

Знакомство с МКЭ подсистемой

СтадиКон (СДК)

Задача Лэмба



Содержание

Содержание	2
1. Описание задачи	3
2. Конечно-элементный FEA-проект	4
2.1. Геометрия	4
2.2. Материал	10
2.3. Установка связей	12
2.4. Нагружение	15
2.5. Статический расчет	16
2.5.1. Расчет	16
2.5.2. Анализ результатов	17
2.5.3. Редактирование геометрии	20
2.5.4. Повторный расчет обновленной схемы	26
2.6. Динамический расчет	28

1. Описание задачи

Задача Лэмба связана с распространением волн в полубесконечной упругой среде, на которую воздействует импульсная сила, приложенная к поверхности.

Благодаря симметрии модели, смоделирована только четверть всей геометрии. Модель вытянута на 100 м в направлениях x и y , а её высота в вертикальном направлении z составляет 30 м.

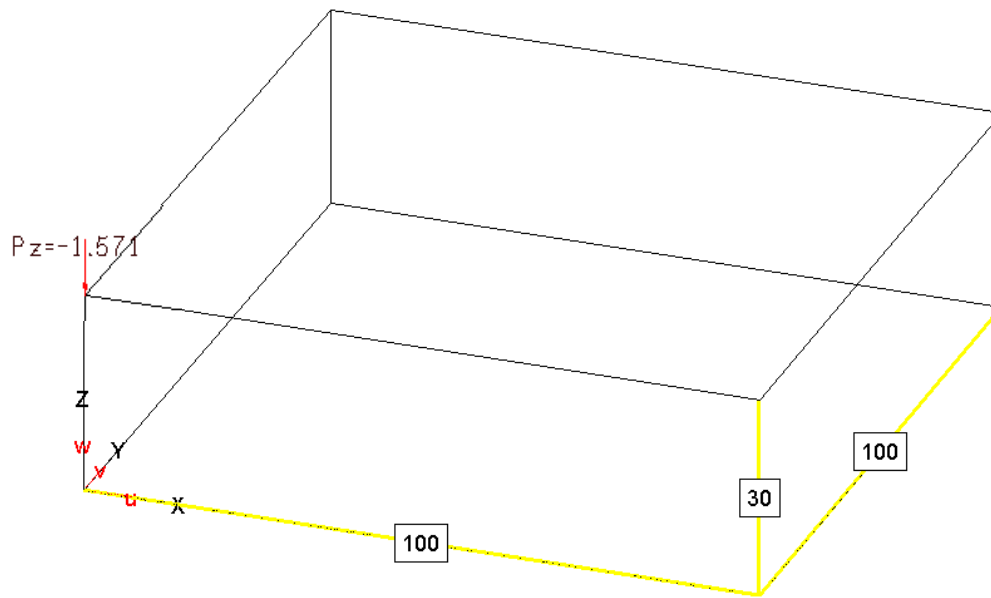


Рис. 1.1 – Схема модели.

Свойства материала:

- модуль упругости $E = 50 \times 10^3$ кН/м²
- коэффициент Пуассона $\nu = 0.25$
- плотность $\rho = 20$ кН/м³ ≈ 2.03943 т/м³
- коэффициент демпфирования для массы $Cm = 0.001$
- коэффициент демпфирования для жесткости $Ck = 0.002$

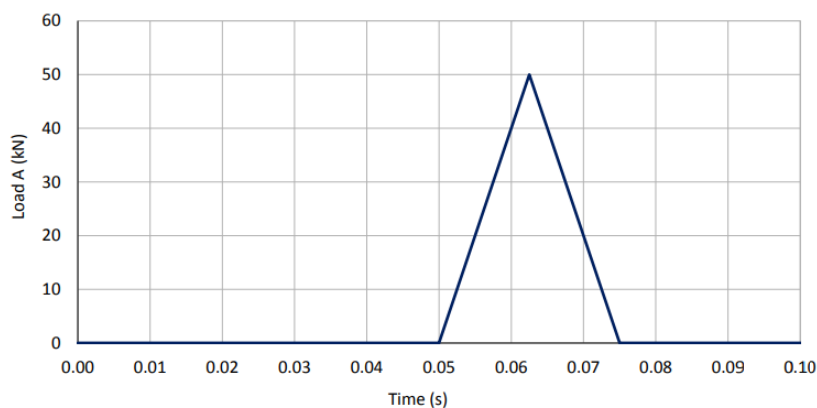
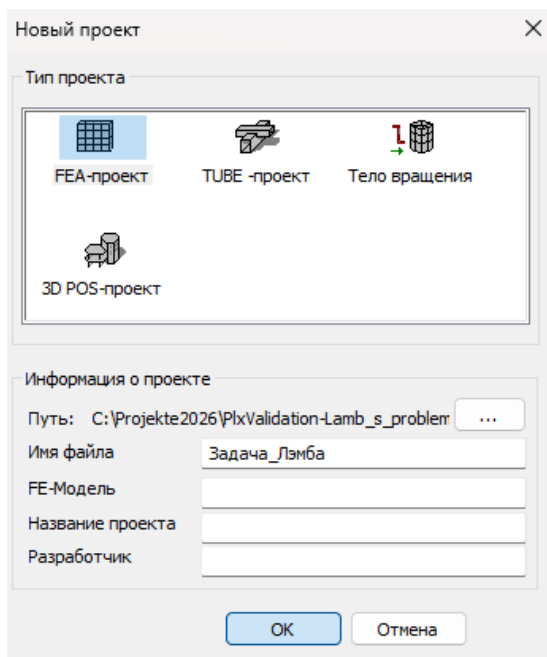


Рис. 1.2 – Импульс нагрузки.

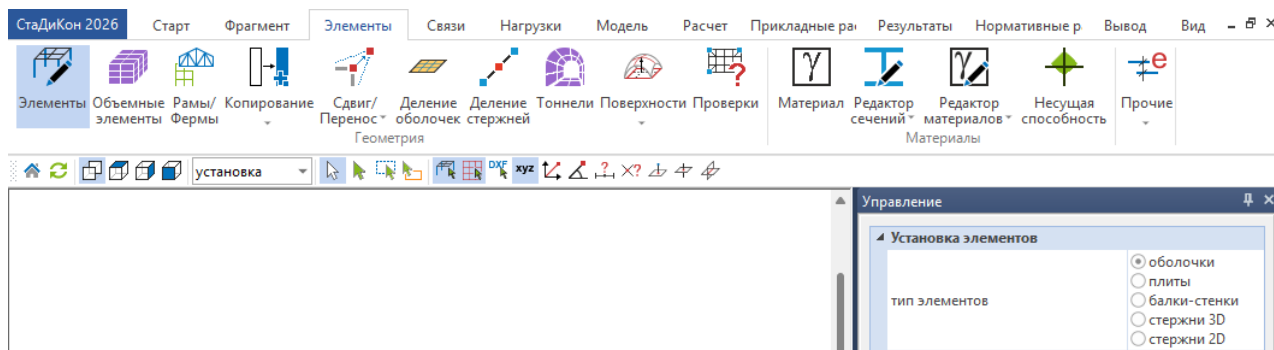
2. Конечно-элементный FEA-проект

Создаем новый проект. Выбираем тип проекта «FEA-проект».

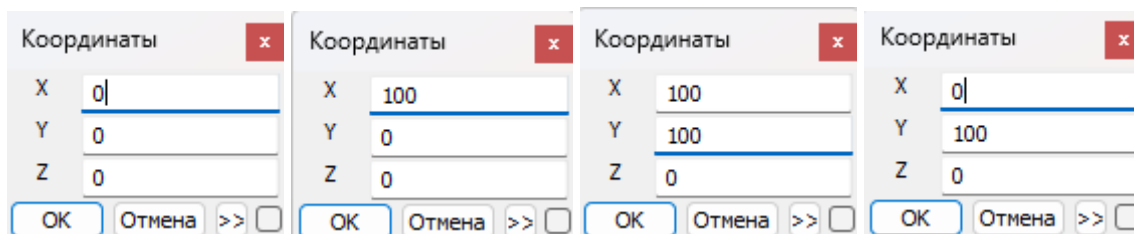


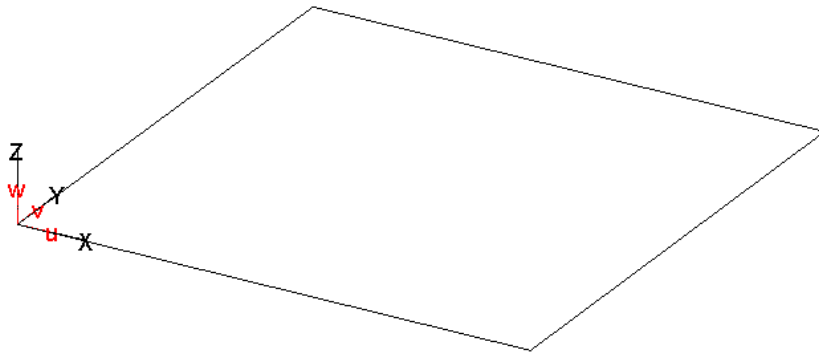
2.1. Геометрия

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

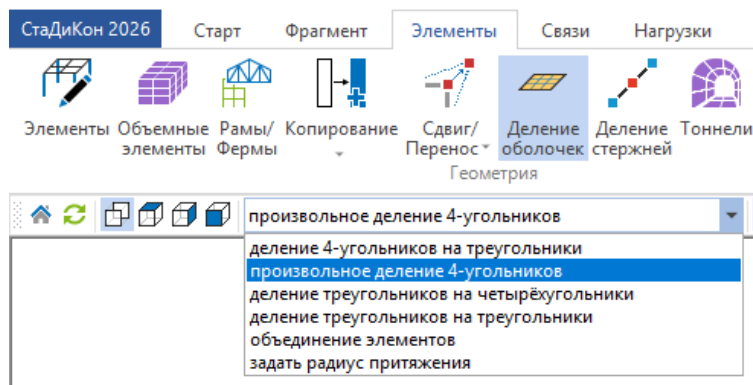


Задаем по координатам нижнюю грань.

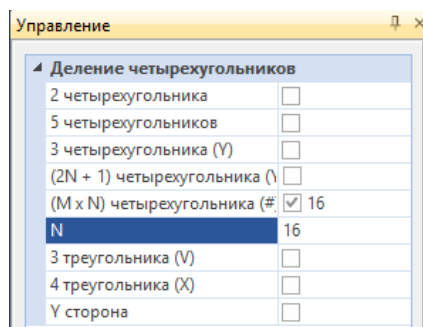




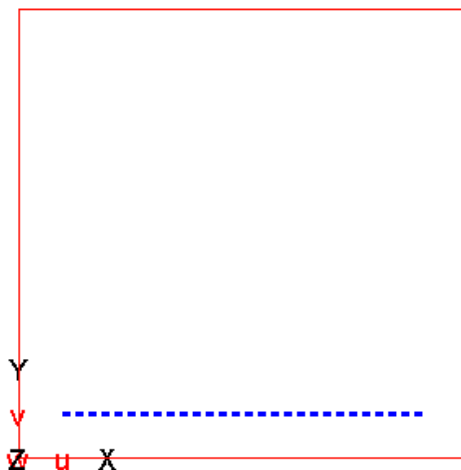
Далее разобьем оболочку. Для этого выбираем «Деление оболочек» и переключаем на «произвольное деление 4-угольников».



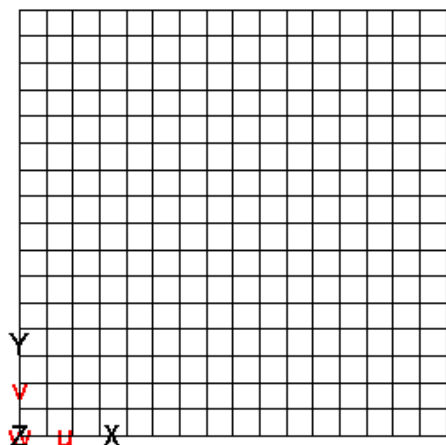
В окне «Управление» устанавливаем вид деления « $(M \times N)$ четырехугольника (#)» и задаем значения M и $N = 16$.



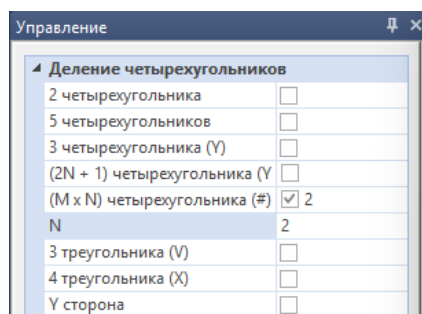
Далее нажатием ЛКМ выбираем оболочку.



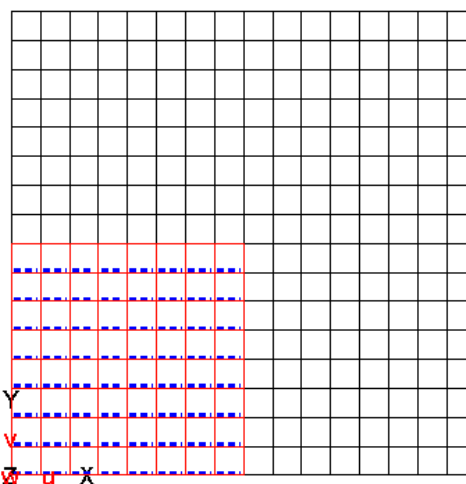
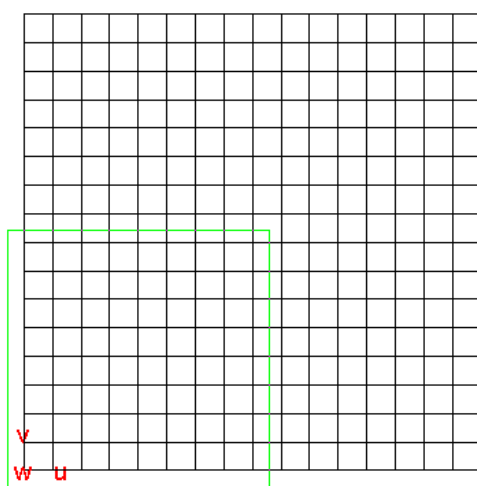
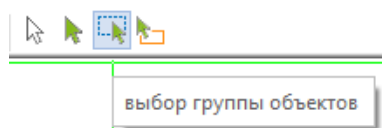
И подтверждаем деление нажатием ПКМ.



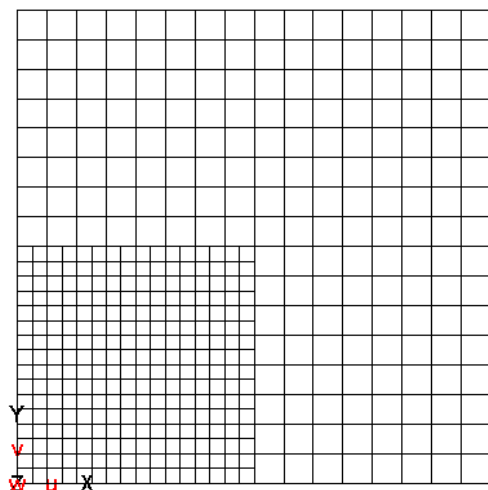
Сгустим сетку около точки приложения нагрузки. Для этого поменяем значения M и $N = 2$.



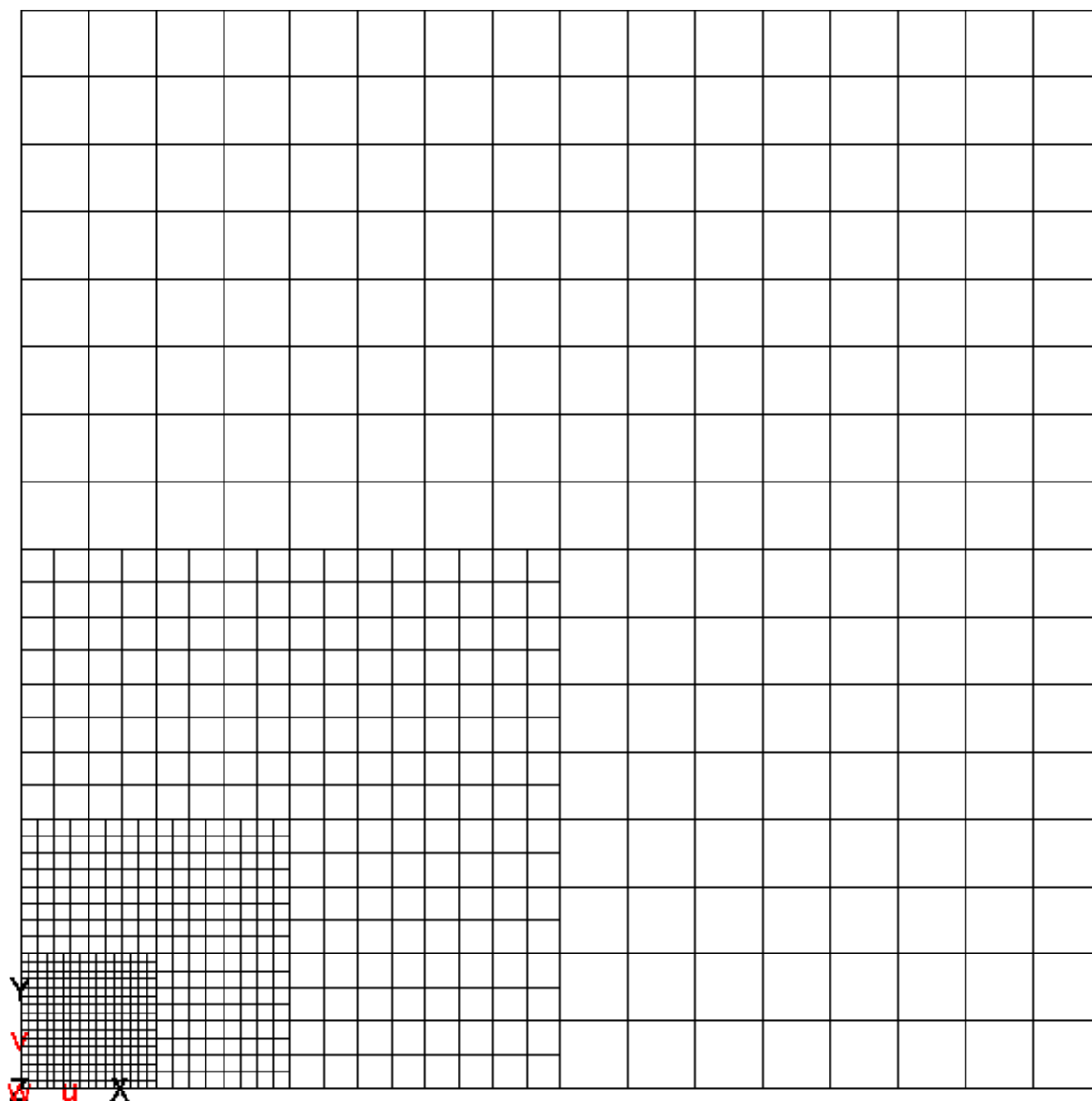
И с помощью группового выбора выберем нижнюю левую четверть.



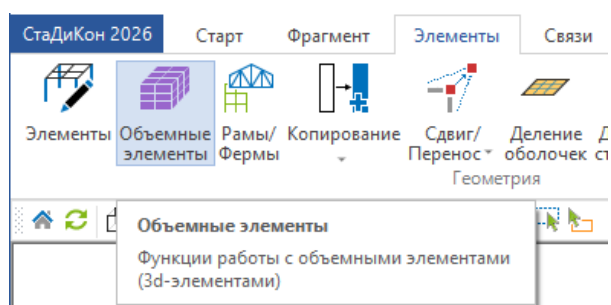
Также подтверждаем деление нажатием ПКМ.



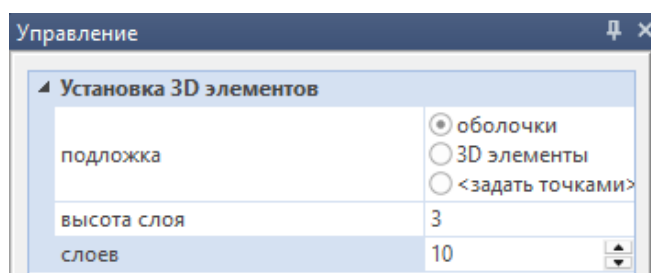
Повторим данную операцию еще два раза с параметрами M и $N = 2$. Итого получаем следующий результат.



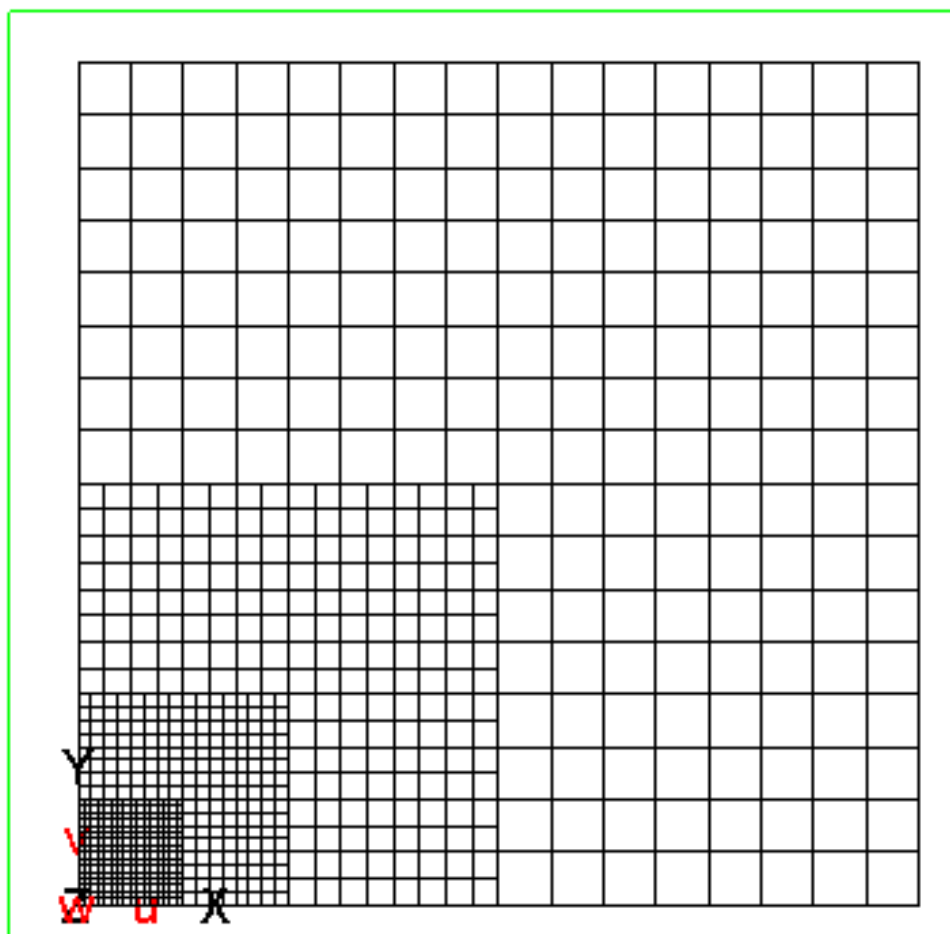
Теперь перейдем к созданию объемных элементов. Для этого на вкладке «Элементы» выбираем «Объемные элементы».



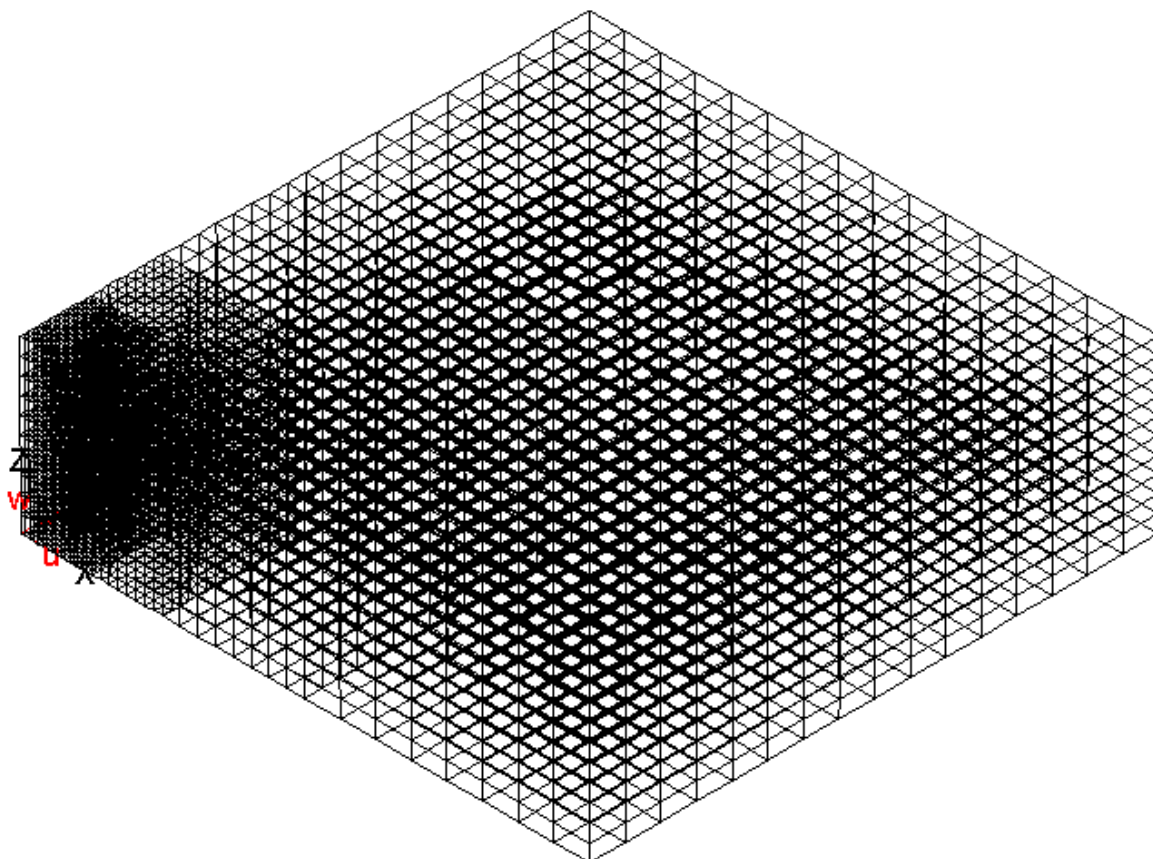
В качестве подложки выбираем «оболочки» и установим высоту и число слоев характерные итоговой высоте в 30м.




Далее групповым выбором выделяем все элементы.

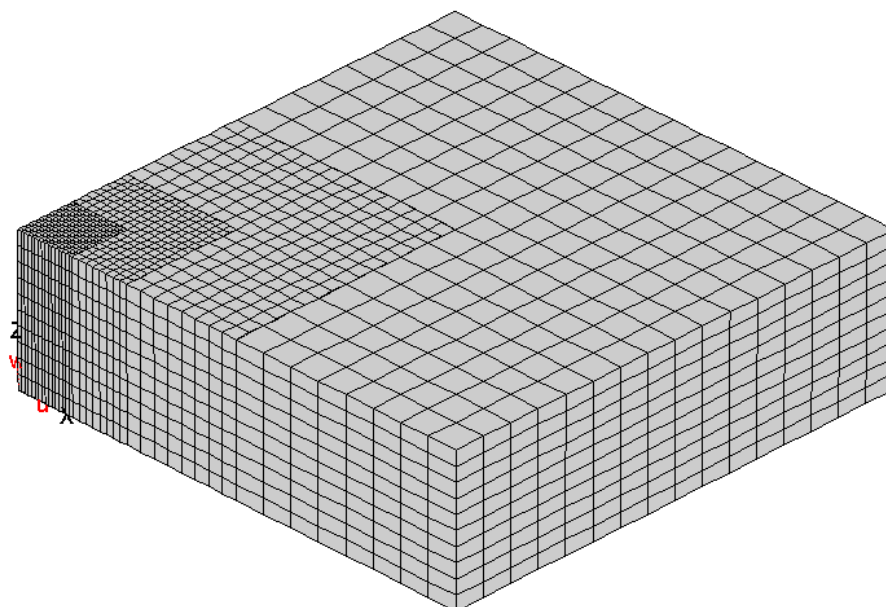


И получаем уже объемную схему.

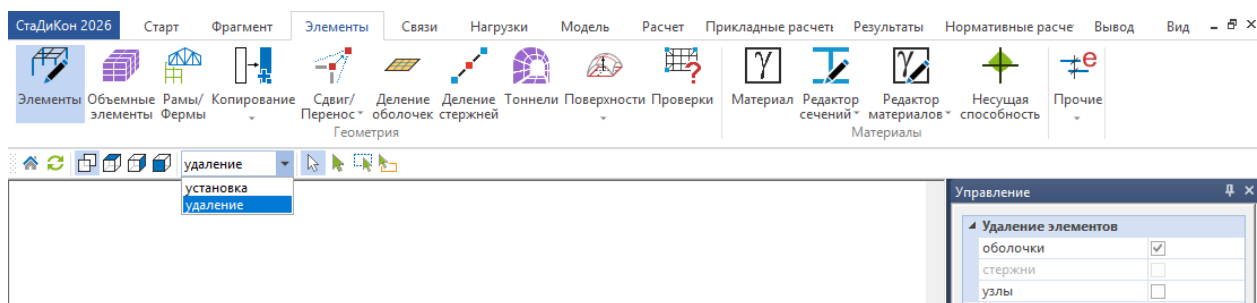


Для более удобного отображения на вкладке «Вид» можно включить отображение «покрытие».

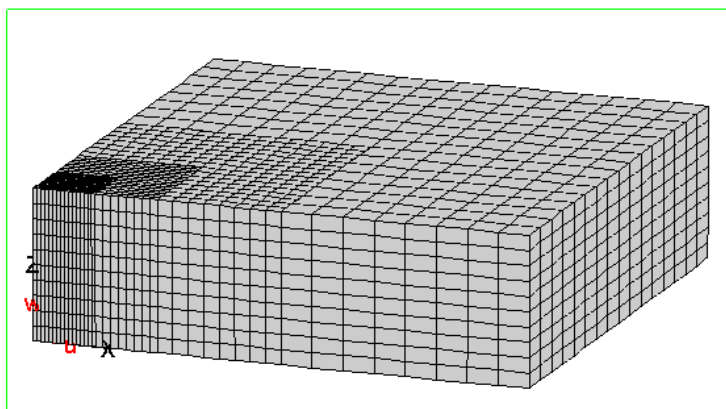
Нагрузки	Модель	Расчет	Прикладные расчеты	Результаты	Нормативные расчеты	Вывод	Вид
	<input checked="" type="checkbox"/> покрытие	<input type="checkbox"/> номера узлов	<input type="checkbox"/> краевые условия	<input type="checkbox"/> координаты узлов	<input type="checkbox"/> 3D - просмотр		 Список окон * Окна
	<input type="checkbox"/> освещенность	<input type="checkbox"/> узлы	<input checked="" type="checkbox"/> сетка/контур	<input type="checkbox"/> этажи			
	<input type="checkbox"/> номера элементов	<input type="checkbox"/> локальные координаты	<input type="checkbox"/> материалы	<input type="checkbox"/> группы констр. эл-тов			



Теперь удалим изначальные оболочки, оставив только объемные элементы. Переходим на «Элементы» - «удаление» и выбираем «оболочки».

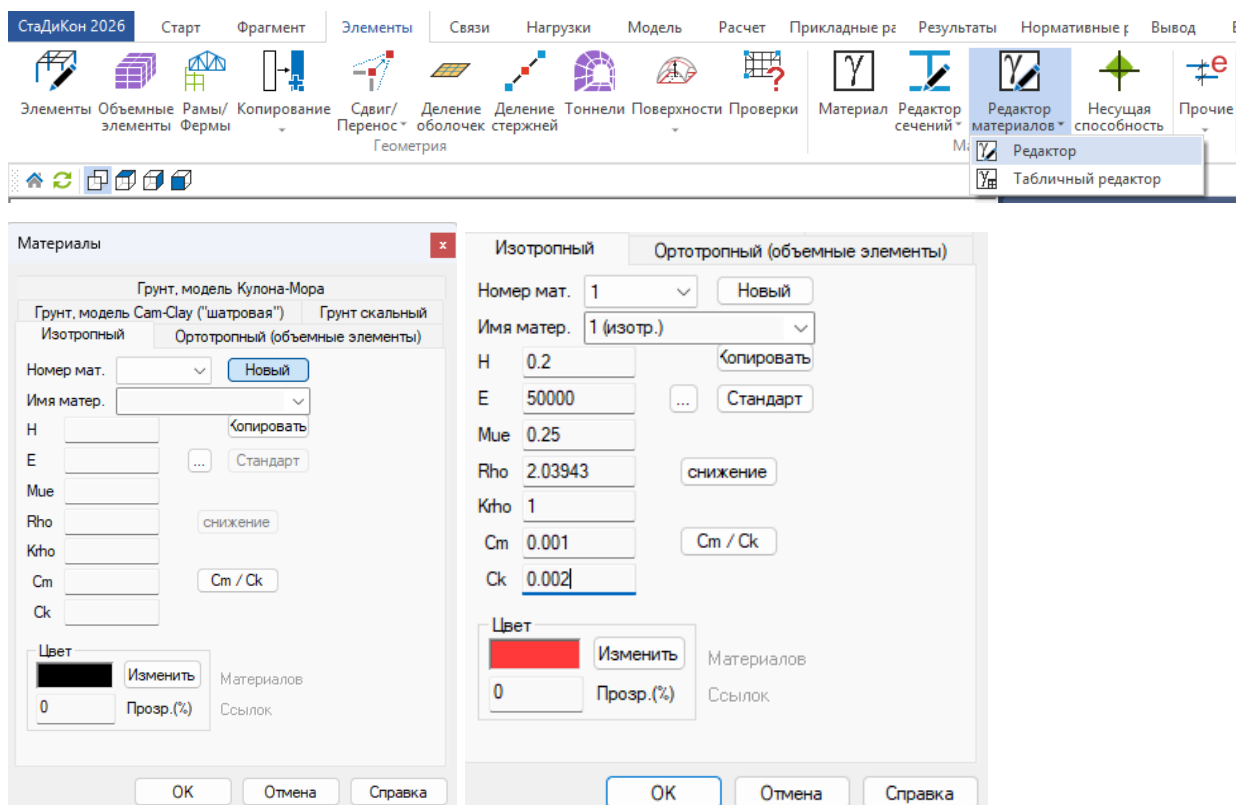


И выделяем всю модель.


















2.2. Материал

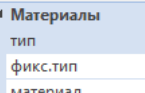
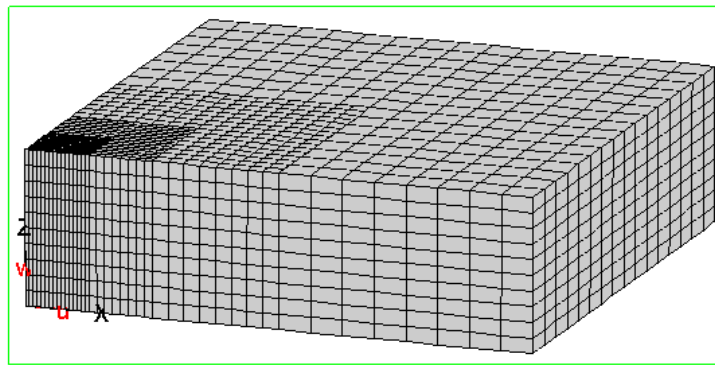
На вкладке «Элементы» выбираем «Редактор материалов» - «Редактор», выбираем – «Изотропный» и нажимаем на «Новый». После задаем параметры материала.



Фрагмент

Элементы	Связи	Нагрузки	Модель	Расчет	Прикладные расчеты	Результаты	Нормативные расче	Вывод	Вид		
											
Копирование	Сдвиг/ Перенос*	Деление оболочек Геометрия	Деление стержней	Тоннели	Поверхности	Проверки	Материал	Редактор сечений*	Редактор материалов*	Несущая способность	Прочие
								Материалы			



Управление

Материалы

тип	материал
изотропный ▾	1
фикс.тип	<input type="checkbox"/>
материал	1 (изотр.) ▾
имя материала	

свойства

редактировать

таблица материалов

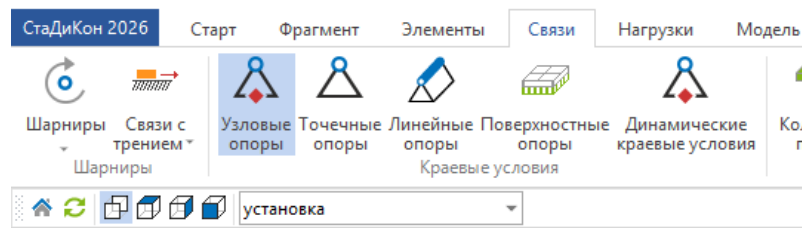
Установки

удалить неиспользуемые

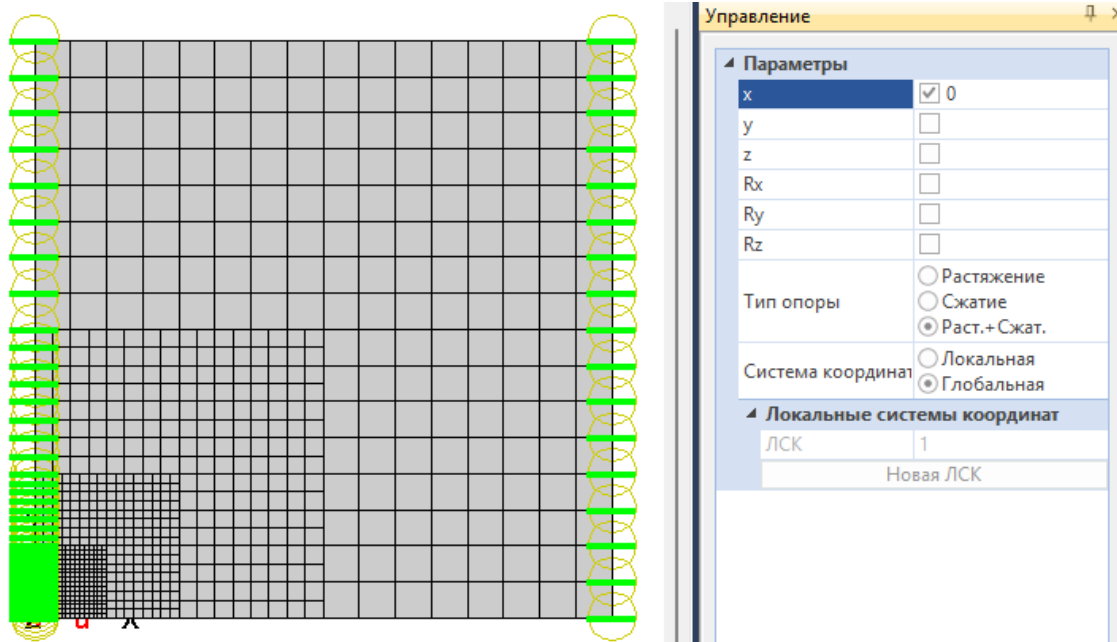
[illegible]

2.3. Установка связей

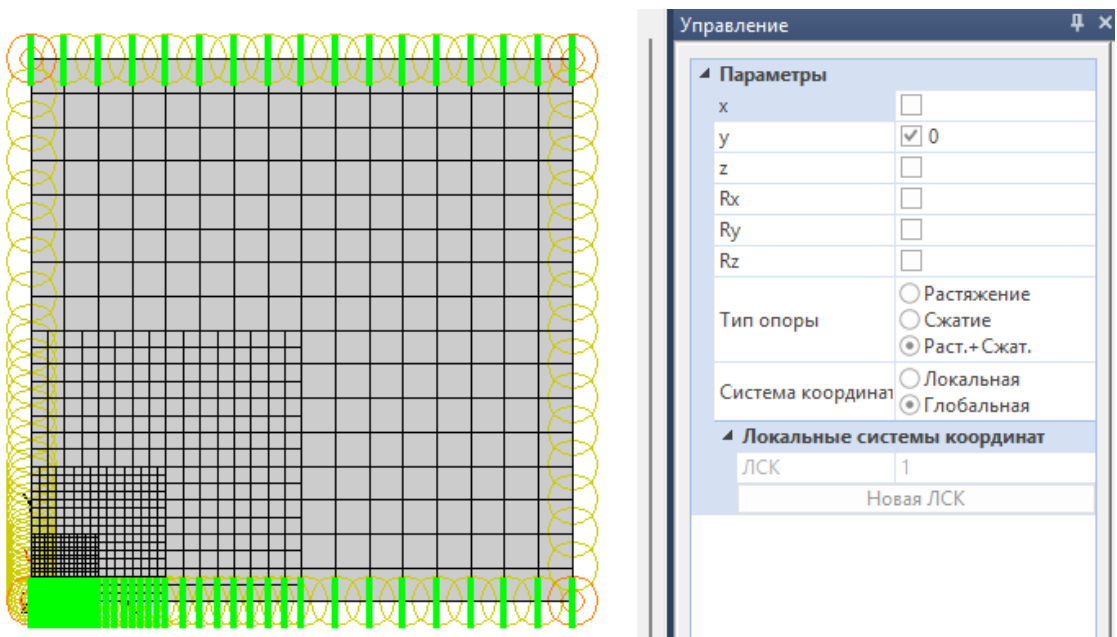
Перейдем к установке краевых условий. На вкладке «Связи» выбираем «Узловые опоры» - «установка».



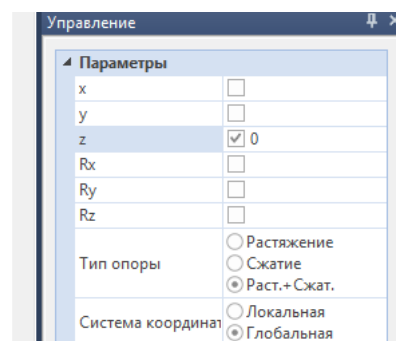
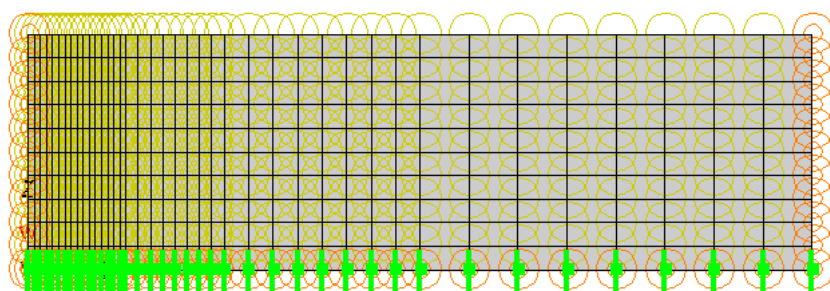
Групповым выбором для всех узлов граней при $x=0$ и $x=100$ ограничим перемещение по x .



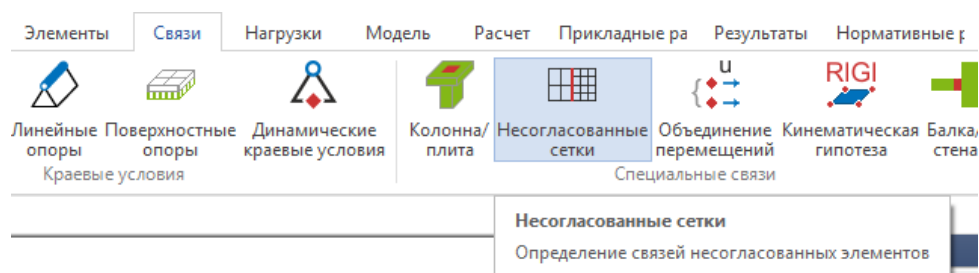
Для граней при $y=0$ и $y=100$ ограничим перемещение по y .



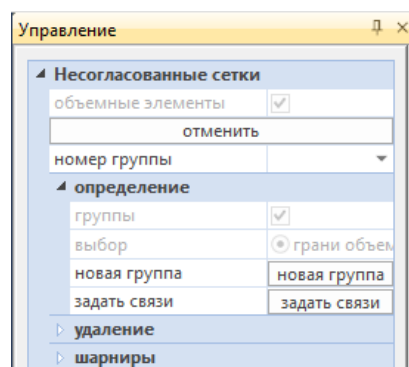
И для нижней грани при $z=0$ ограничим перемещение по z .



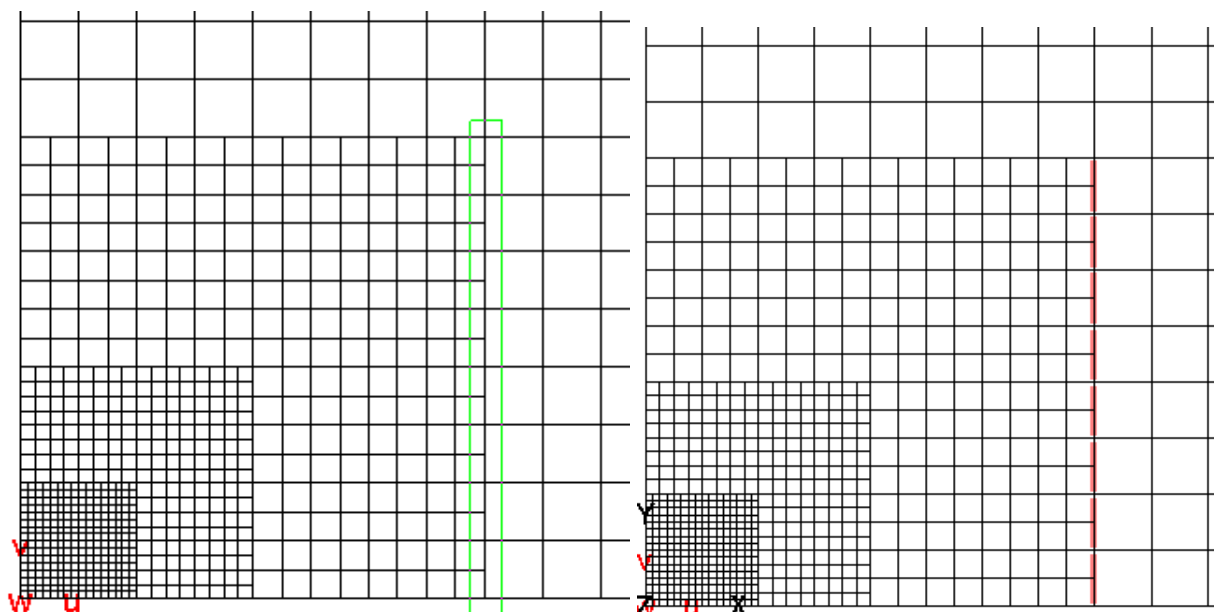
Далее установим связи несогласованных сеток. Для этого на вкладке «Связи» выбираем «Несогласованные сетки».



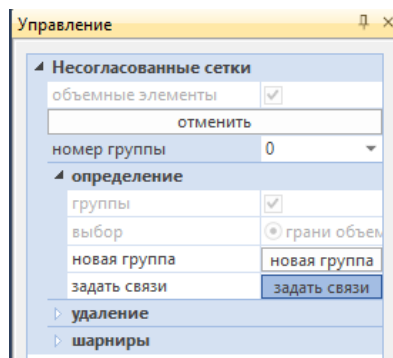
В окне «Управление» раскрываем вкладку «определение».



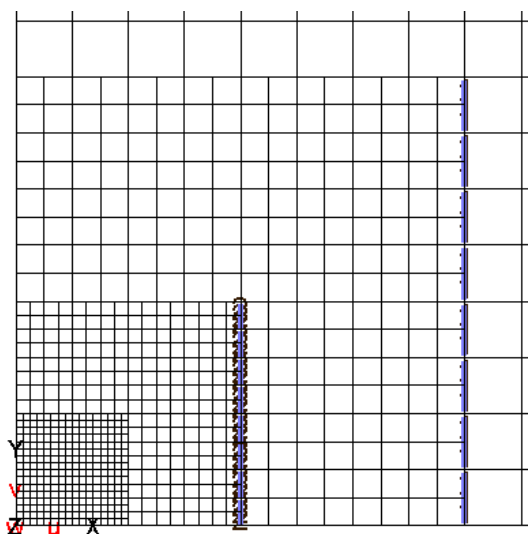
Выбираем грани несогласованных сеток.



И нажимаем «*задать связи*».

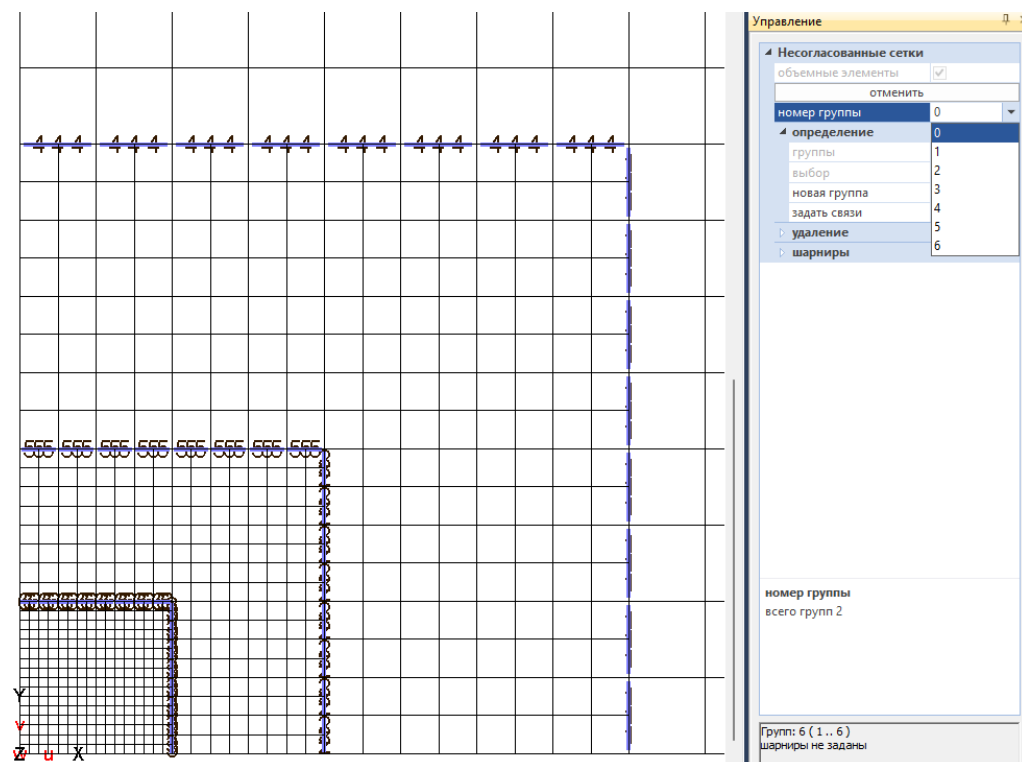


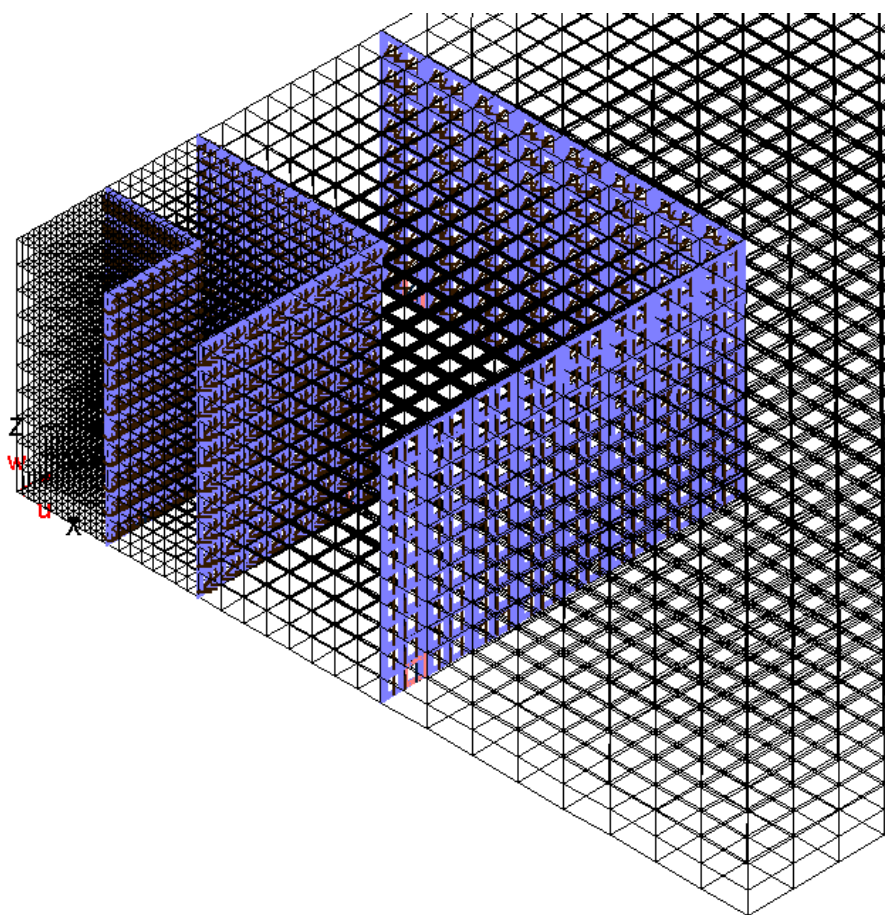
После нажимаем «*новая группа*» и задаем связи для следующих граней.



И таким же образом задаем остальные группы для каждой грани перехода сетки.

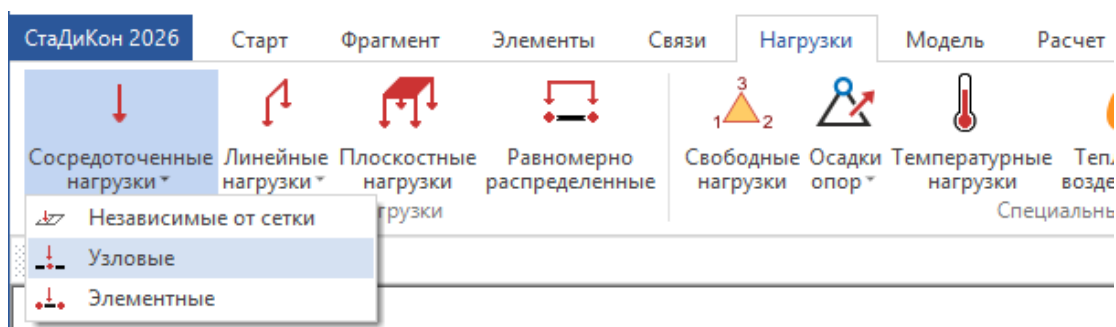
Итого должно получиться 6 групп.



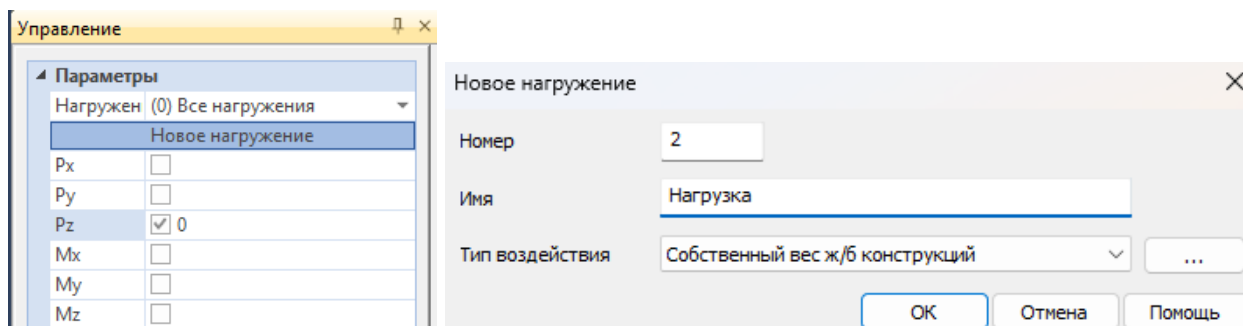


2.4. Нагружение

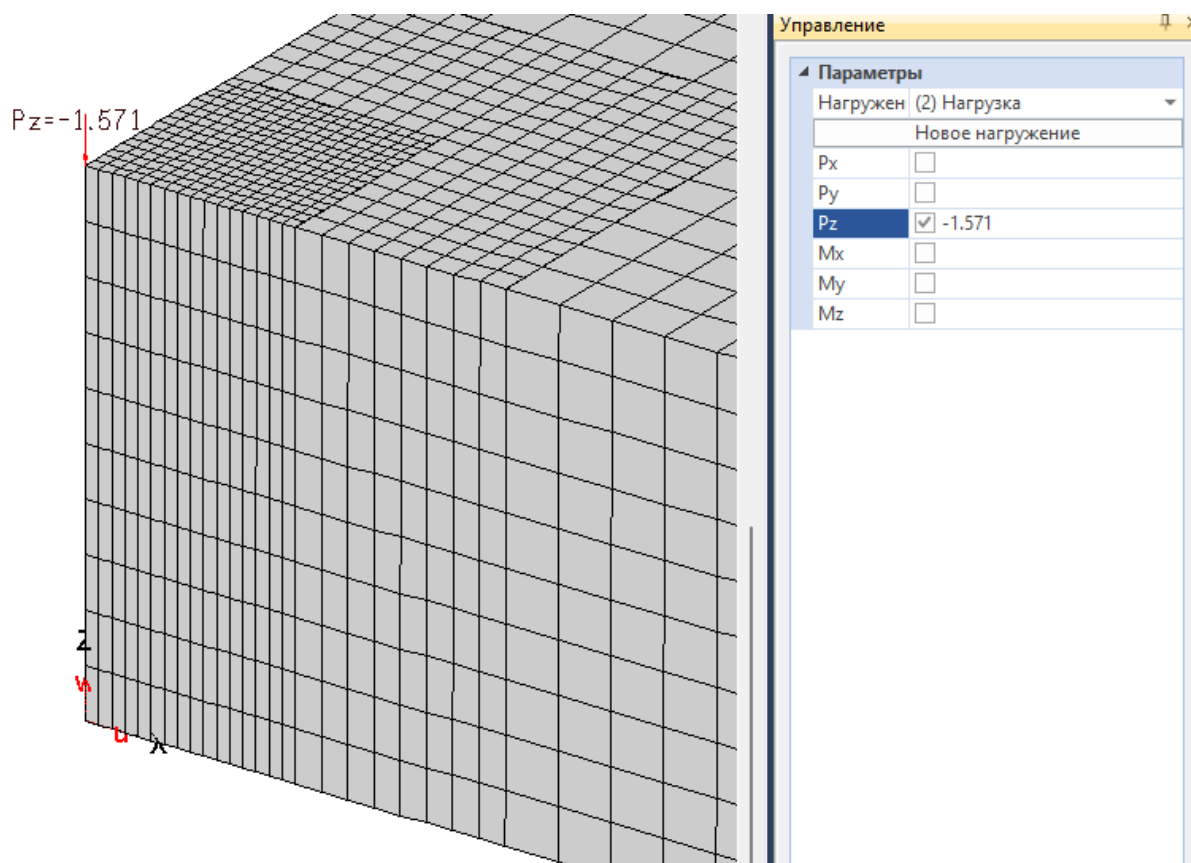
Перейдем к установке нагружения. На вкладке «**Нагрузки**» выбираем «**Сосредоточенные нагрузки**» - «**Узловые**».



Создаем «*Новое нагружение*». Указываем номер нагружения – 2, так как в первое нагружение автоматически добавляется собственный вес.



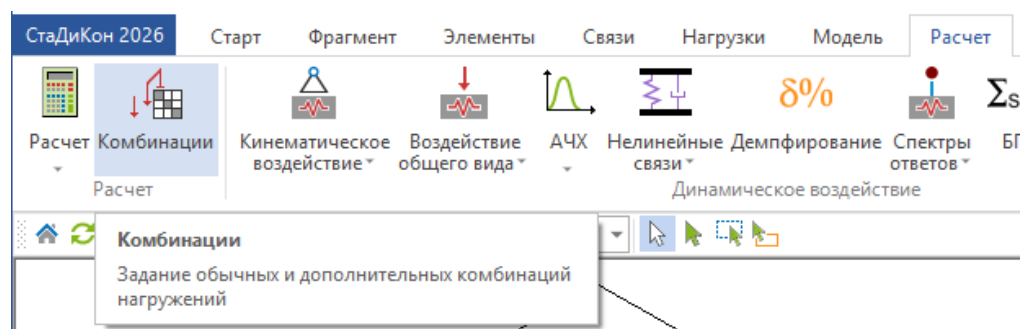
И задаем нагрузку $P_z = -1.571$ крайний верхний узел (0,0,30).



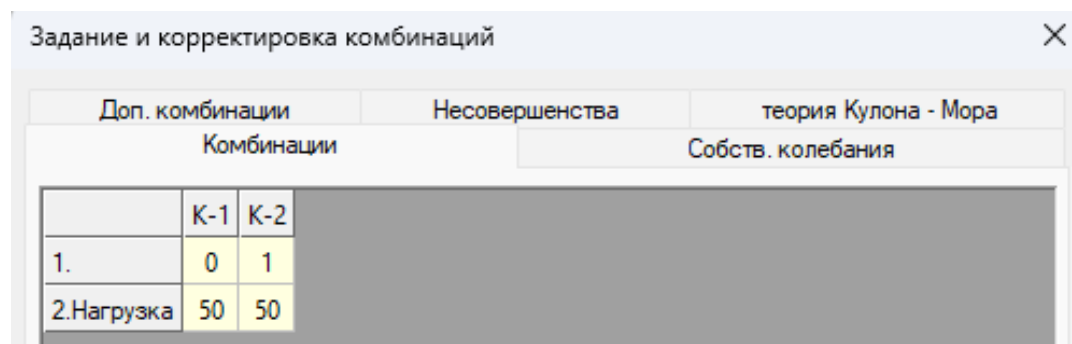
2.5. Статический расчет

2.5.1. Расчет

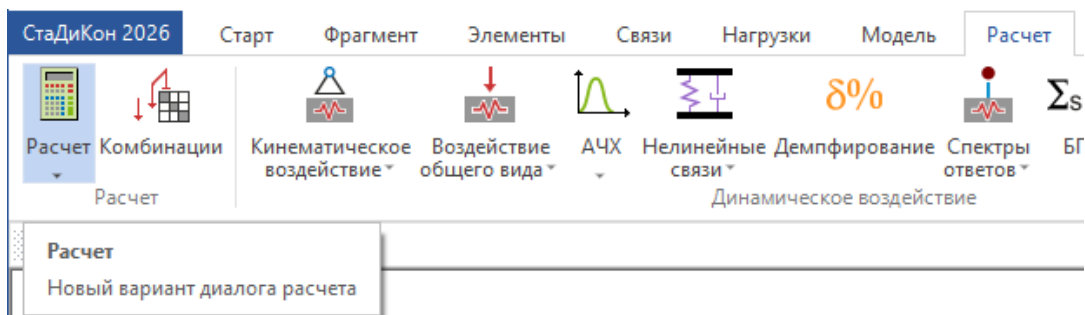
Переходим на вкладку «Расчет» и выбираем «Комбинации».



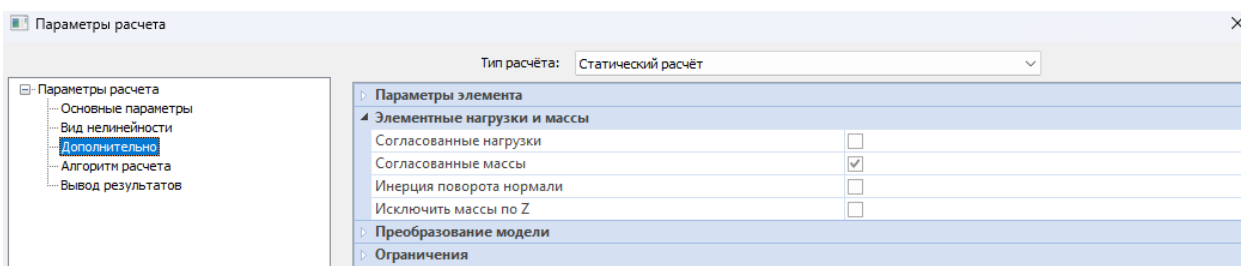
Создадим следующие две комбинации: с учетом собственного веса и без.



Теперь выбираем «Расчет».



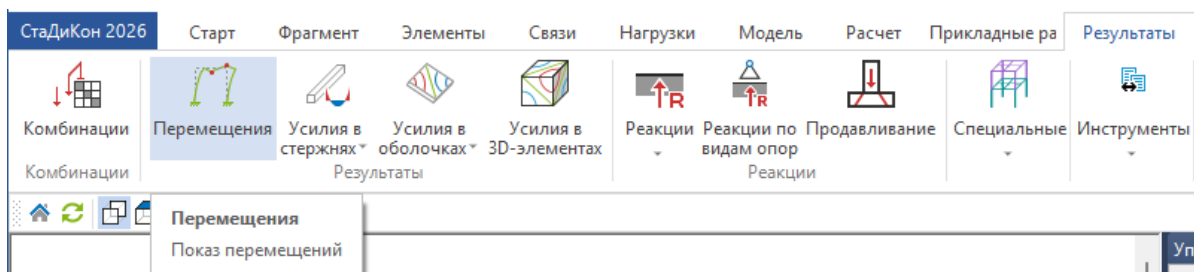
В параметрах расчета на вкладке «Дополнительно» отключим «Согласованные нагрузки».



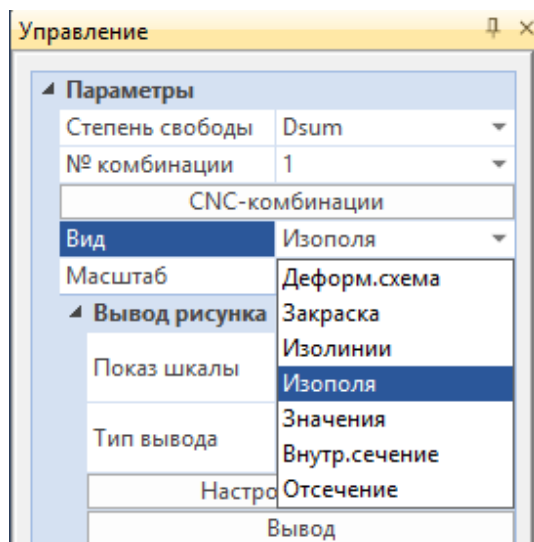
Остальные параметры оставляем по умолчанию и запускаем проверочный статический расчет.

2.5.2. Анализ результатов

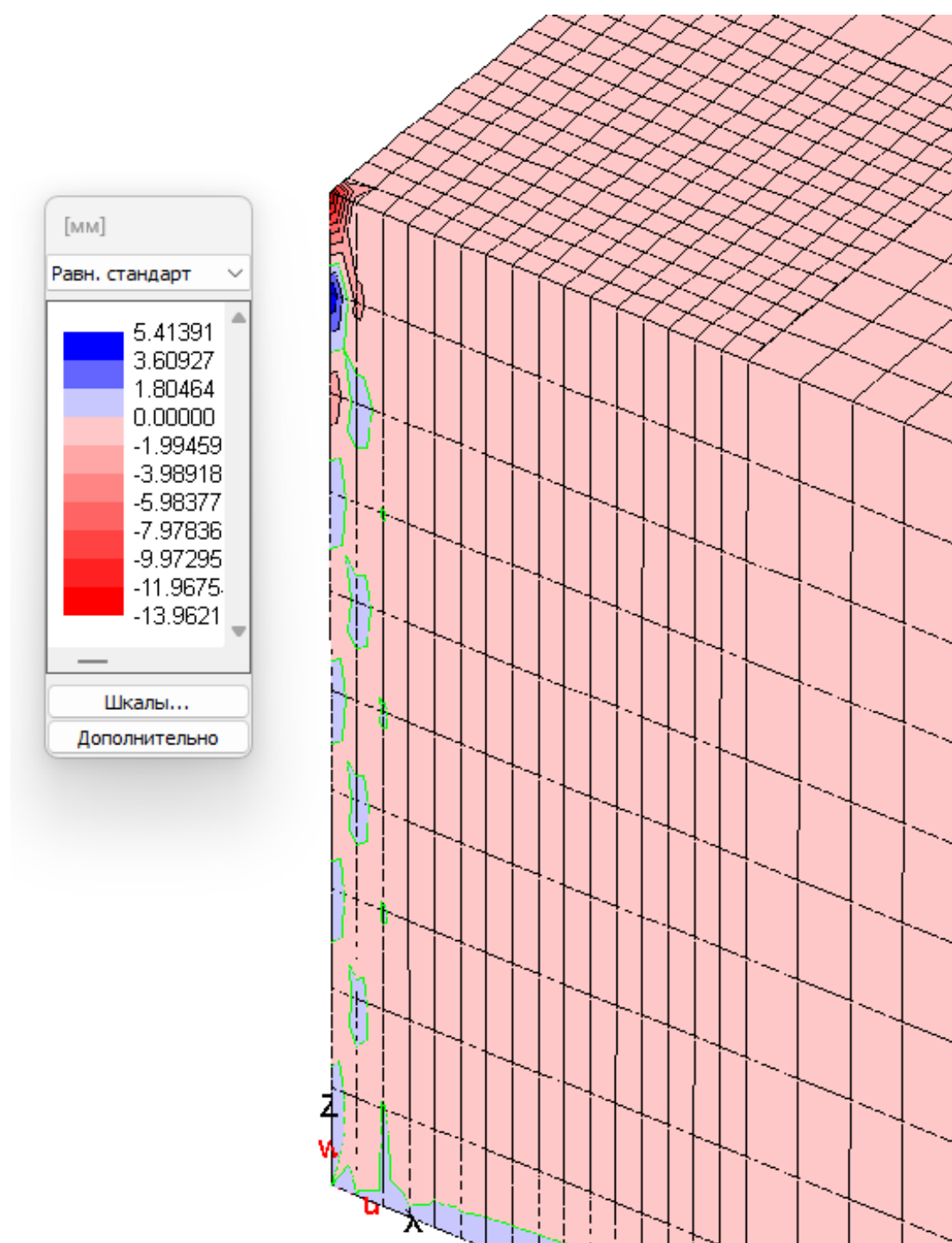
После расчета на вкладке «Результаты» выбираем «Перемещения».



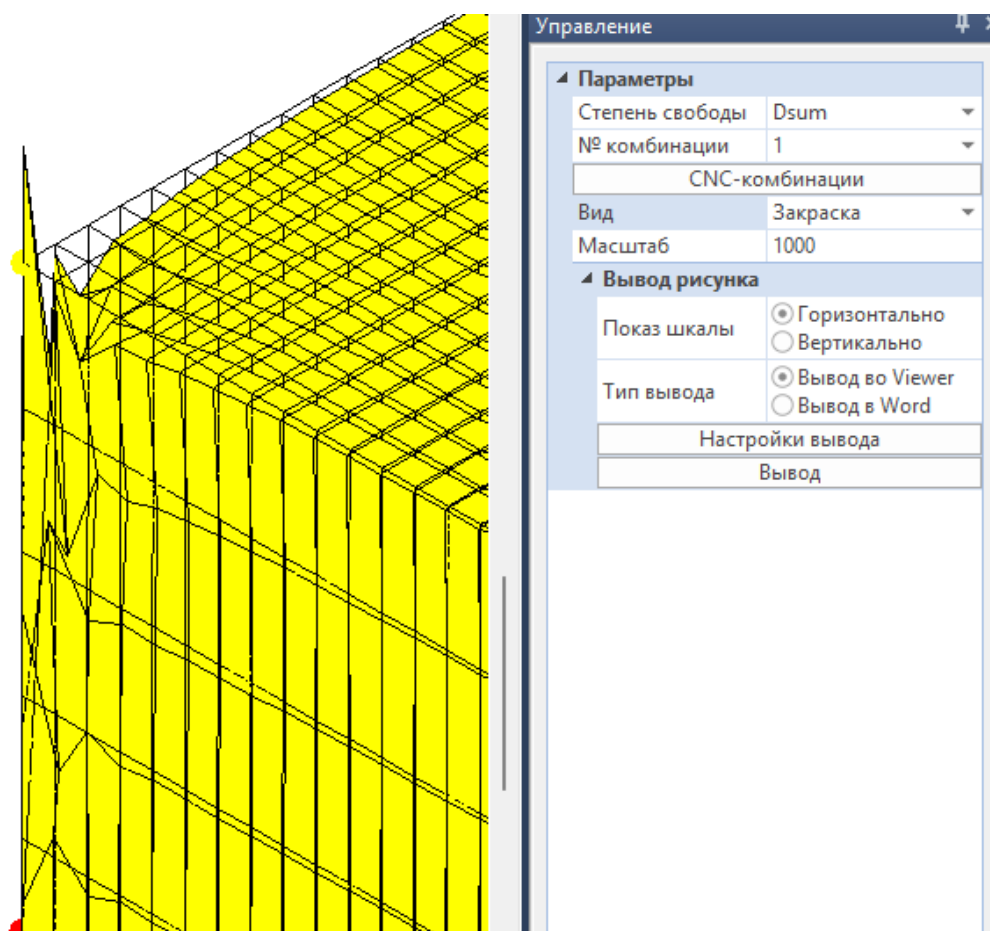
Переключим на показ изополей перемещений.



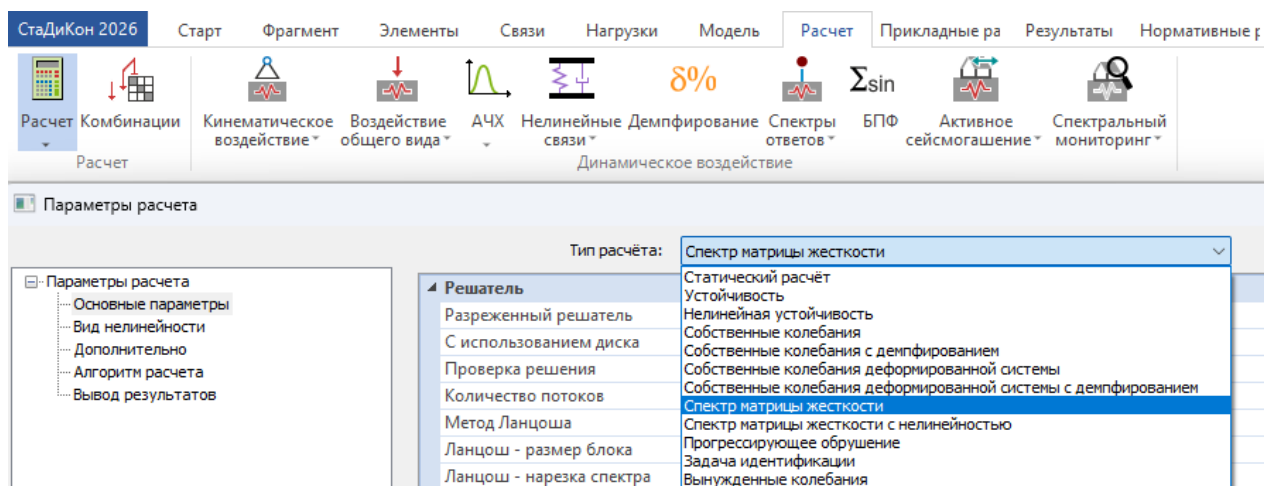
Как можно заметить, происходит нехарактерно-аномальное распределение перемещений.



При отображении «Закраска» в масштабе = 1000.

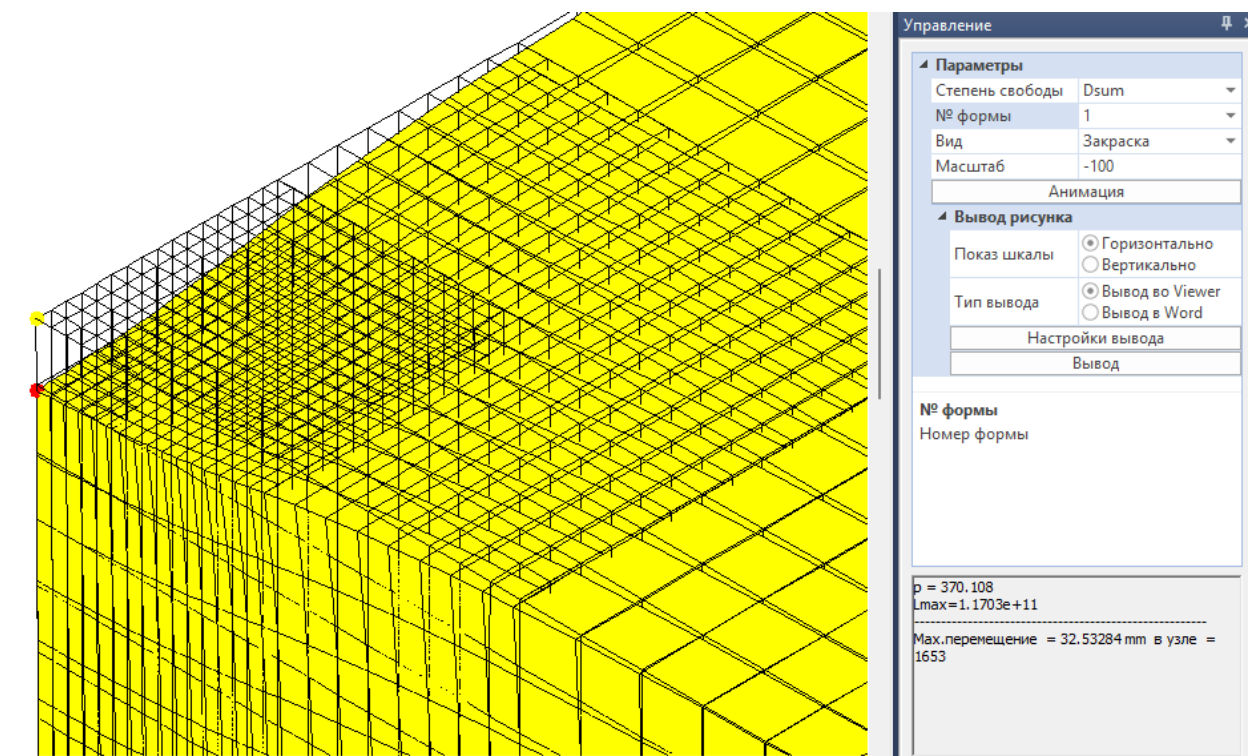


Проведем расчет типа «Спектр матрицы жесткости».



Все параметры оставляем по умолчанию и запускаем расчет. Далее также переходим на «Результаты» - «Перемещения».

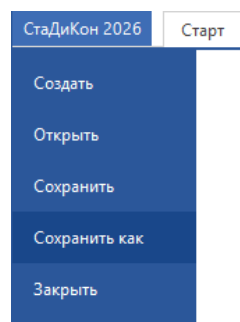
По результатам получаем адекватные значения и распределение матрицы жесткости.



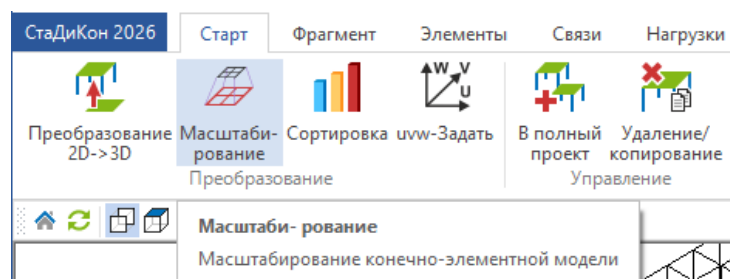
Проблема с перемещениями в статическом расчете возникает из-за геометрии элементов (слишком большая высота относительно ширины и длины). Поэтому далее перейдем к изменению геометрии.

2.5.3. Редактирование геометрии

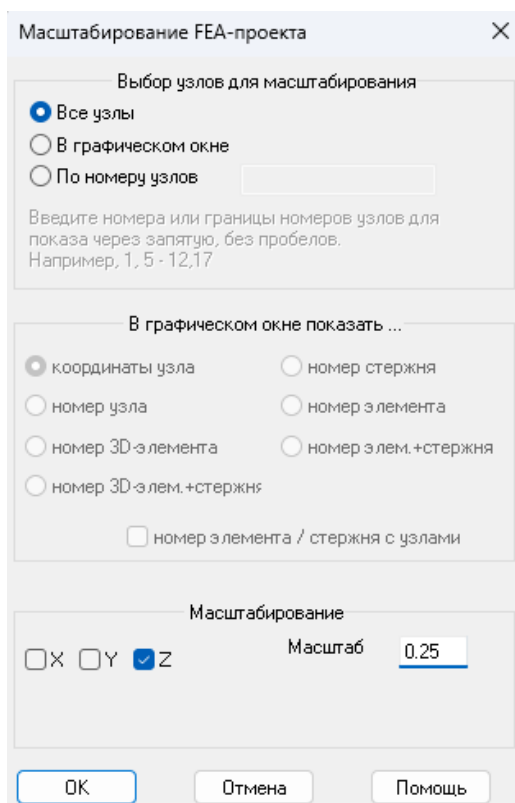
Сделаем копию схемы под другим именем используя «Сохранить как» на вкладке «СтаДиКон».



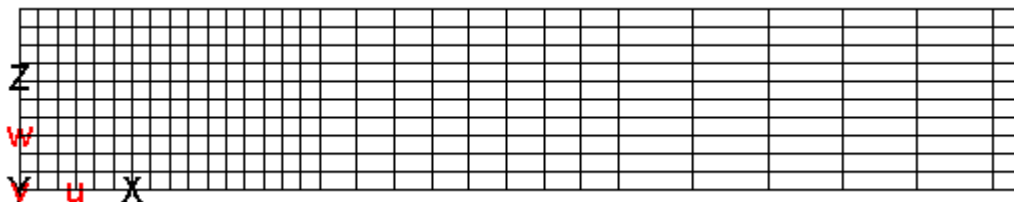
Увеличим число разбиений элементов по Z в 4 раза. Для этого сначала на вкладке «Старт» выбираем «Масштабирование».



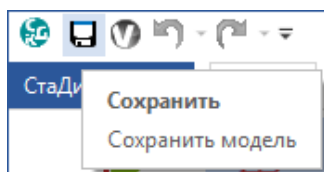
В открывшемся окне выбираем масштабирование только по Z и вписываем масштаб равный 0.25.



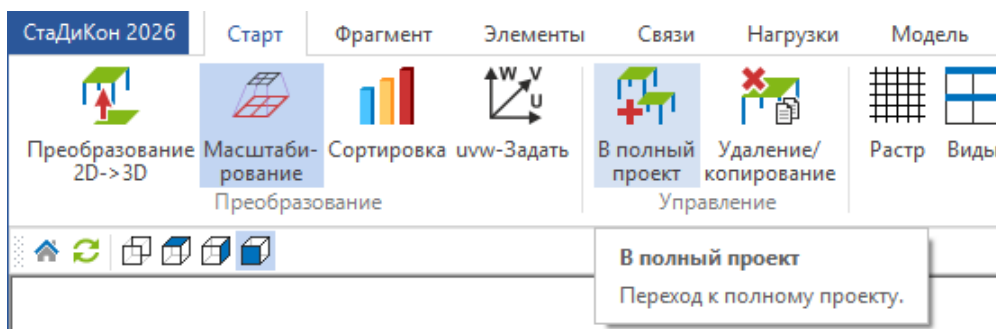
Получаем следующий результат.



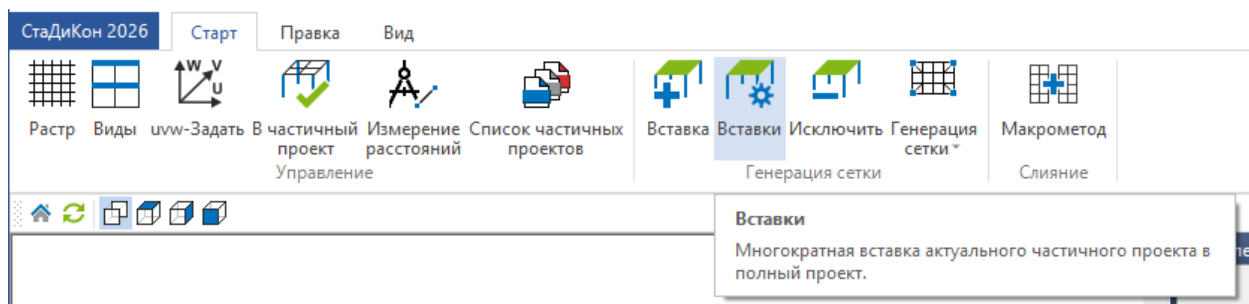
Сохраняем модель.



Теперь необходимо копировать данную схему. Для этого перейдем «В полный проект».



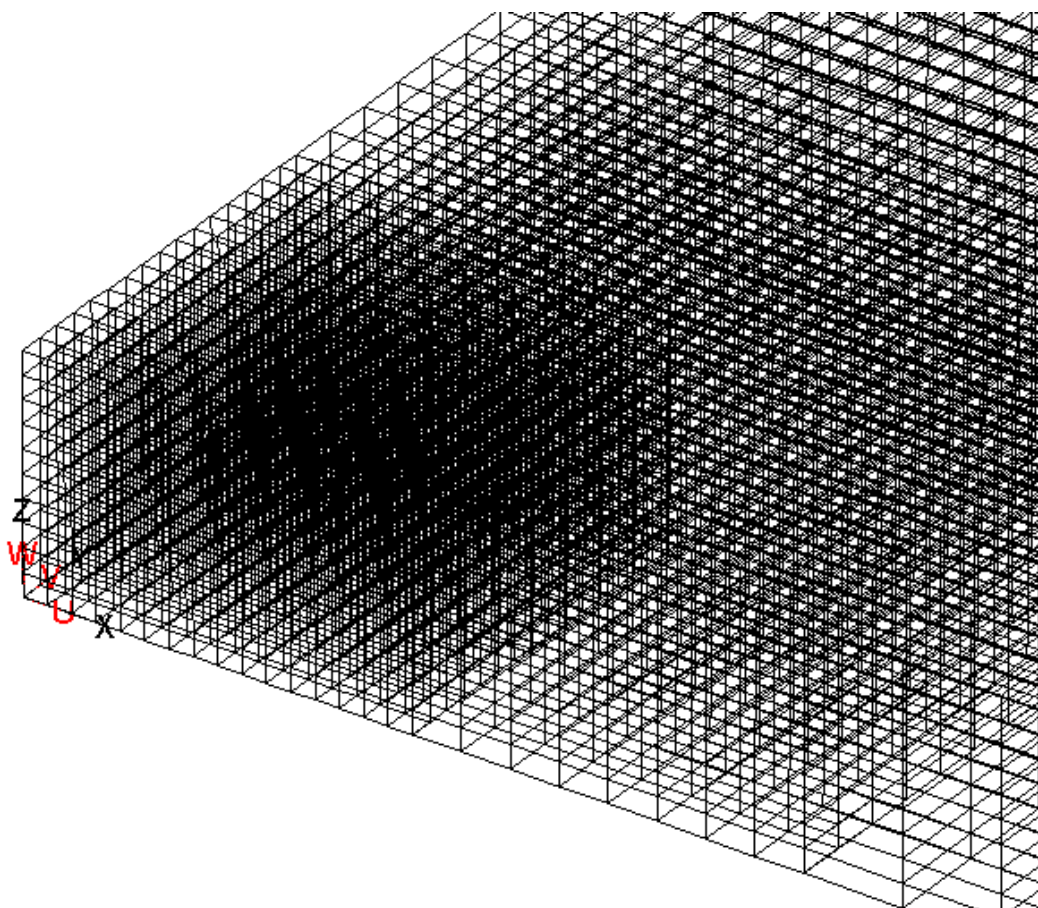
Выбираем многократную вставку.



И нажимаем в начало координат.

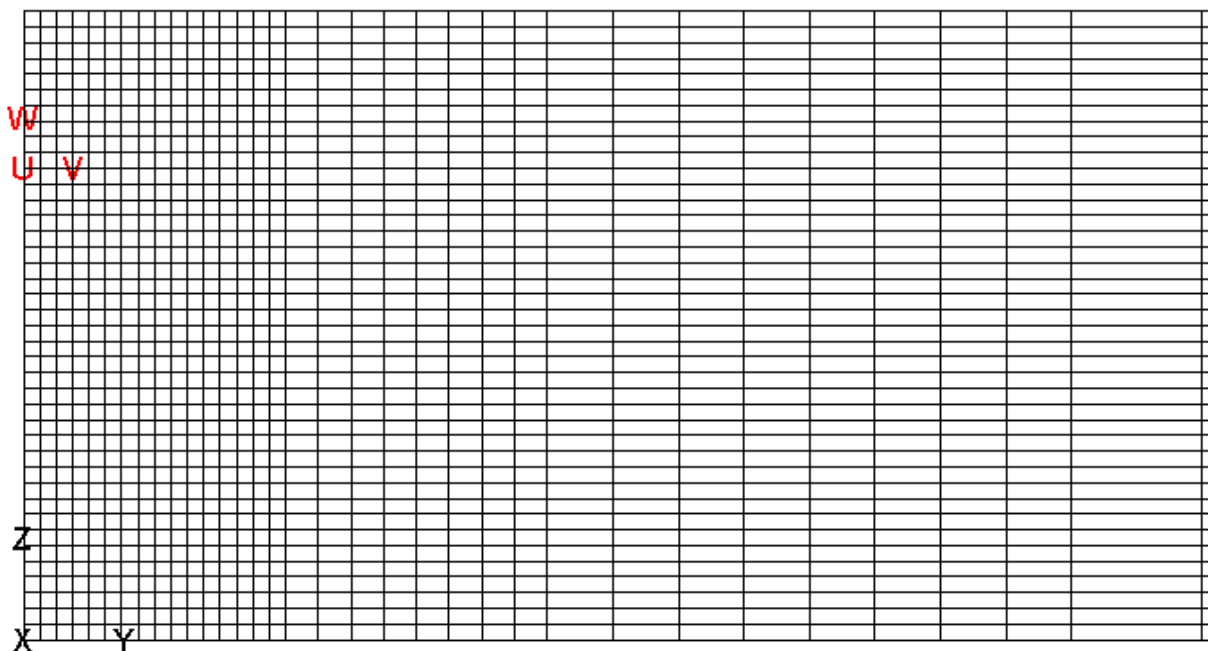


После чего получаем вставленную изначальную схему.

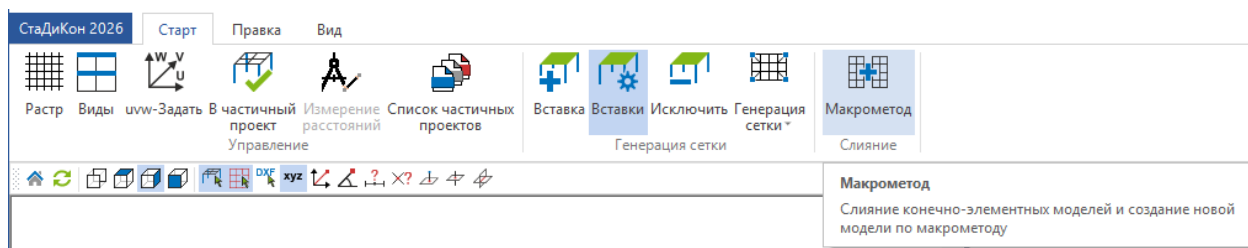


Повторяем копирование еще 3 раза просто нажимая каждый раз на верхний узел в начале координат.

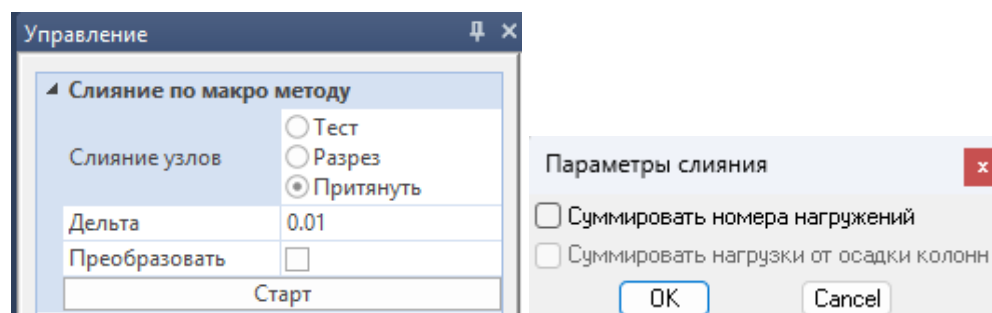
Итого получаем следующий результат.



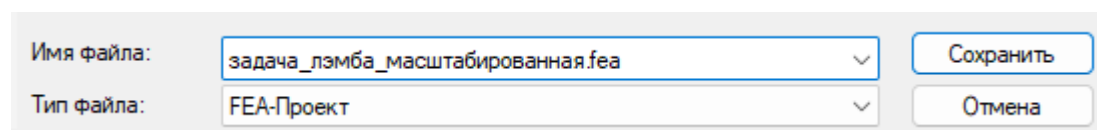
Теперь для возвращения к конечно-элементной модели, а также для слияния лишних, образовавшихся при копировании, узлов, воспользуемся функцией «**Макрометод**».



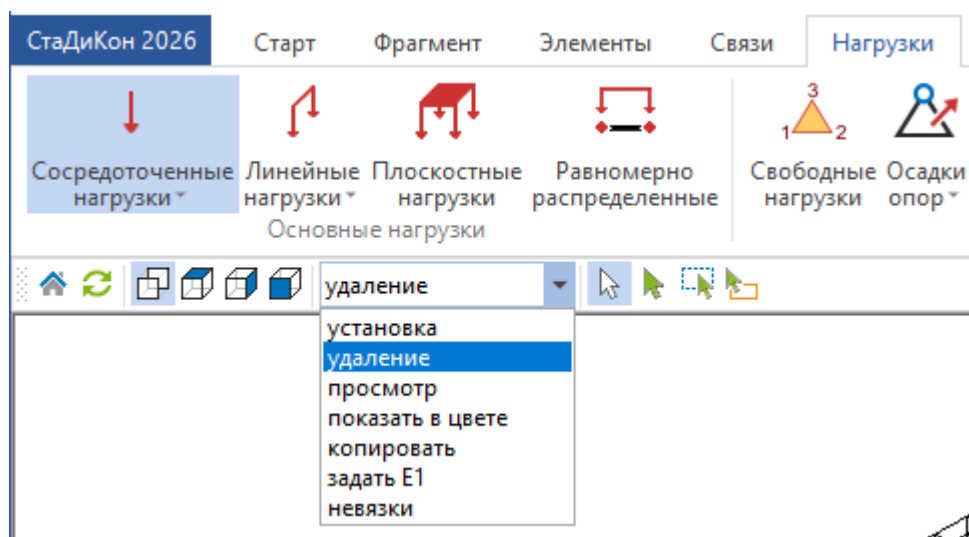
В параметрах выбираем «Слияние узлов» - «Притянуть» и после нажимаем «Старт». В появившемся окне «Параметры слияния» ничего не ставим и жмем «ОК». Создание новой модели может занять некоторое время, ожидаем.



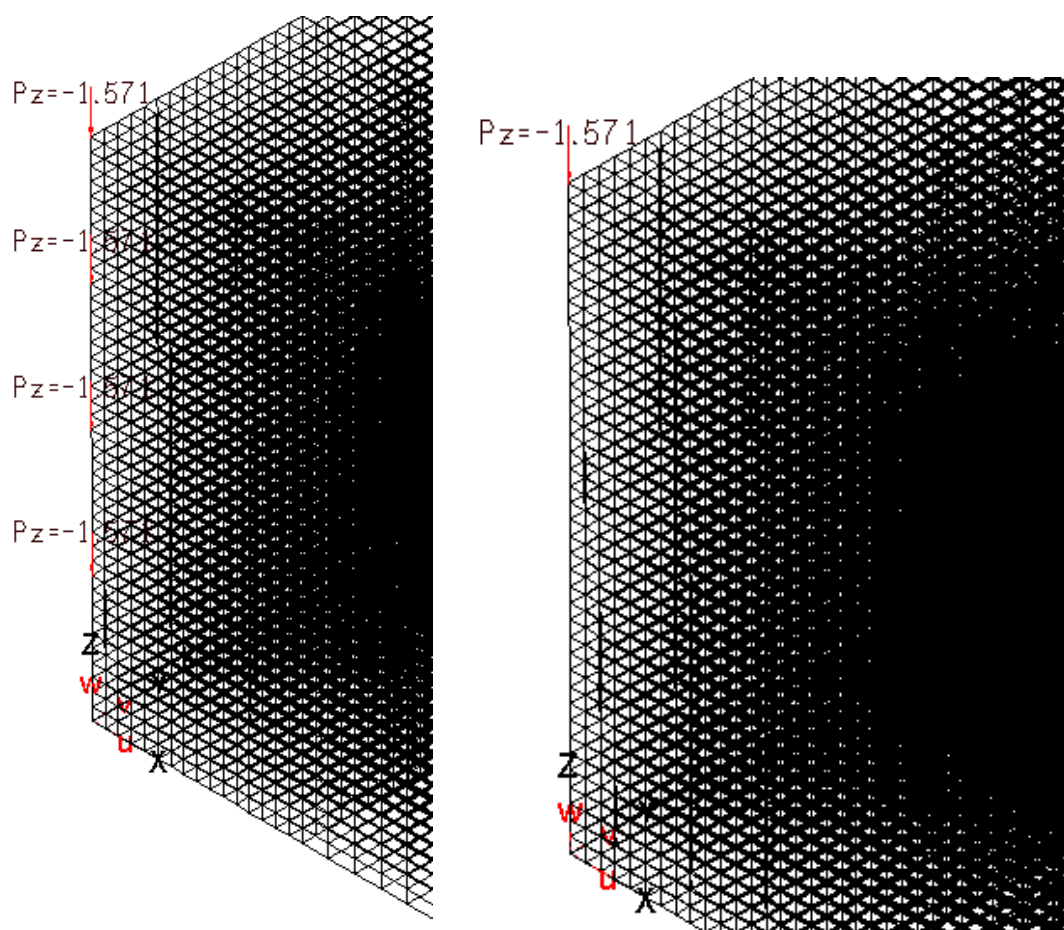
Должно появиться окно сохранения новой схемы. Называем ее и сохраняем.



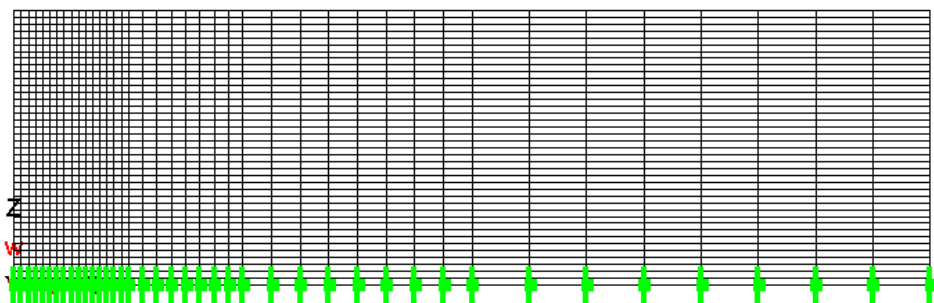
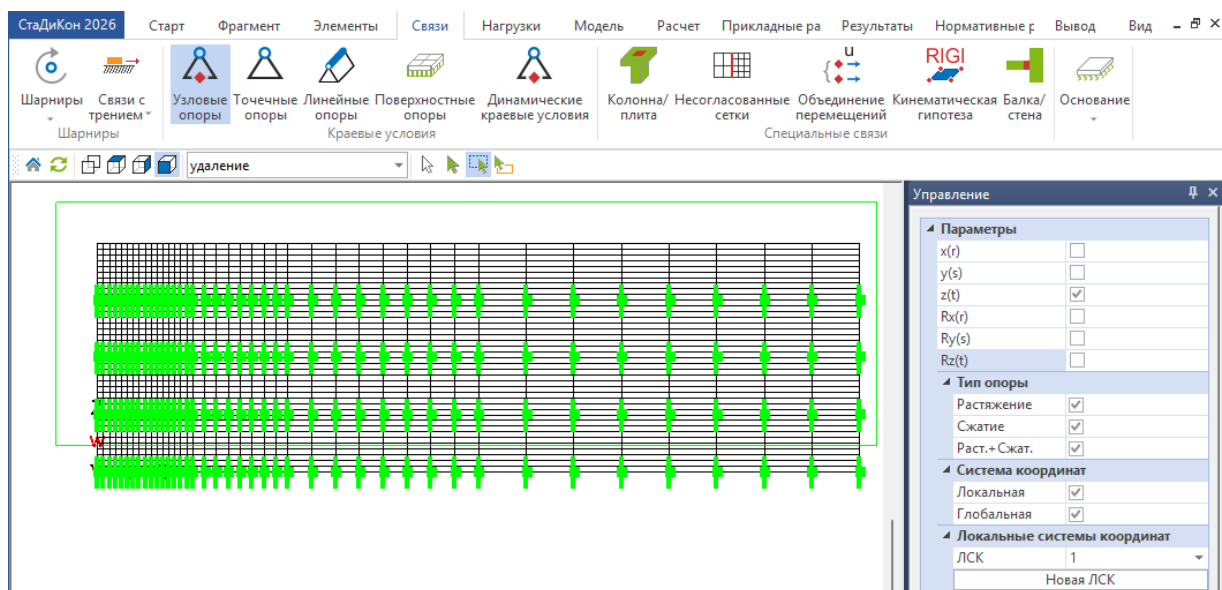
Теперь необходимо отредактировать нагрузки и связи. Переходим на «Нагрузки» - «Сосредоточенные нагрузки» - «Узловые» - «удаление».



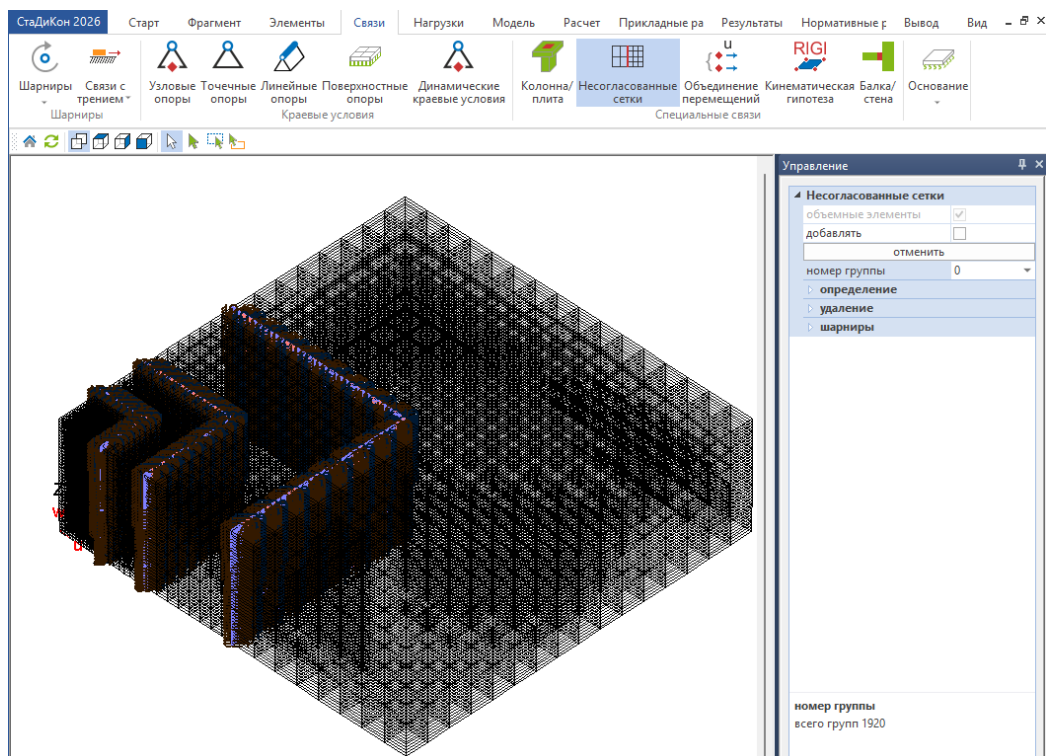
Нагрузки также скопировались несколько раз. Поэтому удаляем лишние нажатиями ЛКМ.



И также скопировались установленные связи. По осям X и Y все нормально, но по оси Z необходимо также удалить лишние связи.



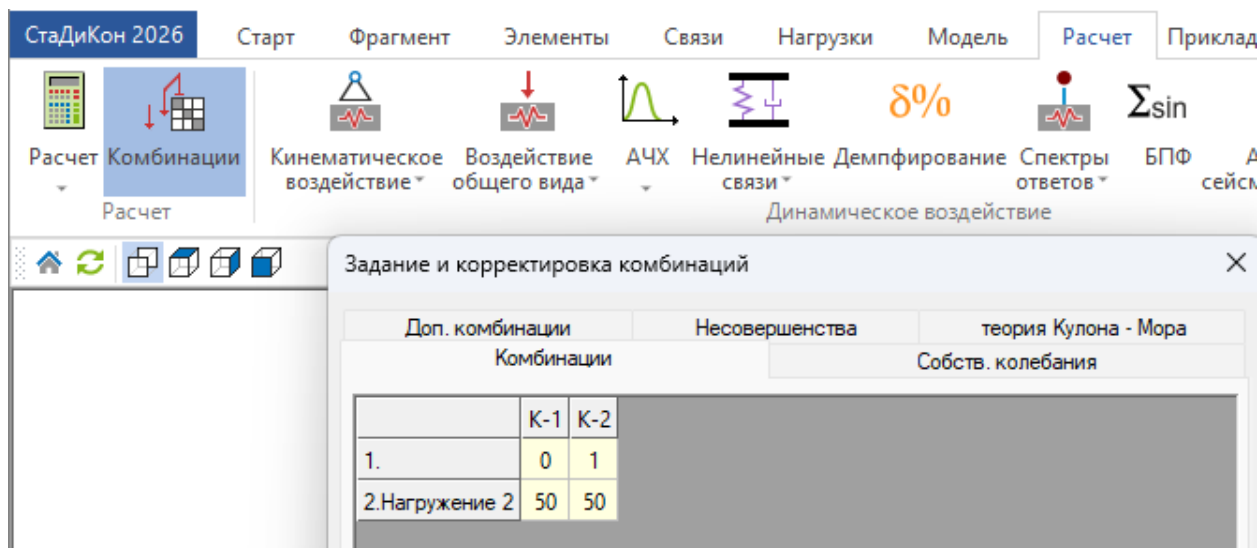
Также проверим связи несогласованных сеток.



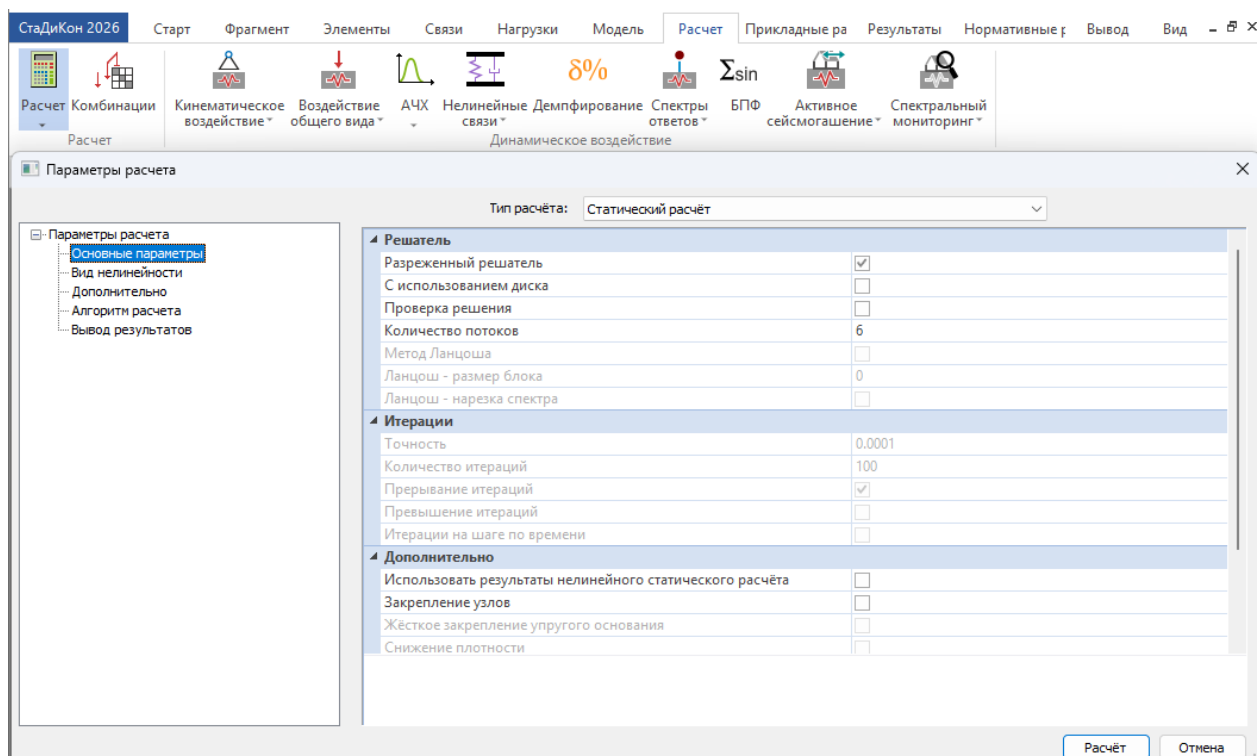
Здесь все нормально, они просто автоматически разбились на большее число групп.

2.5.4. Повторный расчет обновленной схемы

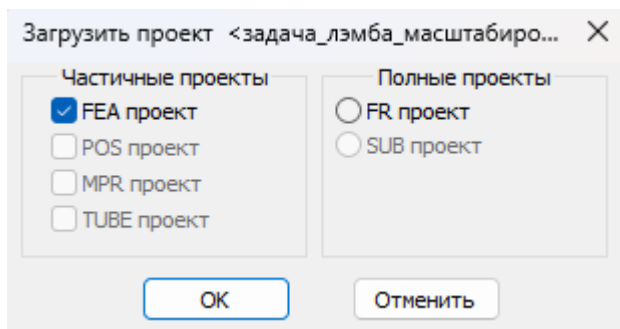
Повторно создаем следующие комбинации нагружений.



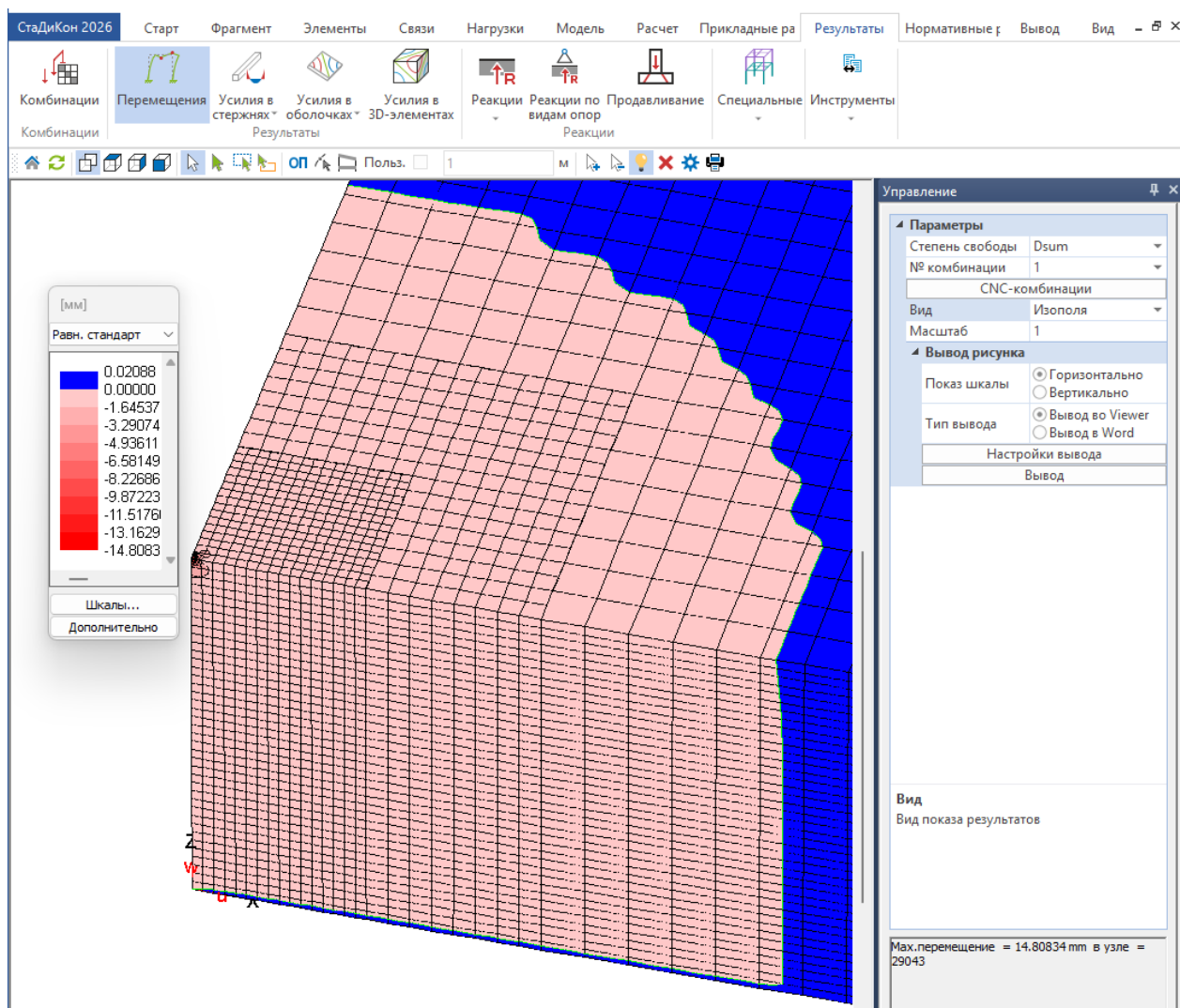
И далее запускаем статический расчет.



После выполнения расчета открываем «FEA проект».



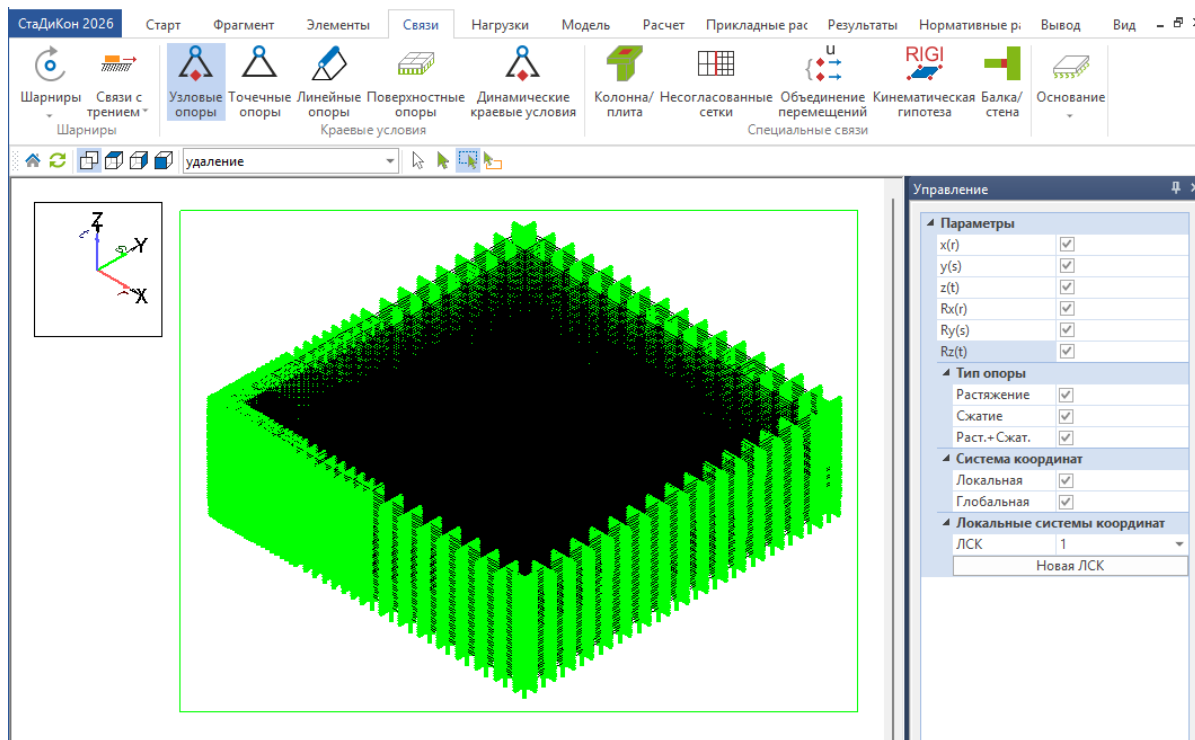
И переходим на «Результаты» - «Перемещения».



Как заметно, после изменения геометрии получаются адекватные значения и распределение перемещений.

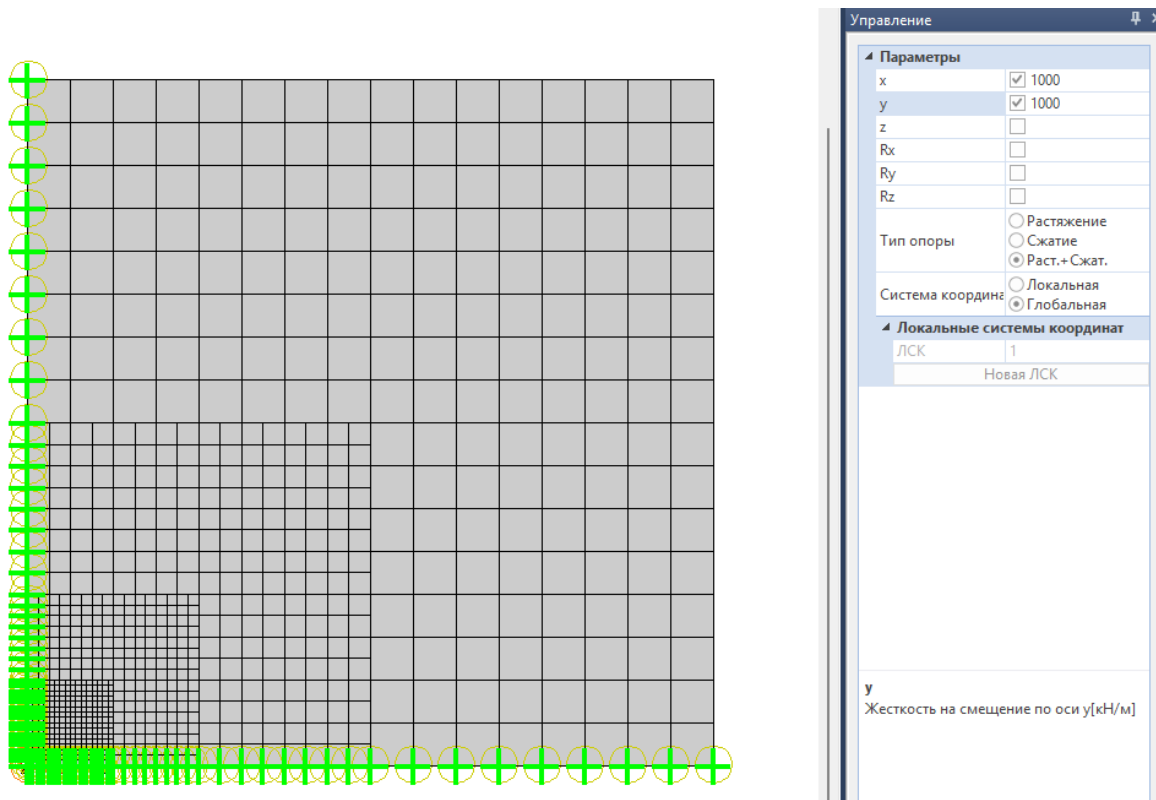
2.6. Динамический расчет

Перейдем к выполнению динамического расчета. Сначала изменим граничные условия. Переходим на «Связи» - «Узловые опоры» - «удаление» и удаляем полностью все заданные ранее связи.

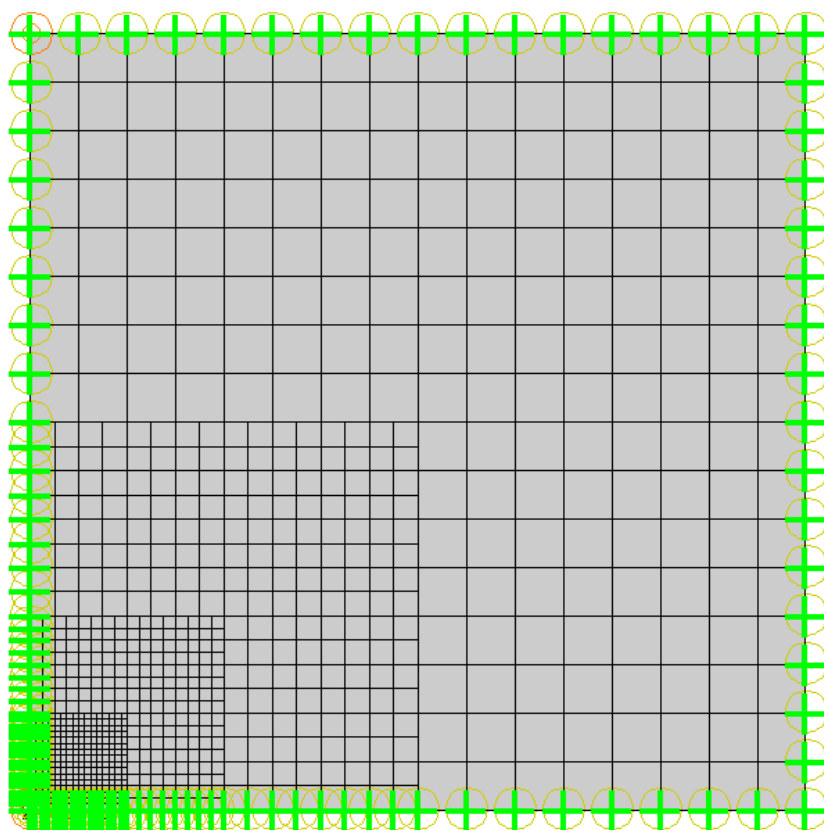


После удаления переходим на «установка».

На грани с условием симметрии задаем связи по x и y с жесткостью 1000 кН/м.



Далее на грани при $x=100$, $y=100$ задаем связи по x и y с жесткостью 0.01 кН/м.



Управление

Параметры

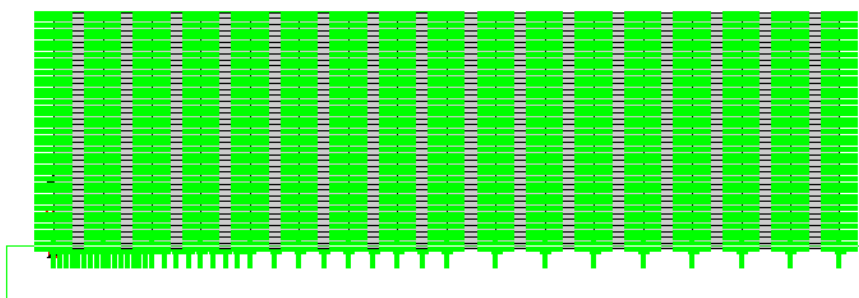
x	<input checked="" type="checkbox"/> 0.01
y	<input checked="" type="checkbox"/> 0.01
z	<input type="checkbox"/>
Rx	<input type="checkbox"/>
Ry	<input type="checkbox"/>
Rz	<input type="checkbox"/>
Тип опоры	<input type="radio"/> Растяжение <input type="radio"/> Сжатие <input checked="" type="radio"/> Раст.+Сжат.
Система координат	<input type="radio"/> Локальная <input checked="" type="radio"/> Глобальная

Локальные системы координат

ЛСК	1
Новая ЛСК	

x
Жесткость на смещение по оси x[кН/м]

И на нижнюю грань при $z=0$ устанавливаем связи x , y , z с жесткостью 0.01 кН/м.



Управление

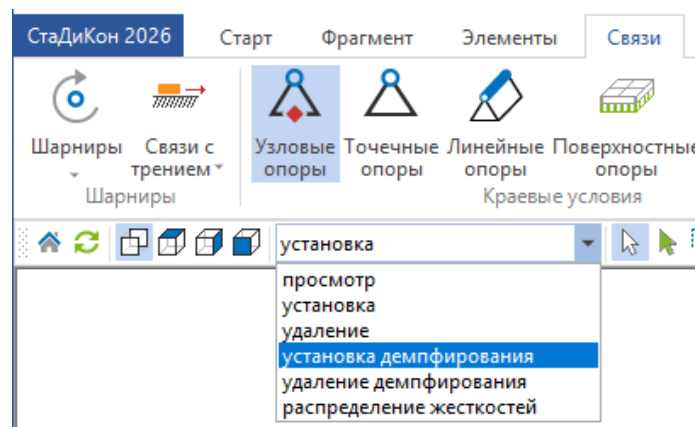
Параметры

x	<input checked="" type="checkbox"/> 0.01
y	<input checked="" type="checkbox"/> 0.01
z	<input checked="" type="checkbox"/> 0.01
Rx	<input type="checkbox"/>
Ry	<input type="checkbox"/>
Rz	<input type="checkbox"/>
Тип опоры	<input type="radio"/> Растяжение <input type="radio"/> Сжатие <input checked="" type="radio"/> Раст.+Сжат.
Система координат	<input type="radio"/> Локальная <input checked="" type="radio"/> Глобальная

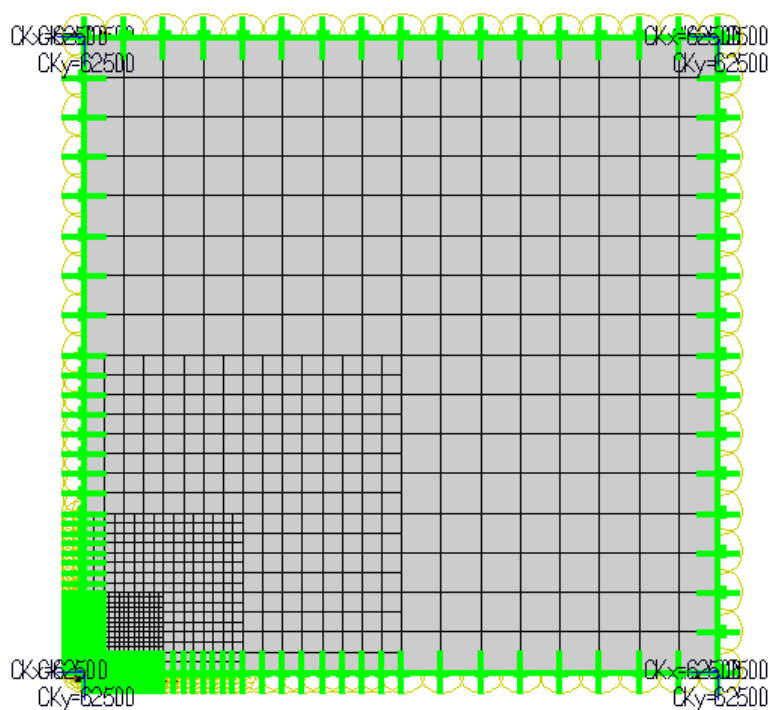
Локальные системы координат

ЛСК	1
Новая ЛСК	

Теперь в пункте «Узловые опоры» переключаемся на «установка демпфирования».



Во все угловые точки задаем демпфирование по x , y , z равное 62500.



Управление

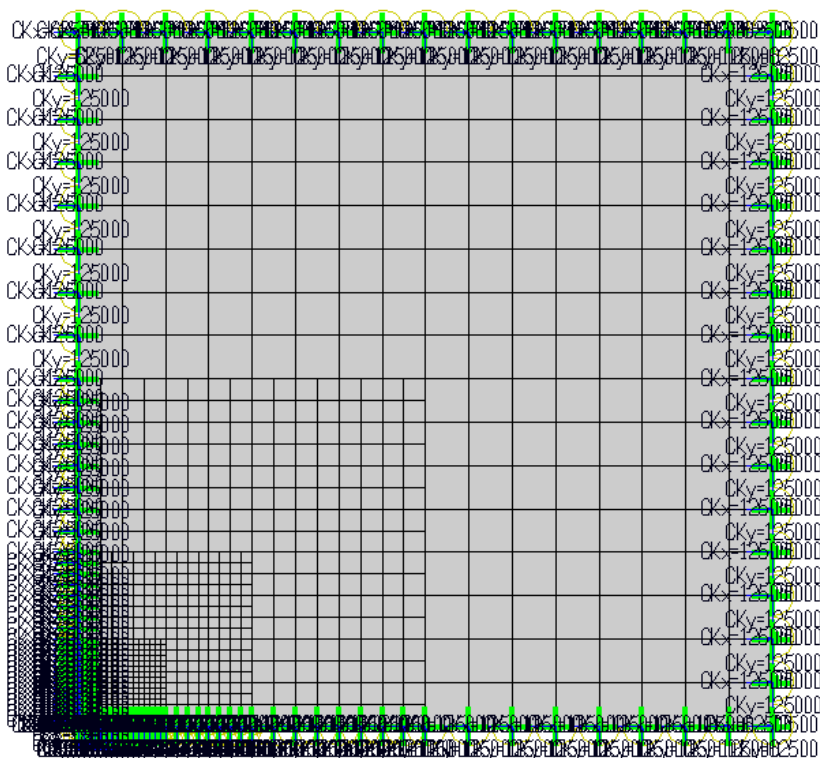
Параметры

CK x	<input checked="" type="checkbox"/> 62500
CK y	<input checked="" type="checkbox"/> 62500
CK z	<input checked="" type="checkbox"/> 62500
CK Rx	<input type="checkbox"/>
CK Ry	<input type="checkbox"/>
CK Rz	<input type="checkbox"/>
Тип опоры	<input type="radio"/> Растяжение <input type="radio"/> Сжатие <input checked="" type="radio"/> Раст.+Сжат.
Система координат	<input type="radio"/> Локальная <input checked="" type="radio"/> Глобальная

Локальные системы координат

ЛСК	1
Новая ЛСК	

Во все остальные узлы на гранях, кроме угловых, задаем демпфирование по x , y , z равное 125000.



Управление

Параметры

CK x	<input checked="" type="checkbox"/> 125000
CK y	<input checked="" type="checkbox"/> 125000
CK z	<input checked="" type="checkbox"/> 125000
CK Rx	<input type="checkbox"/>
CK Ry	<input type="checkbox"/>
CK Rz	<input type="checkbox"/>
Тип опоры	<input type="radio"/> Растяжение <input type="radio"/> Сжатие <input checked="" type="radio"/> Раст.+Сжат.
Система координат	<input type="radio"/> Локальная <input checked="" type="radio"/> Глобальная

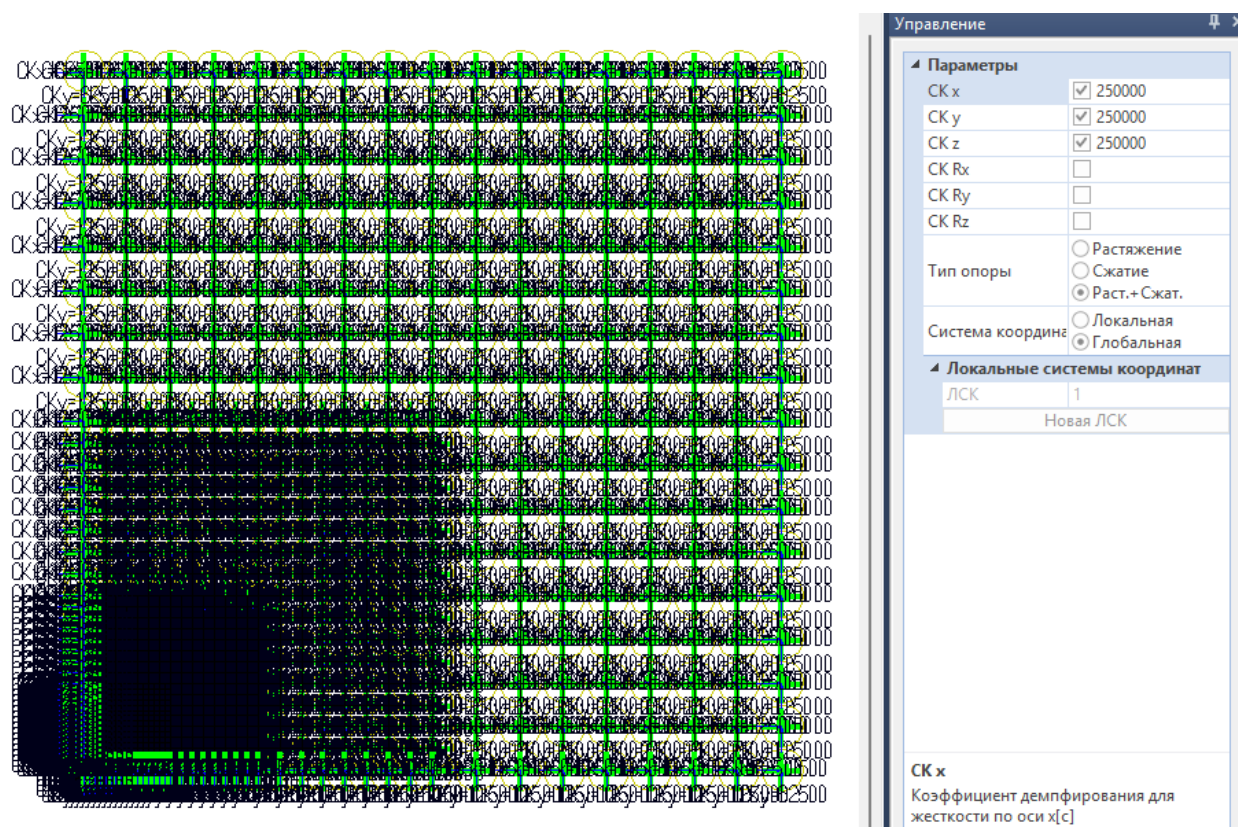
Локальные системы координат

ЛСК	1
Новая ЛСК	

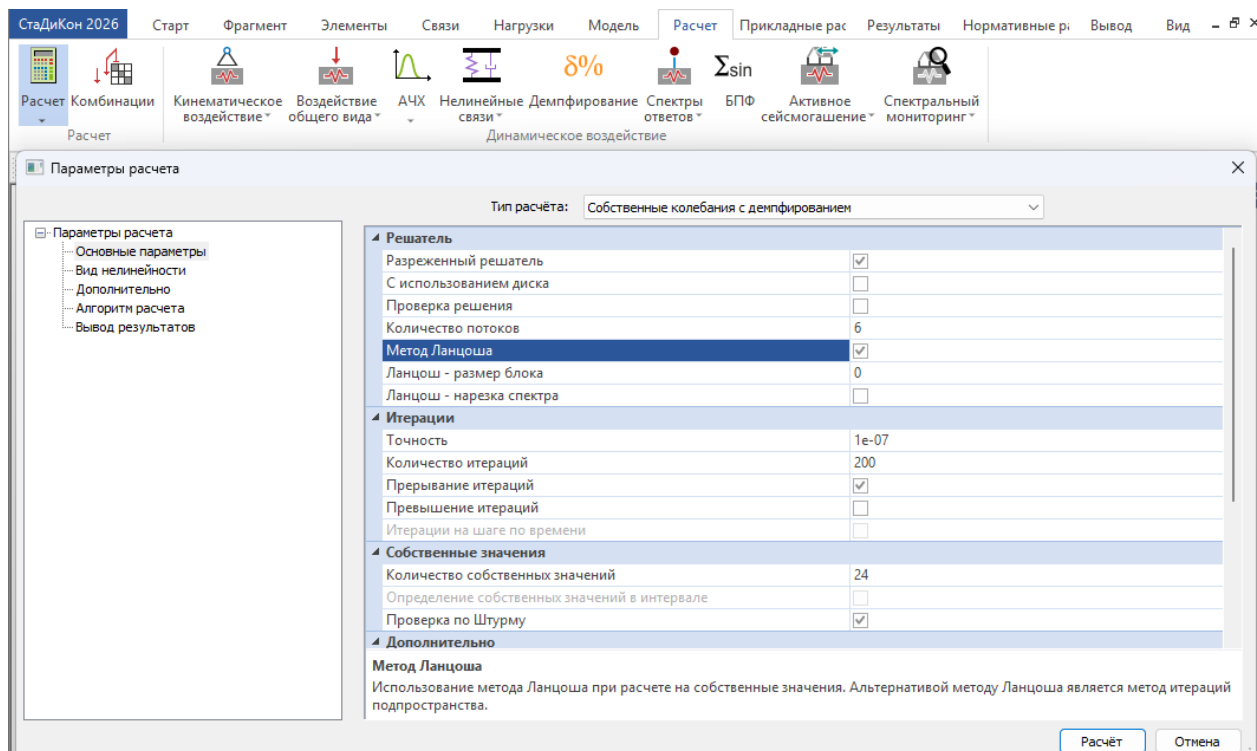
CK x

Коэффициент демпфирования для жесткости по оси x [с]

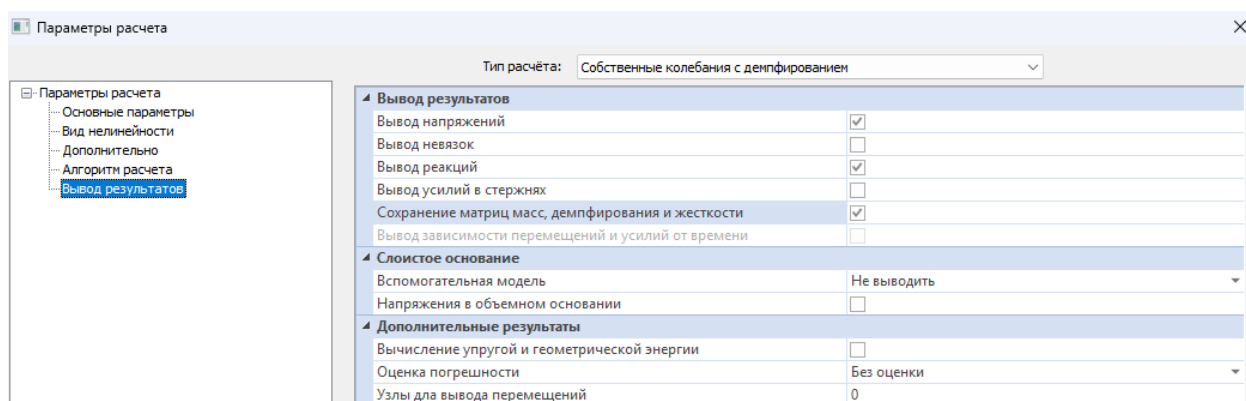
И во все оставшиеся центральные узлы задаем демпфирование по x , y , z равное 250000.



Теперь переходим на «Расчет» - «Расчет». Тип расчета – «Собственные колебания с демпфированием». На вкладке «Основные параметры» устанавливаем «Метод Ланцоша» и «Количество собственных значений = 24».

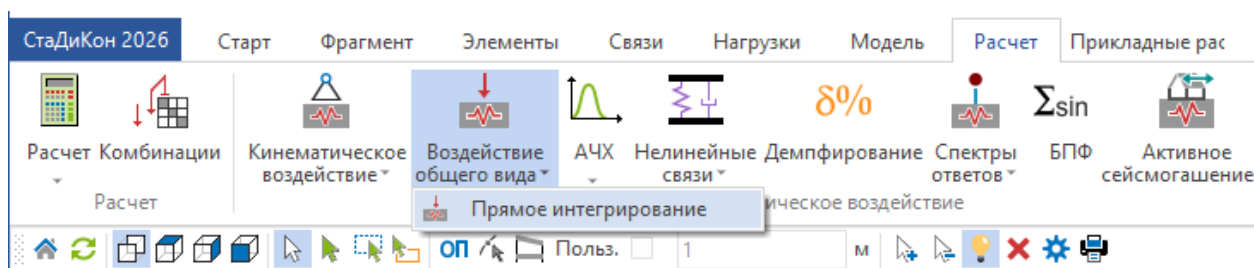


На вкладке «Вывод результатов» включаем «Сохранение матриц масс, демпфирования и жесткости».

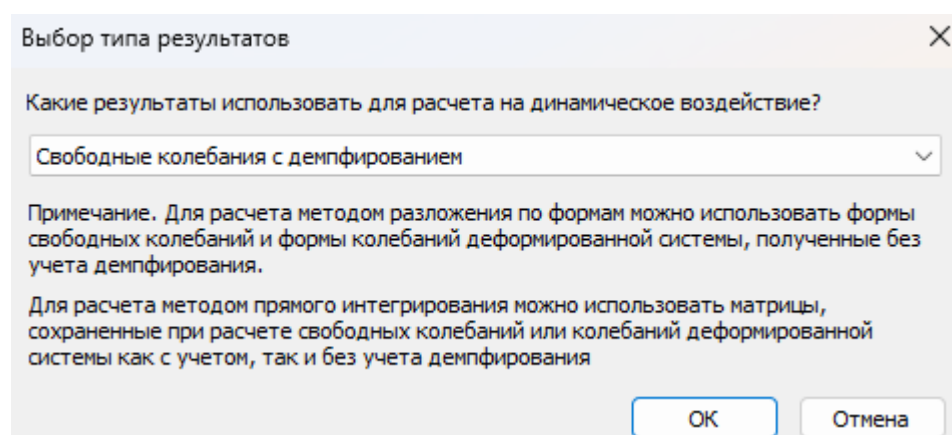


И запускаем расчет.

После расчета переходим на вкладку «Расчет», нажимаем на нижнюю часть «Воздействие общего вида» и выбираем «Прямое интегрирование».



В качестве типа результатов выбираем «Свободные колебания с демпфированием».



В открывшемся окне «Динамическое воздействие» нажимаем «Добавить».

Динамическое воздействие

Воздействие **Добавить**

Тип **Изменить**

Точки приложения **Установить** **Удалить**

Направление

Угол с OX в
гориз. пл. (гр.):

Угол с
гориз. пл. (гр.):

Начальные условия

☐ определять по статической деформации

Смещение: Номер комбинации

Скорость: Коэффициент

Расчет

Отменить

Помощь

Интегрирование

Интервалы времени (с):

Кол-во делений на интервалах:

Сохранить

Тип воздействия оставляем «Сила» и нажимаем «OK».

Выберите тип воздействия

Узловая нагрузка

☒ Сила

☐ Момент

Поле ускорений

☐ неравномерное

☐ равномерное

☐ из нагружений

Комбинация №

Деформационные и температурные нагрузки не учитываются!

OK

Отменить

Помощь

В появившемся окне «Задание силового воздействия» создаем следующее воздействие. Новые строки создаются кнопкой «Добавить».

Задание силового воздействия (воздействие N 1) ✕

Файл: ...

Имя:

Способ задания

☒ по точкам

☐ формулой вида:
$$a_0 + \sum_{i=1}^m a_i \sin(\omega_i t + f_i)$$

Время (с)	Сила (кН)
0	0
0.05	0
0.0625	78.55
0.075	0
0.1	0

Добавить

Удалить

Заполнить

Сдвиг по времени

OK

Отменить

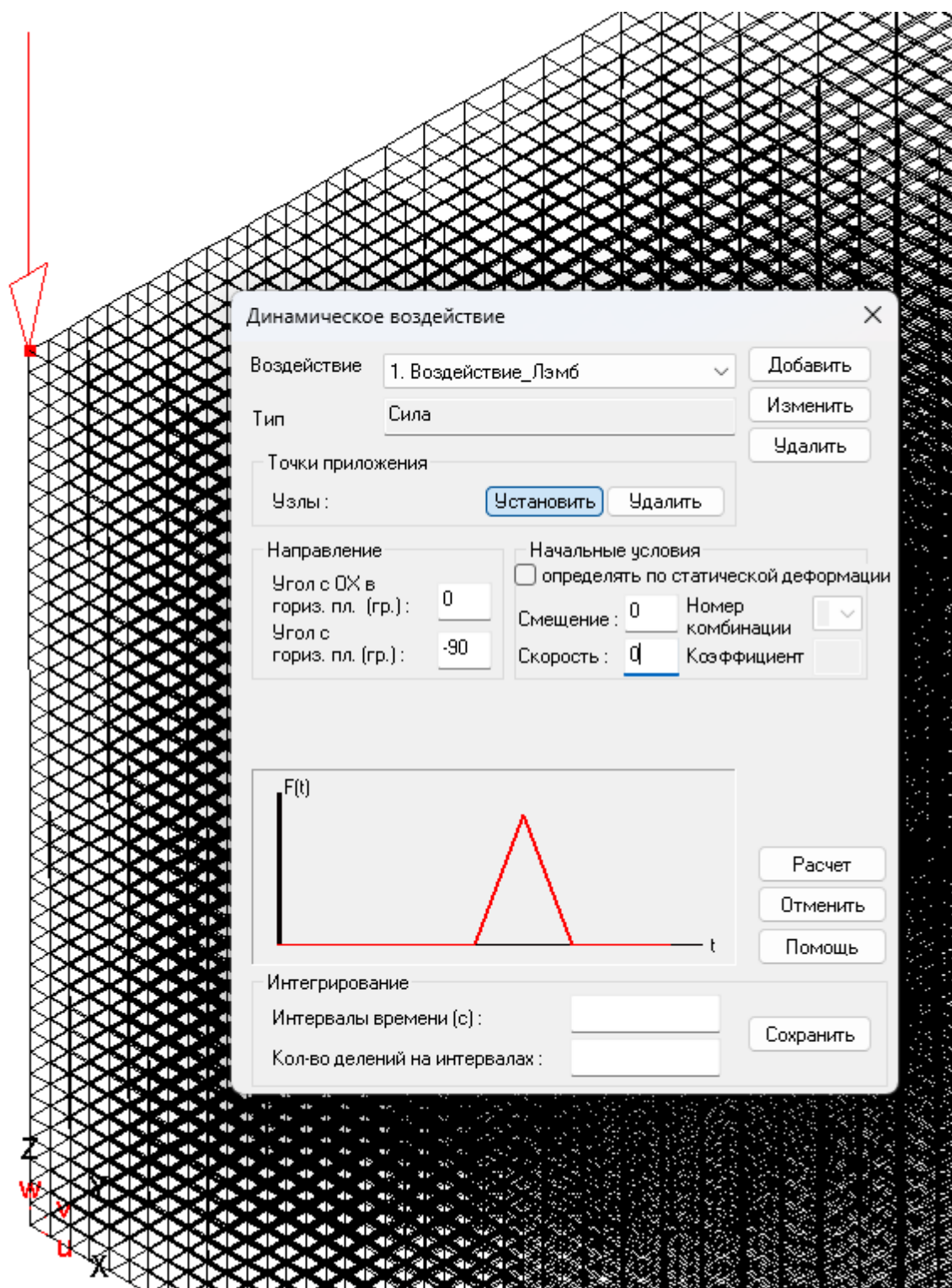
Помощь

Называем данное воздействие и жмем «OK». Сохраняем в удобном месте.

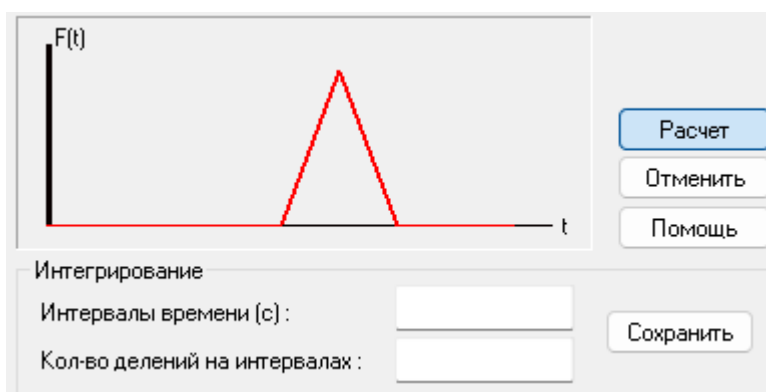
Имя файла: ▼

Тип файла: ▼

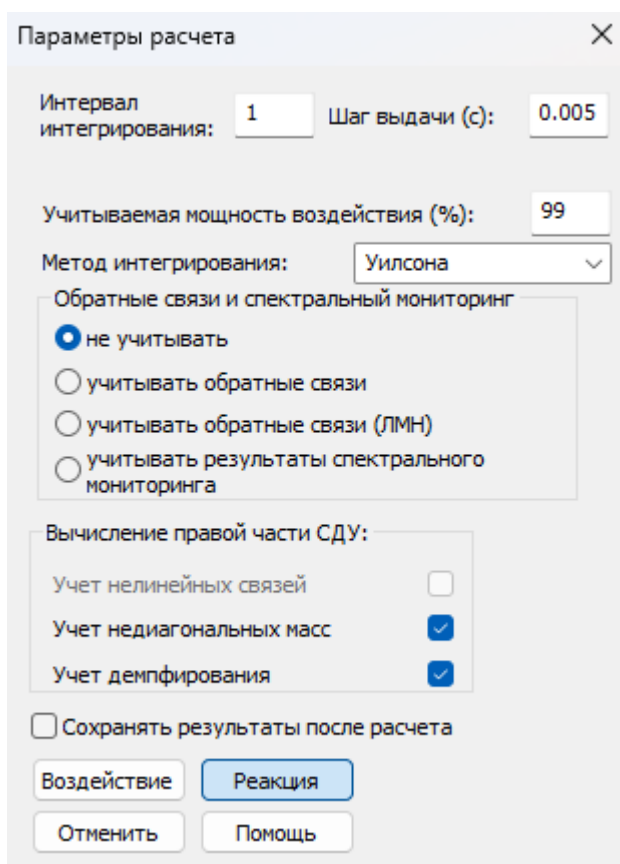
Откроется вновь окно «Динамическое воздействие» с заданным воздействием. Не закрывая окно, на схеме выбираем узел приложения нагрузки (0, 0, 30), появится стрелочка, указывающая направление воздействия. Для правильной ориентации устанавливаем «Угол с гориз. пл. (гр.)» = -90.



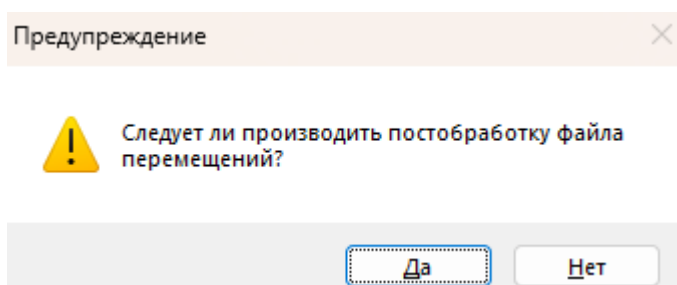
После нажимаем «Расчет».



В окне «Параметры расчета» устанавливаем «Интервал интегрирования» = 1, «Шаг выдачи (с)» = 0.005. После нажимаем на «Реакция».



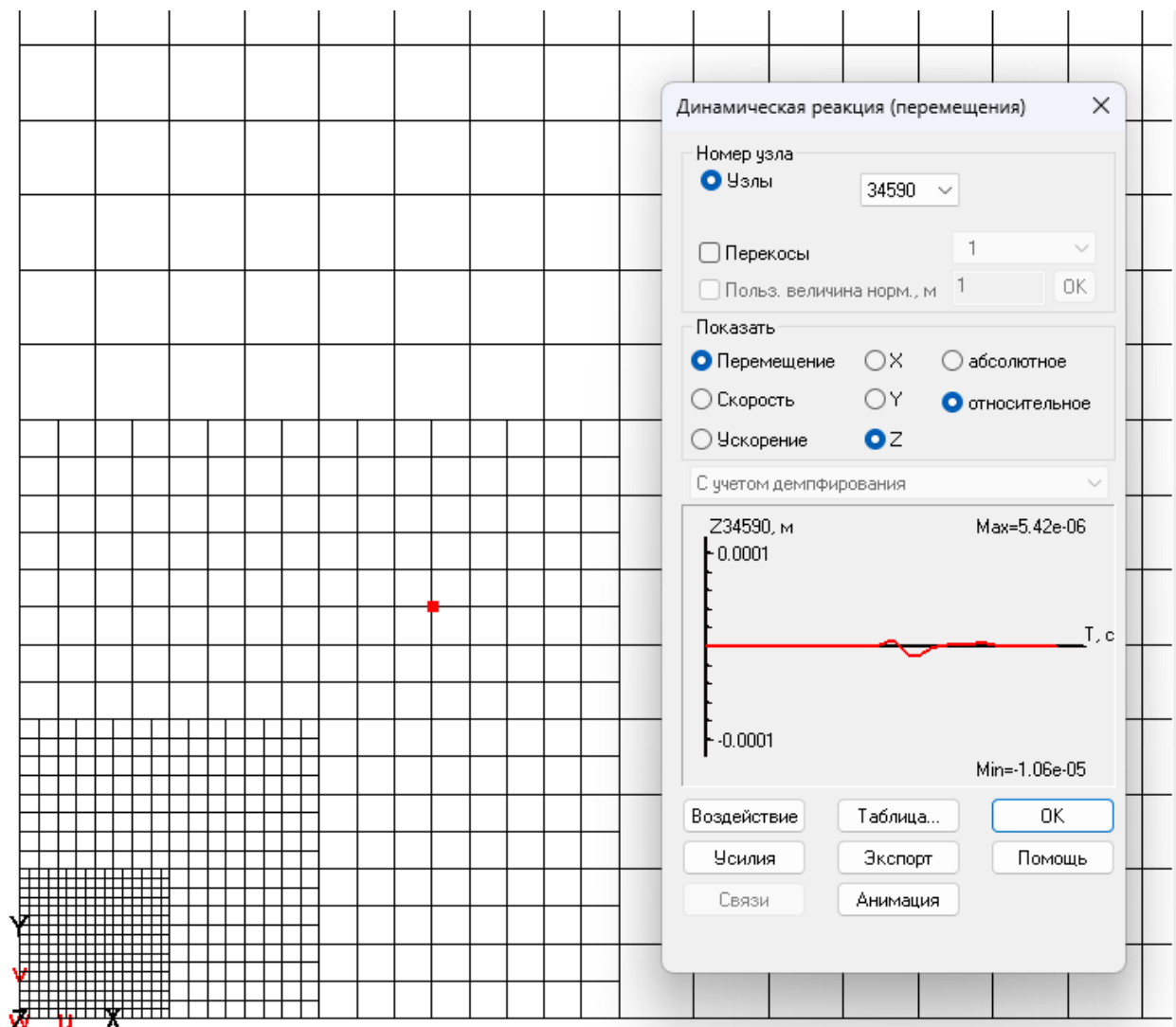
При возникновении следующего окна выбираем «Да».



После расчета откроется окно «Динамическая реакция (перемещения)». Выберем узел для просмотра результата отдаленный от точки приложения на 50м по радиусу. Для выбора в правом нижнем углу можно нажать ПКМ по «Координаты». В таком режиме будут отображаться координаты под указателем мыши.



Таким образом выбираем узел с координатами (34.375, 34.375, 30) \approx 50 по радиусу. После выбор узла устанавливаем для показа «Перемещение» по «Z».



Двойным нажатием по графику перейдем к более подробному графику. Нажимаем на «*Параметры рисунка*» и устанавливаем следующие параметры для отображения.

Параметры графика

Количество шагов сетки

по оси X : 10

по оси Y : 10

Диапазон значений

☐ Автоматическое определение диапазона

Начало Конец

по оси X : 0 1

по оси Y : -12e-06 8e-06

Цвет линий: Изменить

OK

Отменить

Помощь

Параметры рисунка

Параметры Viewer

Помощь

Итого получаем следующий график перемещения по z выбранного узла.

