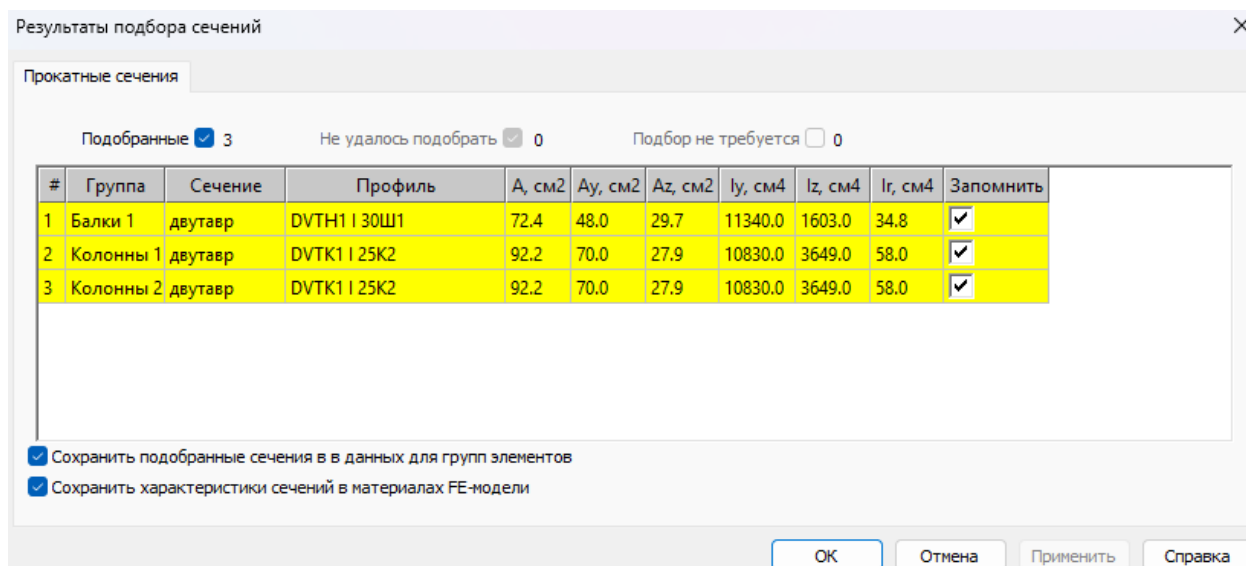
Ниже нажимаем на «*Параметры расчета*» и выбираем «*Подбор сечения*».



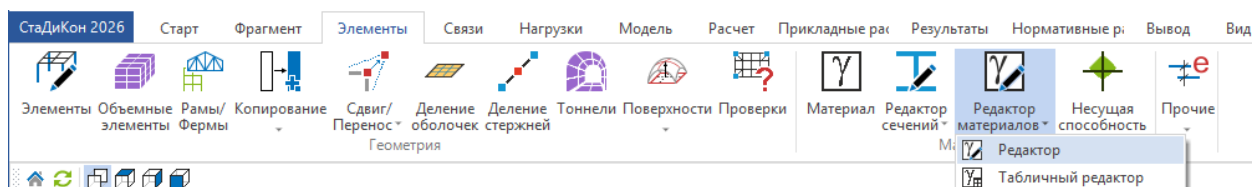
Нажимаем на «*Расчет*» и в окне «*Частичный расчет*» выбираем все группы и ждем «*OK*».



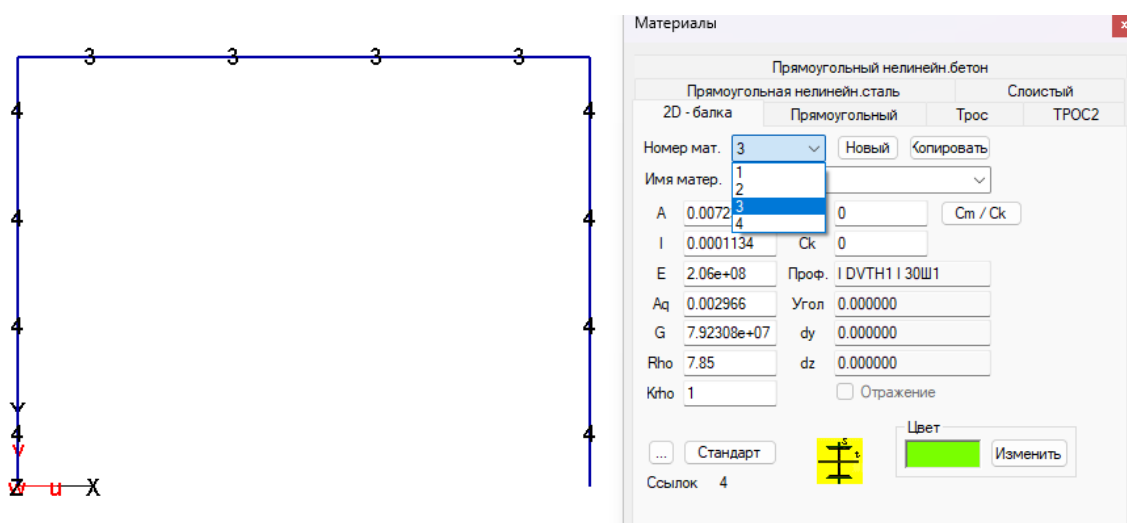
В итоге были подобраны следующие профили для выбранных сечений. Ставим галочку «*Сохранить характеристики сечений в материалах FE-модели*» и ждем «*OK*».



Во вкладке «*Элементы*» открываем «*Редактор материалов*» - «*Редактор*».



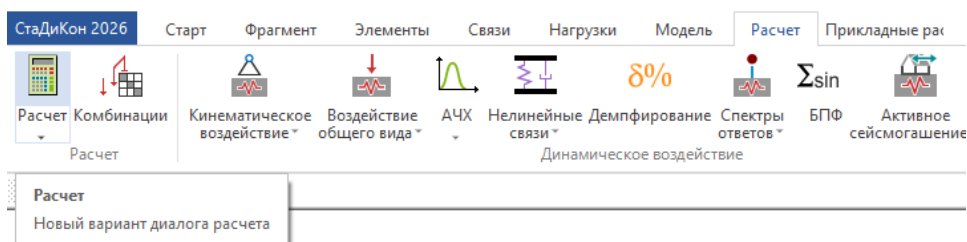
Как видно, были созданы и назначены два новых материала, соответствующие подобранным сечениям.



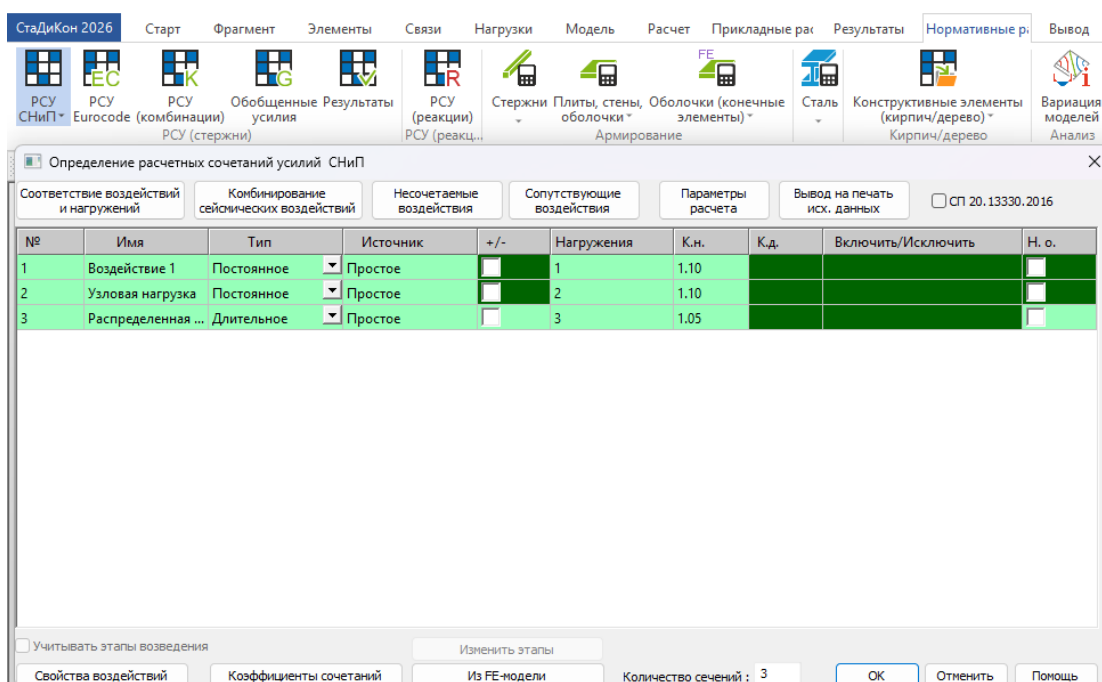
Важно, что плотность Rho и множитель для плотности $Krho$ остались по умолчанию. Поэтому изменим в 3-ем и 4-ом материалах эти значения на используемые ранее.

Rho	8.24
Krho	0.952

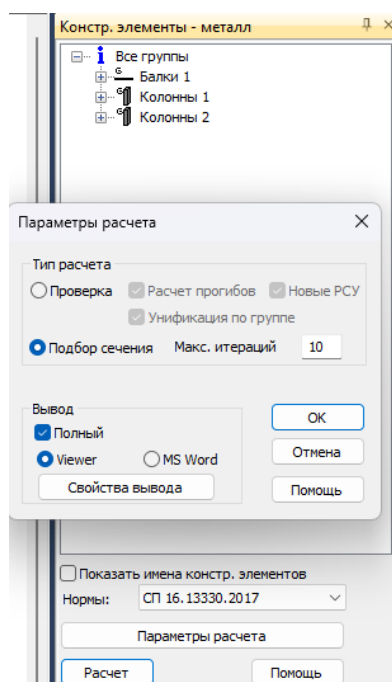
Далее заново проведем расчет.



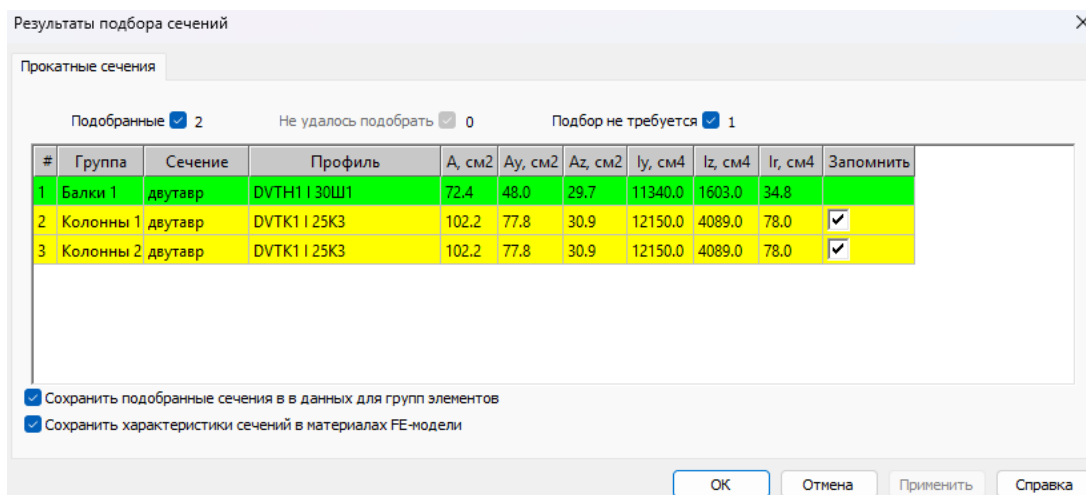
После повторно выполняем расчет по РСУ.



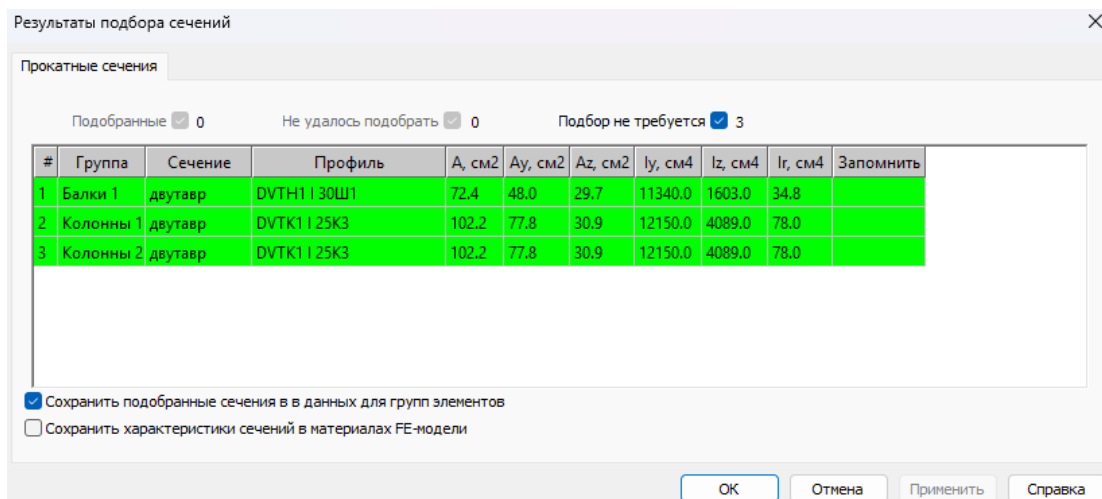
Далее возвращаемся на вкладку конструктивных стальных элементов и заново проведем подбор.



И снова были выявлены новые подобранные сечения для колонн.

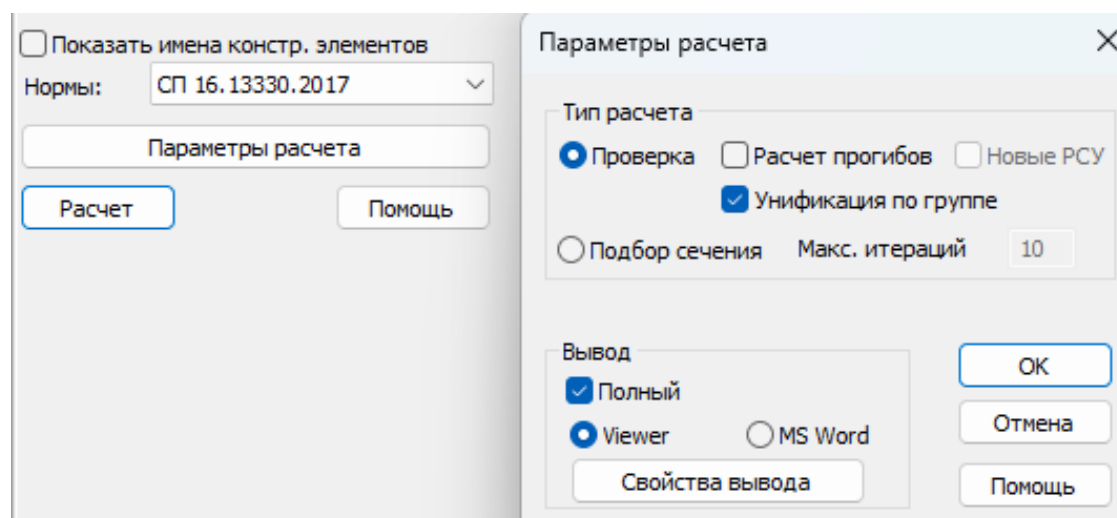


Сохраняем их в материалы и повторно доходим до данного этапа.



Теперь уже подбор не требуется.

В параметрах расчета установим «Проверка» и проведем расчет.



Отчет сообщает, что для балок не корректно задан тип группы.

3 5 0.0 0.00 -100.0 0.0 -0.6 -150.0 0.0

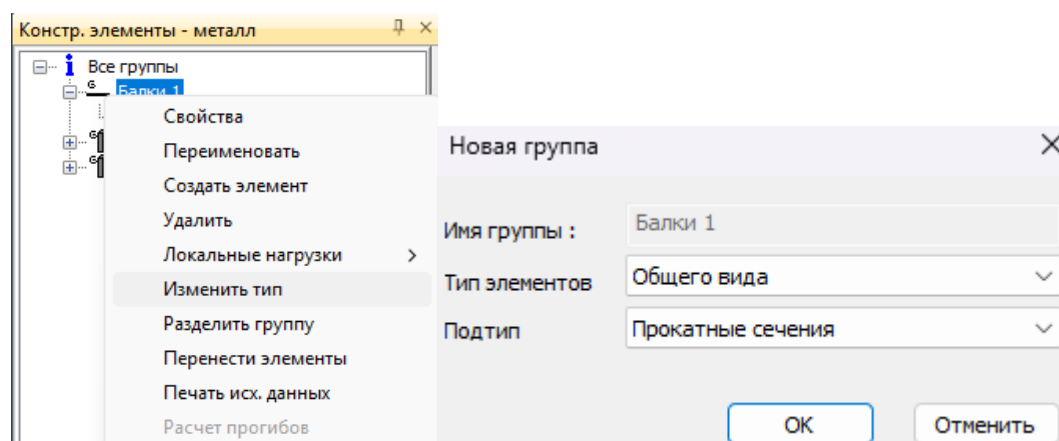
--Результаты расчета

Nc	Ksig	Ky	Kz	Kyz	Ksigv	Ktau	Kik
1	0.805	0.000	0.000	0.000	0.817	0.002	0.000
2	0.805	0.000	0.000	0.000	0.791	0.128	0.000
3	0.805	0.000	0.000	0.000	0.817	0.002	0.000

Не корректно задан тип группы!

Так как элементы, заданные как изгибаемые, оказались сжаты.

Поэтому изменим тип группы для балок.



Теперь все в порядке для балок

--Результаты расчета

Nc	Ksig	Ky	Kz	Kyz	Ksigv	Ktau	Kик
1	0.805	0.763	0.067	0.140	0.000	0.002	0.912
2	0.658	0.000	0.000	0.000	0.669	0.002	0.000
3	0.805	0.763	0.067	0.140	0.000	0.180	0.912
4	0.672	0.641	0.067	0.133	0.000	0.000	0.769
5	0.805	0.763	0.067	0.140	0.000	0.002	0.912

Комбинации посчитанные как для изгибаемых элементов:

2

Комбинации посчитанные как для сжатых элементов:

1 3 4 5

Максимальное значение гибкости по kz: 16

Максимальное значение гибкости по ху: 42

И в том числе для колонн

--Результаты расчета

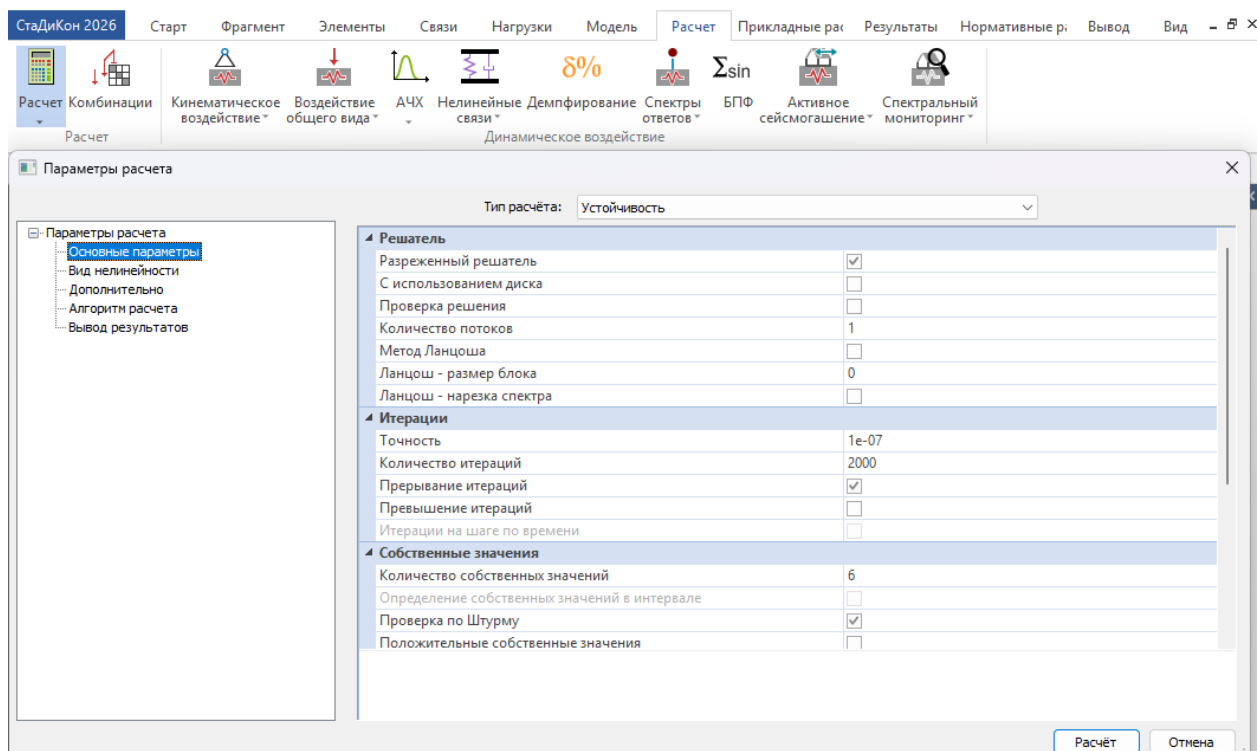
Nc	Ksig	Ky	Kz	Kyz	Ksigv	Ktau	Kик
1	0.647	0.797	0.022	0.061	0.000	0.332	0.701
2	0.022	0.023	0.022	0.022	0.000	0.332	0.022
3	0.486	0.561	0.022	0.056	0.000	0.332	0.531
4	0.644	0.936	0.000	0.003	0.000	0.332	0.679
5	0.022	0.023	0.022	0.022	0.000	0.272	0.022

Максимальное значение гибкости по kz: 28

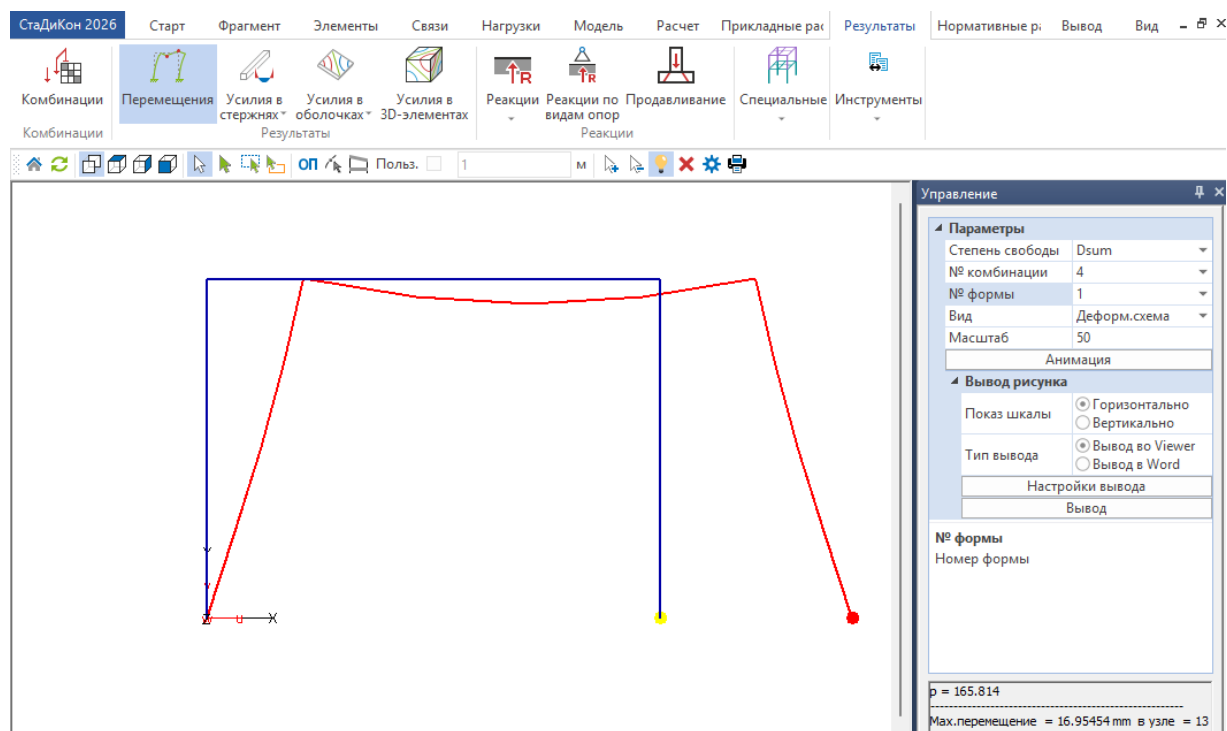
Максимальное значение гибкости по ху: 12

2.11. Расчет коэффициентов расчетных длин

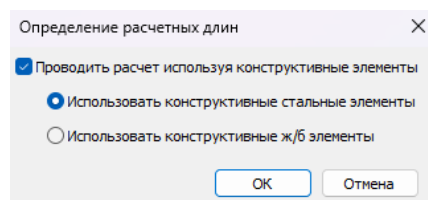
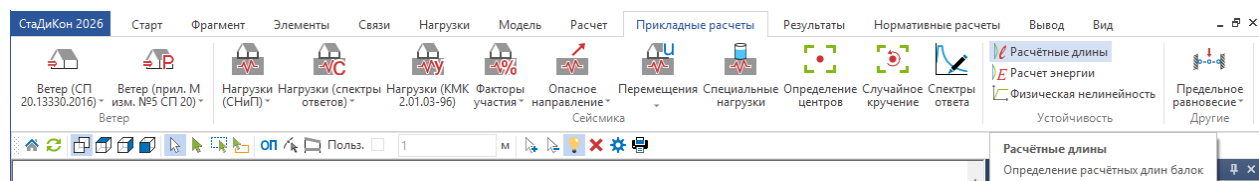
Определим коэффициенты расчетных длин. Для этого сначала открываем окно расчета и меняем тип расчета на «Устойчивость». Оставляем параметры по умолчанию и выполняем расчет.



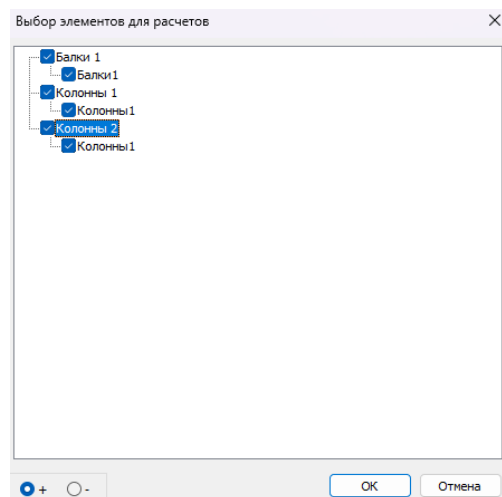
Нас интересует 4-ая комбинация нагрузжений. Для нее получены следующие результаты.



Теперь переходим на вкладку «Прикладные расчеты» и выбираем пункт «Расчетные длины».



Выбираем все группы элементов.



В следующем окне можно отдельно выбрать необходимые комбинации и рассчитанные формы, но оставим пока выбранным всё.

Комбинации и формы

Выбранные элементы	Группа	Ф. №1	Ф. №2	Ф. №3	Ф. №4	Ф. №5	Ф. №6
Балки1	Балки 1	☒	☒	☒	☒	☒	☒
Колонны1	Колонны 1	☒	☒	☒	☒	☒	☒
Колонны1	Колонны 2	☒	☒	☒	☒	☒	☒
		☒	☒	☒	☒	☒	☒

Выбрать все Снять выбор Применить OK Отмена

Получаем следующие результаты для балок

Результаты расчета

Балки 1	Комб. №	Ф. №	mu_s	mu_t	N	p	Nsr
Балки1	1	1	1.131	---	100.000	450.633	45063.334
Колонны 1	1	2	0.715	---	100.000	1126.325	112632.529
Колонны1	1	3	0.618	---	100.000	1507.247	150724.686
Колонны 2	1	4	0.287	---	100.000	7014.187	701418.717
Колонны1	1	5	0.284	---	100.000	7139.542	713954.158
	1	6	0.239	---	100.000	10078.984	1007898....
	2	1	1.134	---	82.000	546.589	44820.285
	2	2	0.716	---	82.000	1370.771	112403.225
	2	3	0.619	---	82.000	1837.418	150668.280
	2	4	0.301	---	82.000	7777.058	637718.797
	2	5	0.297	---	82.000	7951.669	652036.855
	2	6	0.239	---	82.000	12271.826	1006289....
	3	1	1.900	---	100.000	159.634	15963.403
	3	2	1.425	---	100.000	283.666	28366.624
	3	3	0.839	---	100.000	819.245	81924.493
	3	4	0.694	---	100.000	1195.839	119583.923
	3	5	0.619	---	100.000	1506.455	150645.521
	3	6	0.546	---	100.000	1933.566	193356.604
	4	1	2.059	---	82.000	165.814	13596.786
	4	2	1.569	---	82.000	285.658	23423.982
	4	3	0.867	---	82.000	935.488	76709.997
	4	4	0.707	---	82.000	1405.499	115250.907
	4	5	0.626	---	82.000	1796.447	147308.661
	4	6	0.593	---	82.000	2001.148	164094.144

☒ Выводить результаты в Viewer OK Отмена

И для колонн соответственно

Результаты расчета							
Комб. №	Ф. №	$\mu_{u,s}$	$\mu_{u,t}$	N	p	Nsr	
1	1	11.446	---	1.860	450.633	837.999	
1	2	7.240	---	1.860	1126.325	2094.518	
1	3	6.259	---	1.860	1507.247	2802.881	
1	4	2.901	---	1.860	7014.187	13043.605	
1	5	2.876	---	1.860	7139.542	13276.714	
1	6	2.420	---	1.860	10078.984	18742.911	
2	1	10.393	---	1.860	546.589	1016.438	
2	2	6.563	---	1.860	1370.771	2549.090	
2	3	5.668	---	1.860	1837.418	3416.868	
2	4	2.755	---	1.860	7777.058	14462.243	
2	5	2.725	---	1.860	7951.669	14786.949	
2	6	2.193	---	1.860	12271.826	22820.727	
3	1	3.642	---	51.860	159.634	8278.557	
3	2	2.732	---	51.860	283.666	14710.819	
3	3	1.608	---	51.860	819.245	42485.717	
3	4	1.331	---	51.860	1195.839	62015.748	
3	5	1.185	---	51.860	1506.455	78124.169	
3	6	1.046	---	51.860	1933.566	100273.967	
4	1	3.573	---	51.860	165.814	8599.072	
4	2	2.722	---	51.860	285.658	14814.127	
4	3	1.504	---	51.860	935.488	48514.024	
4	4	1.227	---	51.860	1405.499	72888.614	
4	5	1.086	---	51.860	1796.447	93163.033	
4	6	1.029	---	51.860	2001.148	103778.746	

Как уточнилось в ходе расчетов, результаты для обеих групп колонн совпадают, значит они действуют одинаково, поэтому можно было задать обе колонны в одну группу.

Так как нас интересует 4-ая комбинация и 1-ая форма, то имеем следующие коэффициенты расчетных длин: 2.059 для балок, и 3.573 для колонн.

Установим полученные коэффициенты для конструктивных групп.

Констр. элементы - металл

Балки 1 - Общий вид - металл

Сечение: двутавр

Ориентация локальных осей: $y=t, z=s$

Кoeffициенты расчетной длины: Плоскость xz: 2.059, Плоскость xy: 1

Для проверки устойчивости плоской формы изгиба: 1

Профиль: Тип: DVTH1, Сортамент: I 30Ш1, Только российские профили

Описание: двутавр широкополочный, СТО АСЧМ 20-93

Мин. расстояние между профилями (по оси Y): 0 мм, Толщина соединительного листа: 0 мм

Эксплуатация при темп. ниже -40 С (Таб. 6 СП 14.13330.2018): ☐ Разрешать пластику: ☒ Определять длину элемента автоматически: ☒ Длина: 1 м

Способ приложения нагрузки (для проверки устойчивости плоской формы изгиба): Вид закрепления: без закрепления, Тип нагрузки: постоянный момент

Предельная гибкость: 180-60а - сжатие, 400 - растяжение

Примечание (п. 1 таблицы 33): Не применять

Проведем повторно подбор сечения.

Результаты подбора сечений

Прокатные сечения

Подобранные ☒ 0 Не удалось подобрать ☒ 0 Подбор не требуется ☒ 3

#	Группа	Сечение	Профиль	A, см ²	Ay, см ²	Az, см ²	Iy, см ⁴	Iz, см ⁴	I _r , см ⁴	Запомнить
1	Балки 1	двутавр	DVTH1 I 30Ш1	72.4	48.0	29.7	11340.0	1603.0	34.8	
2	Колонны 1	двутавр	DVTK1 I 25K3	102.2	77.8	30.9	12150.0	4089.0	78.0	
3	Колонны 2	двутавр	DVTK1 I 25K3	102.2	77.8	30.9	12150.0	4089.0	78.0	

☒ Сохранить подобранные сечения в в данных для групп элементов
☐ Сохранить характеристики сечений в материалах FE-модели

OK Отмена Применить Справка

И также проверку

Параметры расчета

Тип расчета

☒ Проверка ☐ Расчет прогибов ☒ Новые PCY
☒ Унификация по группе

☐ Подбор сечения Макс. итераций 10

Вывод

☒ Полный ☐ MS Word
☒ Viewer

Свойства вывода

OK Отмена Помощь

Результаты для балок:

--Результаты расчета

Nc	Ksig	Ky	Kz	Kyz	Ksigv	Ktau	Кик
1	0.805	0.794	0.067	0.140	0.000	0.002	0.912
2	0.658	0.000	0.000	0.000	0.669	0.002	0.000
3	0.805	0.794	0.067	0.140	0.000	0.180	0.912
4	0.672	0.666	0.067	0.133	0.000	0.000	0.769
5	0.805	0.794	0.067	0.140	0.000	0.002	0.912

Комбинации посчитанные как для изгибаемых элементов:

2

Комбинации посчитанные как для сжатых элементов:

1 3 4 5

Максимальное значение гибкости по kz: 33

Максимальное значение гибкости по ky: 42

Результаты для колонн:

--Результаты расчета

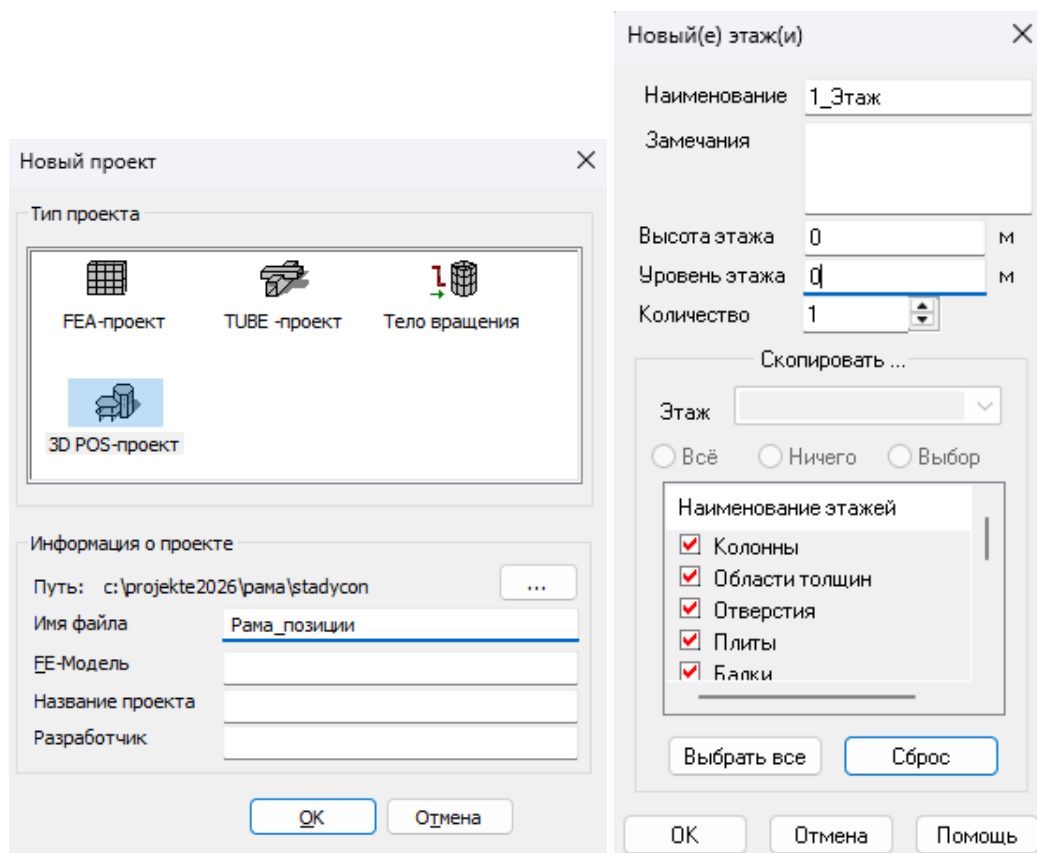
Nc	Ksig	Ky	Kz	Kyz	Ksigv	Ktau	Кик
1	0.647	0.809	0.022	0.061	0.000	0.332	0.701
2	0.022	0.025	0.022	0.022	0.000	0.332	0.022
3	0.486	0.576	0.022	0.056	0.000	0.332	0.531
4	0.644	0.927	0.000	0.003	0.000	0.332	0.679
5	0.022	0.025	0.022	0.022	0.000	0.272	0.022

Максимальное значение гибкости по kz: 49

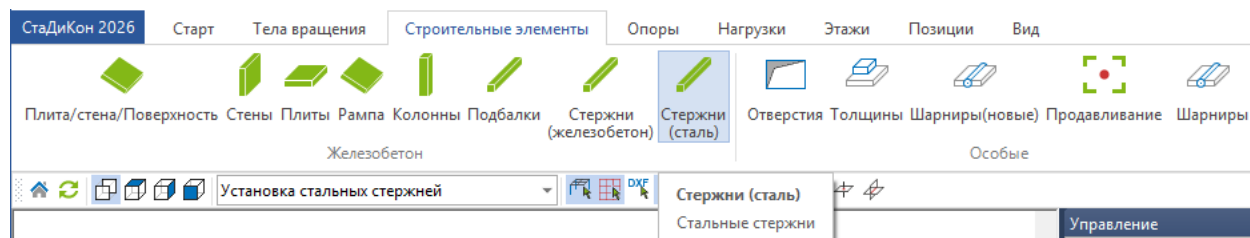
Максимальное значение гибкости по ky: 12

3. Создание модели через позиционный POS-проект

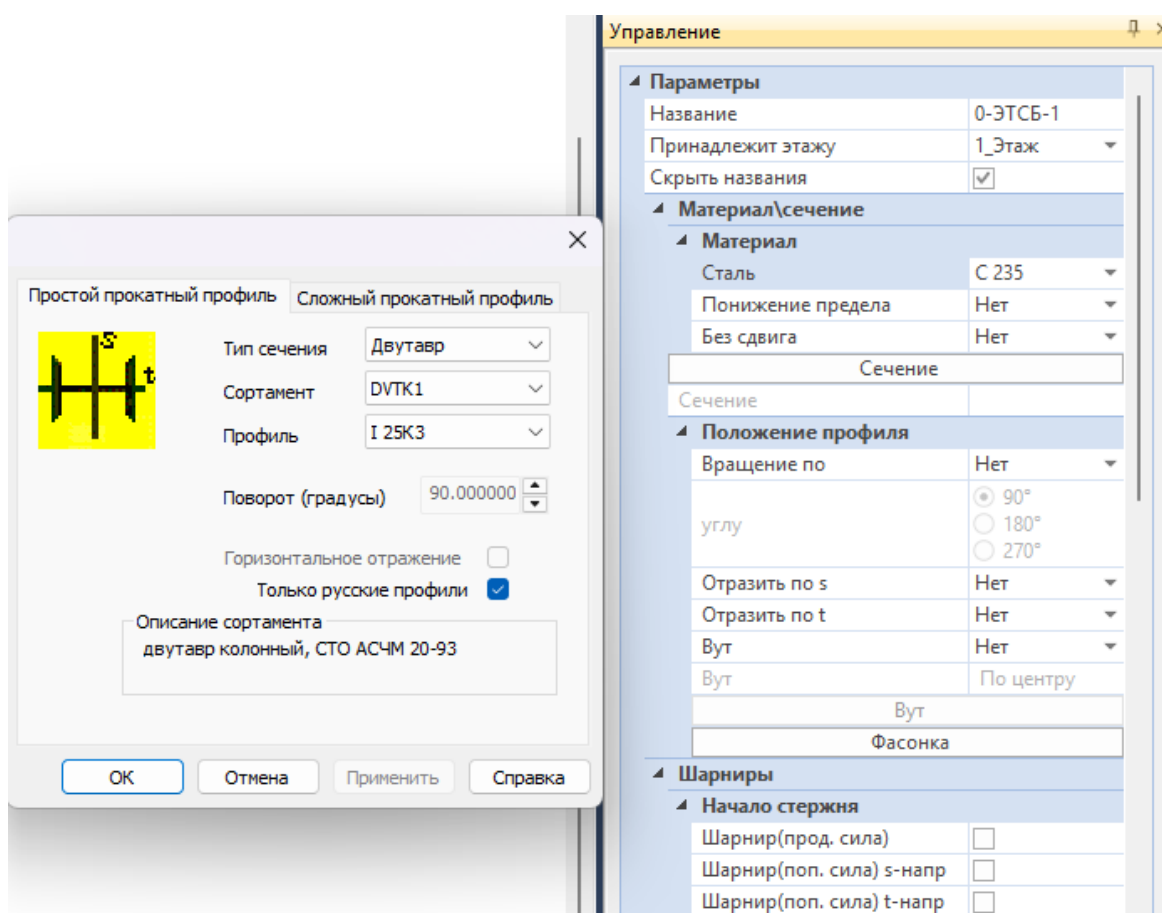
При создании проекта выбираем «3D POS-проект».



После создания проекта переходим на вкладку «Строительные элементы» и выбираем «Стержни (сталь)».



В окне «Управление» сразу назначим рассчитанные ранее сечения и материал. Для этого выбираем сталь «С 235» и нажимаем на «сечение», где устанавливаем сечение колонн.



Ниже во вкладке «Генерация» можно выбрать будущее разбиение стержня.

Генерация	
Генерация элементов	☒ Количество промежуточных узлов ☐ Среднее расстояние между узлами
Количество узлов	3
Расстояние (м)	1

Задаем геометрию первой колонны.

Координаты	
X	0
Y	0
Z	0
OK Отмена >>	

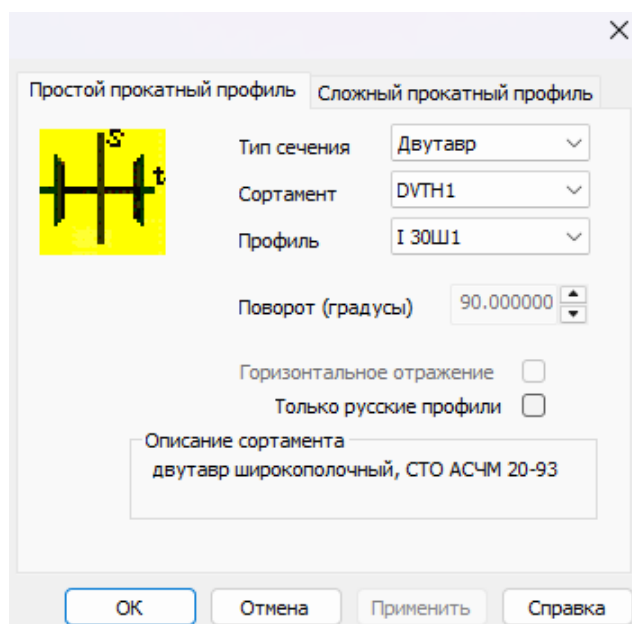
Координаты	
X	0
Y	0
Z	1.5
OK Отмена >>	

И сразу вторую колонну.

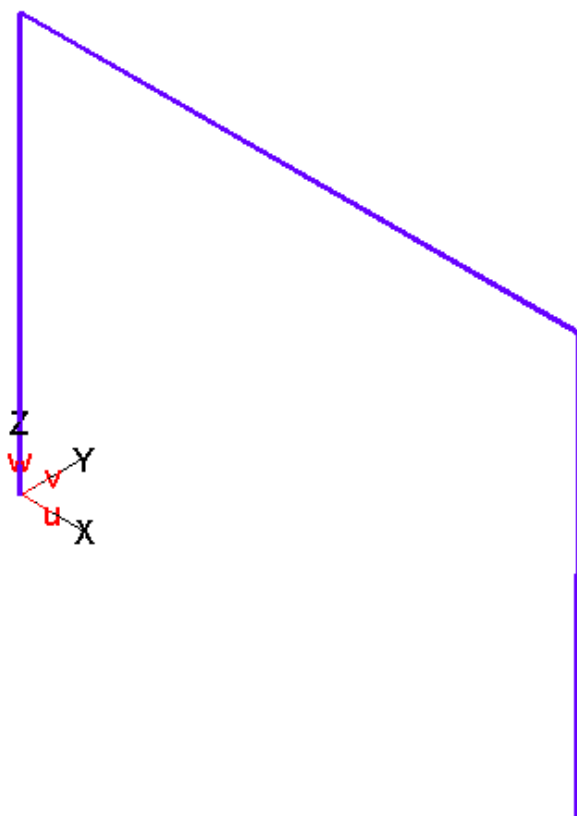
Координаты	
X	2
Y	0
Z	0
OK Отмена >>	

Координаты	
X	2
Y	0
Z	1.5
OK Отмена >>	

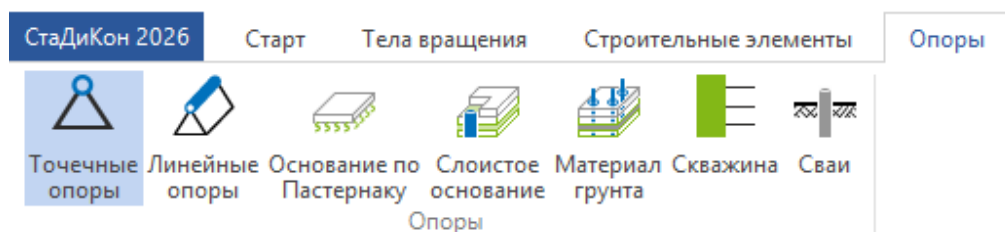
После меняем сечение для балки.



И задаем балку.



Переходим на вкладку «Опоры» - «Точечные опоры».



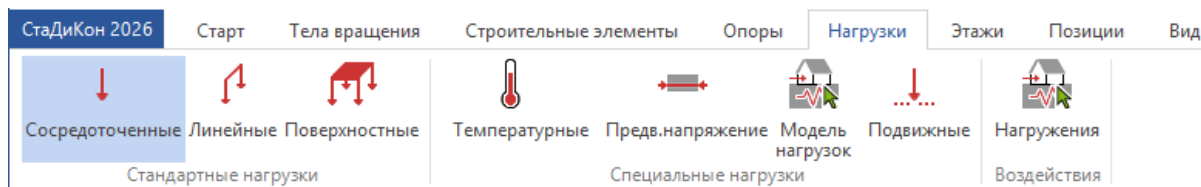
Задаем шарнирно-неподвижную опору на левый узел, аналогичную плоскому случаю.

Параметры	
Название опоры	0-ЭТТО-1
Степени свободы	
$x(r)$	☒ 0
$y(s)$	☒ 0
$z(t)$	☒ 0
Вращение $x(r)$	☒ 0
Вращение $y(s)$	☐
Вращение $z(t)$	☒ 0
Типы закрепления	
Тип $x(r)$	Растяж.+Сжат.
Тип $y(s)$	Растяж.+Сжат.
Тип $z(t)$	Растяж.+Сжат.
Тип вращения $x(r)$	Растяж.+Сжат.
Тип вращения $y(s)$	Растяж.+Сжат.
Тип вращения $z(t)$	Растяж.+Сжат.
Система координат	
Система координат	Глобальная

И также шарнирно-подвижную опору на правый узел.

Параметры	
Название опоры	0-ЭТТО-2
Степени свободы	
$x(r)$	☐
$y(s)$	☒ 0
$z(t)$	☒ 0
Вращение $x(r)$	☒ 0
Вращение $y(s)$	☐
Вращение $z(t)$	☒ 0
Типы закрепления	
Тип $x(r)$	Растяж.+Сжат.
Тип $y(s)$	Растяж.+Сжат.
Тип $z(t)$	Растяж.+Сжат.
Тип вращения $x(r)$	Растяж.+Сжат.
Тип вращения $y(s)$	Растяж.+Сжат.
Тип вращения $z(t)$	Растяж.+Сжат.
Система координат	
Система координат	Глобальная

Переходим на вкладку «Нагрузки» - «Сосредоточенные».



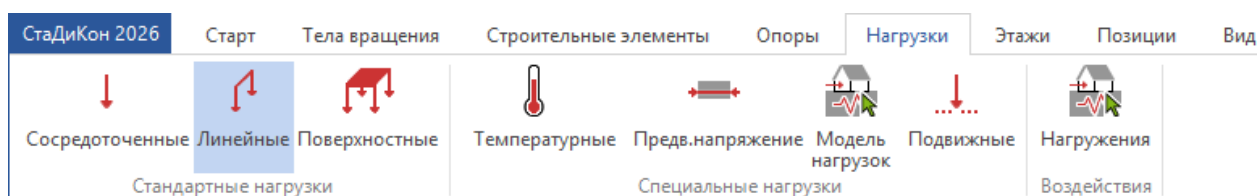
Создаем аналогичное нагружение для сосредоточенной силы.

Новое нагружение		✕
Номер	2	
Имя	Сосредоточенная сила	
Тип воздействия	Грунты в природном залегании	
ОК Отмена Помощь		

И задаем нагрузку.

Параметры	
Обозначение	0-ЭТСОСРН-1
Нагрузка	(2) Сосредоточенная сила
Новое нагружение	
Принадлежит этажу	1_Этаж
R _x	☒ -100
R _y	☐
R _z	☐
M _x	☐
M _y	☐
M _z	☐
Система координат	Глобальная
Подгонка сетки	Нет
Зона распределения	

Переходим на «**Линейные**» нагрузки.



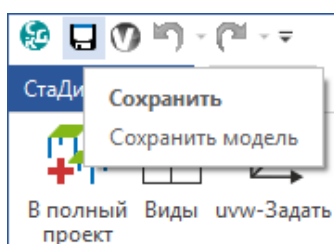
Создаем еще одно нагружение для распределенной нагрузки.

Новое нагружение	
Номер	3
Имя	Распределенная нагрузка
Тип воздействия	Вес стационарного оборудования
OK Отмена Помощь	

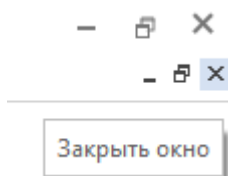
И задаем распределенную на балку нагрузку выбором начальной и конечной точек.

Параметры	
Обозначение	0-ЭТЛН-1
Нагрузка	(3) Распределенная нагрузка
Новое нагружение	
Принадлежит этажу	1_Этаж
Направление нагрузки	R _z
начало	-50
конец	☐
Система координат	Глобальная
Подгонка сетки	Нет
Зона распределения	
Площадь Нагрузки	☐
Распределение нагрузки до ли-	☐

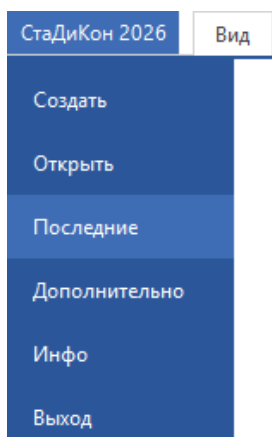
Сохраняем модель.



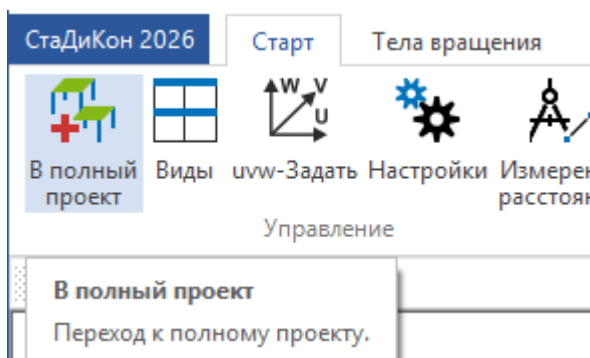
Выбрасываем из проекта.



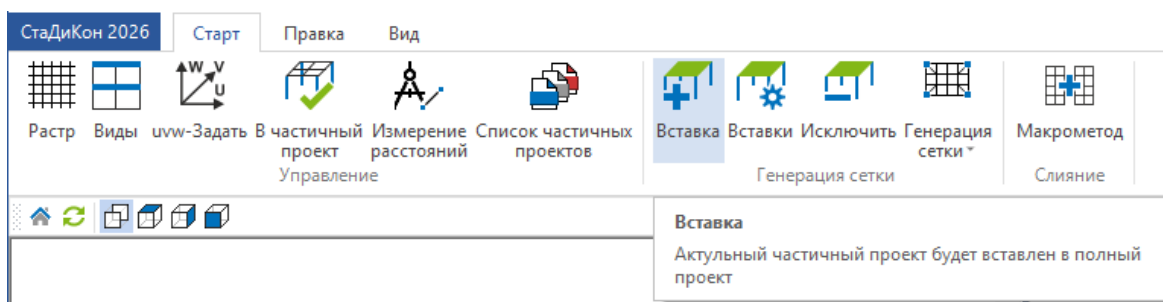
И открываем заново. Файл должен присутствовать во вкладке «Последние».



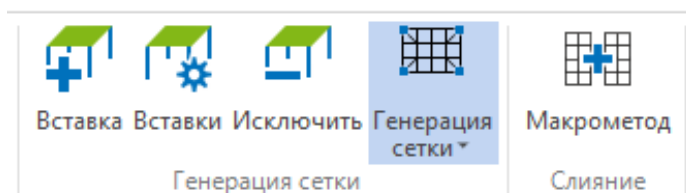
После открытия нажимаем «В полный проект».



Далее «Вставка».



После вставки выбираем «Генерация сетки» и оставляем параметры по умолчанию.



Нажимаем еще раз «Генерация».

Генерация сетки

Шаблон: Стандарт (учет реальных размеров)

Параметры

Суммировать номера нагрузок	☐
Генерация краевых условий для стен/колонн	☒
Генерация линейных опор	☒
Генерация слоистых и упругих оснований	☒
Учет принадлежности балки к плите	☒
Эксцентриситеты	
Способ моделирования связи колонна-плита	
Способ моделирования связи плита-стена	
Способ моделирования связи плита - подбалка	
Генерация нагрузок	
Способ генерации шарниров для стен и плит	
Не делить стержни типа "трос"	
Дополнительная проверка и сглаживание сетки	☐

Генерация

Сохранить шаблон

Перезаписать шаблон

Удалить шаблон

И сохраняем полученный уже конечно-элементный FEA-проект.

Проверим свойства материала.

Материалы

Прямоугольный нелинейн. бетон

Прямоугольная нелинейн. сталь Слоистый Армированная балка

3D - балка Прямоугольный Трос TPOC2

Номер мат. 1 Новый Копировать

Имя матер. I 25K3_C 235

A	0.0102208	kA	1	Krho	1
As	0.006847			Cm	0
At	0.002376			Ck	0
Ir	7.803e-07	klr	1	Проф.	I DVTK1 I 25K3
Is	0.000121536	kls	1	Угол	90.000000
It	4.08875e-05	klt	1	dy	0.000000
E	2.06e+08	☐ пересчет		dz	0.000000
G	7.92308e+07			☒ Отражение	
Rho	8.2425			Цвет	

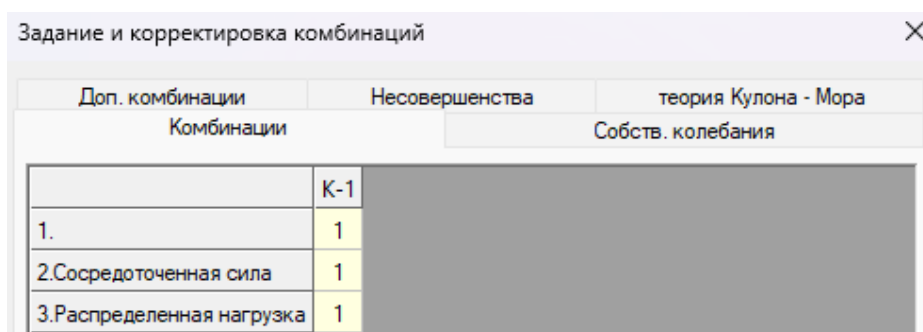
Ссылка 8

OK Отмена Справка

Изменим значение $Krho$ на 0.952 для обоих материалов.

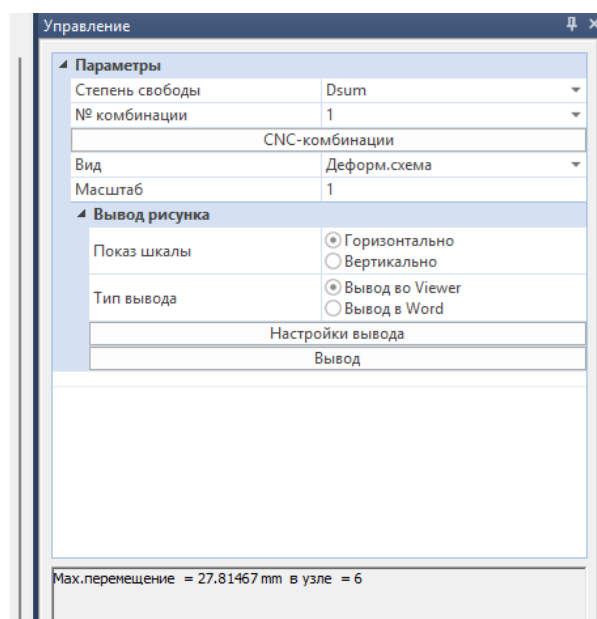
Так как теперь используется элемент «3D-балка», то добавились сдвиговые площади и моменты инерции по осям. Для точного совпадения результата с посчитанной ранее задачей необходимо установить аналогичные сдвиговые площади. Но сейчас оставим изначальные.

Создадим следующую комбинацию



И запустим проверочный статический расчет с параметрами по умолчанию.

Получаем следующий результат перемещений.



Остальные расчеты выполняются аналогично тем, что уже были описаны ранее для FEA-модели.