

Знакомство с МКЭ подсистемой

СтадиКон (СДК)

**Испытание на двухосное сжатие с
использованием линейно-упругой
модели и модели Мора-Кулона**



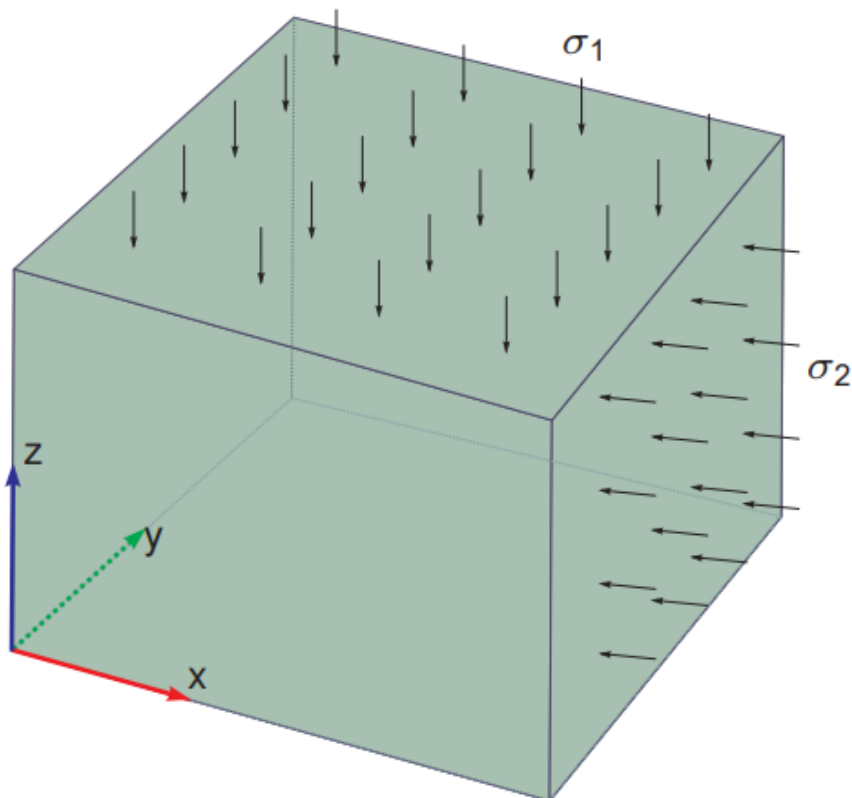
Содержание

Содержание	2
1. Описание задачи	3
2. Конечно-элементный FEA-проект	4
2.1. Геометрия	5
2.2. Материал	6
2.3. Нагружение	7
2.4. Установка связей	10
2.5. Расчет	11
2.6. Расчет по модели Мора-Кулона	15

1. Описание задачи

В этом документе описан пример, который был использован для проверки возможностей СтаДиКон в области упругой деформации в соответствии с законом изотропной упругости Гука. Задача заключается в осевом сжатии в условиях двухосного испытания.

Используется кубический образец ($1 \times 1 \times 1 \text{ м}^3$). К правой и верхней граням модели приложены единичные поверхностные нагрузки.



Свойства материала:

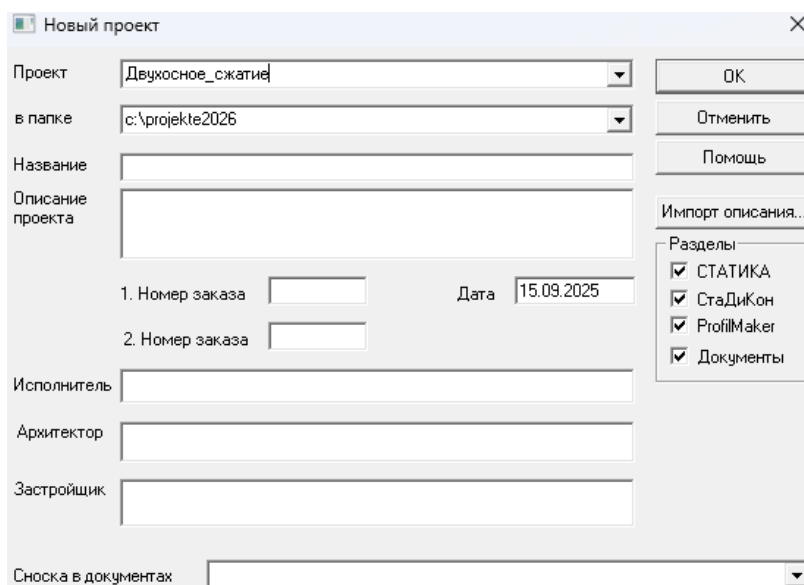
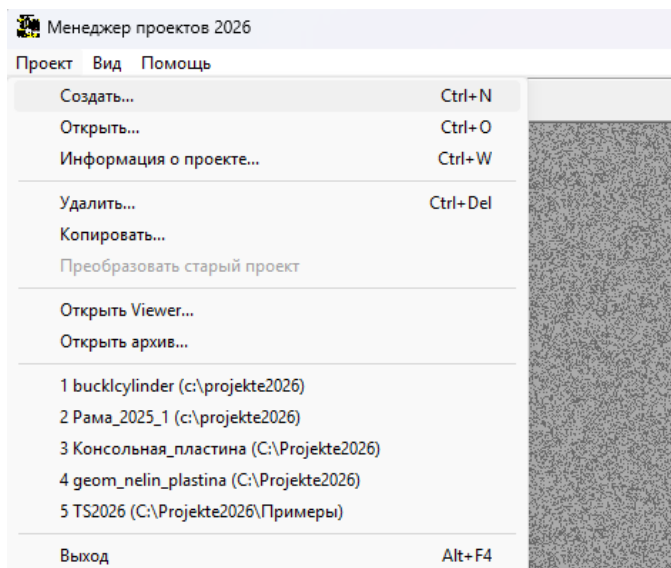
- модуль упругости $E = 1000 \text{ кН/м}^2$
- коэффициент Пуассона $\nu = 0.25$

Нагружение:

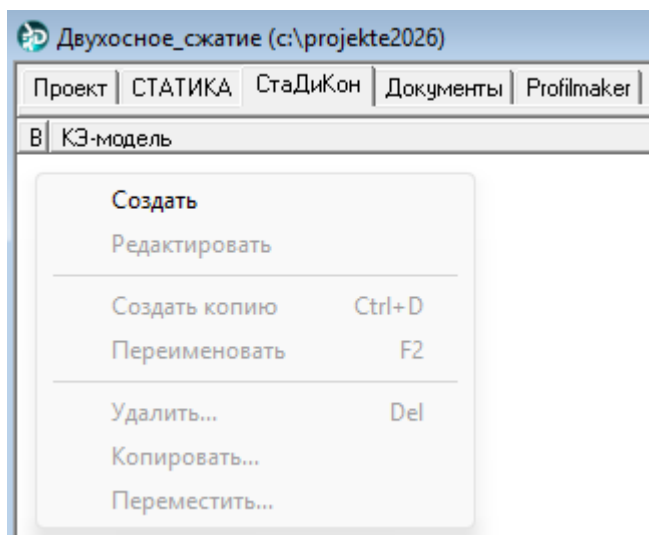
- значение нагрузки $\sigma = 1 \text{ кН}$

2. Конечно-элементный FEA-проект

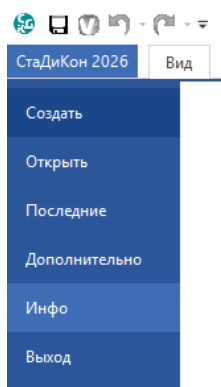
Создаем новый проект.



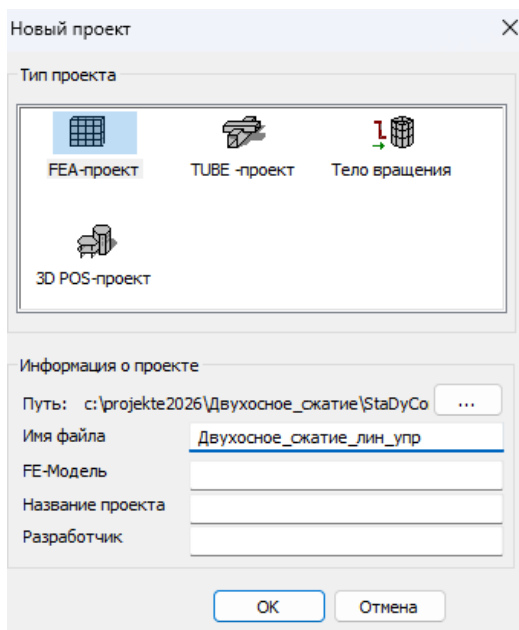
Во вкладке «СтаДиКон» нажимаем ПКМ в пустом окне и создаем новую КЭ модель.



Переходим в дерево проекта и выбираем «Создать».

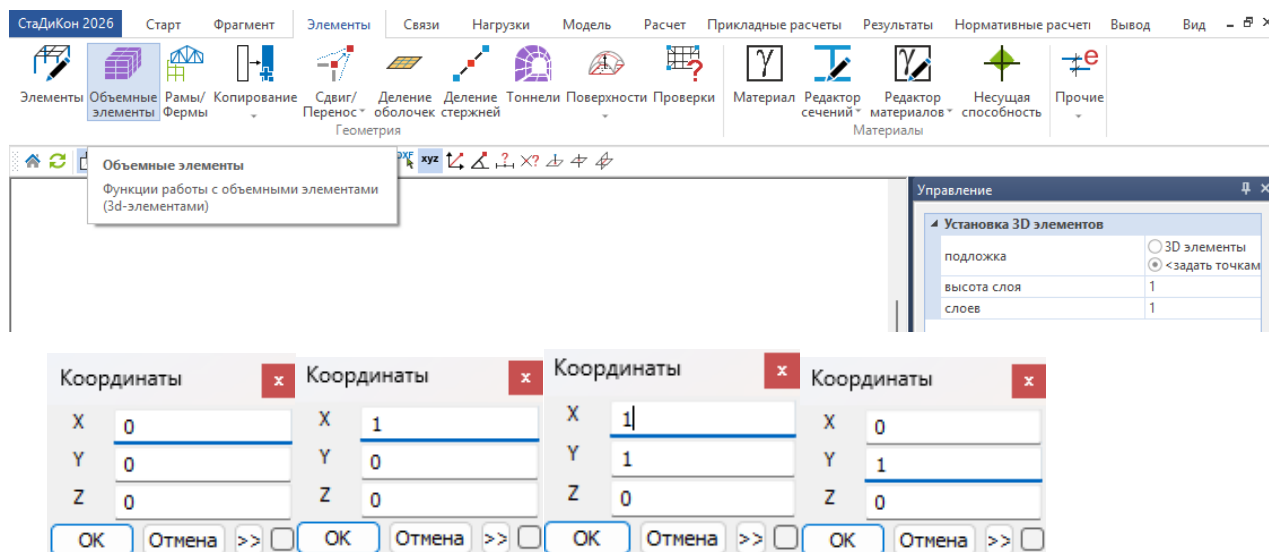


Выбираем тип проекта «FEA-проект».

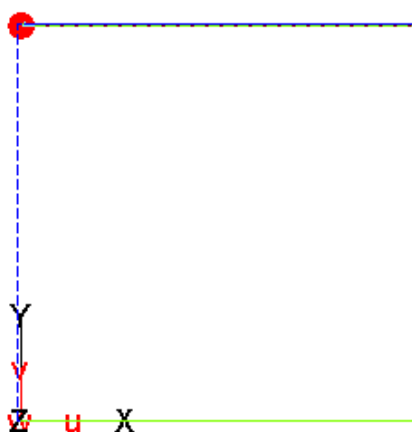


2.1. Геометрия

Переходим на вкладку «Элементы» и выбираем «Объемные элементы». И задаем 4 точки нижней грани.

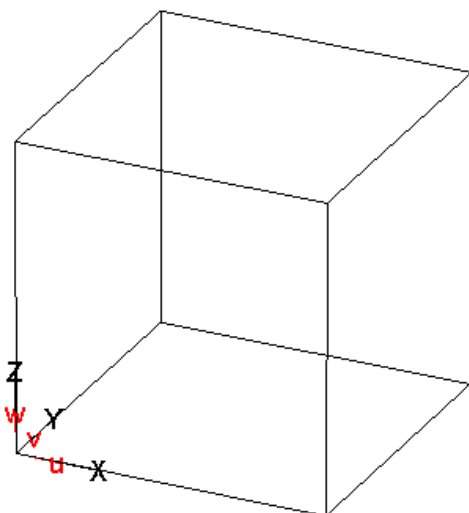


Должен получиться следующий результат.



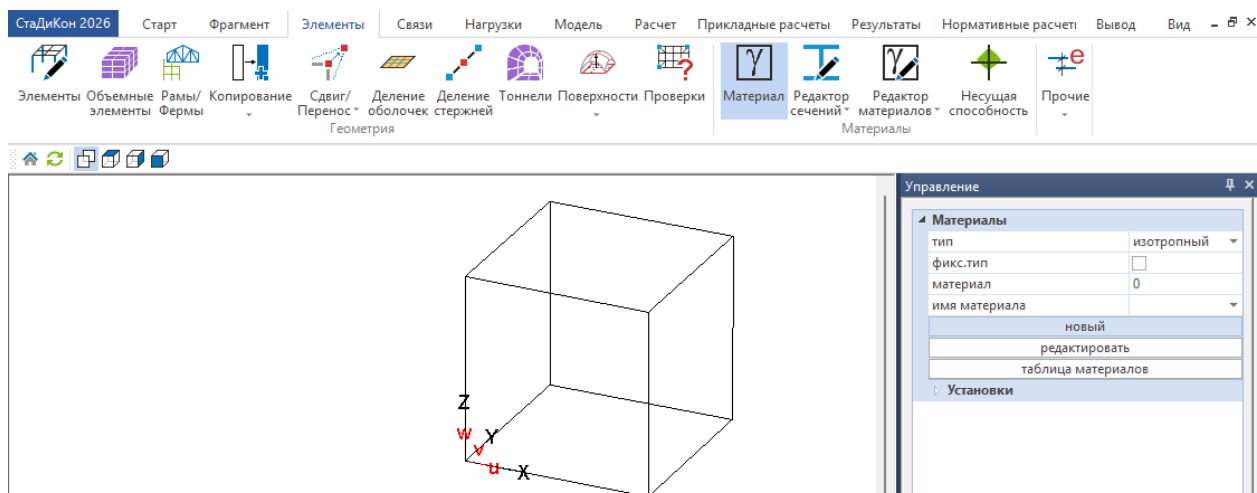
И нажимаем ЛКМ на красную точку в левом верхнем углу.

После нажатия должен создаться следующий куб.



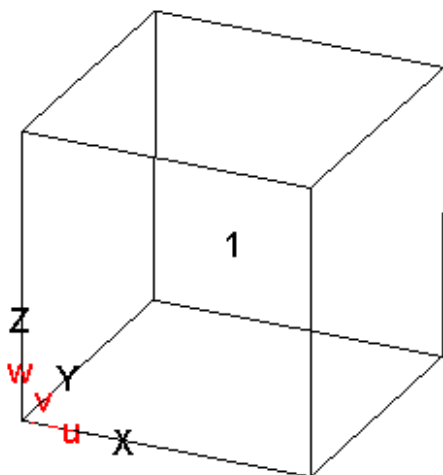
2.2. Материал

На вкладке «Элементы» выбираем «Материал» и нажимаем на «новый».



Задаем параметры материала.

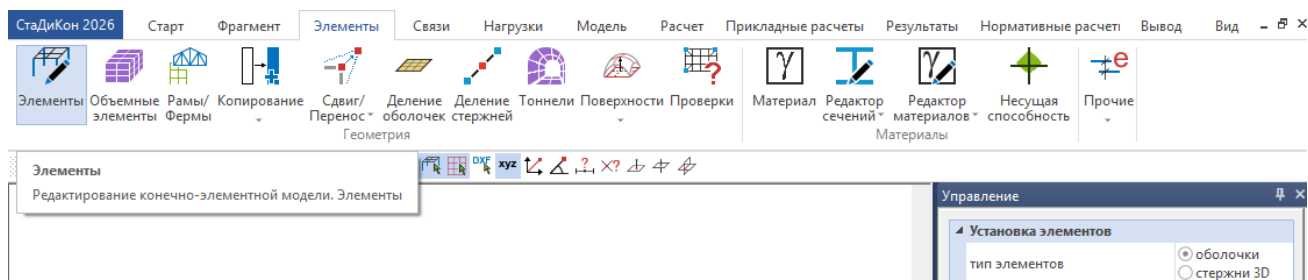
И нажатием ЛКМ задаем материал элементу.



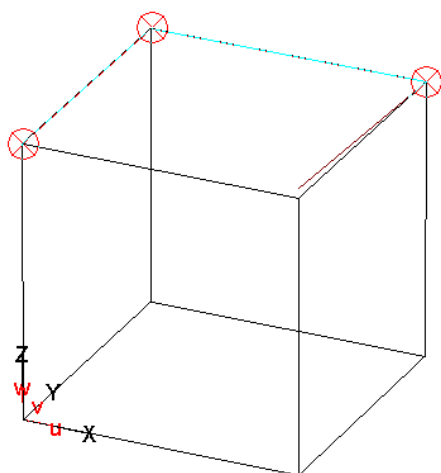
2.3. Нагружение

Для задания необходимых нам нагрузок сначала надо создать оболочки на соответствующих гранях, к которым будет приложена нагрузка.

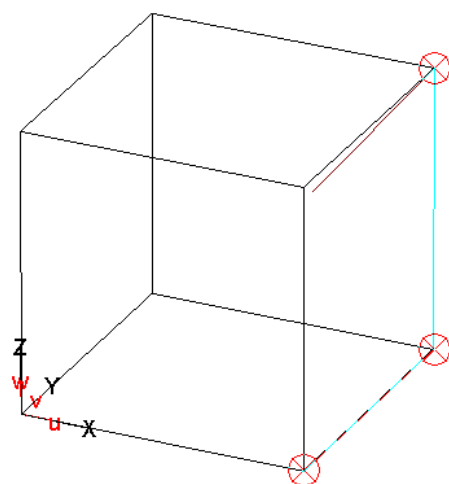
Переходим на вкладку «Элементы» и выбираем «Элементы». Тип элементов – «оболочки».



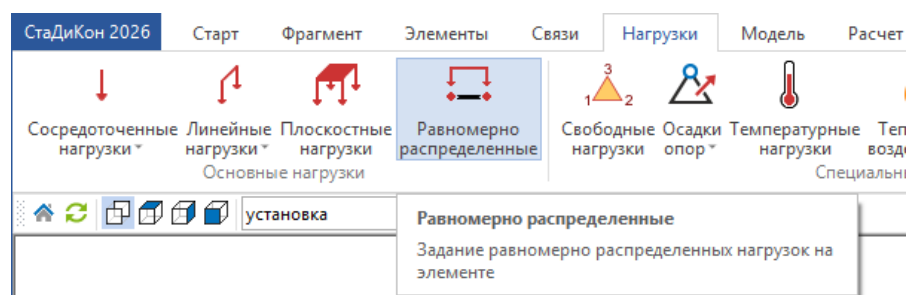
И создаем оболочку на верхней грани нажатиями на 4 узла.



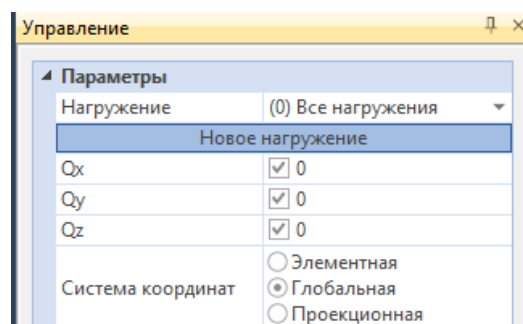
Аналогично создаем оболочку и на правой грани.



Переходим к назначению нагрузки. Вкладка «Нагрузки» - «Равномерно распределенные».

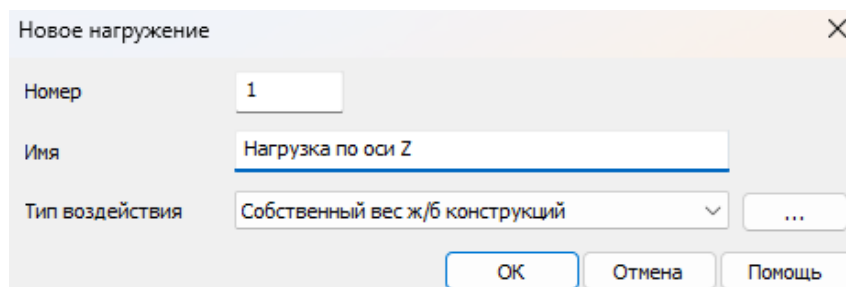


Переключаемся на глобальную систему координат и выбираем «Новое нагружение».

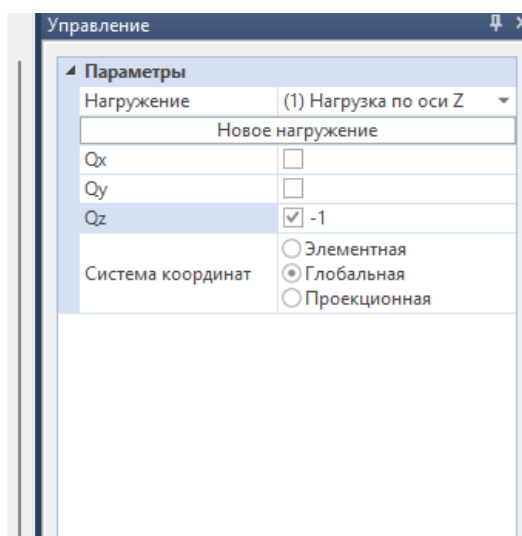
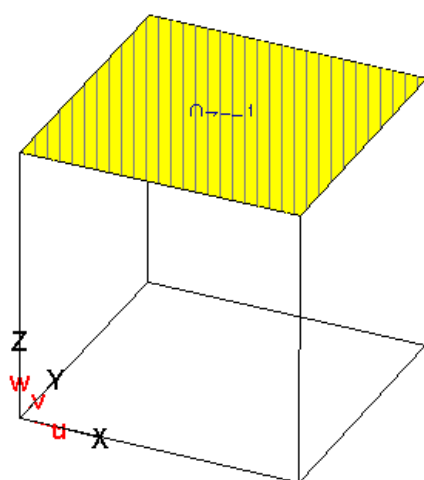


Создаем первое нагружение для нагрузки по оси Z.

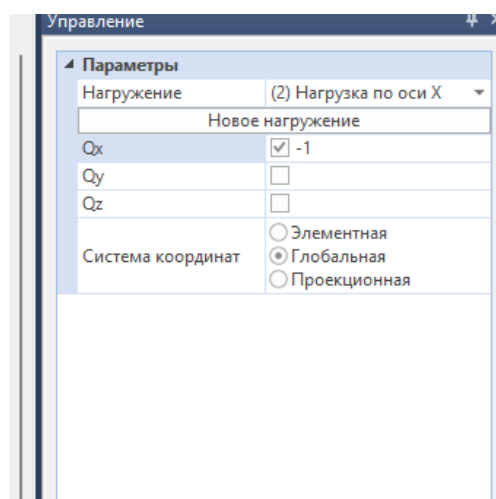
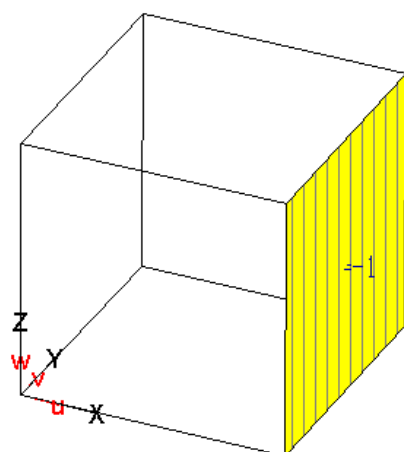
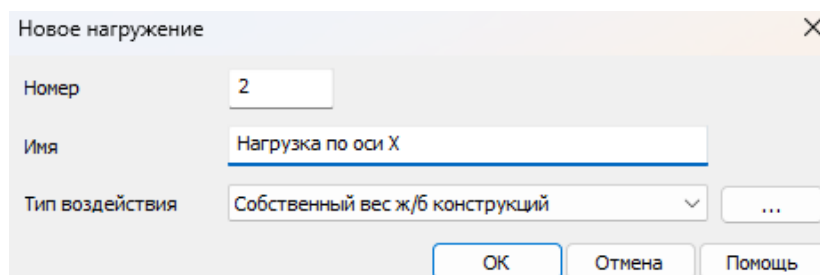
В первое нагружение автоматически добавляется собственный вес, но так как мы установили нулевую плотность материала, то можем не менять номер нагружения.



Задаем нагрузку Q_z на верхнюю грань.

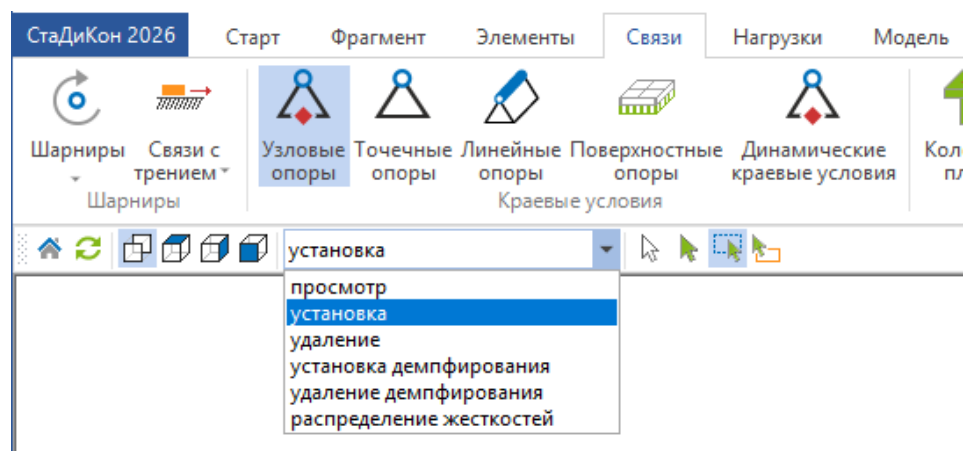


После аналогично создаем вторую комбинацию.

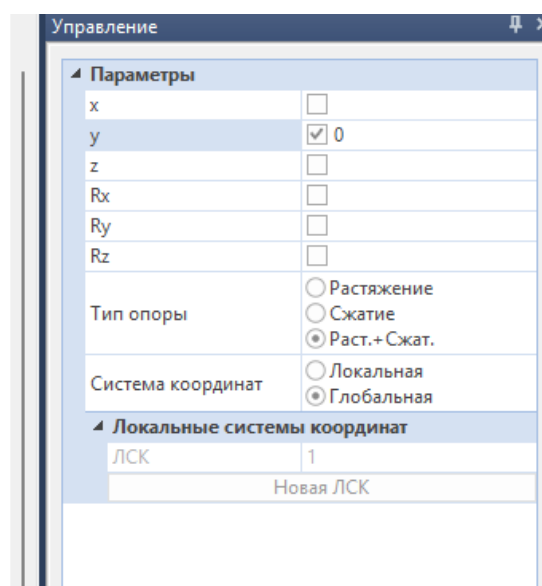
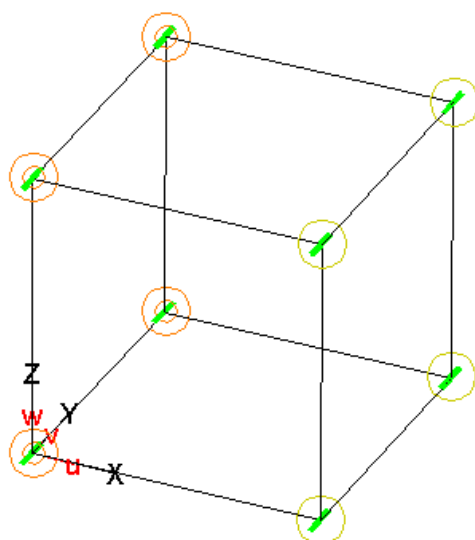
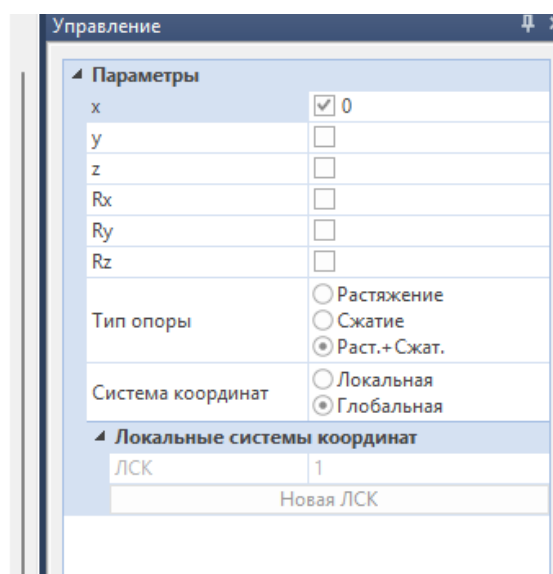
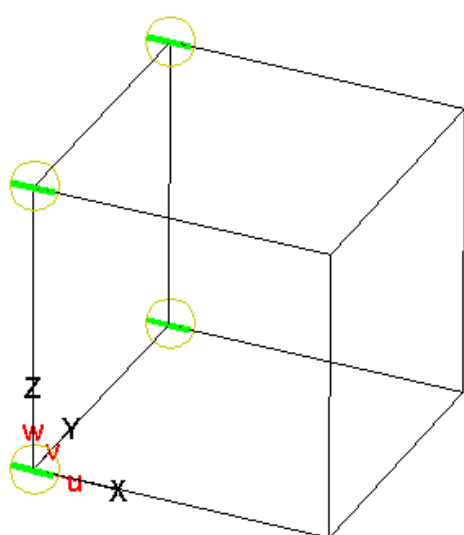


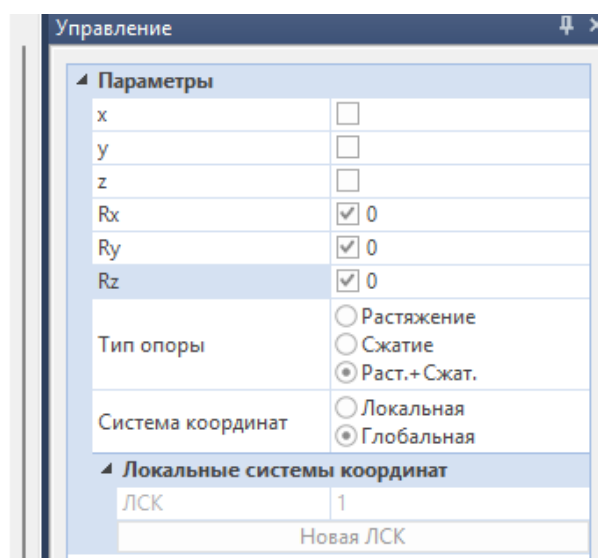
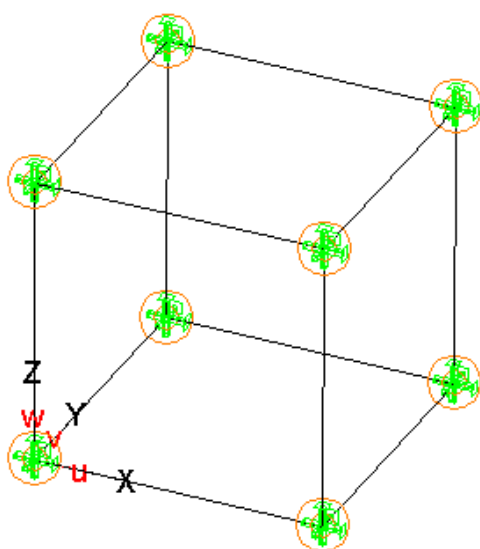
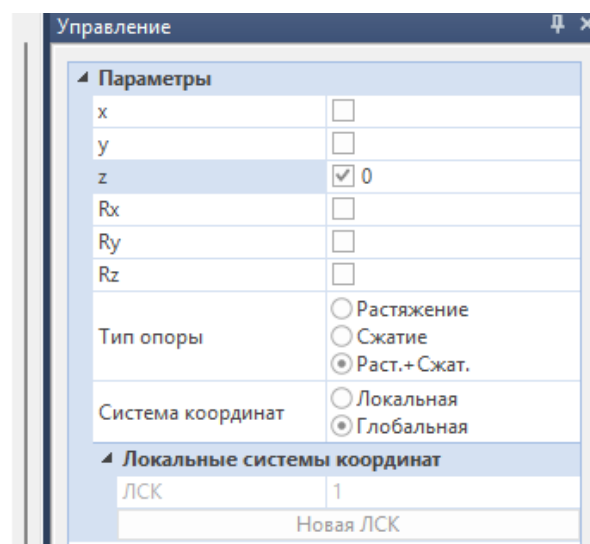
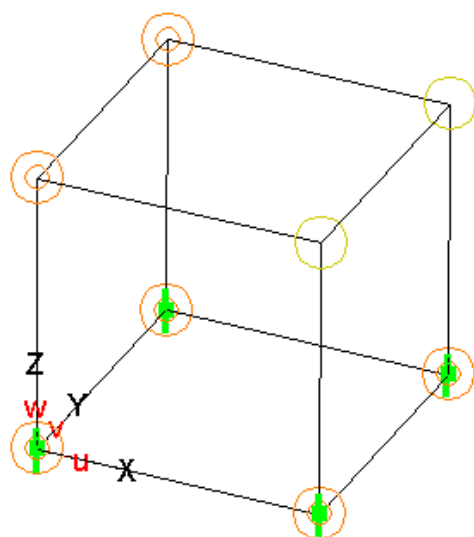
2.4. Установка связей

Перейдем к установке краевых условий. На вкладке «Связи» выбираем «Узловые опоры» - «установка».



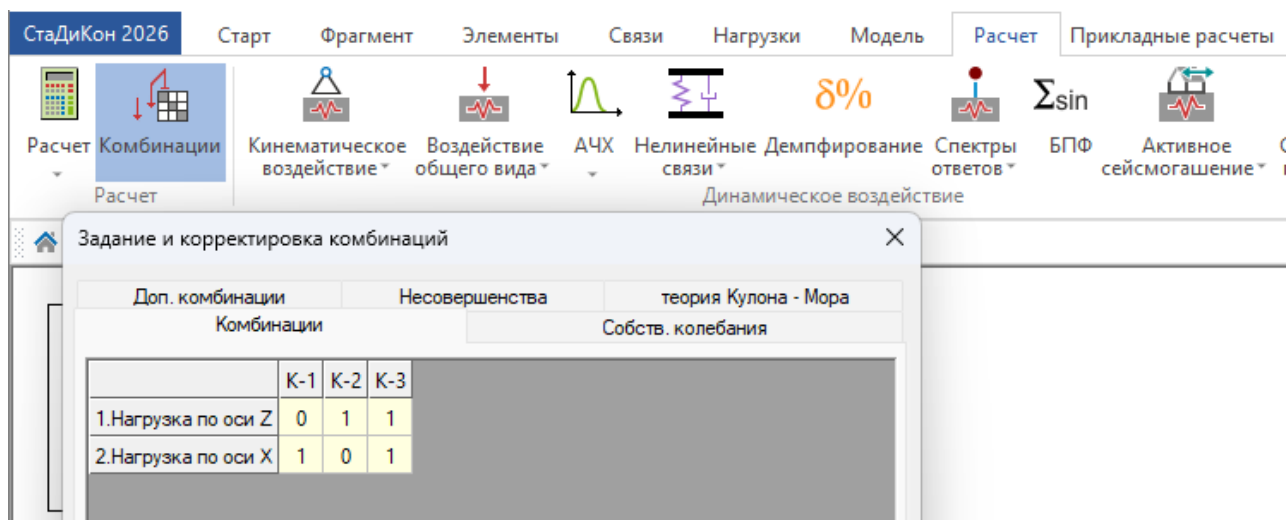
Назначаем следующие граничные условия:



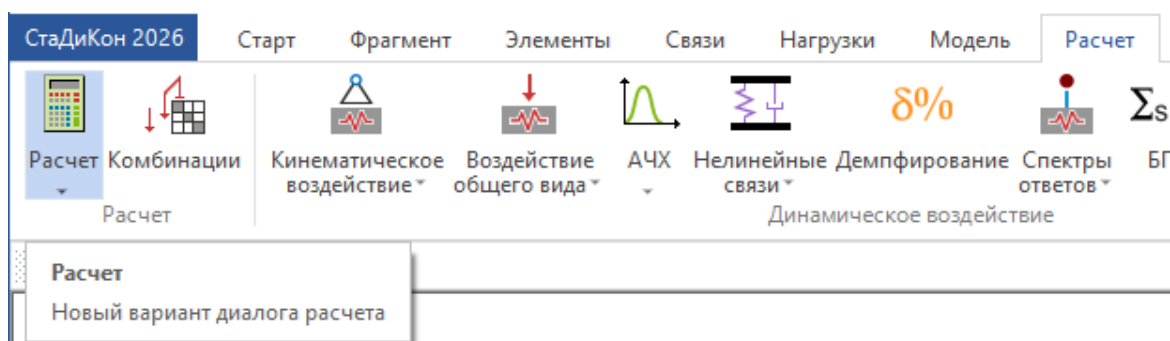


2.5. Расчет

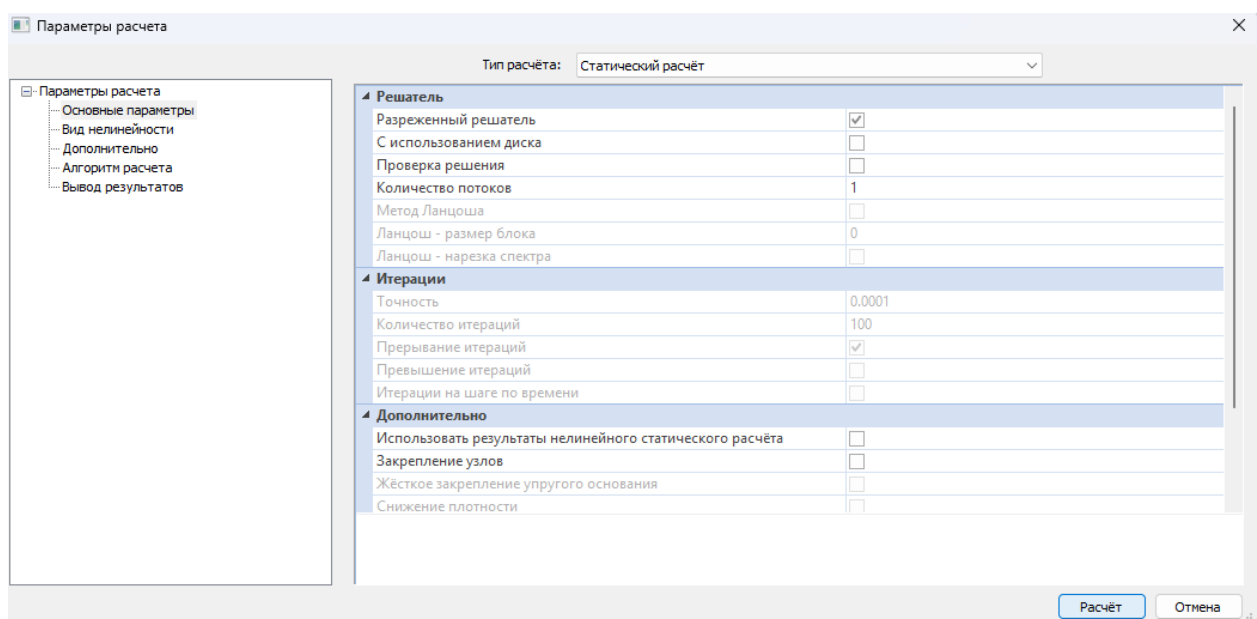
Переходим на вкладку «**Расчет**» и выбираем «**Комбинации**». Создаем следующие комбинации.



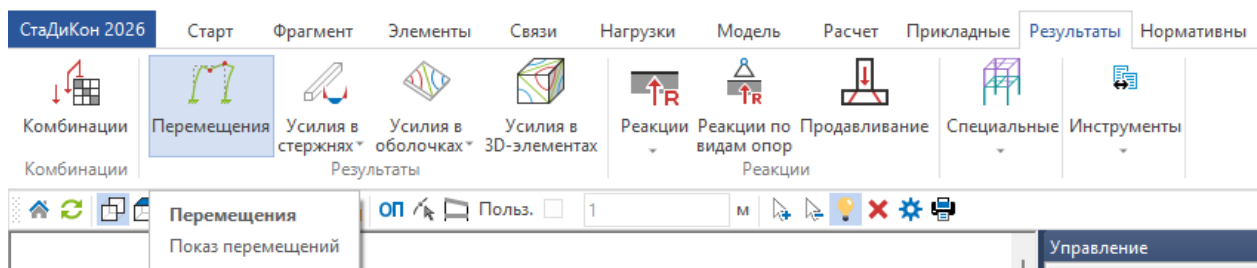
Теперь выбираем «Расчет».



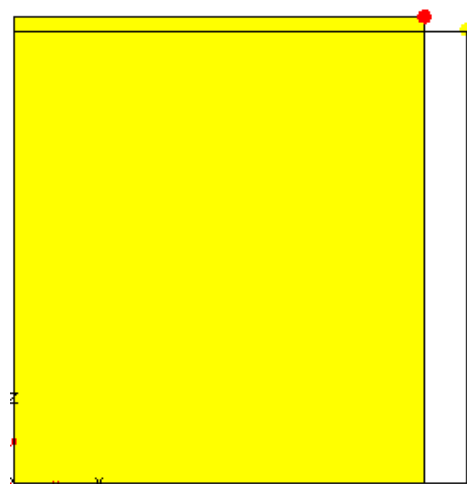
Оставляем все параметры по умолчанию и запускаем расчет нажав на соответствующую кнопку.



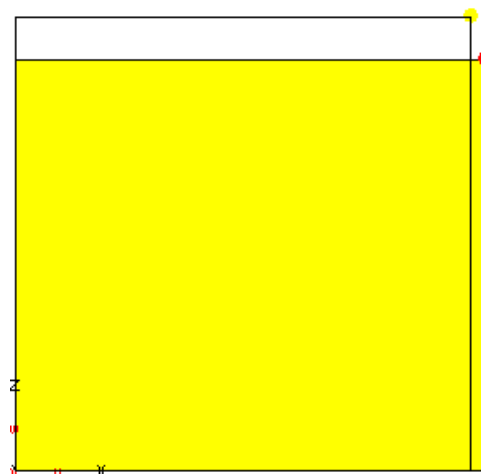
После расчета переходим на вкладку «Результаты» - «Перемещения».



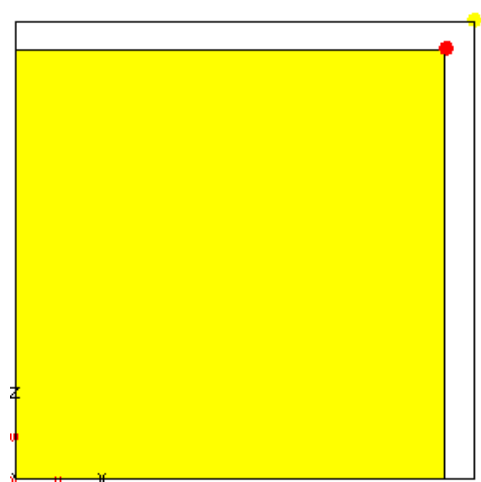
Получаем следующие результаты перемещений для трех комбинаций нагружений:



Управление	
Параметры	
Степень свободы	Dsum
№ комбинации	1
CNC-комбинации	
Вид	Закраска
Масштаб	100
Вывод рисунка	
Показ шкалы	☒ Горизонтально ☐ Вертикально
Тип вывода	☒ Вывод во Viewer ☐ Вывод в Word
Настройки вывода	
Вывод	
№ комбинации	
Номер комбинации	
Max:Узел=6, Ux=-0.93750 мм Uy=0.00000 мм Uz=0.31250 мм Rx=0.00000 рад*1.e-3 Ry=0.00000 рад*1.e-3 Rz=0.00000 рад*1.e-3	



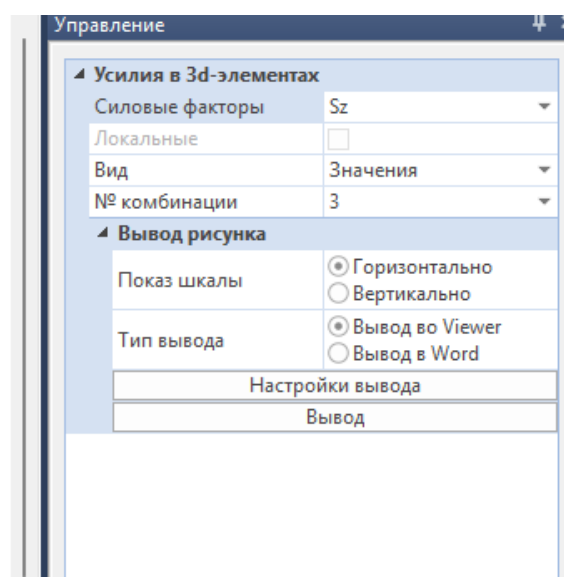
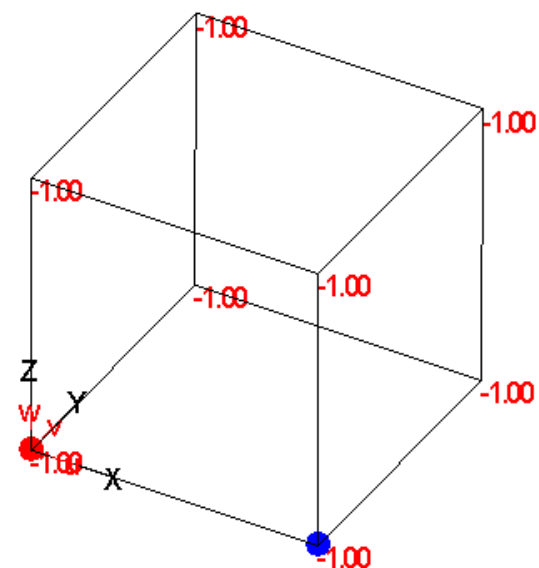
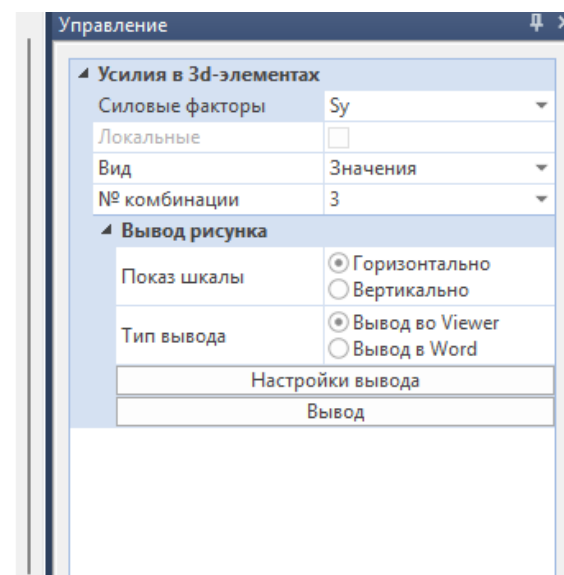
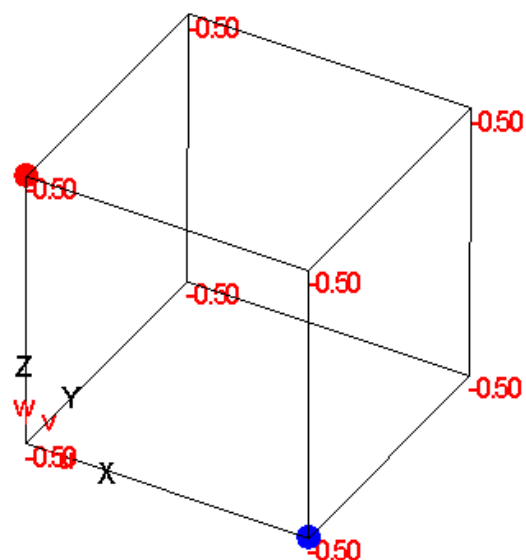
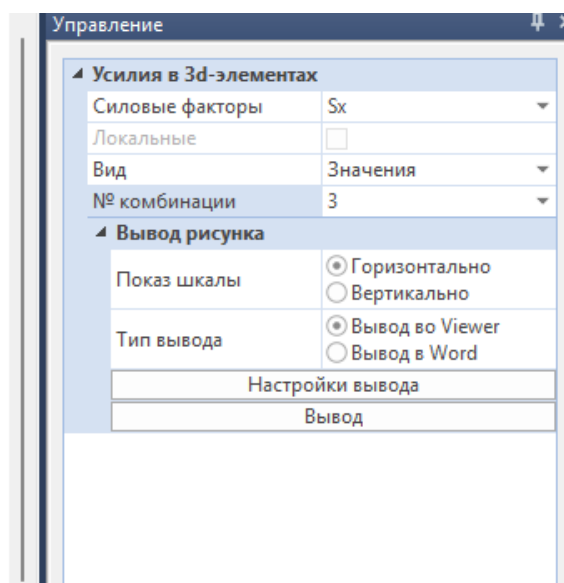
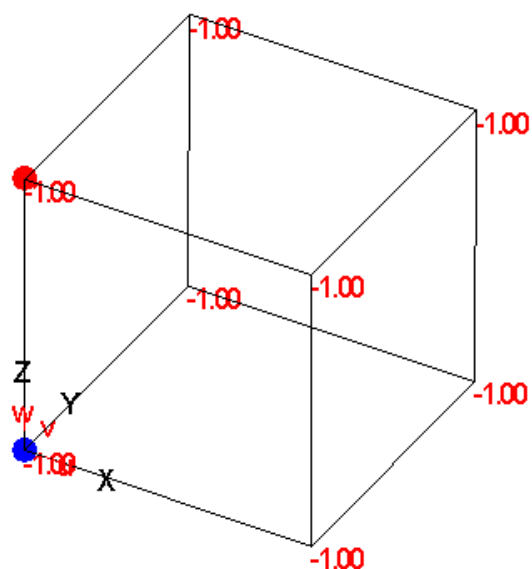
Управление	
Параметры	
Степень свободы	Dsum
№ комбинации	2
CNC-комбинации	
Вид	Закраска
Масштаб	100
Вывод рисунка	
Показ шкалы	☒ Горизонтально ☐ Вертикально
Тип вывода	☒ Вывод во Viewer ☐ Вывод в Word
Настройки вывода	
Вывод	
№ комбинации	
Номер комбинации	
Max:Узел=6, Ux=0.31250 мм Uy=0.00000 мм Uz=-0.93750 мм Rx=0.00000 рад*1.e-3 Ry=0.00000 рад*1.e-3 Rz=0.00000 рад*1.e-3	



Управление	
Параметры	
Степень свободы	Dsum
№ комбинации	3
CNC-комбинации	
Вид	Закраска
Масштаб	100
Вывод рисунка	
Показ шкалы	☒ Горизонтально ☐ Вертикально
Тип вывода	☒ Вывод во Viewer ☐ Вывод в Word
Настройки вывода	
Вывод	
№ комбинации	
Номер комбинации	
Max:Узел=6, Ux=-0.62500 мм Uy=0.00000 мм Uz=-0.62500 мм Rx=0.00000 рад*1.e-3 Ry=0.00000 рад*1.e-3 Rz=0.00000 рад*1.e-3	

Поскольку рассматривается образец единичной длины, значения этих компонентов перемещений равны деформациям в соответствующих направлениях.

Перейдя на пункт «Усилия в 3D-элементах», можно посмотреть значения напряжений. Ниже приведены результаты для третьей комбинации нагружения.



Полученные результаты соответствуют аналитическому решению:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1 - \nu'(\sigma_2 + \sigma_3)}{E'}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2 - \nu'(\sigma_1 + \sigma_3)}{E'}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3 - \nu'(\sigma_1 + \sigma_2)}{E'} = 0 \Rightarrow \sigma_3 = \nu'(\sigma_1 + \sigma_2)$$

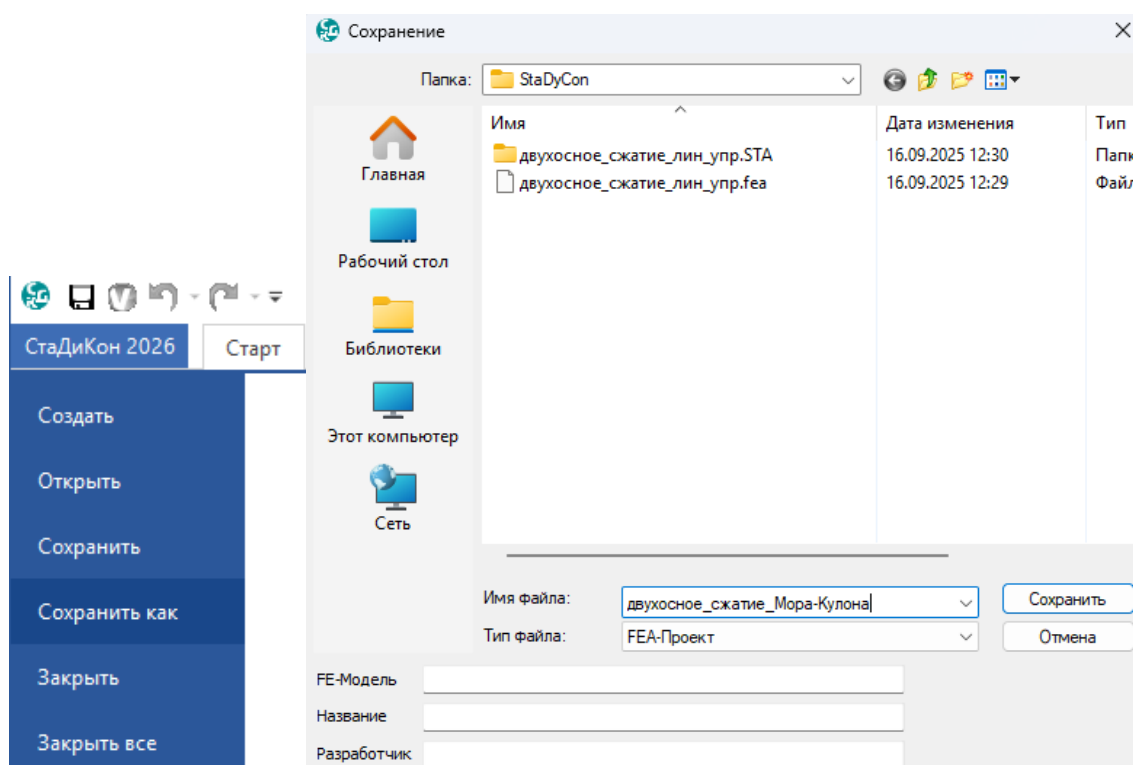
Таблица 1: Результаты аналитических решений

Комбинация 1:	$\sigma_1 = 0 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_1 = 0.3125 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_2 = -1 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_2 = -0.9375 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_3 = -0.25 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_3 = 0 \text{ м}$
Комбинация 2:	$\sigma_1 = -1 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_1 = -0.9375 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_2 = 0 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_2 = 0.3125 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_3 = -0.25 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_3 = 0 \text{ м}$
Комбинация 3:	$\sigma_1 = -1 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_1 = -0.6250 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_2 = -1 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_2 = -0.6250 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$\sigma_3 = -0.50 \text{ кН/м}^2$ $\varepsilon_3 = 0 \text{ м}$

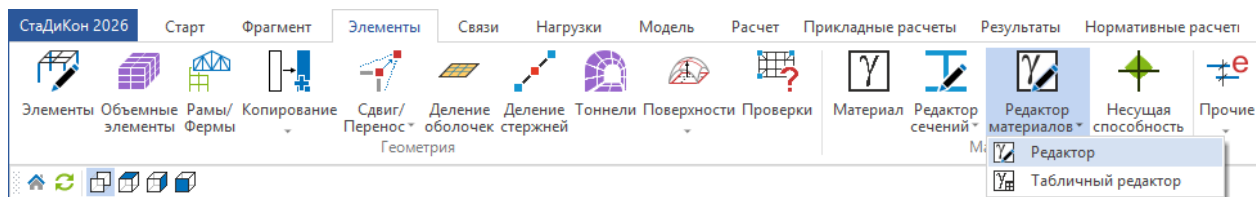
Соответствие между осями 1, 2 и 3 теоретического решения и осями x, y и z в СтаДиКон: 1 → z, 2 → x, 3 → y

2.6. Расчет по модели Мора-Кулона

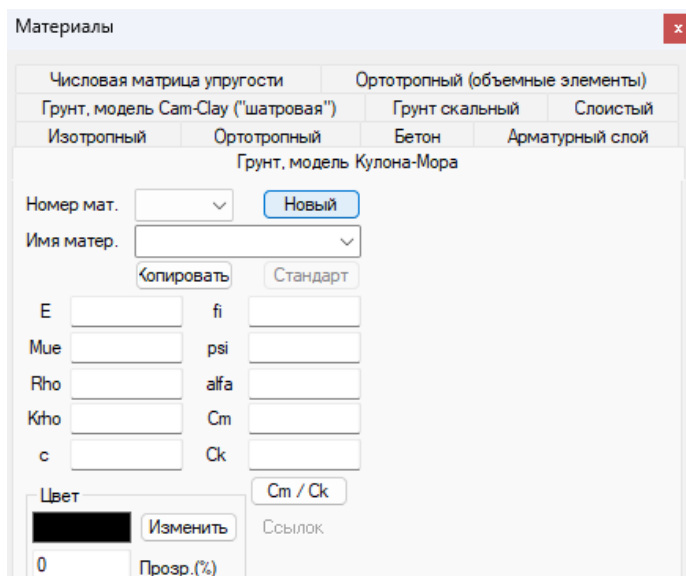
Сделаем копию модели под другим именем. Используем опцию «Сохранить как».



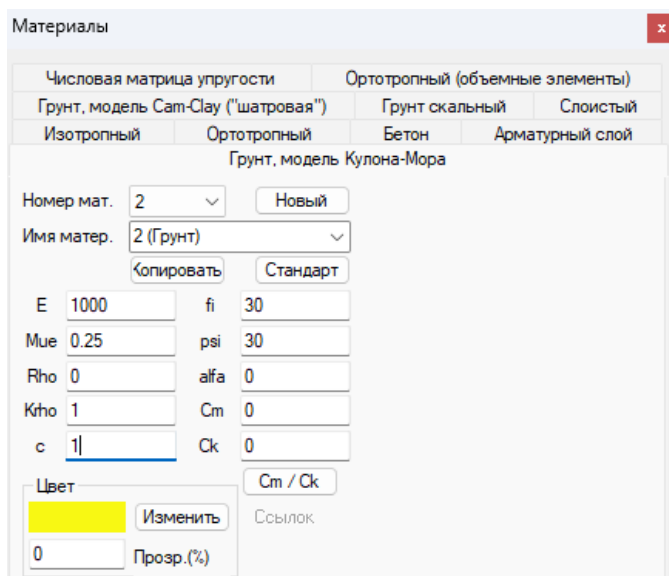
На вкладке «Элементы» выбираем «Редактор материалов» - «Редактор».



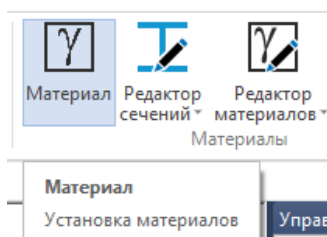
В открывшемся окне выбираем вкладку «Грунт. модель Кулона-Мора». Создаем новый материал нажав на кнопку «Новый».



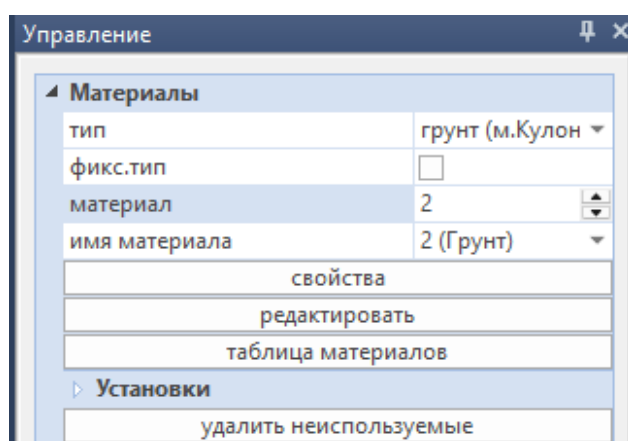
Вводим следующие параметры материала и нажимаем на «ОК».



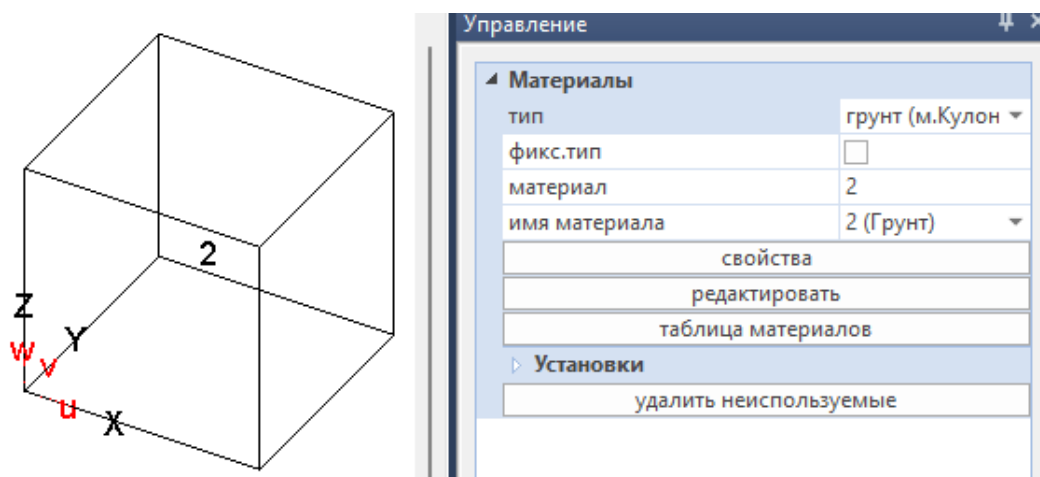
После переключаемся на вкладку «Материал».



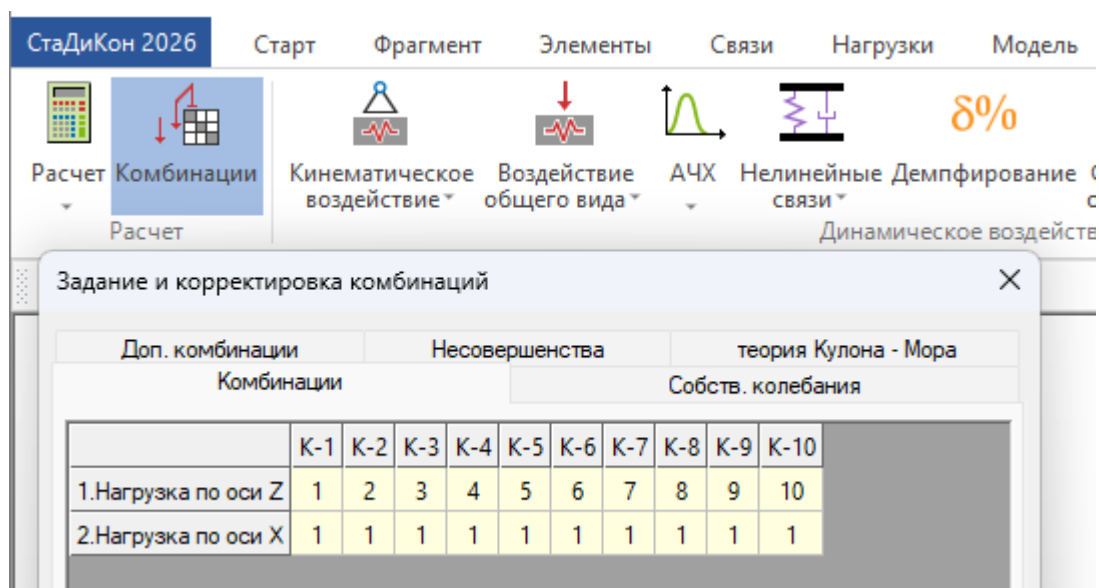
С помощью стрелочек или ввода соответствующего номера выбираем созданный материал.



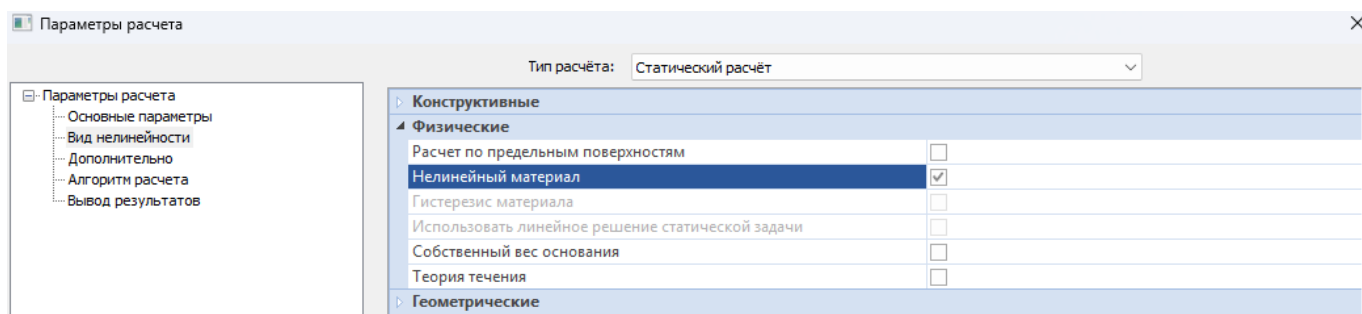
И задаем его нажатием ЛКМ на объемный элемент.



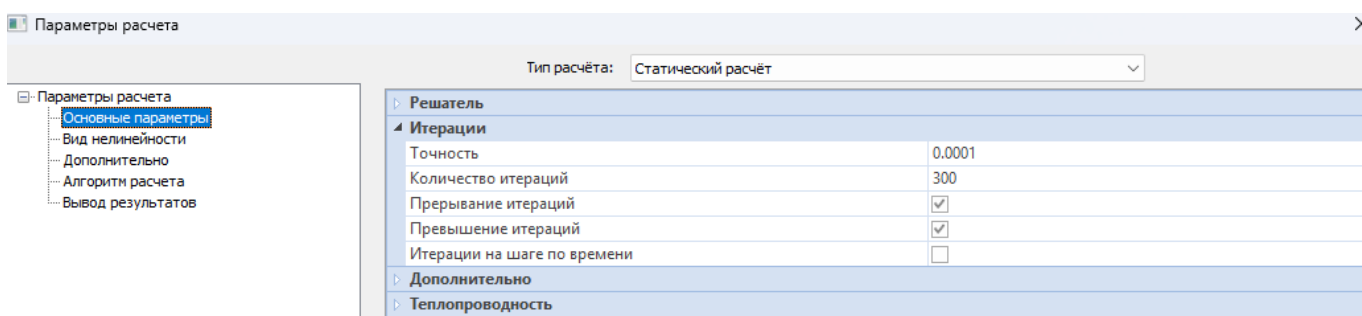
Далее изменим комбинации нагрузжений.



Открываем параметры расчета и во вкладке «Вид нелинейности» устанавливаем галочку «Нелинейный материал».



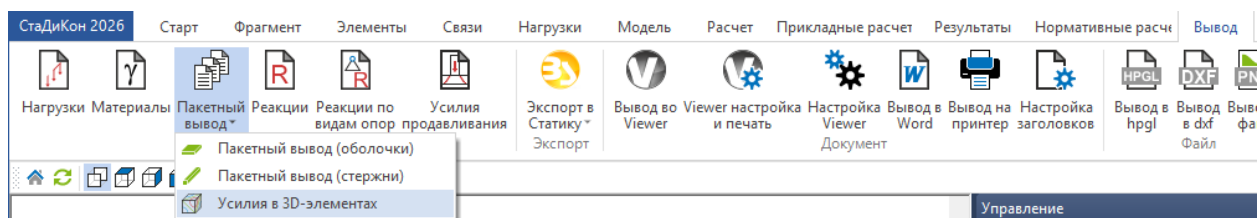
И изменим параметры на вкладке «Основные параметры».



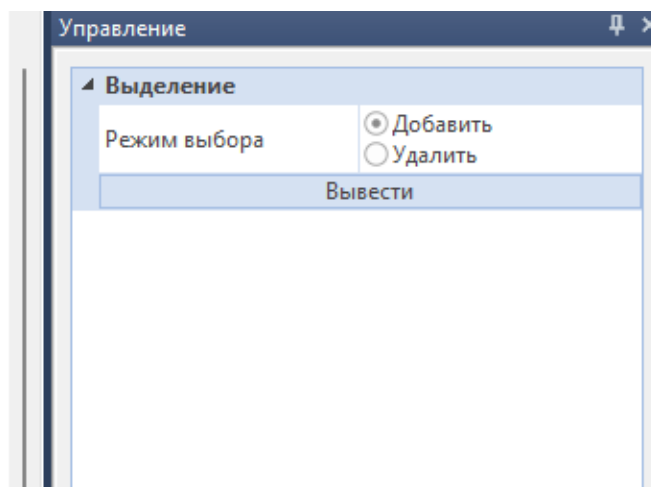
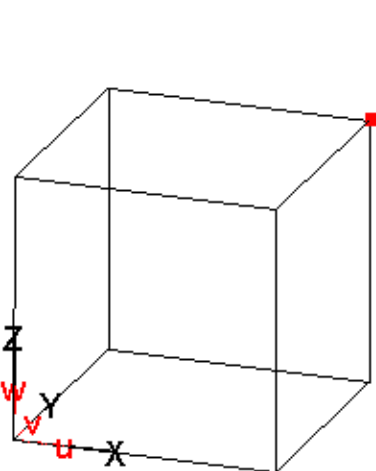
Запускаем расчет.

Вычисленные результаты можно просмотреть описанным ранее способом или воспользоваться выводом результатов. Для примера выведем напряжения.

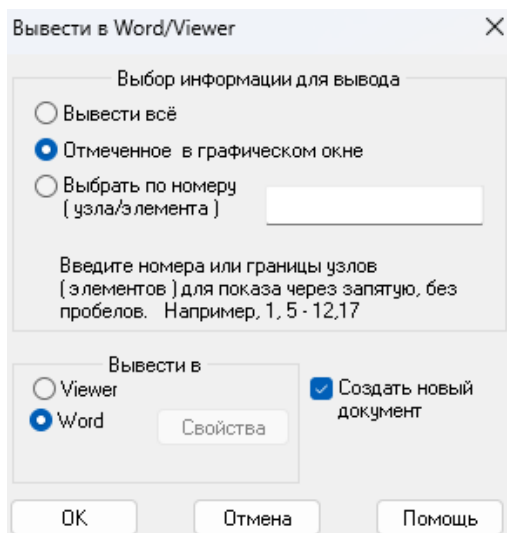
Переходим на вкладку «Вывод» - «Пакетный вывод» - «Усилия в 3D-элементах».



Нажатием ЛКМ выберем узел для вывода и выбираем «Вывести».



Выберем вывод в новый документ Word.



И получаем следующие значения напряжений для всех комбинаций нагрузений.

Проект				Стр.	1
Модель				Позиция	
двухосное_сжатие_мора-кулона.fea					
Дата	16.09.25	Программа	СтаДиКон 2026	Разработчик	

Усилия в 3d-элементах, KNL 1 (статический расчет)

Kn	Lnk	Sx [кН/м2]	Sy [кН/м2]	Sz [кН/м2]	Sxy [кН/м2]	Sxz [кН/м2]	Syz [кН/м2]
7	1	-1.00	-0.57	-1.00	-0.00	0.00	0.00
	2	-1.00	-0.97	-1.99	0.00	0.00	0.00
	3	-1.01	-1.46	-2.99	0.00	0.00	0.00
	4	-1.01	-2.00	-3.99	0.00	-0.00	-0.00
	5	-1.01	-2.58	-4.99	0.00	0.00	-0.00
	6	-1.01	-3.18	-5.99	-0.00	-0.00	-0.00
	7	-1.01	-3.80	-6.99	-0.00	-0.00	-0.00
	8	-1.00	-4.43	-8.00	0.00	0.00	-0.00
	9	-1.00	-5.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
	10	-1.00	-5.50	-10.00	0.00	0.00	0.00