

Знакомство с МКЭ подсистемой

СтадиКон (СДК)

Анализ реакции линейно-упругого грунта



Содержание

Содержание	2
1. Описание задачи	3
2. Конечно-элементный FEA-проект	5
2.1. Геометрия	5
2.2. Материал	9
2.3. Установка связей	11
2.4. Расчет	12

1. Описание задачи

В данном примере проводится анализ линейно-упругого грунта, подверженного сейсмическим колебаниям. Приложенное к основанию модели колебательное движение грунта соответствует зафиксированному сильному колебанию на станции 286 Геологической службы США (основанной на гранитной породе) во время землетрясения в Имперской долине (15.10.1979). Как показано на рисунке 1.1, зафиксированное пиковое ускорение составляет 1.07 м/с^2 .

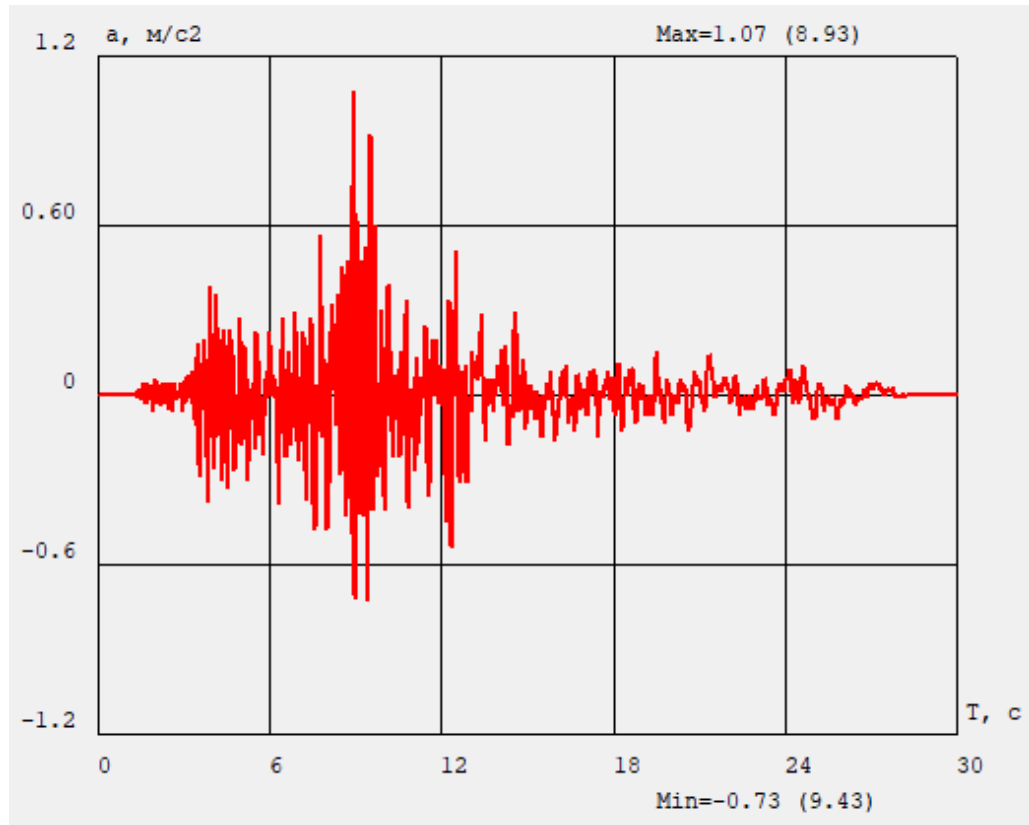


Рис. 1.1 – Используемая акселерограмма.

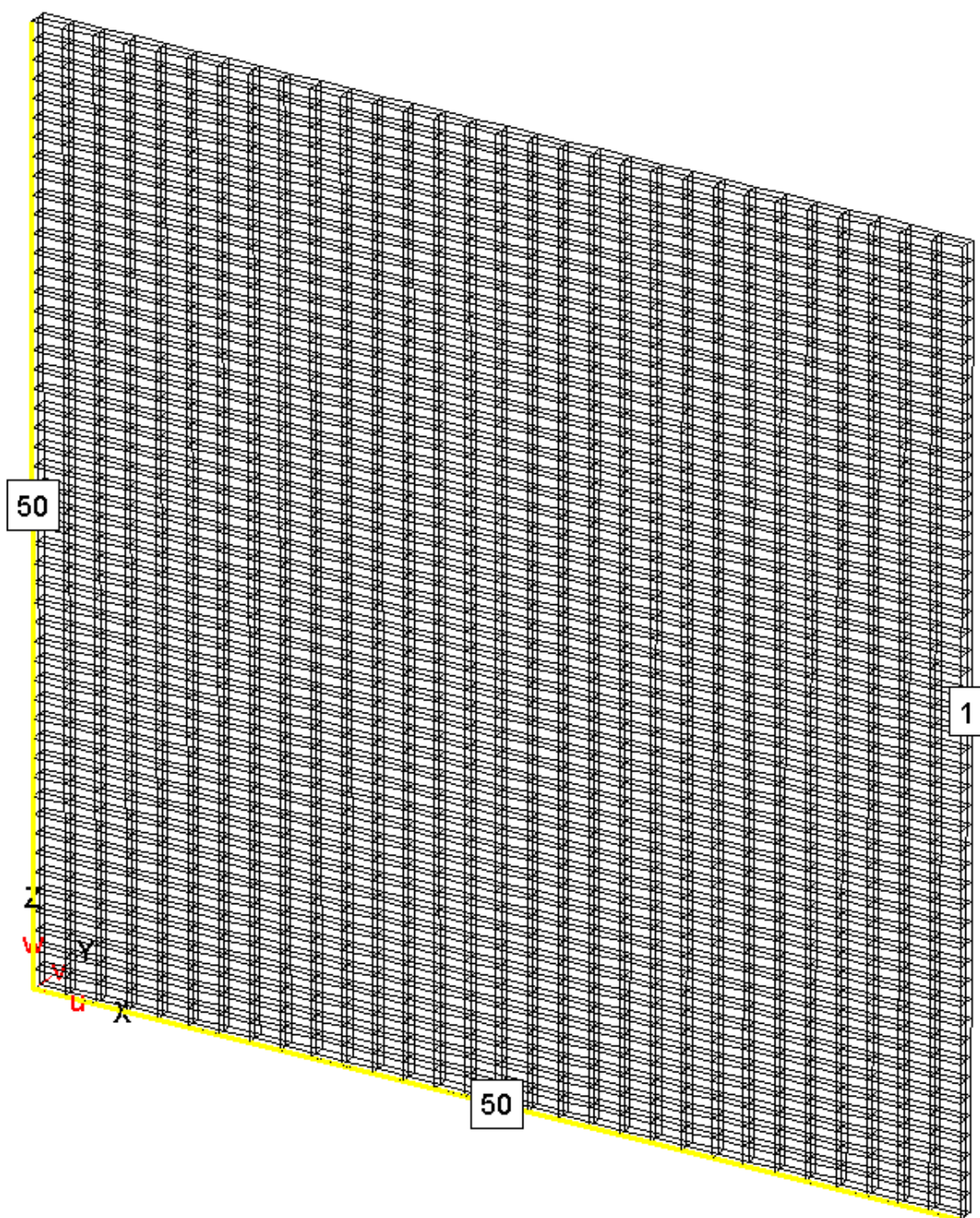


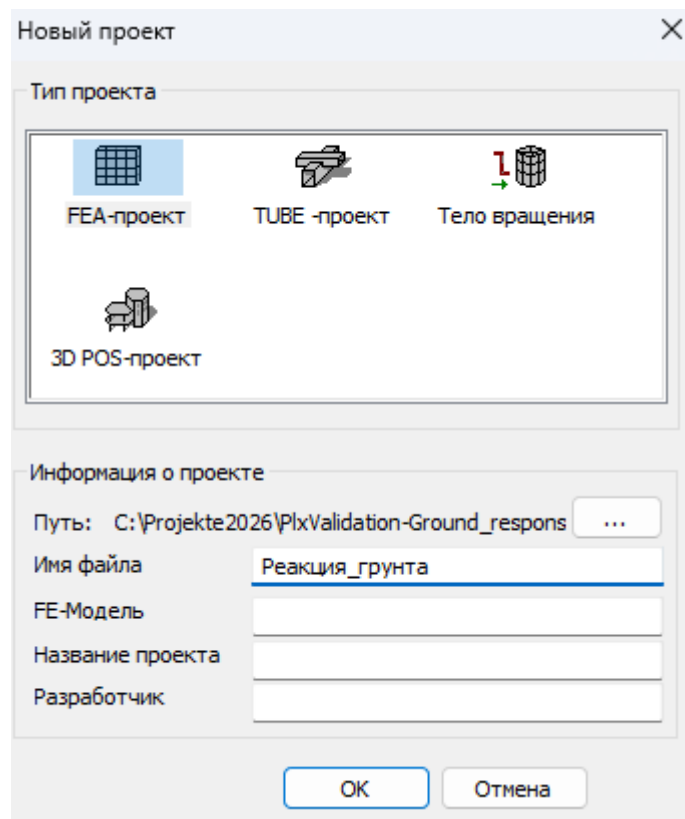
Рис. 1.2 – Геометрия модели.

Свойства материала:

- модуль упругости $E = 488110 \text{ кН/м}^2$
- коэффициент Пуассона $\nu = 0.33$
- плотность $\rho = 20 \text{ кН/м}^3 \approx 2.0394 \text{ т/м}^3$
- коэффициент демпфирования для массы $Cm = 1.257$
- коэффициент демпфирования для жесткости $Ck = 0.002829$

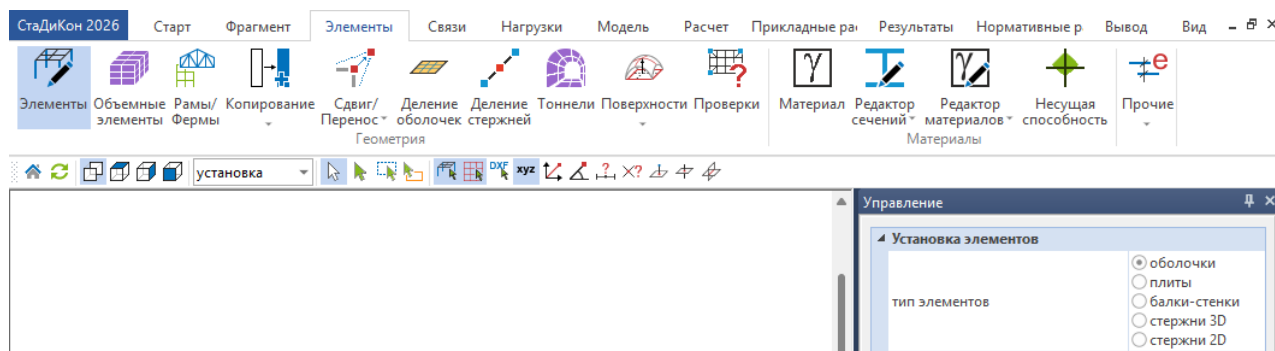
2. Конечно-элементный FEA-проект

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

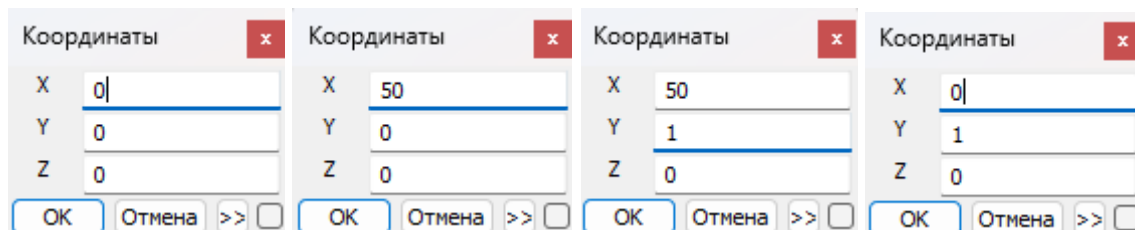


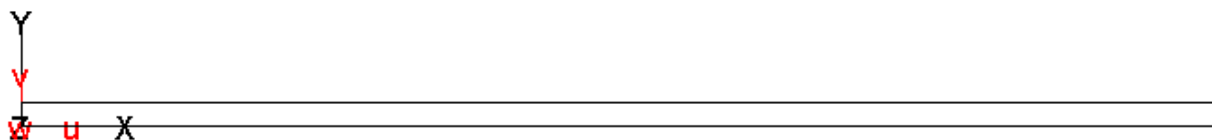
2.1. Геометрия

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

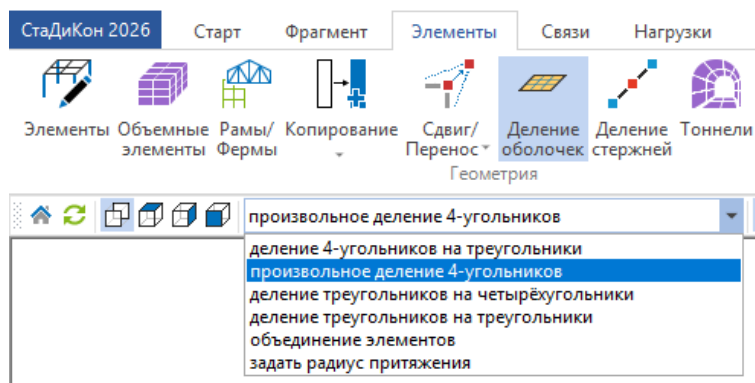


Задаем по координатам нижнюю грань.

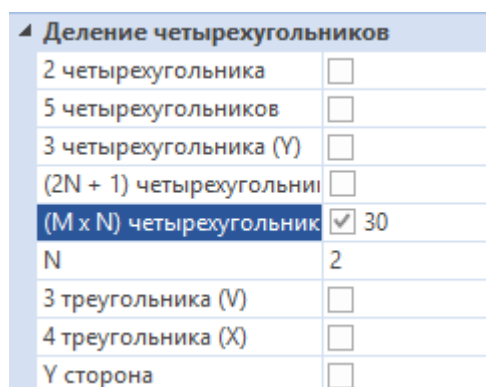




Далее разобьем оболочку. Для этого выбираем «Деление оболочек» и переключаем на «произвольное деление 4-угольников».



В окне «Управление» устанавливаем вид деления « $(M \times N)$ четырехугольника (#)» и задаем значения $M=30$, $N=2$.



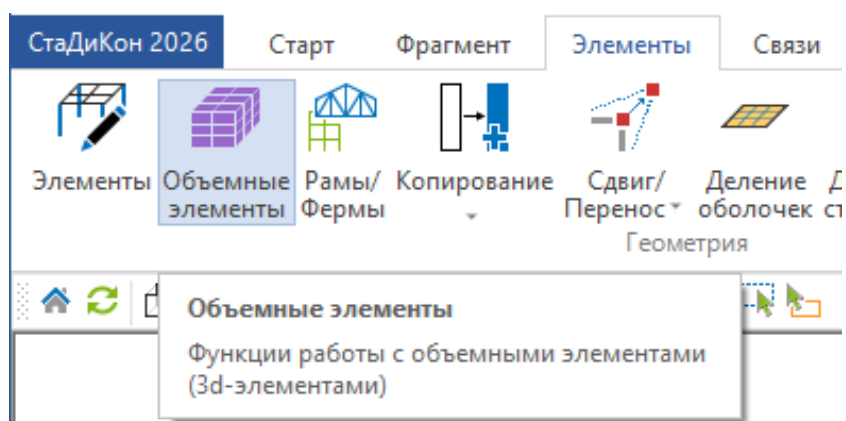
Далее нажатием ЛКМ выбираем оболочку.



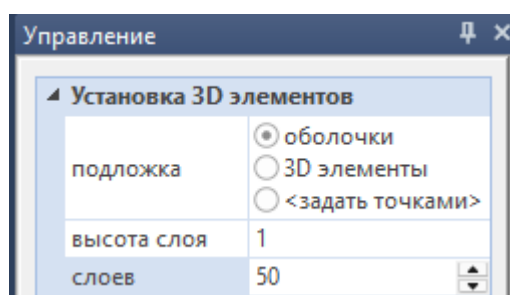
И подтверждаем деление нажатием ПКМ.



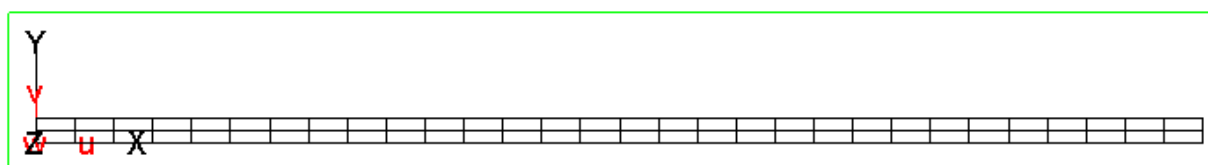
Теперь перейдем к созданию объемных элементов. Для этого на вкладке «Элементы» выбираем «Объемные элементы».



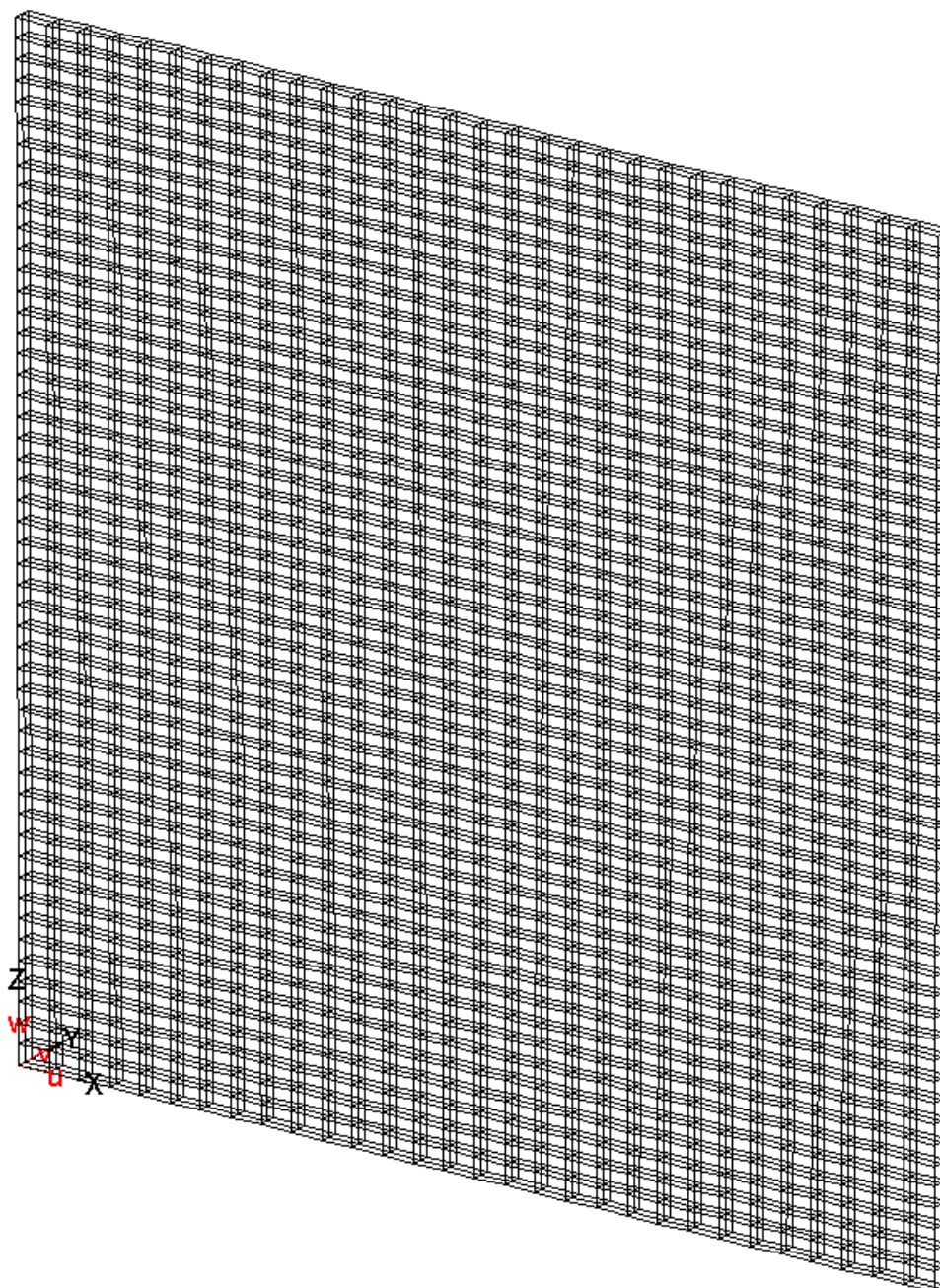
В качестве подложки выбираем «оболочки» и установим высоту и число слоев характерные итоговой высоте в 50м.



Далее групповым выбором выделяем все элементы.

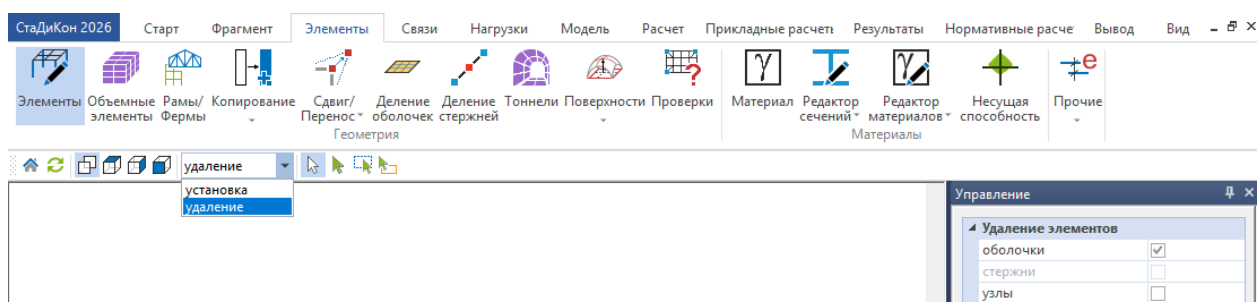


И получаем уже объемную схему.

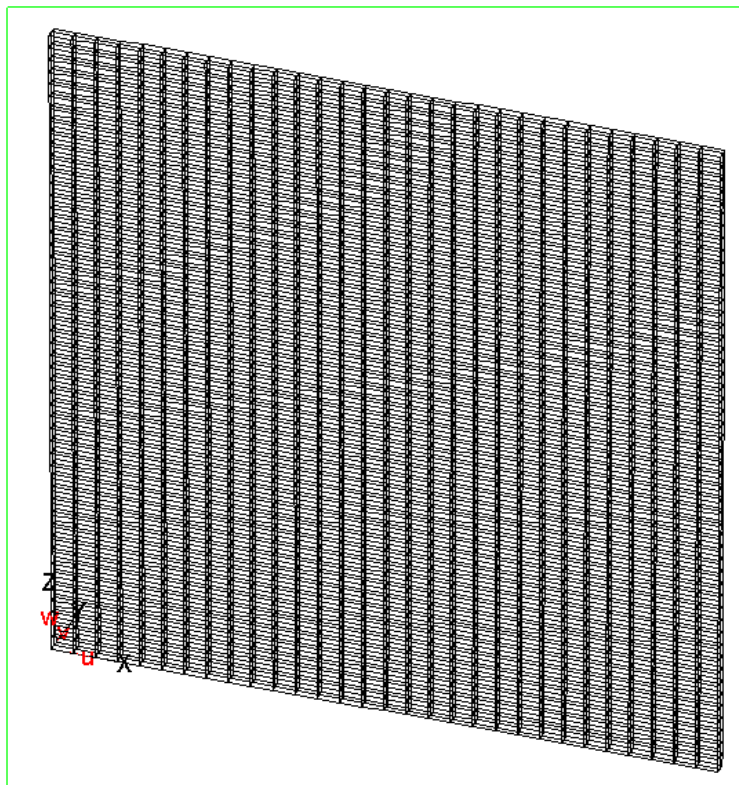


Теперь удалим изначальные оболочки, оставив только объемные элементы.

Переходим на «Элементы» - «удаление» и выбираем «оболочки».

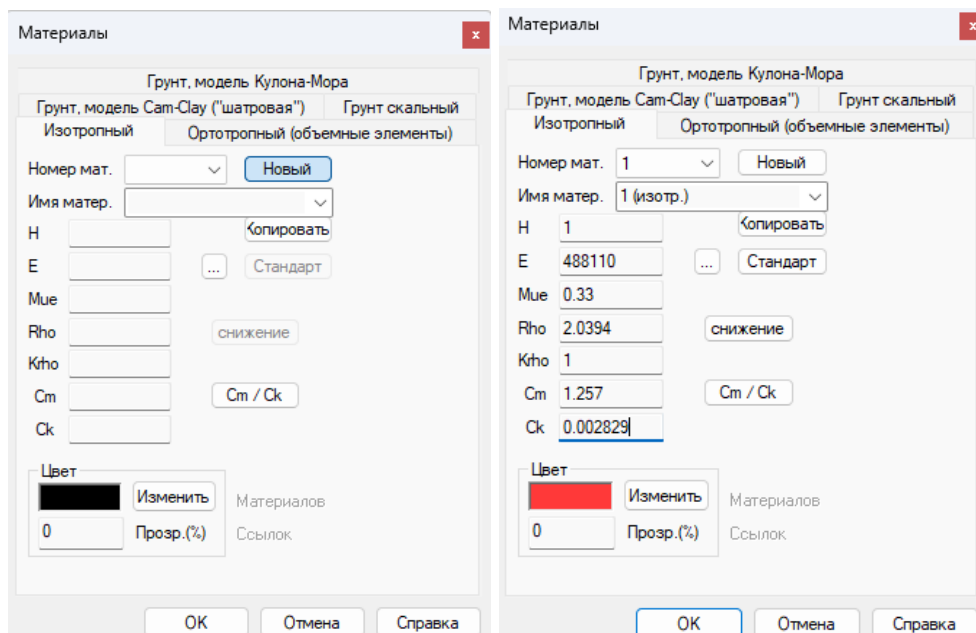
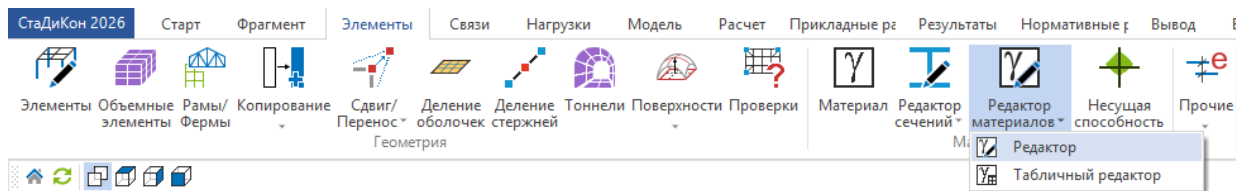


И выделяем всю модель.

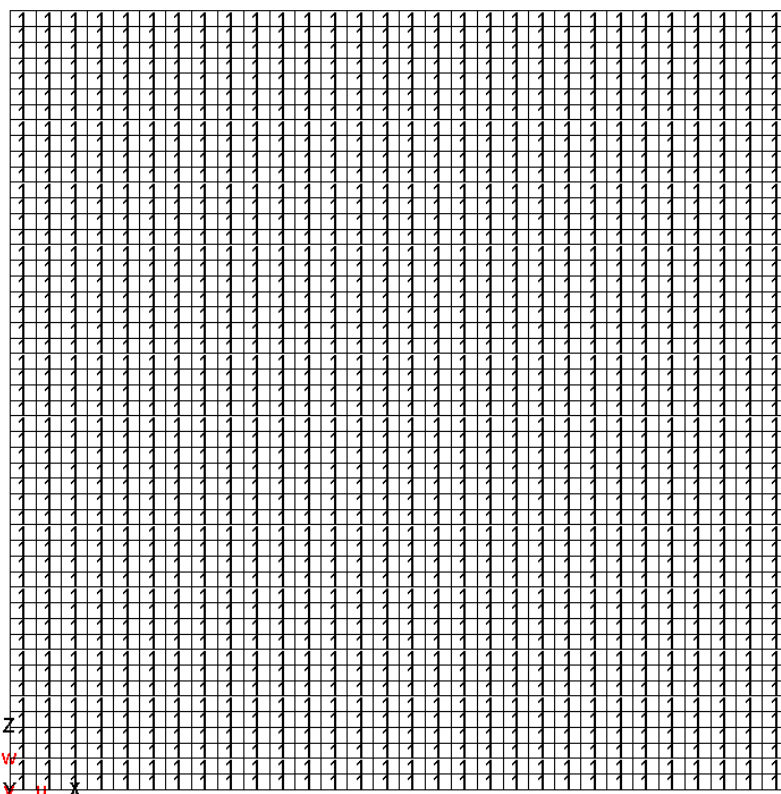
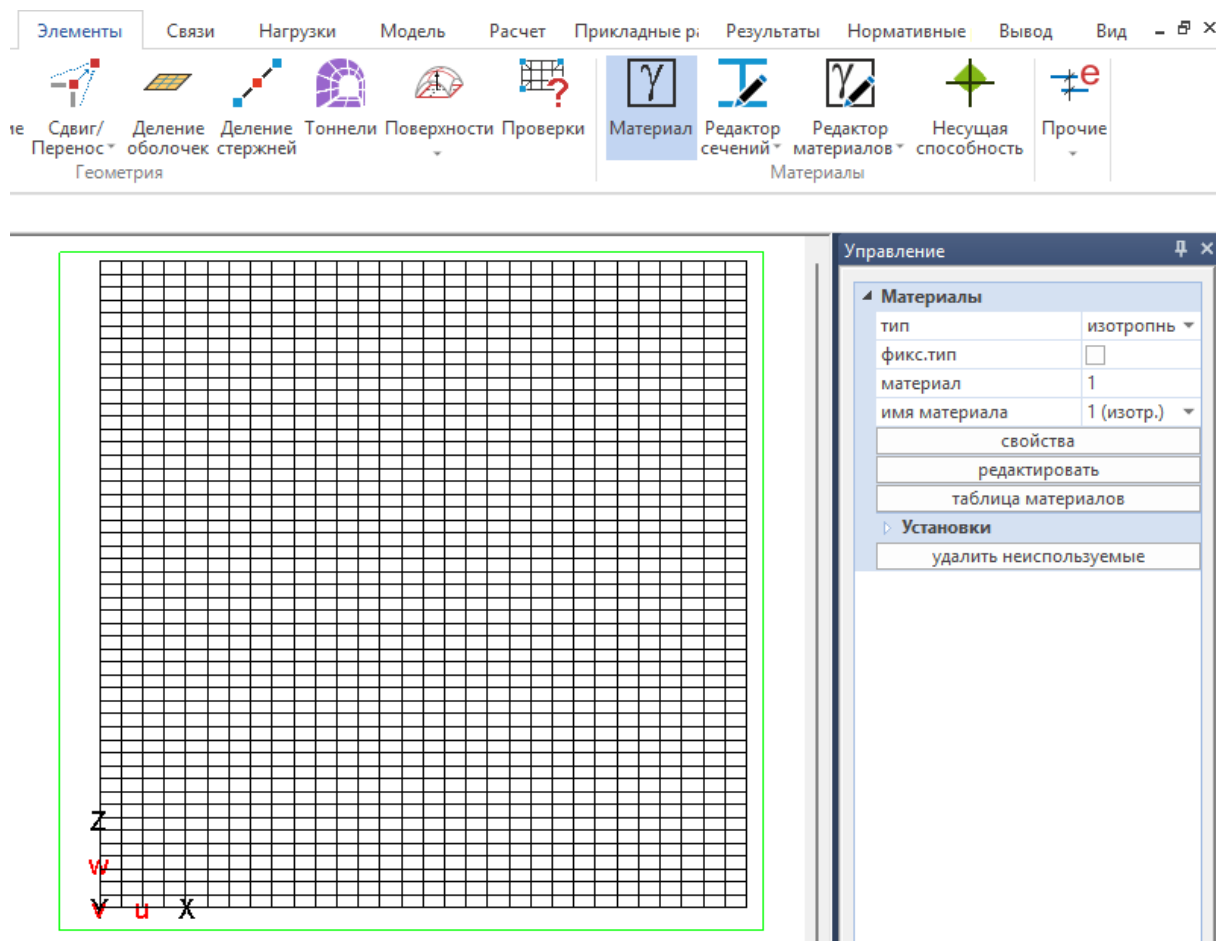


2.2. Материал

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

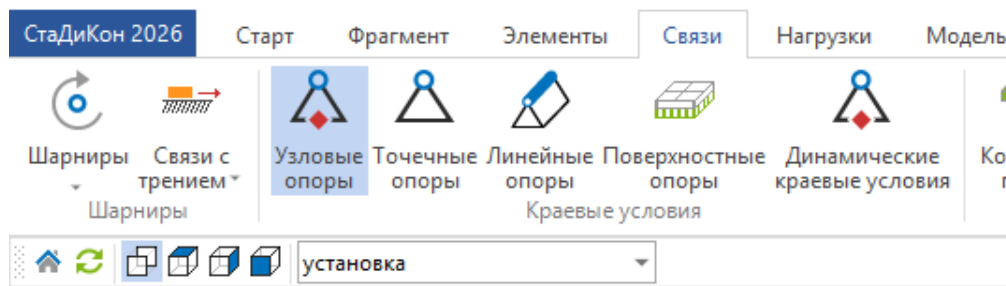


Далее переходим на «Материал», выбираем «тип – изотропный» и задаем созданный материал выделением всех элементов.

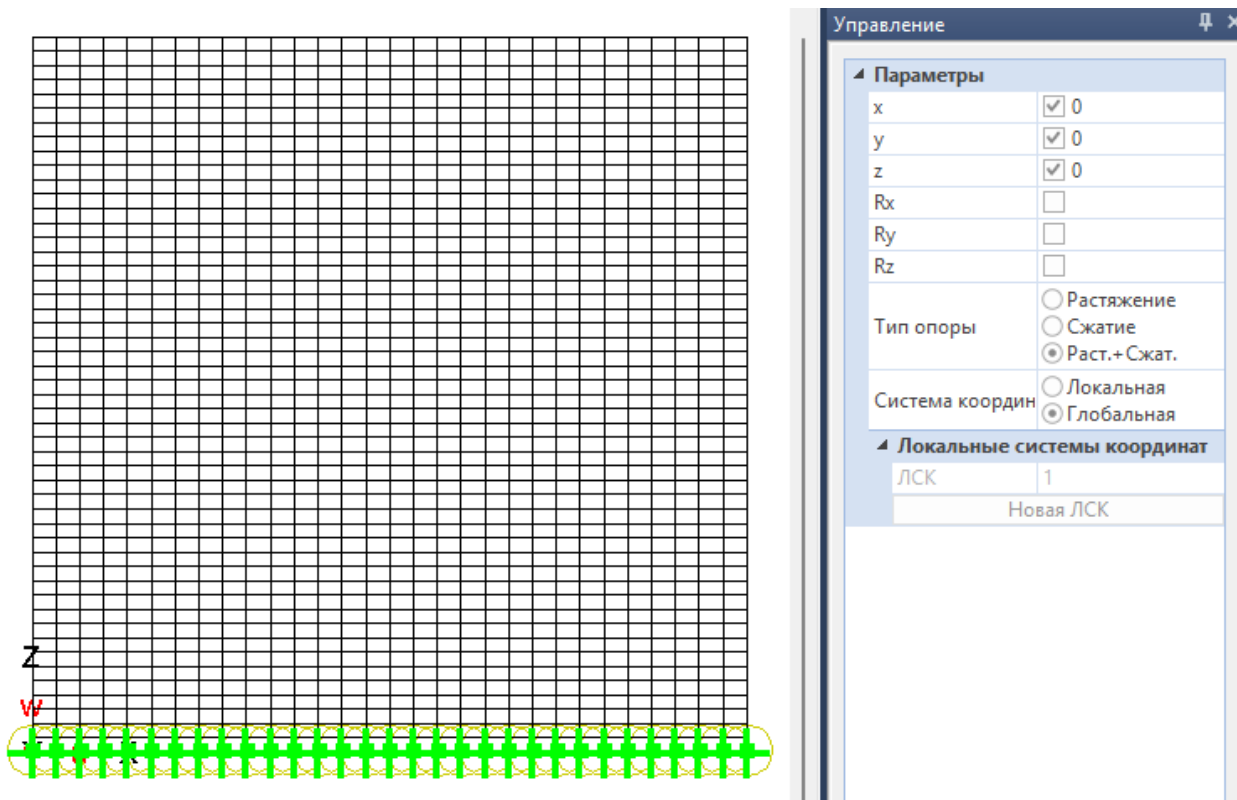


2.3. Установка связей

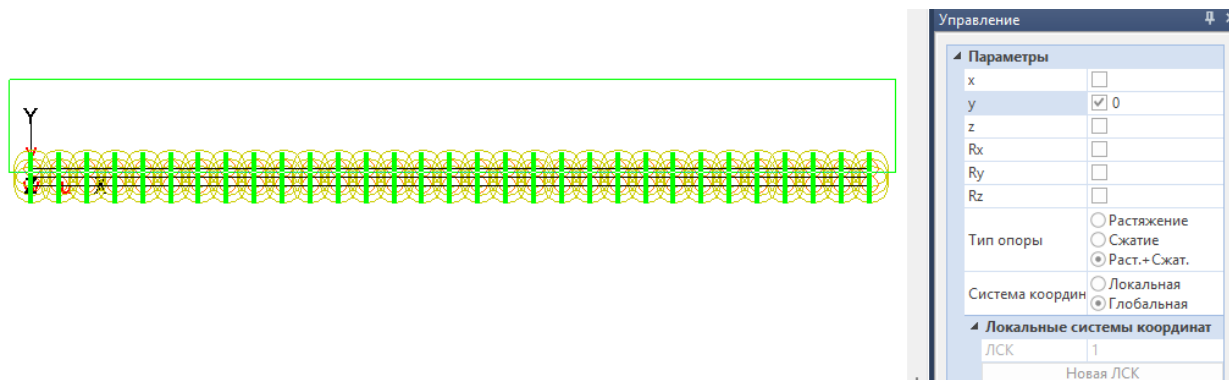
Перейдем к установке краевых условий. На вкладке «Связи» выбираем «Узловые опоры» - «установка».



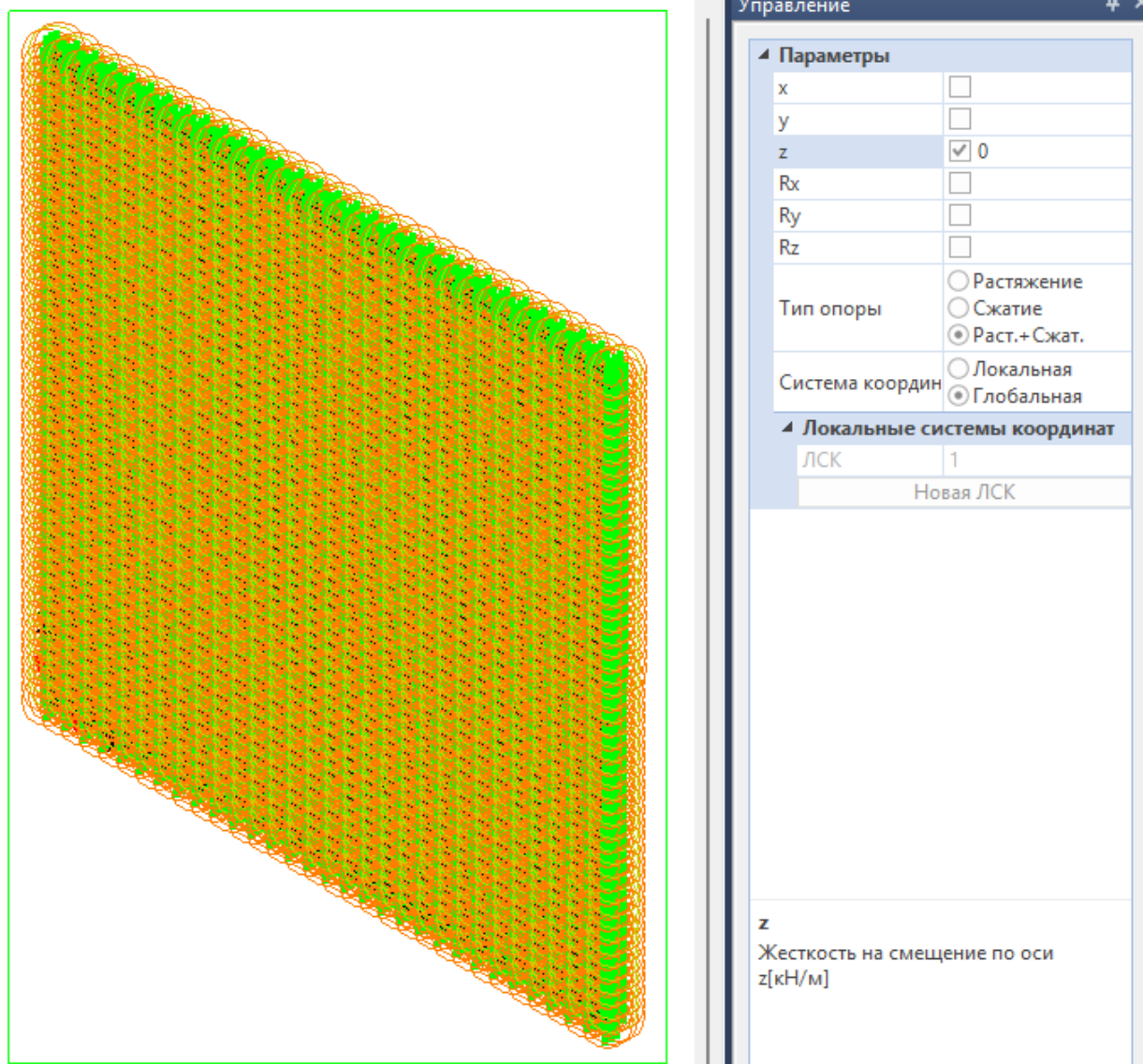
На нижнюю грань при $z=0$ ограничим перемещение по x , y , z .



Для граней при $y=0$ и $y=1$ ограничим перемещение по y .

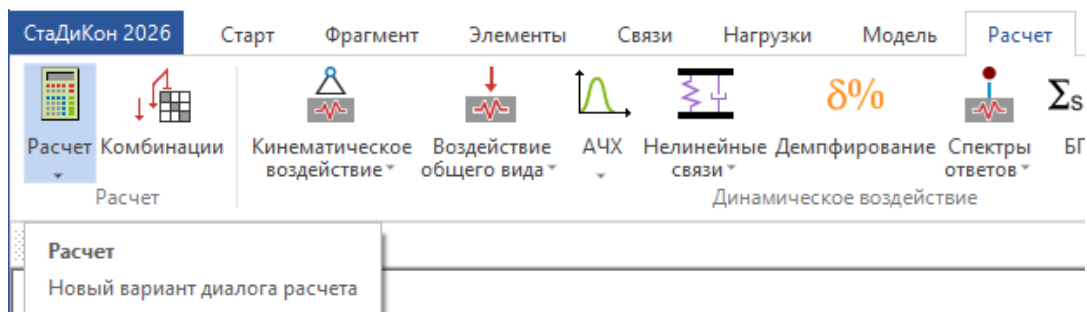


И на все узлы ограничим перемещение по z.

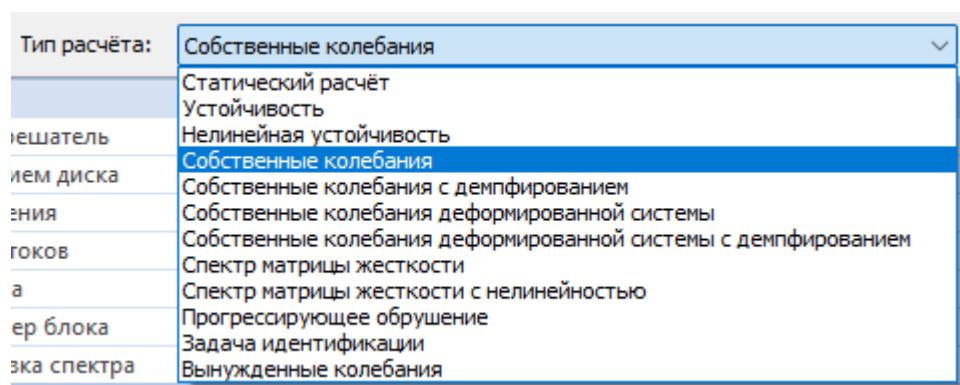


2.4. Расчет

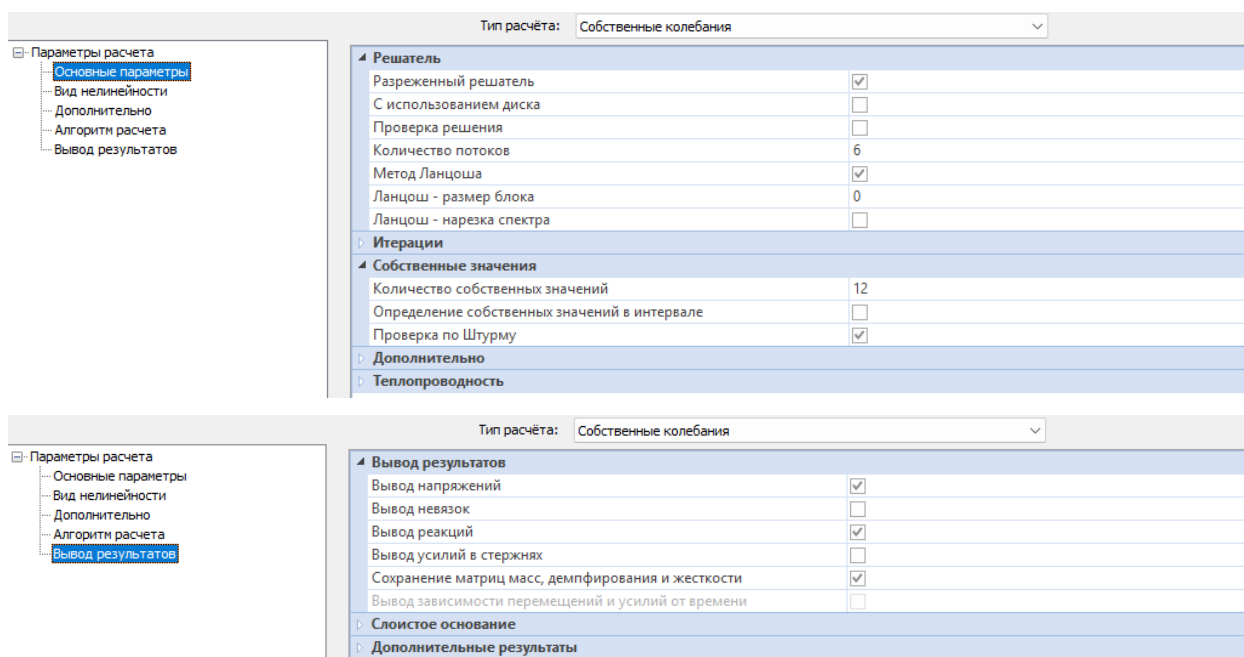
Переходим на вкладку «Расчет» и выбираем «Расчет».



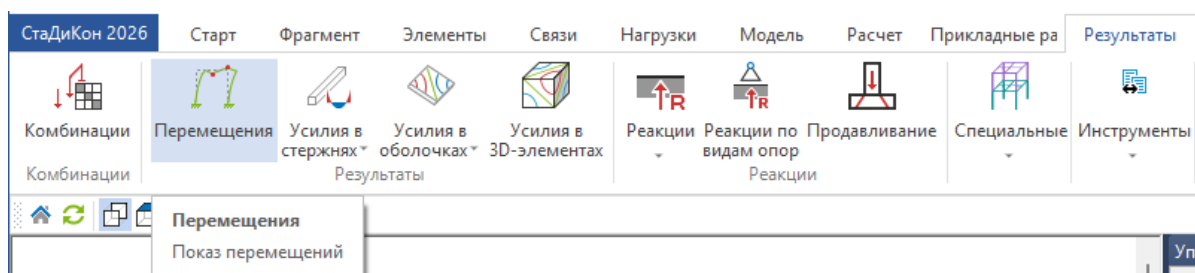
Изменим тип расчета на «Собственные колебания».



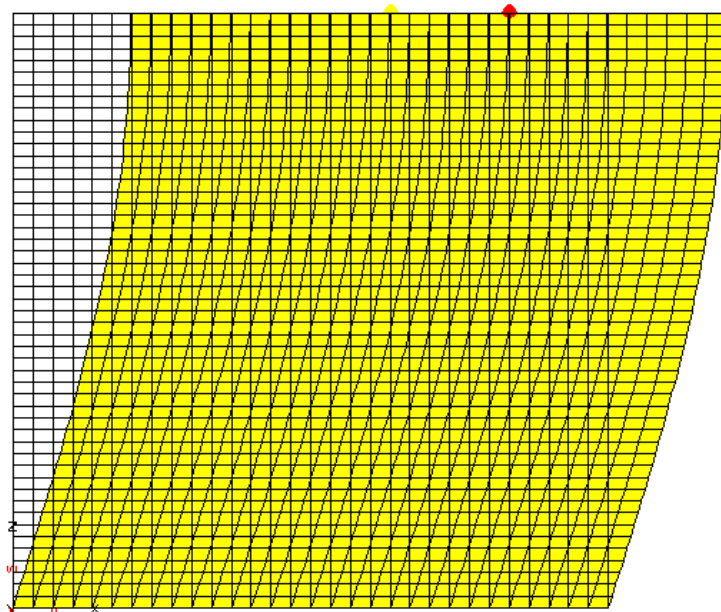
И изменим следующие параметры.



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



Ниже приведена первая форма собственных колебаний.



Управление

Параметры

Степень свободы: Dsum

№ формы: 1

Вид: Закраска

Масштаб: 500

Анимация

Вывод рисунка

Показ шкалы: ☒ Горизонтально ☐ Вертикально

Тип вывода: ☒ Вывод во Viewer ☐ Вывод в Word

Настройки вывода

Вывод

№ формы

Номер формы

W = 9.424 рад/с
f = 1.5 Гц
T = 0.6667 с

Мак. перемещение = 19.80743 mm в узле
= 1292

Теперь вновь переходим к расчету и выбираем тип расчета «Собственные колебания с демпфированием». Изменим «Количество собственных значений = 24», а остальные параметры оставляем. После запускаем расчет.

Параметры расчета

Тип расчёта: Собственные колебания с демпфированием

Решатель

Разреженный решатель ☒

С использованием диска ☐

Проверка решения ☐

Количество потоков: 6

Метод Ланцоша ☒

Ланцош - размер блока: 0

Ланцош - нарезка спектра ☐

Итерации

Собственные значения

Количество собственных значений: 24

Определение собственных значений в интервале ☐

Проверка по Штурму ☒

Дополнительно

Теплопроводность

Далее переходим на вкладку «Расчет» и выбираем «Кинематическое воздействие». В качестве типа результатов выбираем «Собственные колебания с демпфированием».

СтаДиКон 2026

Старт Фрагмент Элементы Связи Нагрузки Модель Расчет Прикладные р...

Расчет Комбинации Кинематическое воздействие Воздействие общего вида АЧХ Нелинейные Демпфирование Спектры ответов БПФ Активно сейсмогазе

Расчет

Динамическое воздействие

Выбор типа результатов

Какие результаты использовать для расчета на динамическое воздействие?

Свободные колебания с демпфированием

Примечание. Для расчета методом разложения по формам можно использовать формы свободных колебаний и формы колебаний деформированной системы, полученные без учета демпфирования.

Для расчета методом прямого интегрирования можно использовать матрицы, сохраненные при расчете свободных колебаний или колебаний деформированной системы как с учетом, так и без учета демпфирования

OK Отмена

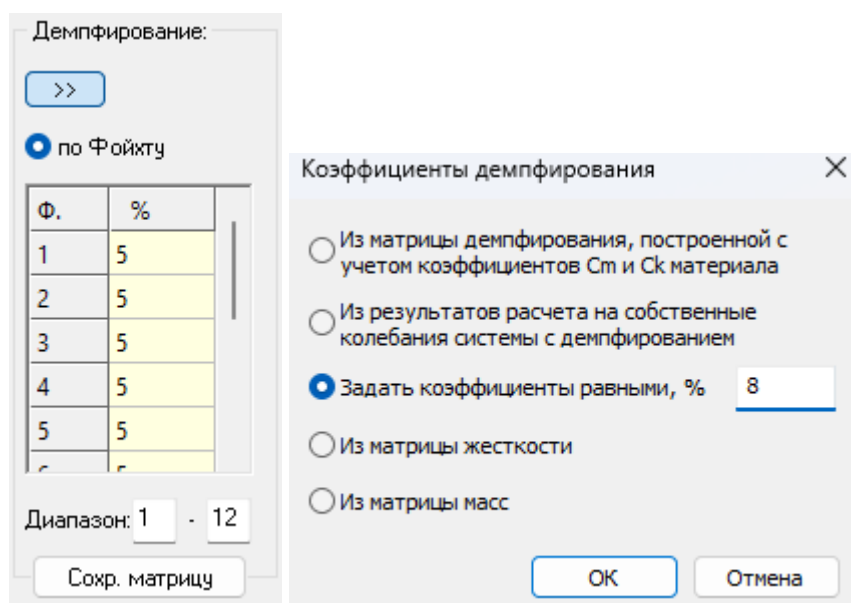
В открывшемся окне «Динамическое воздействие» нажимаем на «...» в пункте «Воздействие».

Далее нажимаем «Чтение» и выбираем файл с акселерограммой.

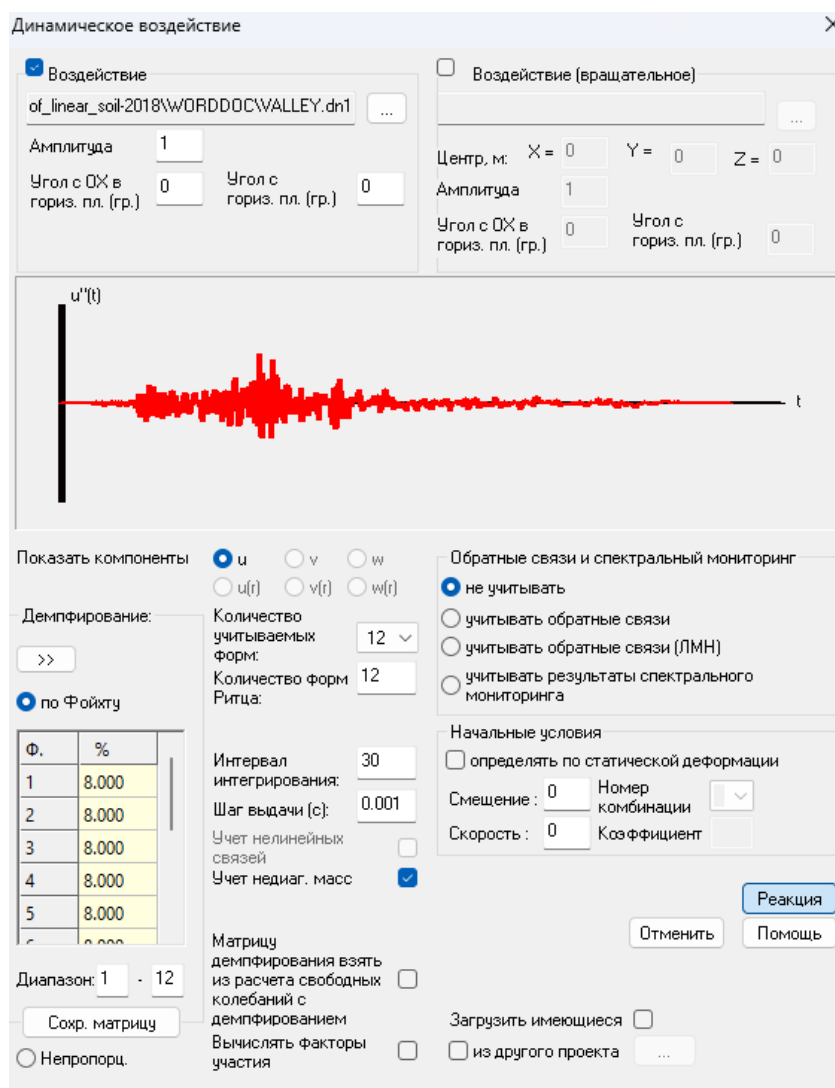
Получаем записанное воздействие и нажимаем «ОК».

T [с]	u'' [м/с ²]
0	0
0.01	0
0.02	0
0.03	0
0.04	0

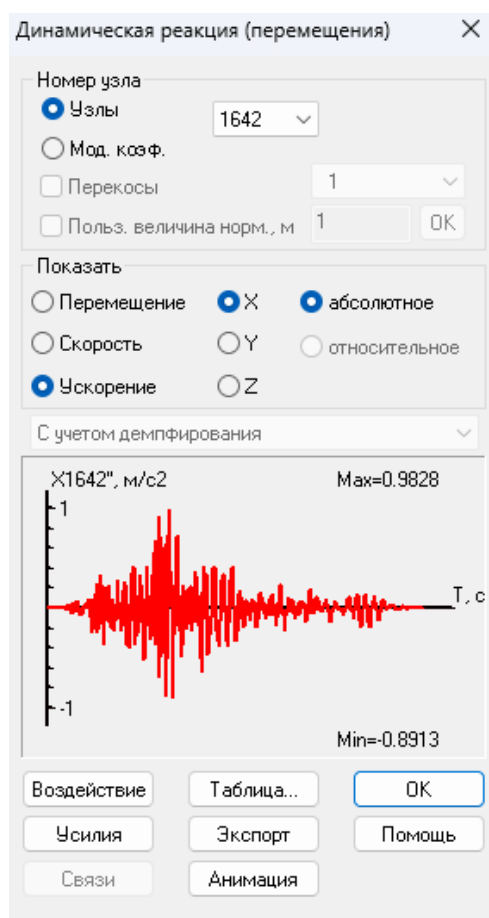
В пункте «Демпфирование» нажмем на «>>» и выберем «Задать коэффициенты равными 8%»



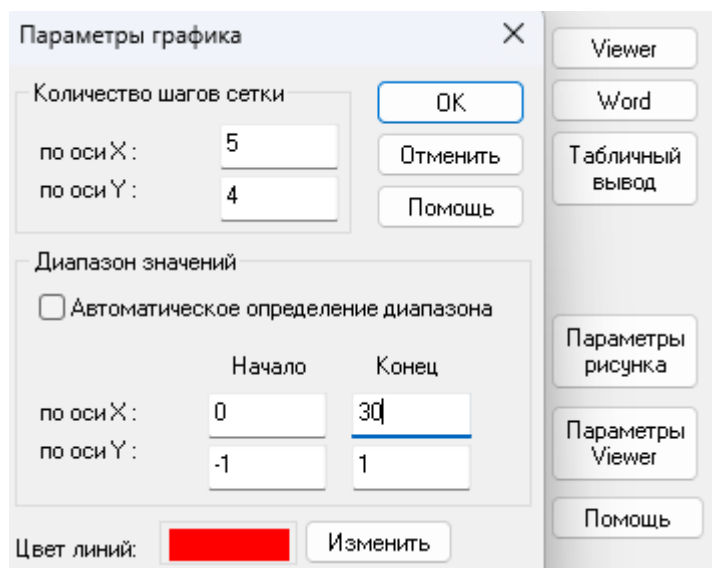
Теперь изменим «Интервал интегрирования = 30» и «Шаг выдачи (с) = 0.001». После чего нажимаем на «Реакция».



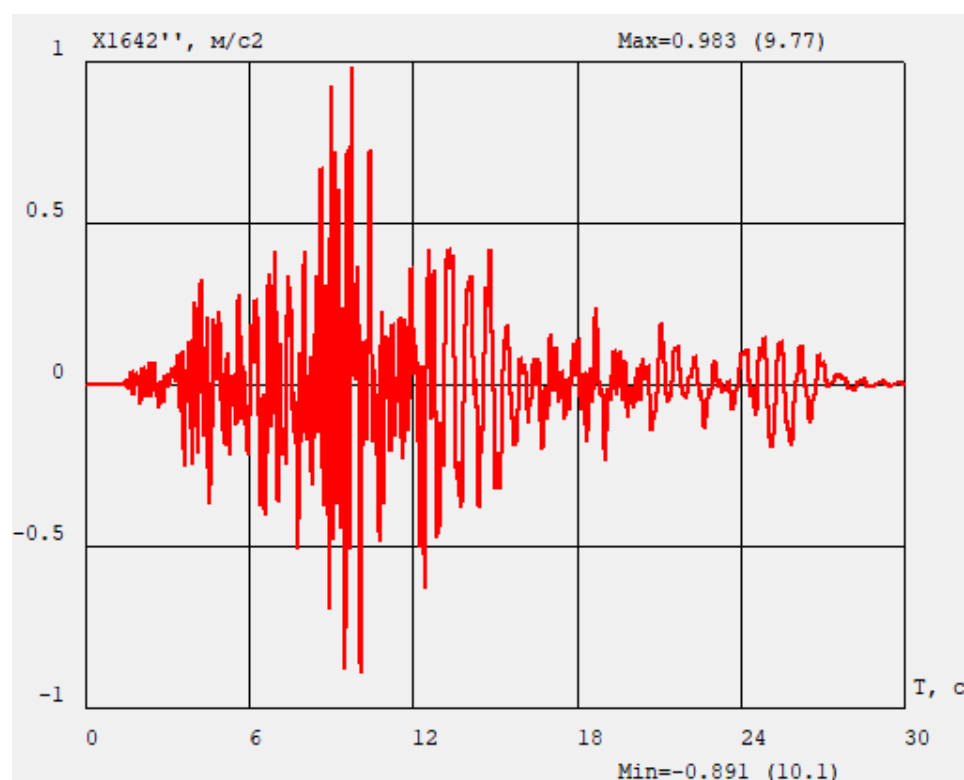
После выбираем на схеме центральный узел (25, 0.5, 25) и выбираем показ «Ускорение по X».



Откроем график двойным нажатием на него. В «Параметры рисунка» установим границы диапазона.



Получаем следующий результат ускорения по X для центрального узла.



Сохраним полученный результат нажав на «Экспорт».

Динамическая реакция (перемещения) ✕

Номер узла
☒ Узлы 1642 ▼
☐ Мод. коэф.
☐ Перекосы 1 ▼
☐ Польз. величина норм., м 1 OK

Показать
☐ Перемещение ☒ X ☒ абсолютное
☐ Скорость ☐ Y ☐ относительное
☒ Ускорение ☐ Z

С учетом демпфирования ▼

X1642'', m/s^2 Max=0.9828

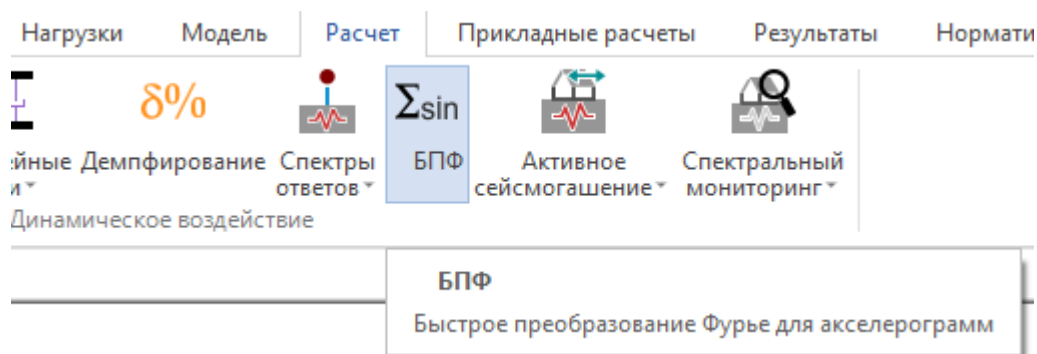
Min=-0.8913

Воздействие Таблица... OK
 Усилия Экспорт Помощь
 Связи Анимация

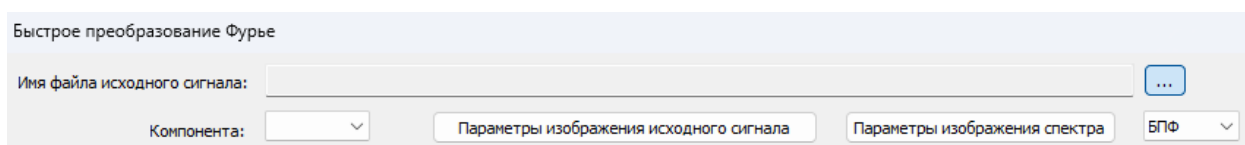
Экспорт ✕

Вывод ускорений по осям : OK
☒ x ☐ y ☐ z Отменить

После сохранения переходим на вкладку «Расчет» и выбираем «БПФ (Быстрое преобразование Фурье)».



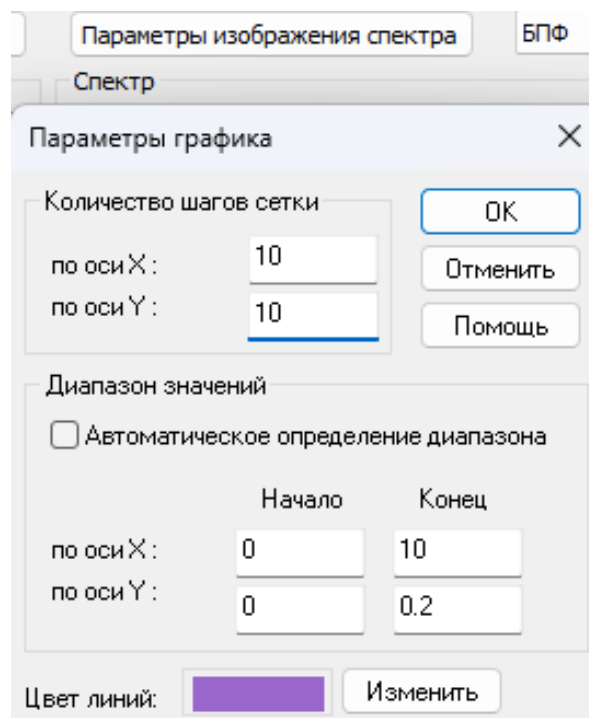
Для выбора исходного файла нажимаем на «...».



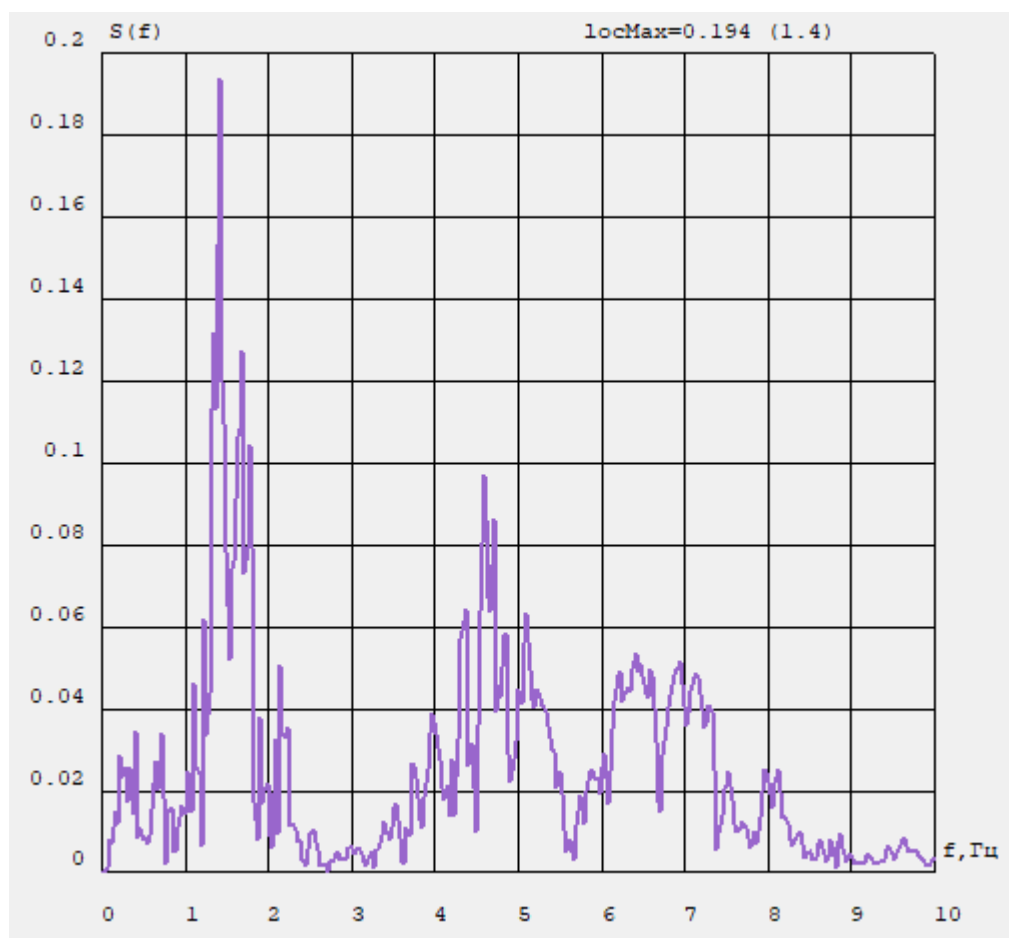
И выбираем сохраненный результат для центрального узла.



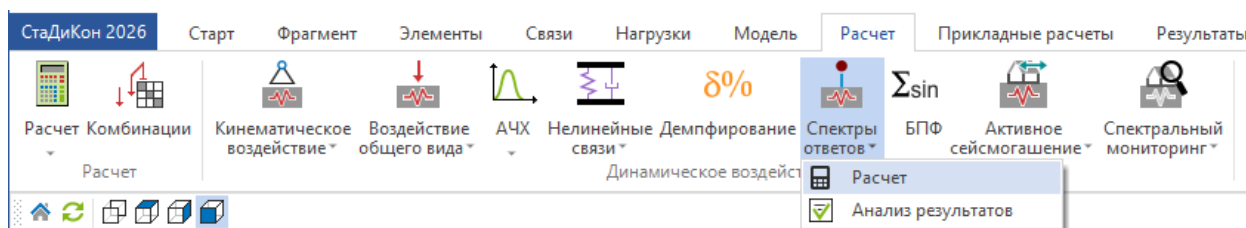
Далее нажав на «Параметры изображения спектра», изменим диапазон и число шагов сетки.



Получаем следующий спектр Фурье.



Перейдем к спектрам ответов. Для этого на вкладке «**Расчет**» выбираем «**Спектры ответов**» - «*Расчет*».



Отмечаем центральный узел и задаем следующие параметры. Нажимаем «*Расчет*».

Выбираем «Свободные колебания с демпфированием».

Выбор типа результатов

Какие результаты использовать для расчета на динамическое воздействие?

Свободные колебания с демпфированием

Примечание. Для расчета методом разложения по формам можно использовать формы свободных колебаний и формы колебаний деформированной системы, полученные без учета демпфирования.

Для расчета методом прямого интегрирования можно использовать матрицы, сохраненные при расчете свободных колебаний или колебаний деформированной системы как с учетом, так и без учета демпфирования

ОК Отмена

В следующем окне оставляем все как было задано ранее и нажимаем «Реакция».

Динамическое воздействие

☒ Воздействие

of_linear_soil-2018\WORDDOC\VALLEY.dn1

Амплитуда 1

Угол с ОХ в гориз. пл. (гр.) 0

Угол с гориз. пл. (гр.) 0

☐ Воздействие (вращательное)

Центр, м: X = 0 Y = 0 Z = 0

Амплитуда 1

Угол с ОХ в гориз. пл. (гр.) 0

Угол с гориз. пл. (гр.) 0

$u'(t)$

t

Показать компоненты ☒ u ☐ v ☐ w

☐ u(r) ☐ v(r) ☐ w(r)

Демпфирование:

>>

☒ по Фойхту

Ф.	%
1	8
2	8
3	8
4	8
5	8

Количество учитываемых форм: 12

Количество форм Ритца: 12

Интервал интегрирования: 30

Шаг выдачи (с): 0.001

Учет нелинейных связей ☐

Учет недиаг. масс ☒

Учет сил от демпфирования ☒

Матрицу демпфирования взять из расчета свободных колебаний с демпфированием ☐

Вычислять факторы участия ☐

Обратные связи и спектральный мониторинг

☒ не учитывать

☐ учитывать обратные связи

☐ учитывать обратные связи (ЛМН)

☐ учитывать результаты спектрального мониторинга

Начальные условия

☐ определять по статической деформации

Смещение: 0 Номер комбинации

Скорость: 0 Коэффициент

Реакция

Отменить

Помощь

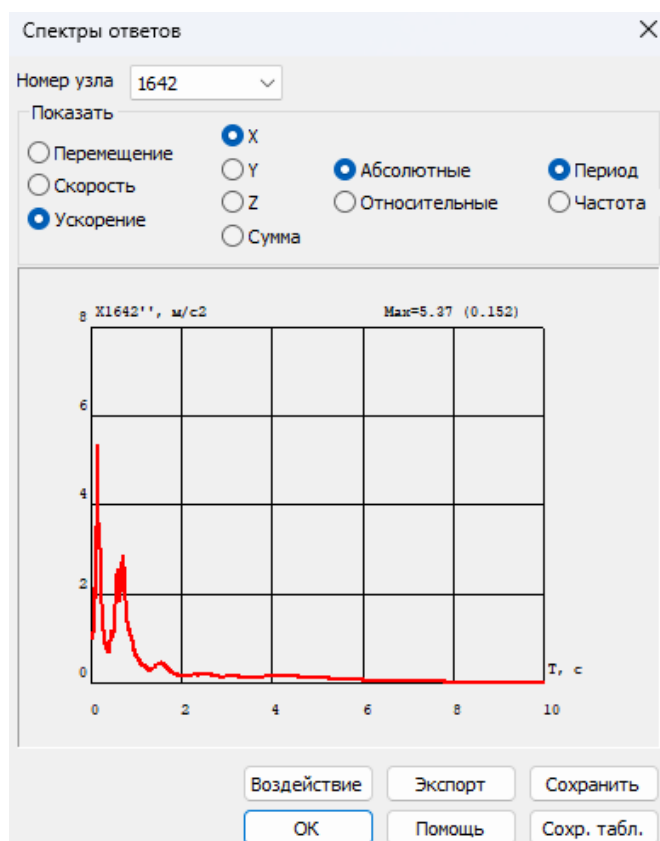
Загрузить имеющиеся ☐

из другого проекта

Сохранить матрицу

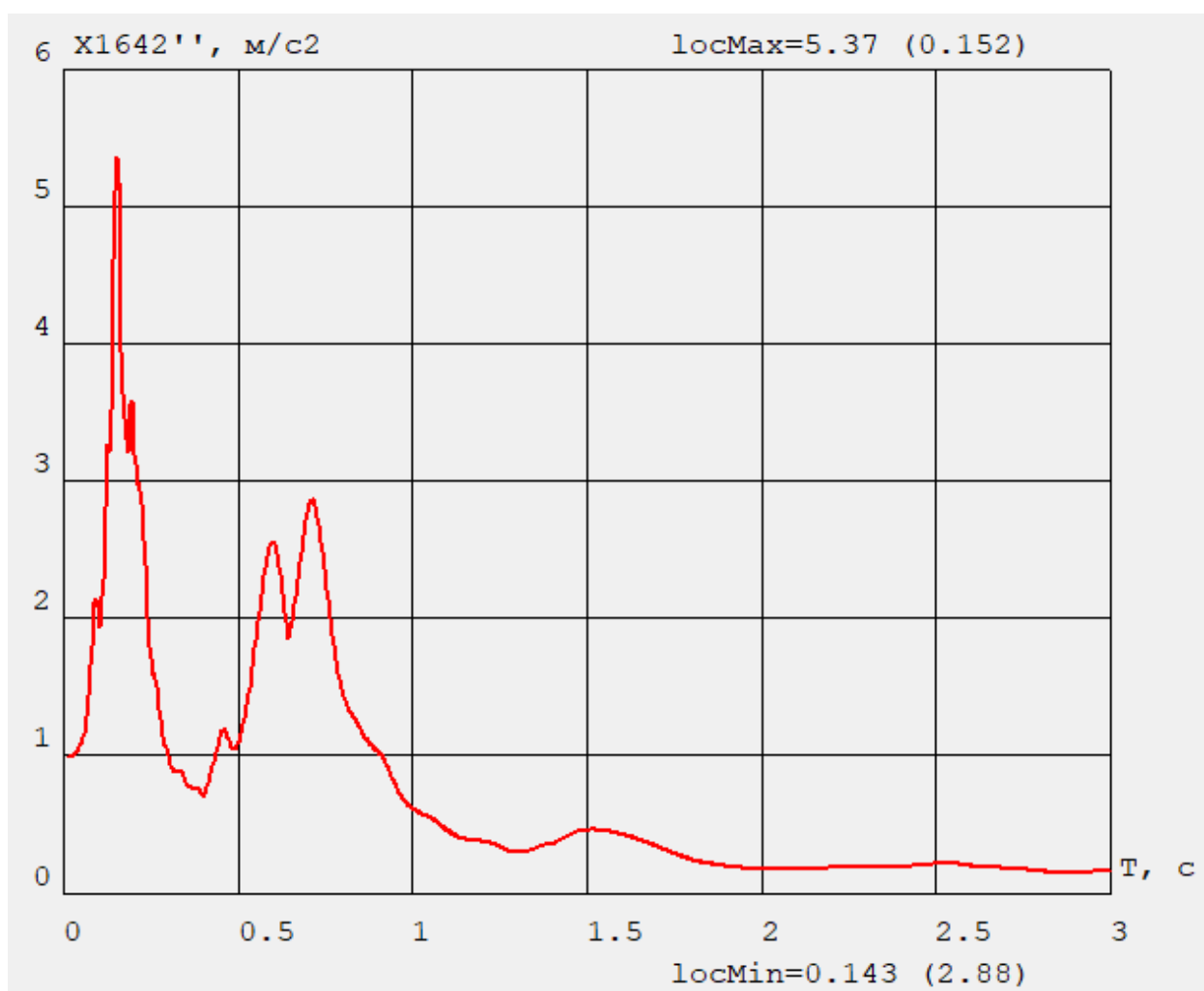
Непропорц.

Переключаем на показ абсолютного ускорения по X.

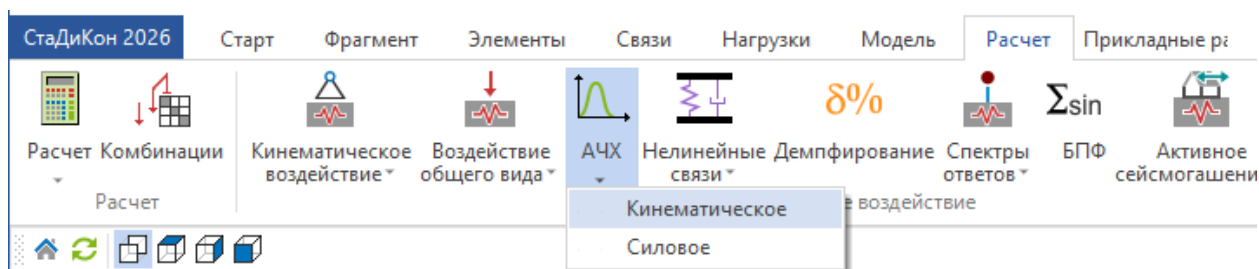


Двойным нажатием открываем график. Нажав на «*Параметры*», отредактируем отображение графика.

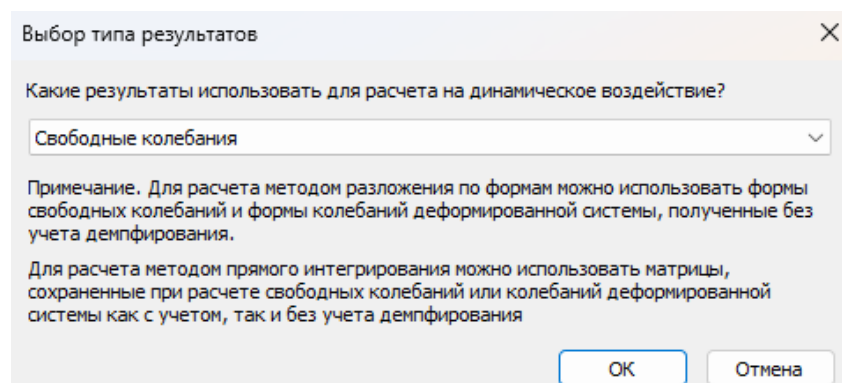
Получаем следующий результат для спектра ответа.



Далее перейдем к расчету амплитудно-частотных характеристик. На вкладке «Расчет» выбираем «АЧХ» - «Кинематическое».



В качестве типа результатов выберем «Свободные колебания».



Отмечаем для расчета центральный узел и задаем следующие параметры. После нажимаем «*Расчет*».

Параметры расчета

Узлы

Отмечено узлов:

Направление воздействия

Угол с ОХ в гориз. пл. (гр.):

Угол с гориз. пл. (гр.):

Количество учитываемых форм:

Формы Ритца

☐ Исп существующие

☐ статические

☒ динамические

☐ Построить новые

☒ Период ☐ Частота

Период (с):

☒ интервал значений:

от до

шаг выдачи

☐ из файла

Параметры интегрирования

Количество периодов:

Количество точек на период:

Обработку начинать с периода:

Демпфирование:

Общий коэф.:

☒ по Фойхту >>

☐ Непропорц.

☐ Прямое интегрирование

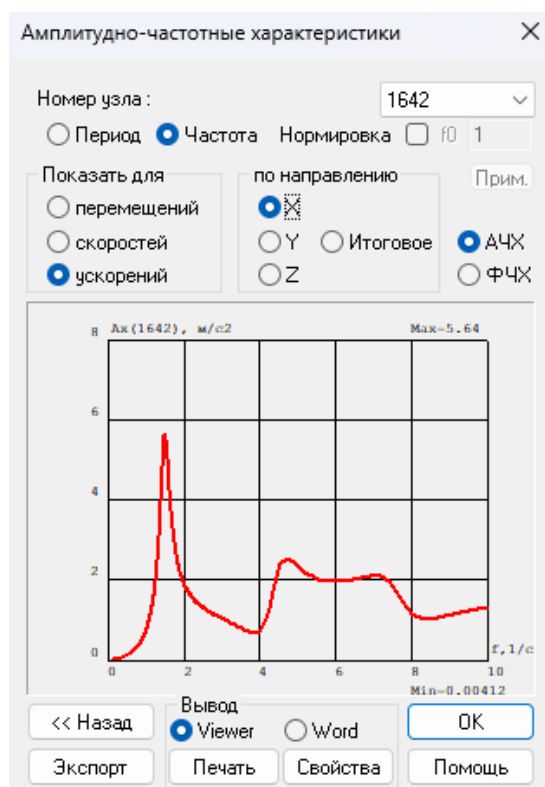
☐ ПФ (передаточная функция)

☐ ПФ - точный метод

☒ Учет недиаг. масс

Ф.	%
1	8
2	8
3	8
4	8
5	8

После расчета выбираем следующие результаты.



Двойным нажатием отрываем график. Получаем следующий результат.

