

Знакомство с МКЭ подсистемой

СтадиКон (СДК)

**Пример расчета консольной
колонны по диаграмме несущей
способности
(первая редакция)**



Содержание

1. Описание задачи.....	3
1.1. Геометрия.....	3
1.2. Нагрузка.....	4
1.2.1. Первый случай нагружения.....	4
1.2.2. Второй случай нагружения.....	5
1.2.3. Третий случай нагружения.....	6
1.2.4. Четвертый случай нагружения.....	7
1.3. Диаграмма несущей способности.....	8
1.4. Расчетные схемы колонны	8
2. Конечно-элементный FEA-проект	9
2.1. Геометрия.....	9
2.2. Нагружения.....	11
2.3. Установка связей.....	13
2.4. Задание материала «3D Балка» и сечения	13
2.5. Пробный статический расчет.....	16
2.6. Создание многомерного шарнира и диаграммы несущей способности.....	17
2.7. Выполнение динамического расчета	26
2.8. Выполнение статического расчета.....	36
2.9. Выполнение динамического расчета с материалом «Армированная балка»	38
2.10.Выполнение статического расчета с материалом «Армированная балка».....	43
2.11.Выполнение расчетов для случаев нагружений 2-4	43
3. Сравнение результатов расчетов.....	46
3.1. Первый случай нагружения	46
3.2. Второй случай нагружения	48
3.3. Третий случай нагружения.....	50
3.4. Четвертый случай нагружения.....	52

1. Описание задачи

В данном примере показано, как провести динамический и статический расчеты консольной колонны по диаграмме несущей способности. Расчеты выполняются как по предельным поверхностям поведения элементов для многомерных шарниров, так и с учетом физически нелинейных свойств материала армированной балки.

1.1. Геометрия

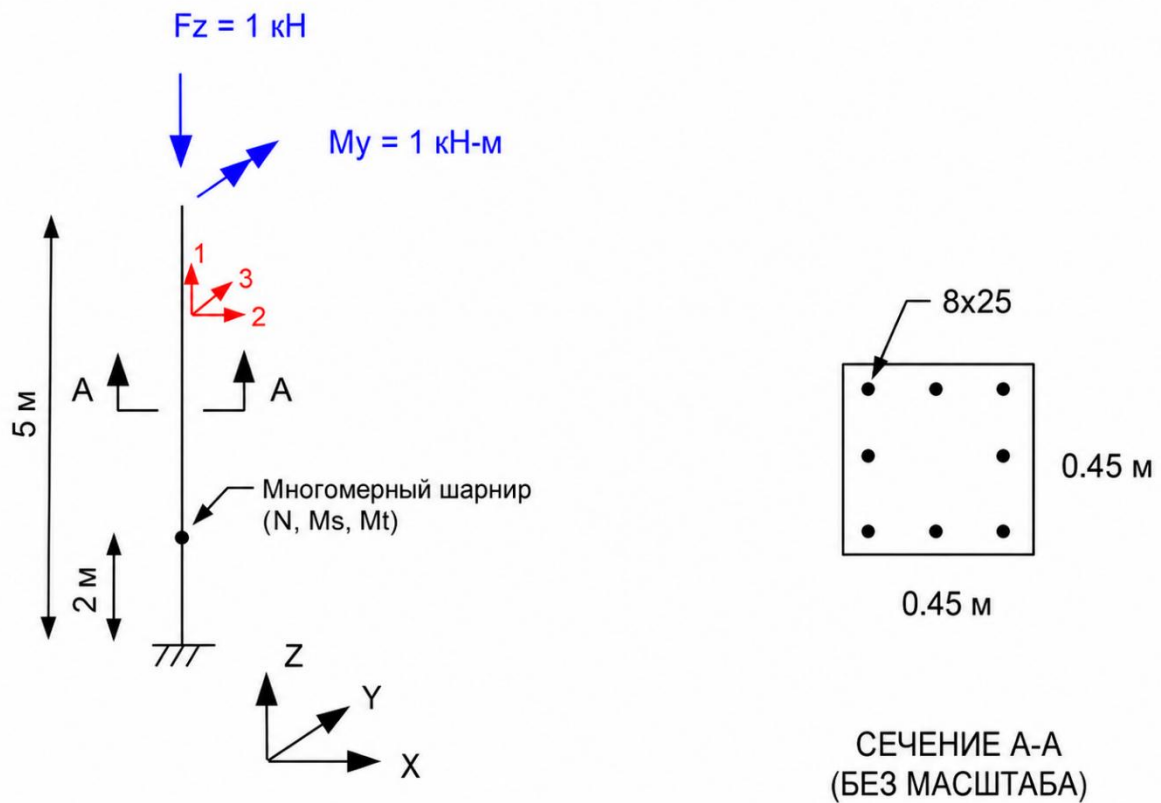


Рис. 1.1.1 – Схема колонны и армирования.

1.2. Нагрузка

Нагрузка задается в виде нагружений изменяющихся во времени. Рассматриваются 4 случая изменения нагрузки во времени.

1.2.1. Первый случай нагружения

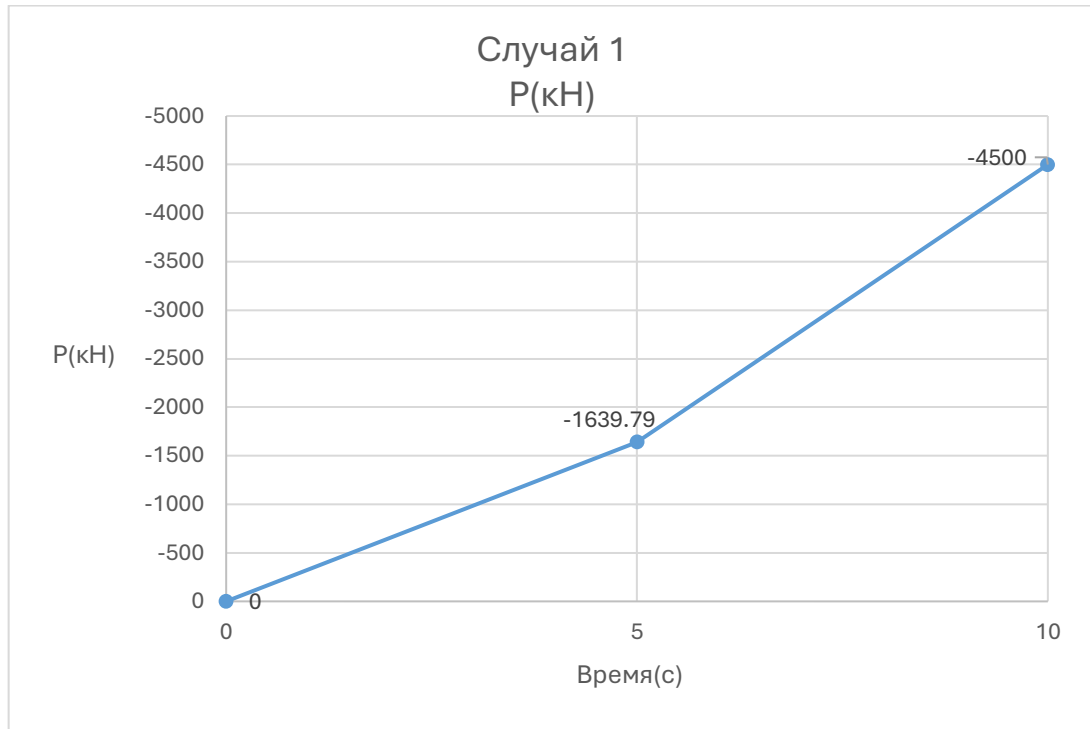


Рис. 1.2.1.1 – График воздействия продольной силы (см. рис 1.1.1).

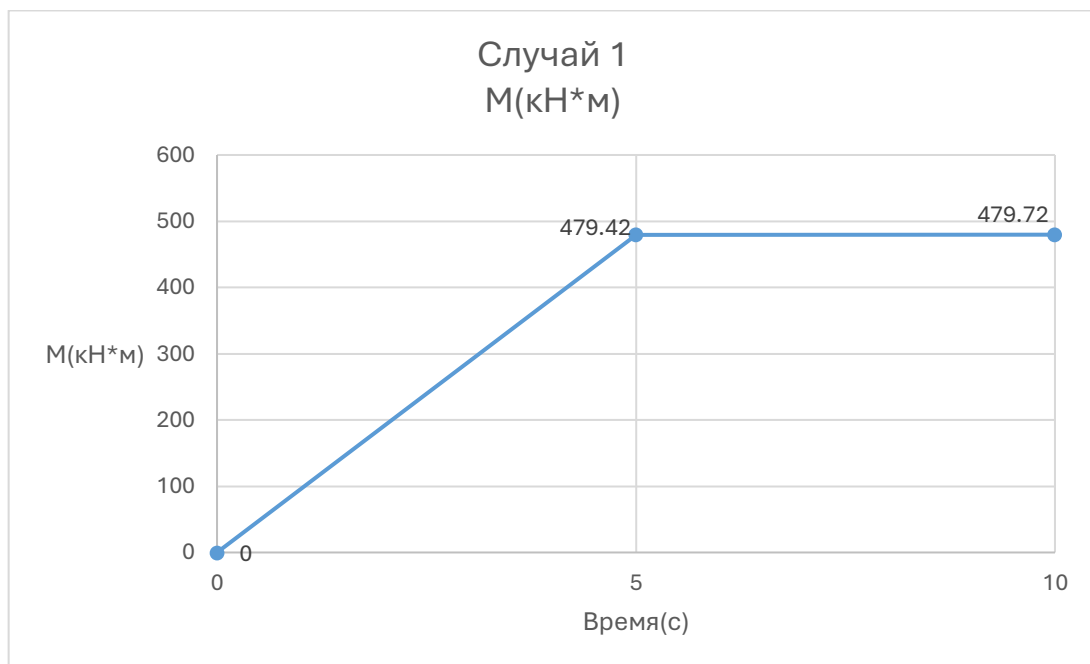


Рис. 1.2.1.2 – График воздействия изгибающего момента (см. рис 1.1.1).

1.2.2. Второй случай нагружения

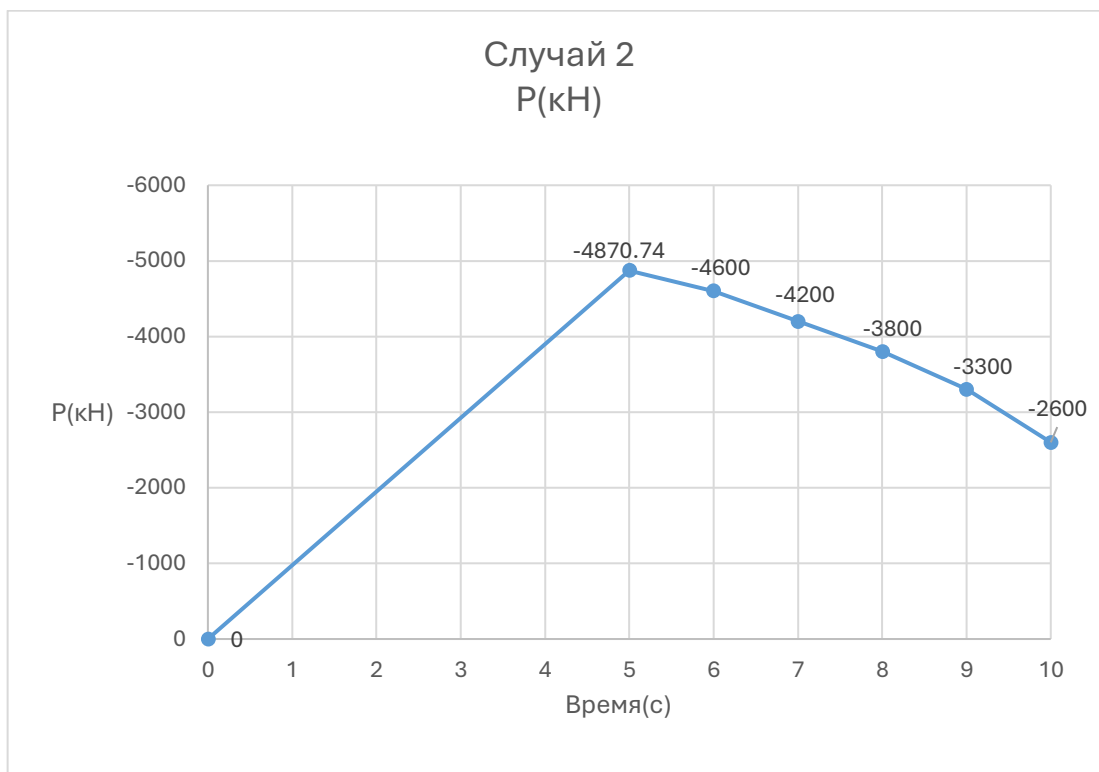


Рис. 1.2.2.1 – График воздействия продольной силы (см. рис 1.1.1).

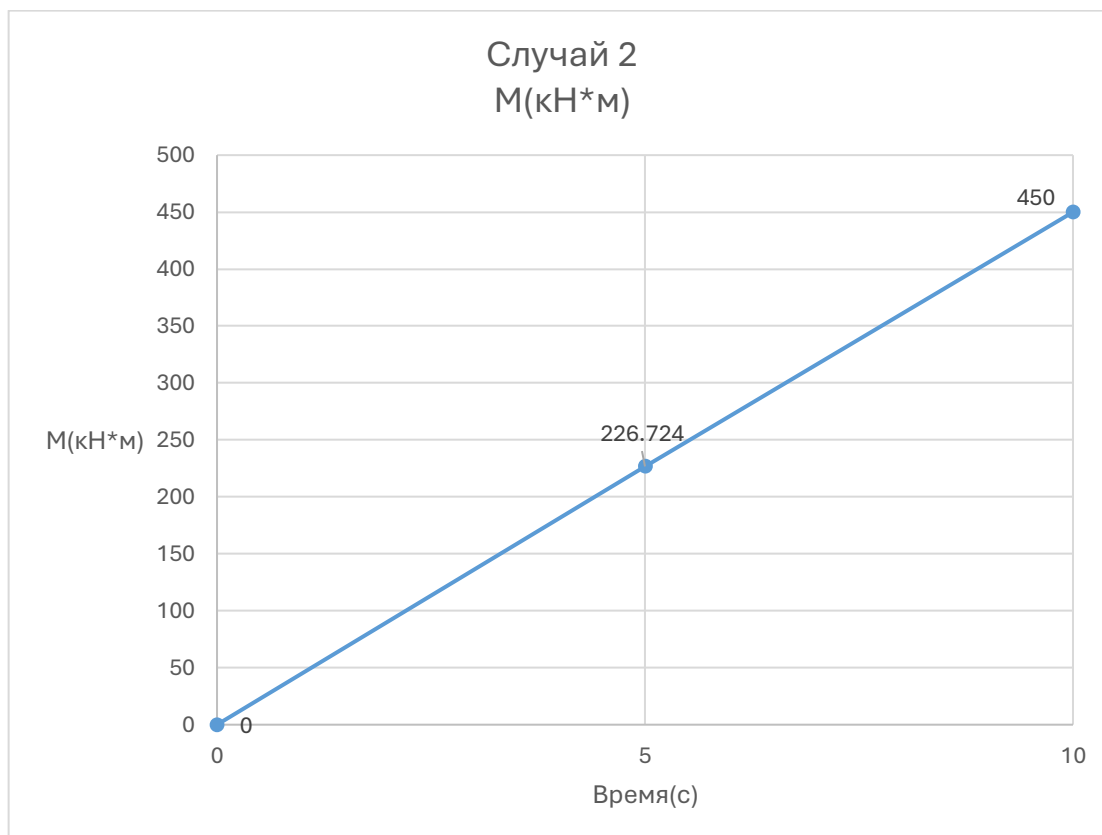


Рис. 1.2.2.2 – График воздействия изгибающего момента (см. рис 1.1.1).

1.2.3. Третий случай нагружения

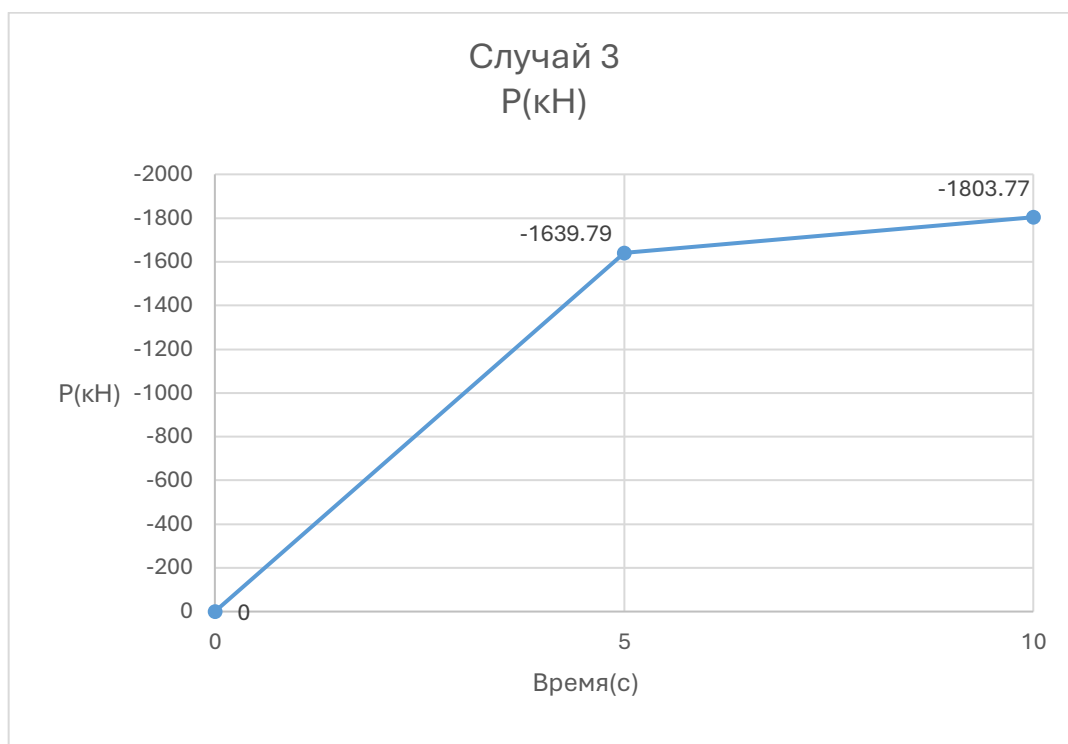


Рис. 1.2.3.1 – График воздействия продольной силы (см. рис 1.1.1).

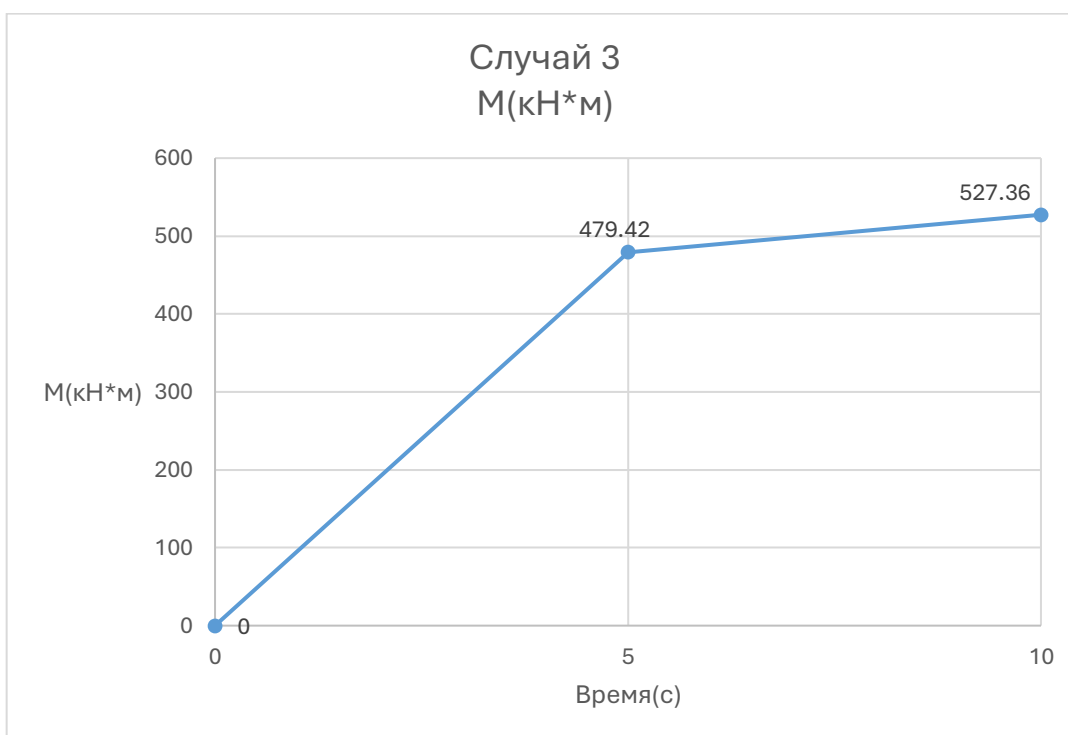


Рис. 1.2.3.2 – График воздействия изгибающего момента (см. рис 1.1.1).

1.2.4. Четвертый случай нагружения

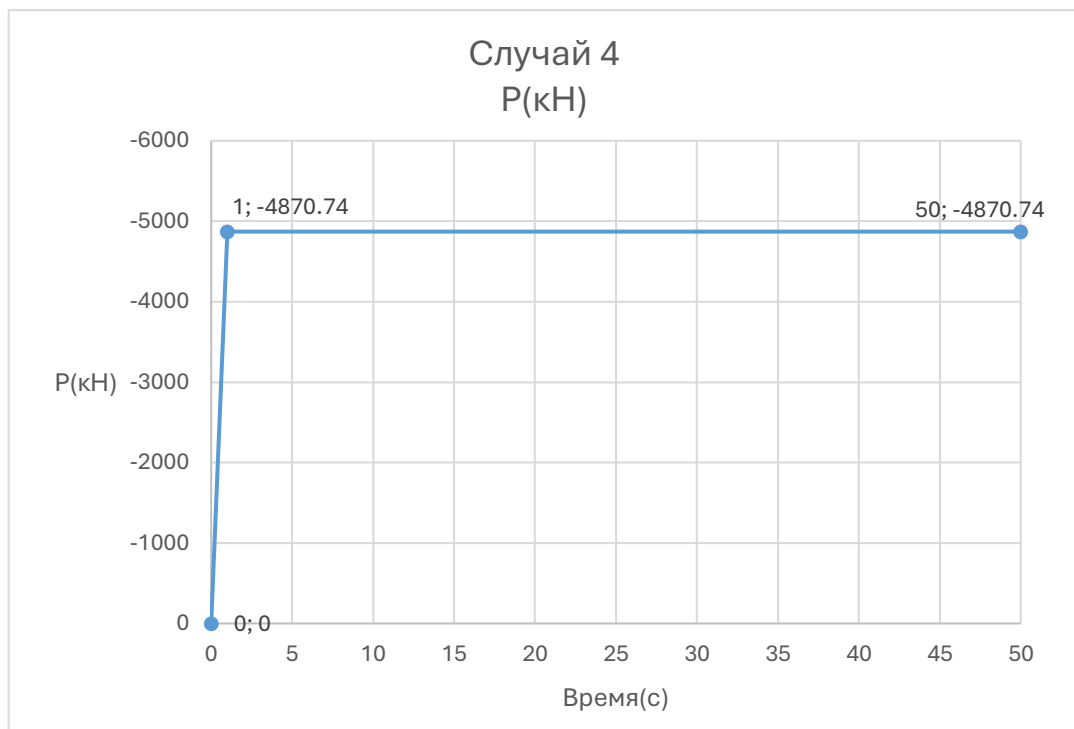


Рис. 1.2.4.1 – График воздействия продольной силы (см. рис 1.1.1).

Моментная нагрузка задается с помощью синусоидальной функции времени с 5 циклами, каждый из которых длится 10 секунд.

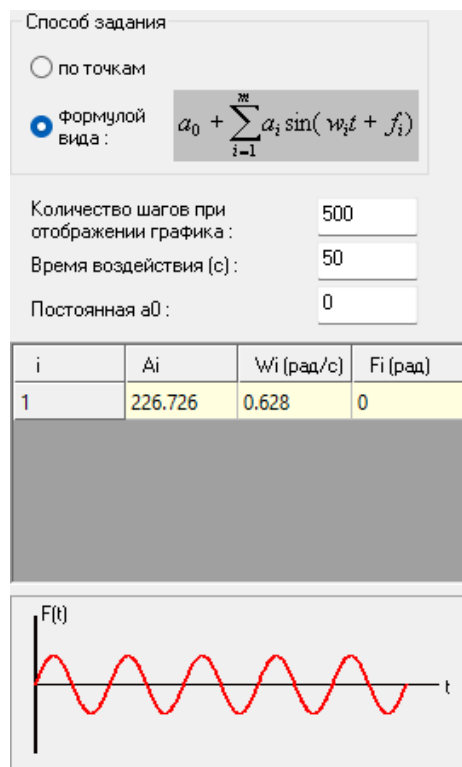
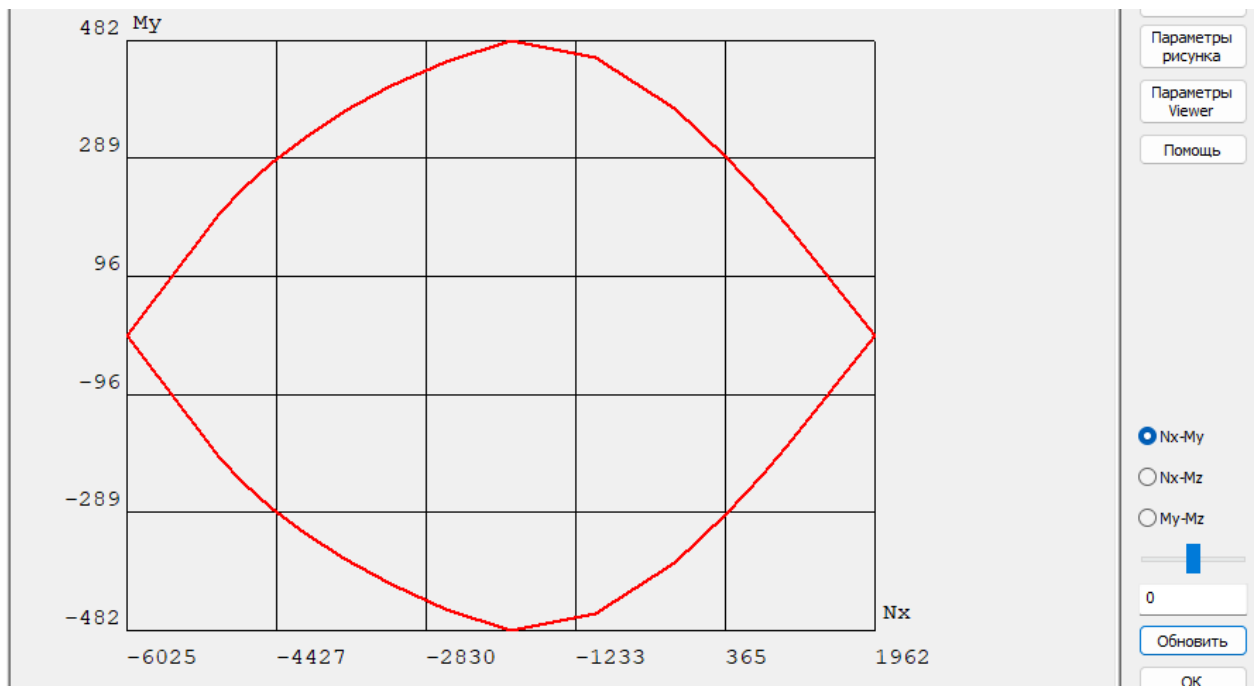


Рис. 1.2.4.2 – Воздействие изгибающего момента (см. рис 1.1.1).

1.3. Диаграмма несущей способности

Ниже приведена рассматриваемая диаграмма несущей способности для сечения, изображенного на рис. 1.1.1.



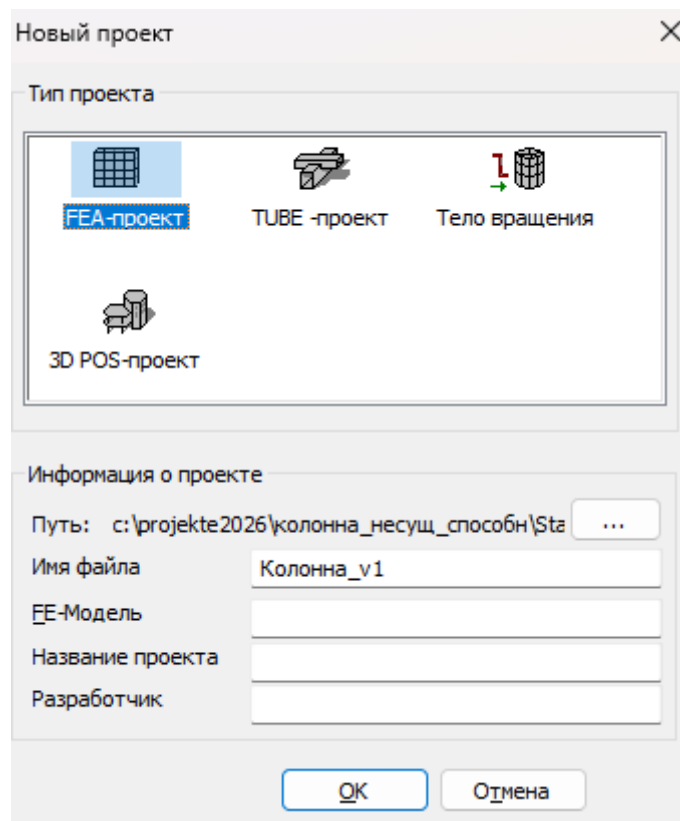
1.4. Расчетные схемы колонны

Каждый случай нагружения рассмотрен в отдельной расчетной схеме. Все расчеты выполнялись по двум различным материалам: «3D балка» и «Армированная балка». Для каждого материала и случая нагружения выполнялись статический и динамический расчеты.

Рис. 1.4.1 – Характеристики рассматриваемых материалов.

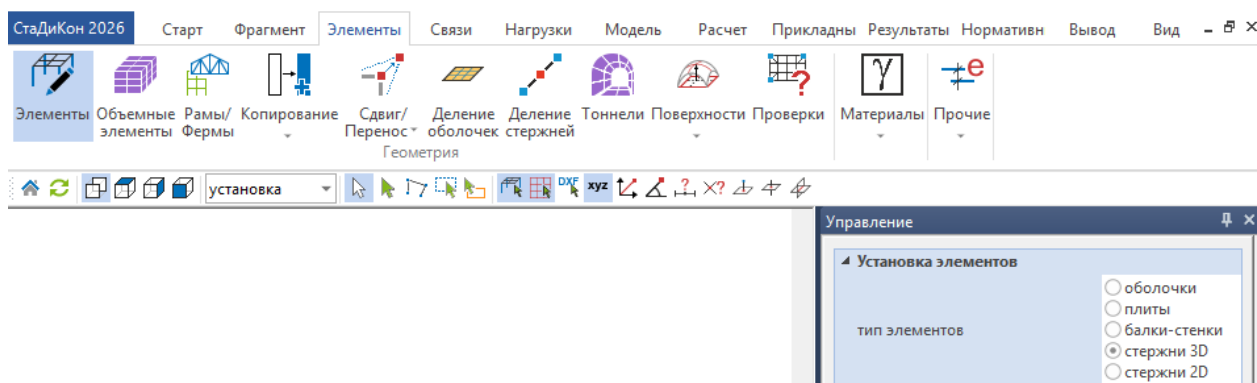
2. Конечно-элементный FEA-проект

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

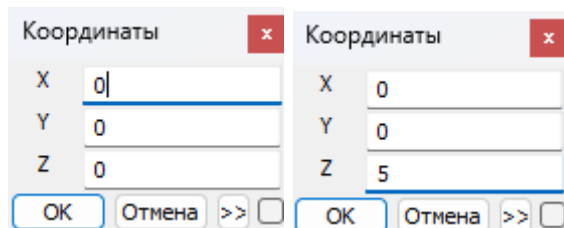


2.1. Геометрия

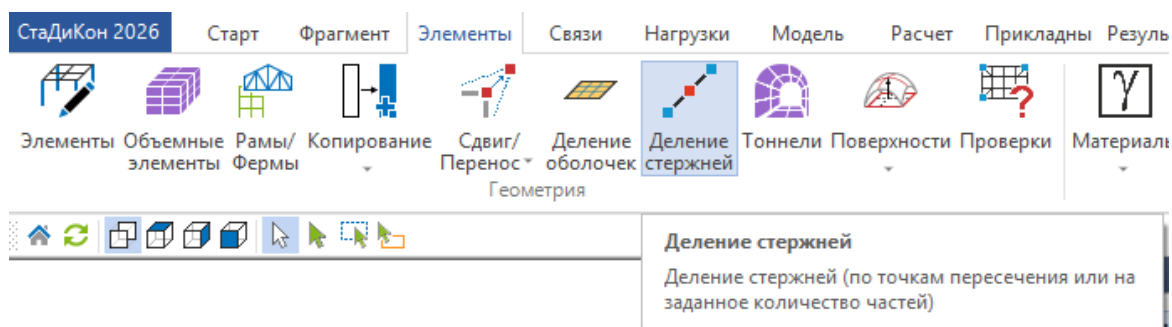
На вкладке «Элементы» выбираем «Элементы» - «установка» - тип элементов «стержни 3D».



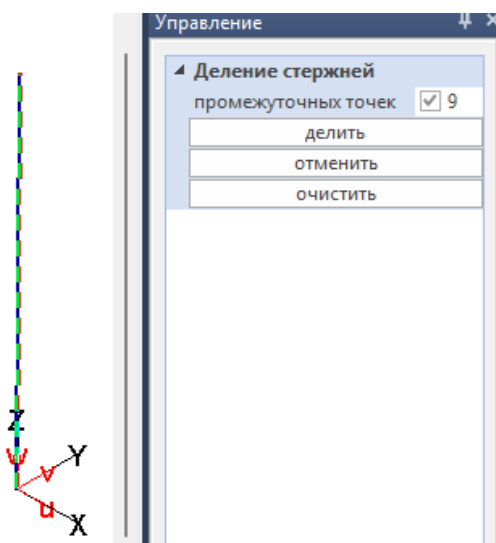
Задаем стержень по следующим координатам двух точек.



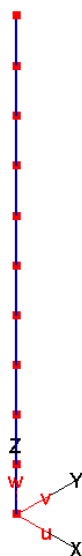
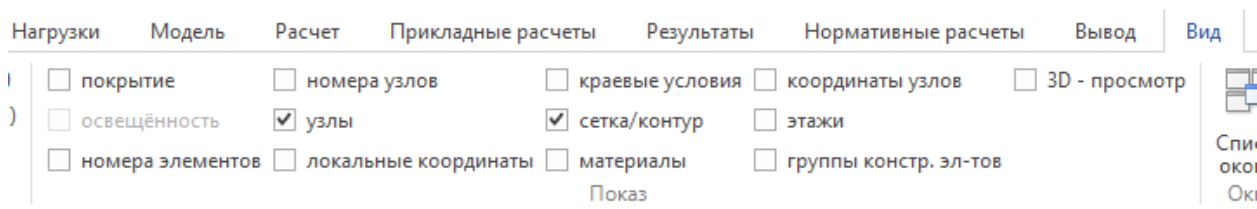
После переходим к пункту «Деление стержней».



Устанавливаем 9 промежуточных точек, выбираем стержень нажатием ЛКМ и нажимаем «*делить*».

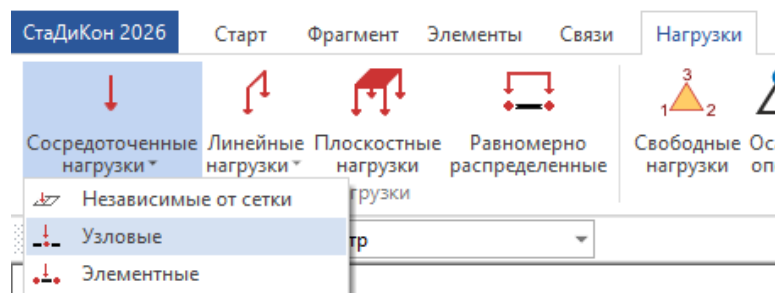


На вкладке «Вид» можно включить отображение узлов для проверки разбиения.

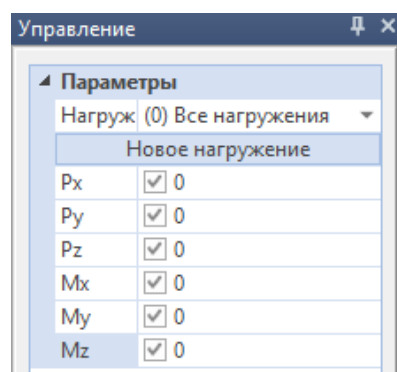


2.2. Нагрузки

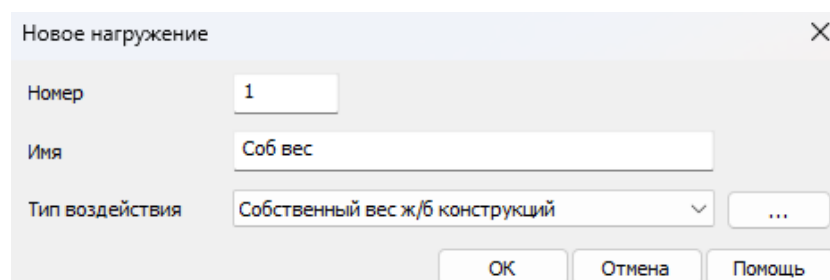
Переходим на «Нагрузки» - «Сосредоточенные нагрузки» - «узловые».



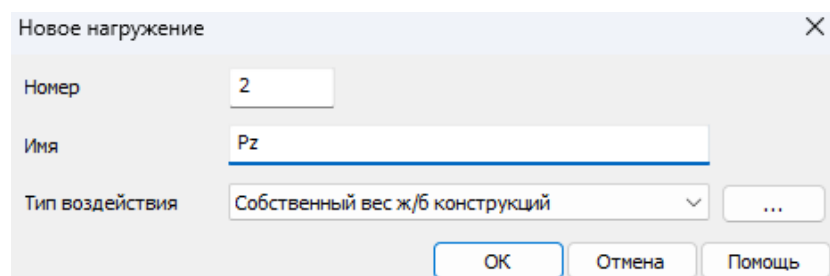
Выбираем «Новое нагружение».



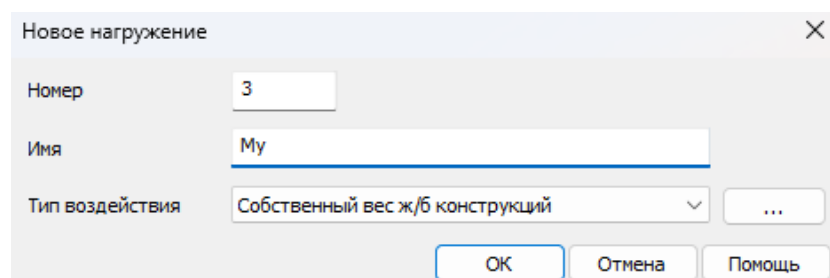
Первое нагружение оставляем под собственный вес.



Повторно создаем второе нагружение для продольной силы.

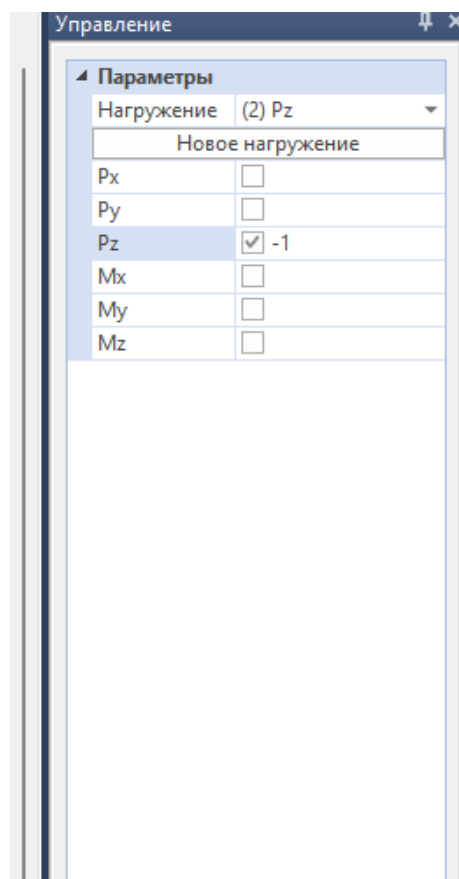
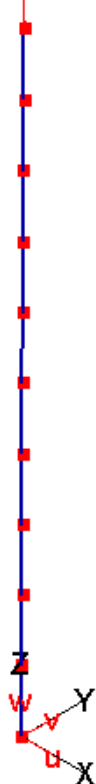


И аналогично третье нагружение для момента.



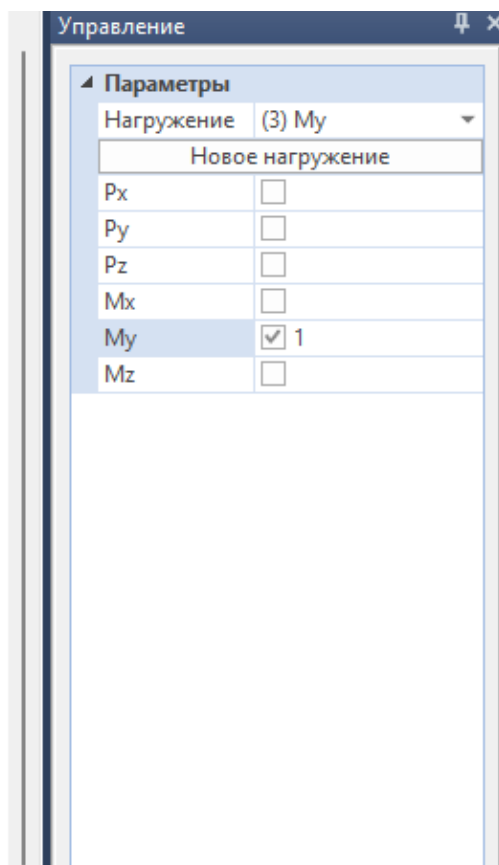
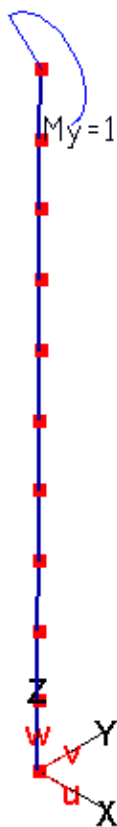
Выбираем второе нагружение и устанавливаем единичную продольную силу.

$P_z = -1$



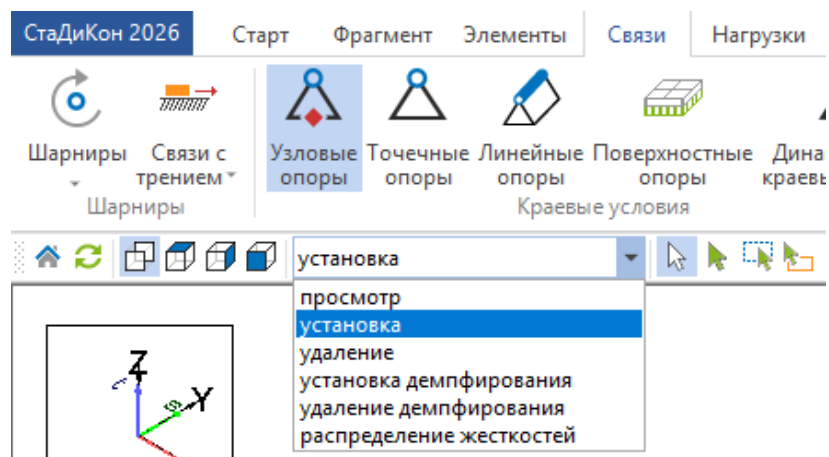
После выбираем третье нагружение и задаем единичный момент.

$M_y = 1$

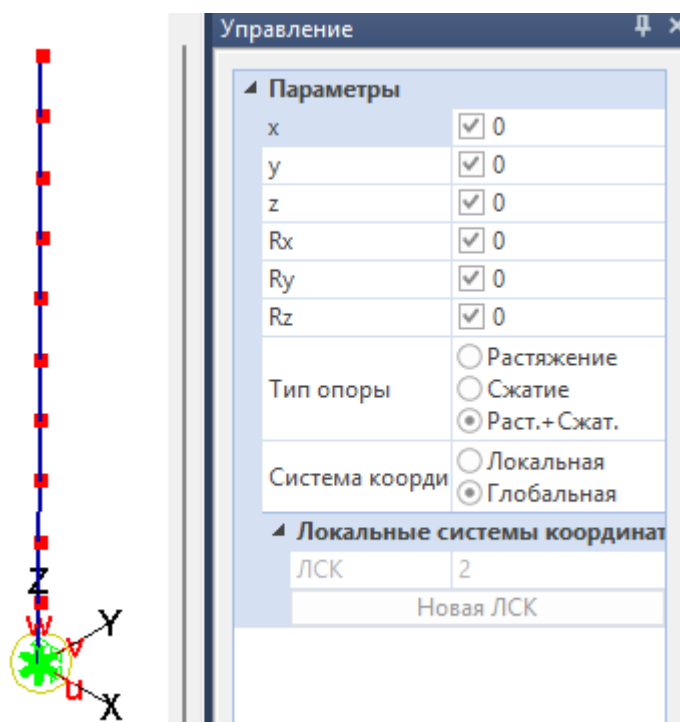


2.3. Установка связей

Переходим на вкладку «Связи», выбираем «Узловые опоры» - «установка».

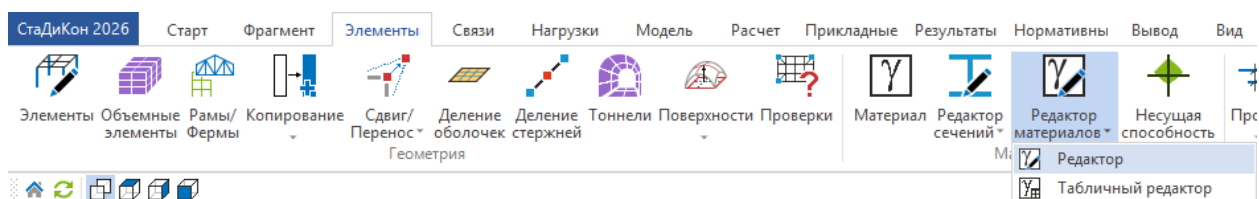


Устанавливаем жесткую заделку на нижний узел.



2.4. Задание материала «3D Балка» и сечения

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

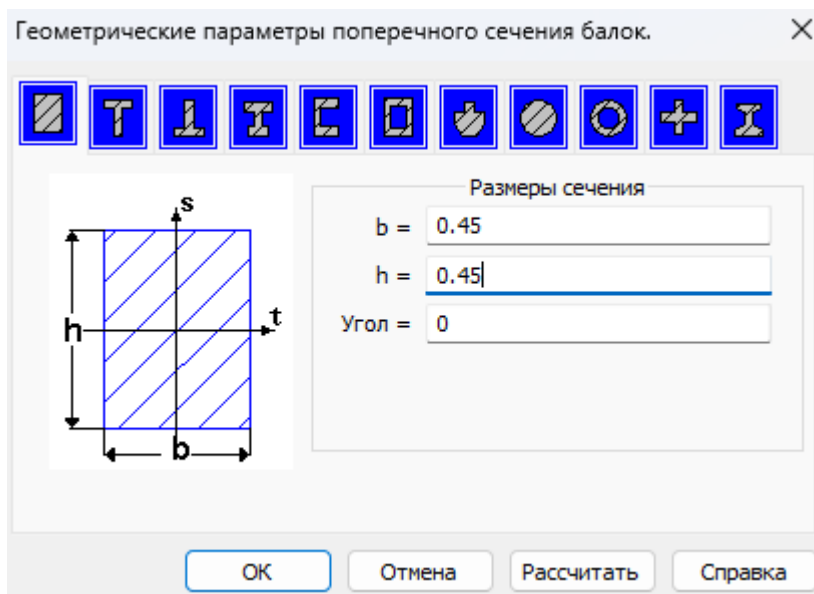


Создаем материал нажав на «Новый» и закрываем нажатием «OK».

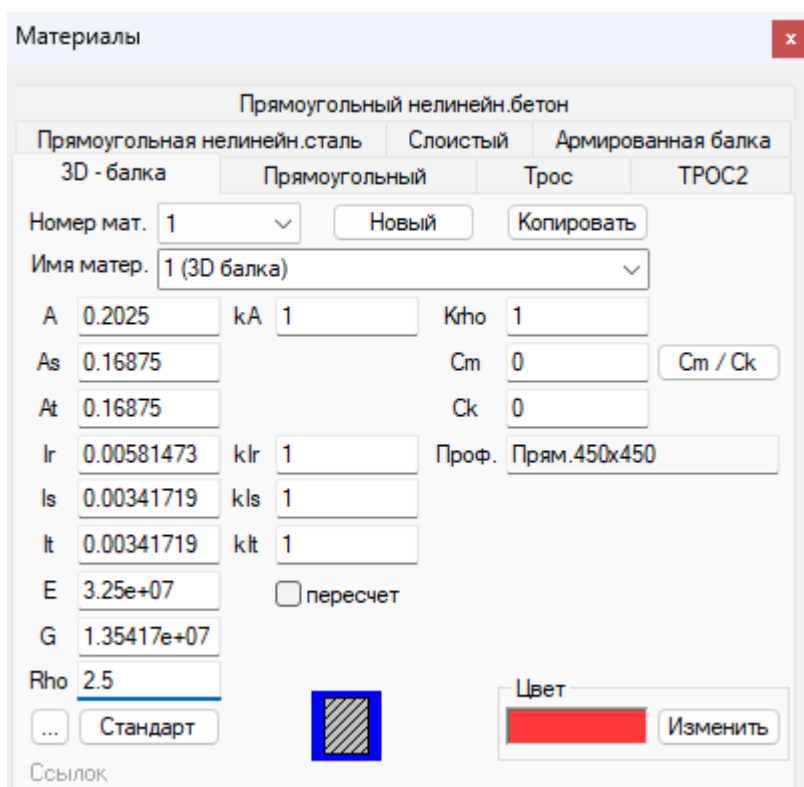
Далее выбираем «Редактор сечений» - «Стандартные сечения».

Устанавливаем «Бетон» и нажимаем «OK».

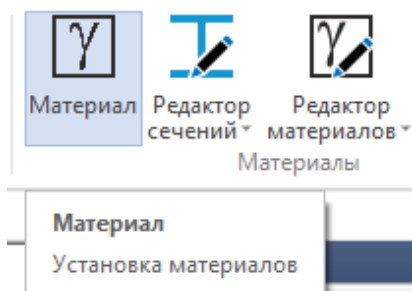
Задаем необходимое сечение и закрываем нажатием «OK».



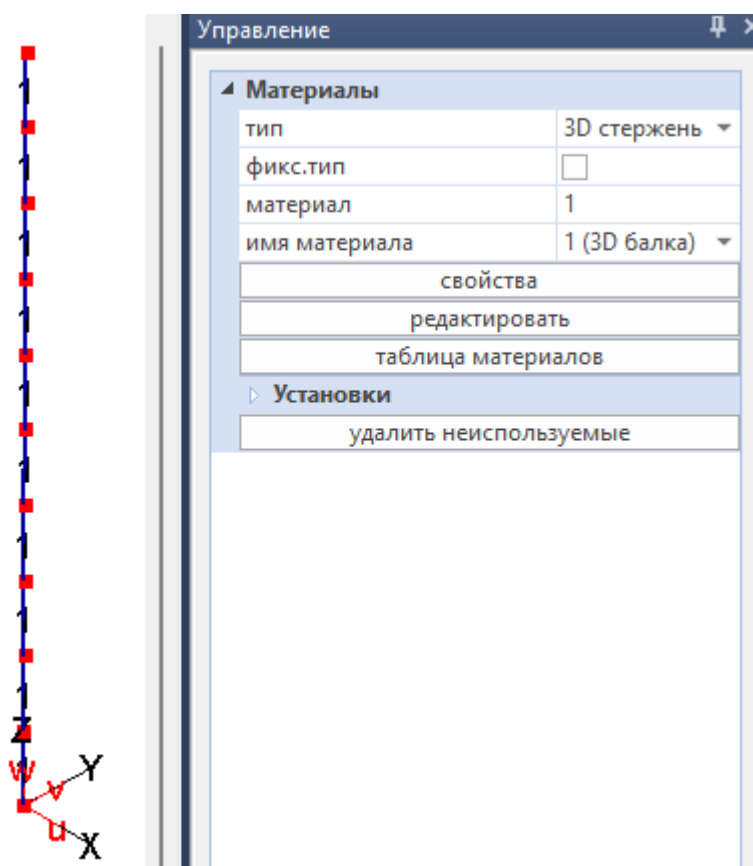
Далее возвращаемся к редактору материала и правим значения модуля упругости, модуля сдвига и плотности.



После переходим на «Материал».

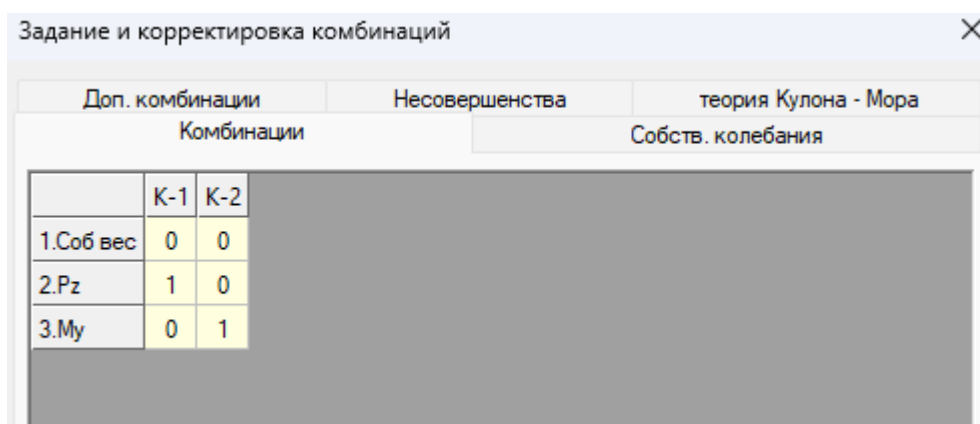


И задаем созданный материал на все элементы колонны.

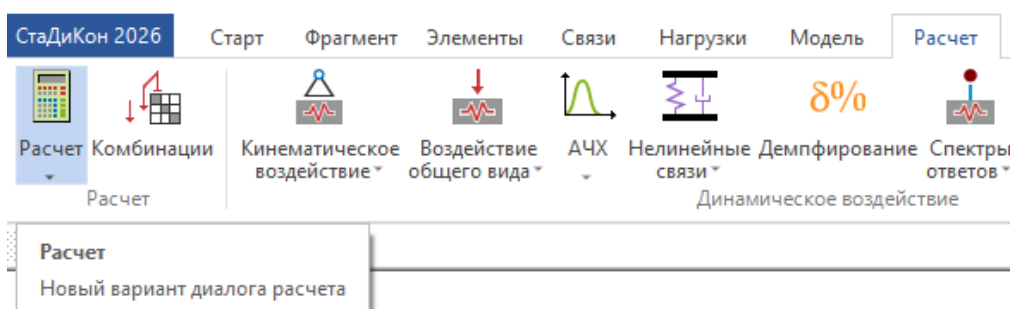


2.5. Пробный статический расчет

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



Переходим на «Расчет».



Отключим «Вывод невязок» за ненадобностью и включим «Вывод усилий в стержнях».

Тип расчёта: Статический расчёт

Вывод результатов	
Вывод напряжений	☒
Вывод невязок	☐
Вывод реакций	☒
Вывод усилий в стержнях	☒
Сохранение матриц масс, демпфирования и жесткости	☐
Вывод зависимости перемещений и усилий от времени	☐
Слоистое основание	
Вспомогательная модель	Не выводить
Напряжения в объемном основании	☐
Дополнительные результаты	
Вычисление упругой и геометрической энергии	☐
Оценка погрешности	Без оценки
Узлы для вывода перемещений	0

Запускаем расчет.

2.6. Создание многомерного шарнира и диаграммы несущей способности

Переходим на «Нормативные расчеты» - «Стержни» - «Задание групп».

СтаДиКон 2026 | Старт | Фрагмент | Элементы | Связи | Нагрузки | Модель | Расчет | Прикладные расчеты | Результаты | Нормативные расчеты

PCU СНиП | PCU Eurocode (комбинации) | PCU (стержни) | Обобщенные усилия | Результаты | PCU (реакции) | PCU (реакции) | Стержни | Плиты, стены, оболочки (конечные элементы) | Оболочки (конечные элементы) | Сталь | Конструктивные элементы (кирпич/дерево) | Вариация моделей | Анализ

Задание групп | Результаты армирования | Результаты проверки | Управление

Нажатием ПКМ по «Все группы» выбираем «Создать группу».

Конструктивные элементы

..... i Все группы

- Создать группу
- Удалить все
- Задать по позициям
- Задать по позициям (с учётом этажей)
- Взять арматуру для проверки из результатов
- Свойства групп
- Печать исх. данных групп
- Импорт

Новая группа

Имя группы : Балки 1

Тип элементов Ж/б балки

ОК Отменить

Нажатием на группу выбираем «Создать элемент».

Конструктивные элементы

..... i Все группы

..... e Балки 1

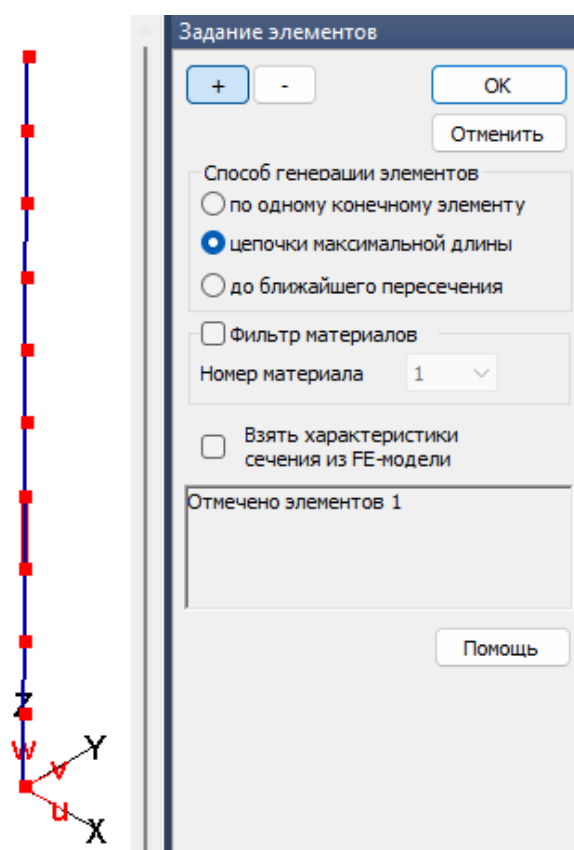
- Свойства
- Переименовать
- Удалить
- Создать элемент
- Разделить группу
- Перенести элементы
- Создать элемент (оболочки)
- Взять арматуру для проверки из результатов
- Печать исх. данных

Новый элемент

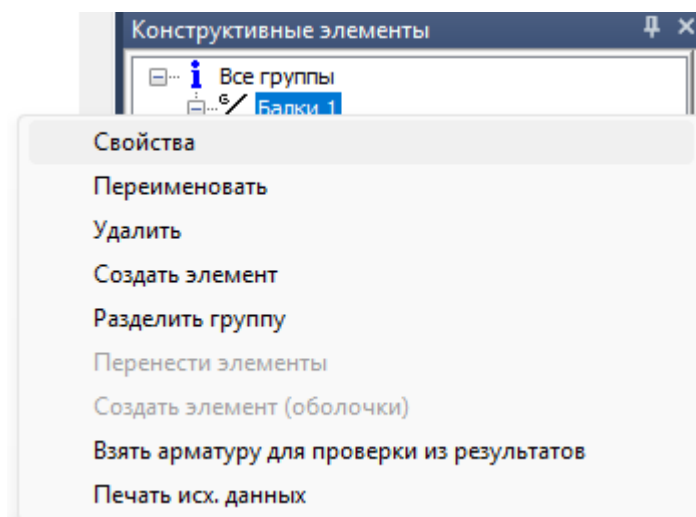
Имя элемента : Балки1

ОК Отменить

Выберем элемент с координатами узлов по Z «1.5 – 2.0». После выбора нажимаем «OK».



Выбираем «Свойства».



В пункте «Сечение» задаем параметры сечения.

Балки 1 - Ж/б балка

Сечение Арматура Дополнительные параметры

Материал Унификация

Размеры сечения

Стандартное Полигон

Тип: прямоугольник

Размеры сечения (см)

b = 45

h = 45

bf1 = 0

hf1 = 0

bf2 = 0

hf2 = 0

Из FE-модели

OK Отмена Применить Справка

В пункте «Арматура» изменим тип на «распределенная» и значения защитных слоев.

Балки 1 - Ж/б балка

Сечение Арматура Дополнительные параметры

Материал Унификация

Стандартное

Тип: распределенная

Схема: As1 = As2 = As3 = As4

Для 2 п.с.

hв (см): 4.25 4

hн (см): 4.25 4

hб (см): 4.25 4

☐ Использовать различные значения защитных слоев для расчетов по первому и второму пред. состоянию

☐ Учитывать профнастил по нижнему краю

Площадь (см²): 0

Предел текучести (МПа): 210

☐ Задавать при расчете на трещиностойкость шаг продольной арматуры равным [мм]: 200

OK Отменить Помощь

В пункте «Материал» изменим класс бетона на «В 30 (тяжелый)».

Балки 1 - Ж/б балка

Сечение Арматура Дополнительные параметры

Материал Унификация

Параметры материала для СП 63.13330.2018

Бетон

Класс: В 30 (тяжелый)

Коэффициент условий работы Gb (без учета Gb1): 1

Расчет по прочности по предельным усилиям ☐

Влажность: 40 - 75 %

Арматура

Продольная: A500

Поперечная: A240

Коэффициент условий работы Gs: 1

Расчет на трещиностойкость

☒ Из условия обеспечения сохранности арматуры

☐ Из условия ограничения проницаемости конструкции

Учет сейсмики (коэффициенты условий работы)

Бетон (расчет нормальных сечений) Mkrb: 1.2

Арматура (расчет нормальных сечений) Mkrs: 1.2

Бетон (расчет наклонных сечений) Mkrbw: 1

Арматура (расчет наклонных сечений) Mkrsw: 1

☐ Задавать предельную величину раскрытия трещин вручную

Для полного значения нагрузки: 0.4

Для длительного значения нагрузки: 0.3

OK Отменить Помощь

Сохраняем нажатием «OK».

Балки 1 - Ж/б балка

Сечение Арматура Дополнительные параметры

Материал Унификация

Схема армирования

As1 = As2 = As3 = As4

Тип унификации: без унификации

Метод расчета - оптимизация по всем РСУ

Правила учета опор для расчета на поперечную силу и кручение:

OK Отменить Помощь

После изменяем тип расчета на «Проверка прочности».

☐ Показать имена констр. элементов

Нормы СП 63.13330.2018

Тип расчета:

☐ Армирование

☒ Проверка прочности

Параметры расчета

Расчет Помощь

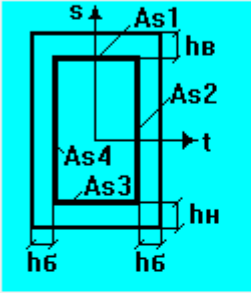
В свойствах в пункте «Арматура» устанавливаем «Площади арматуры».

Балки 1 - Ж/б балка

Сечение Арматура Дополнительные параметры

Материал Унификация

Стандартное



Тип: распределенная

Схема: $As1 = As2 = As3 = As4$

Для 2 п.с.

hв (см): 4.25 4.25

hн (см): 4.25 4.25

hб (см): 4.25 4.25

☐ Использовать различные значения защитных слоев для расчетов по первому и второму пред. состоянию

☐ Учитывать профнастил по нижнему краю

Площадь (см²): 0

Предел текучести (МПа): 210

Площади арматуры (см²)

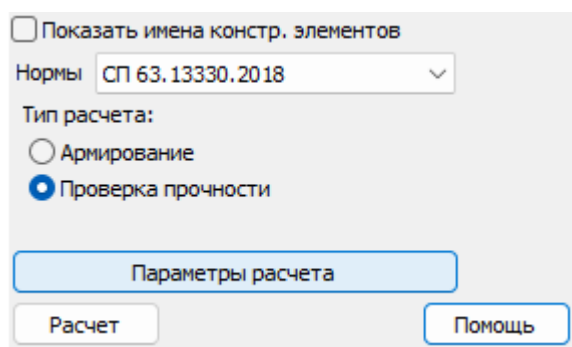
As1: 9.81 As3: 9.81

As2: 9.81 As4: 9.81

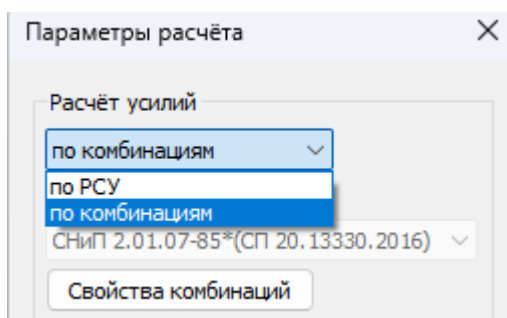
☐ Задавать при расчете на трещиностойкость шаг продольной арматуры равным [мм]: 200

OK Отменить Помощь

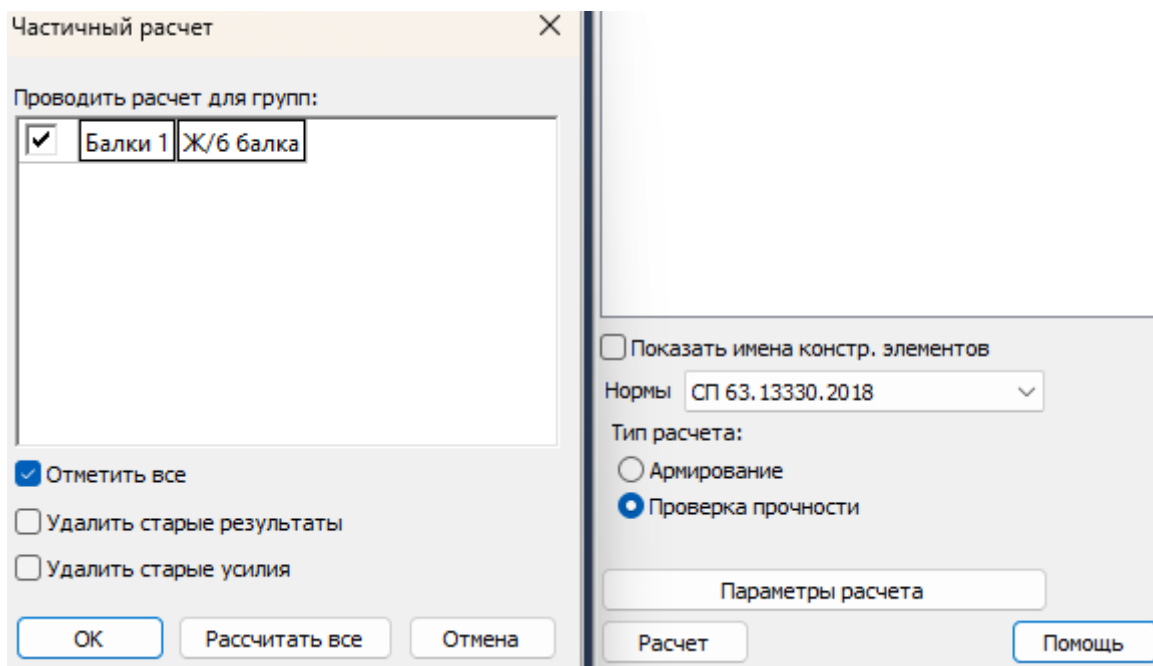
Открываем «*Параметры расчета*».



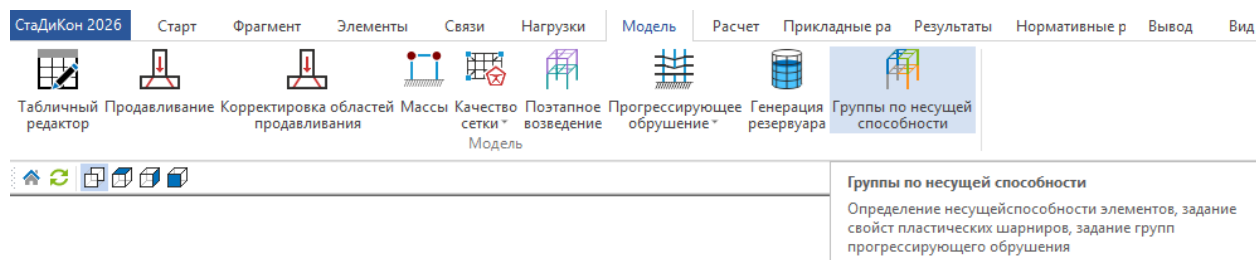
И устанавливаем «Расчёт усилий – по комбинациям».



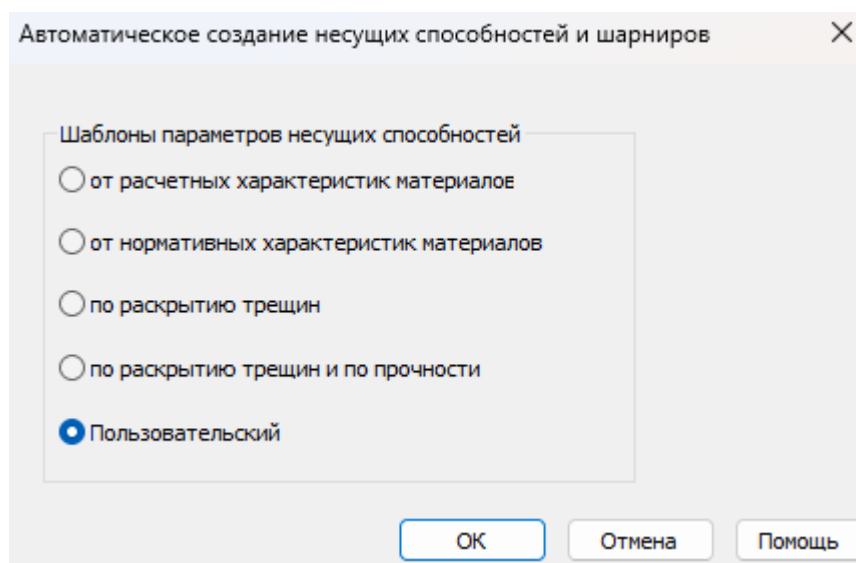
Запустим расчет нажав «*Расчет*» - «*ОК*».



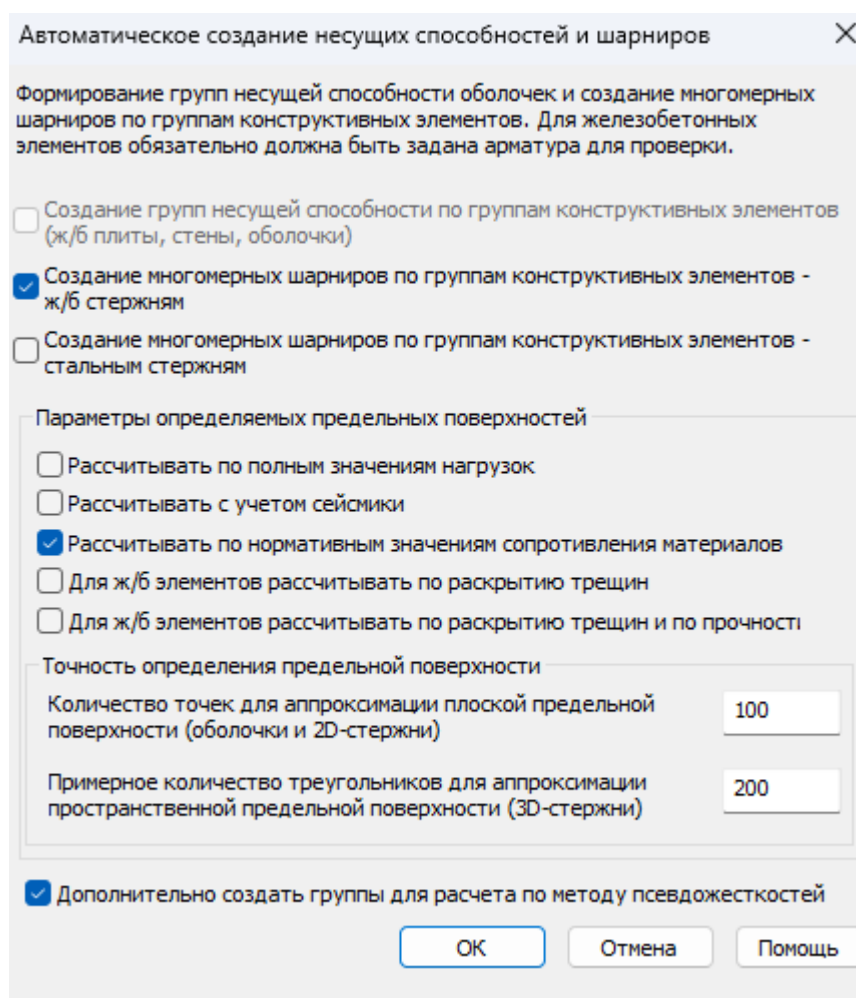
Далее переходим на вкладку «**Модель**» и выбираем «**Группы по несущей способности**».



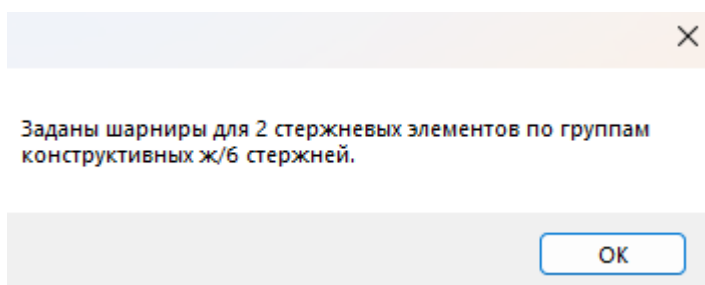
Выберем «Пользовательский».



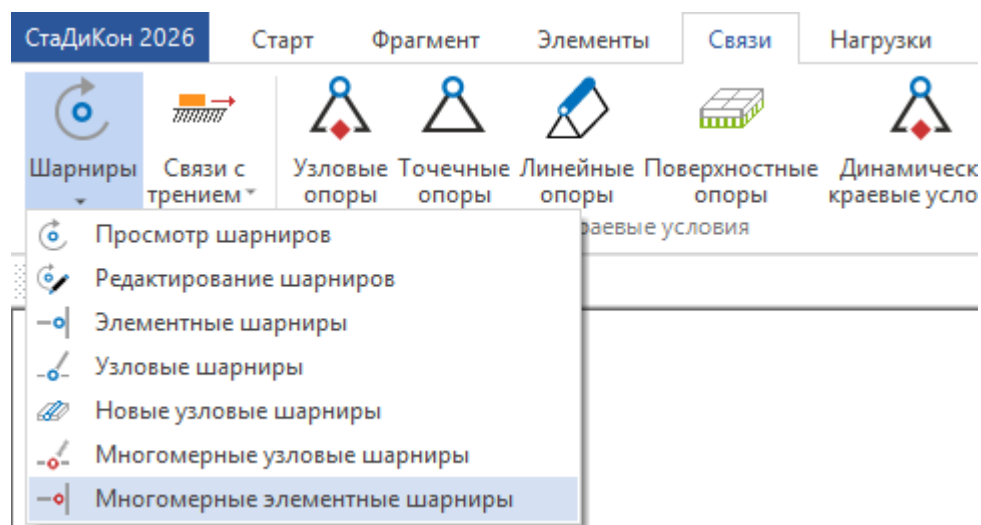
Установим пункт «Рассчитывать по нормативным значениям сопротивления материалов». Нажимаем «OK».



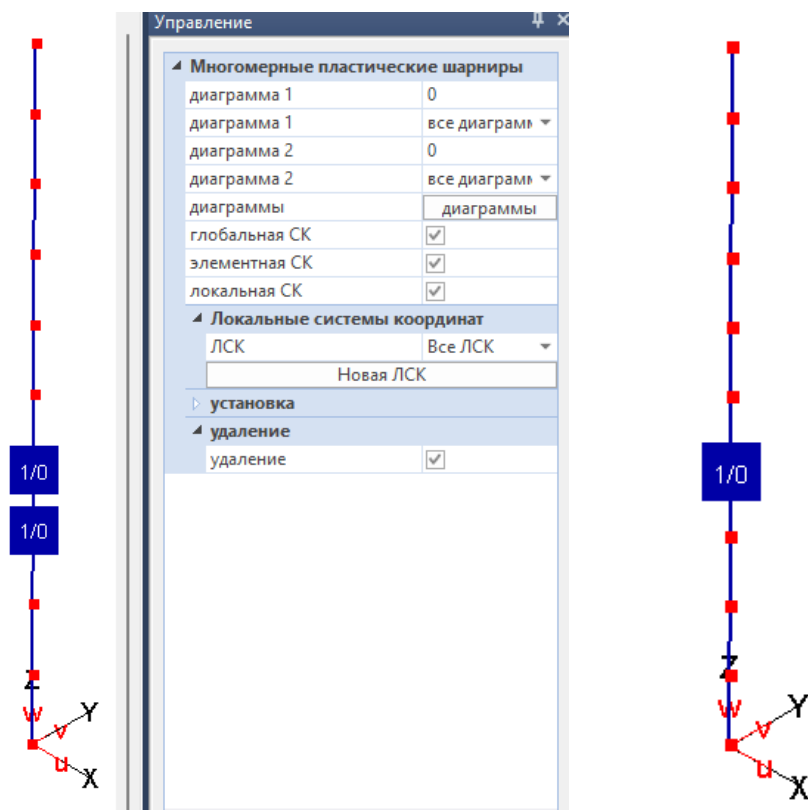
Были созданы два шарнира.



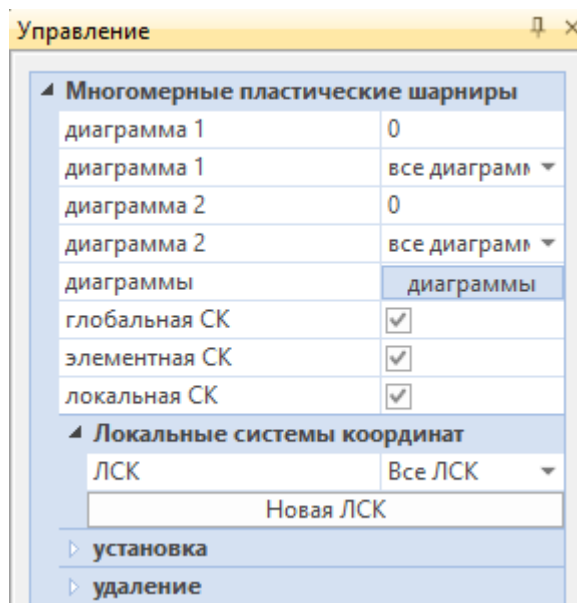
Перейдем на вкладку «Связи» - «Шарниры» - «Многомерные элементные шарниры».



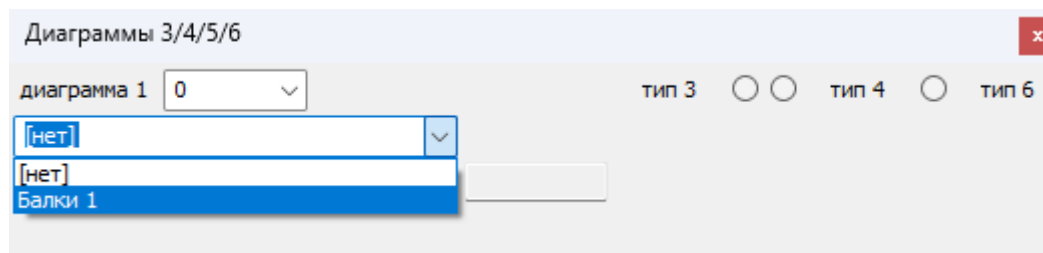
Раскроем пункт «удаление» и удалим нажатием лишний шарнир с координатой Z «1.5».



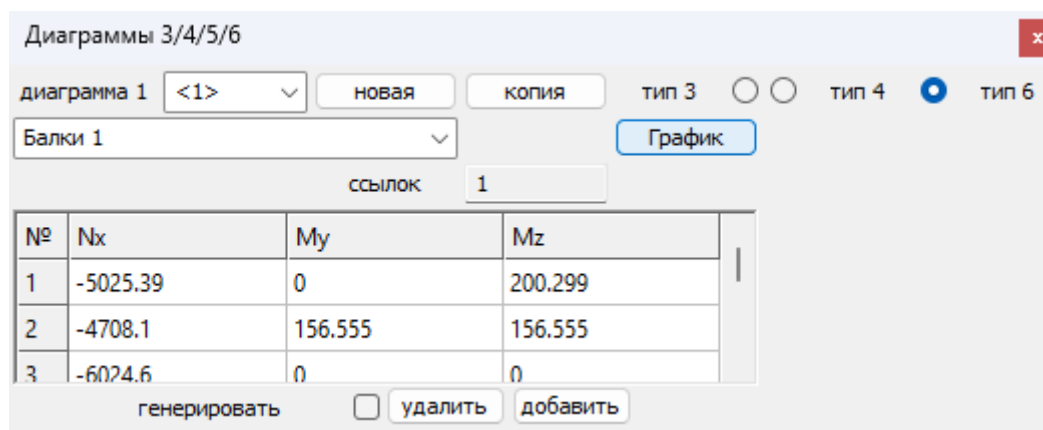
Далее выберем «диаграммы».

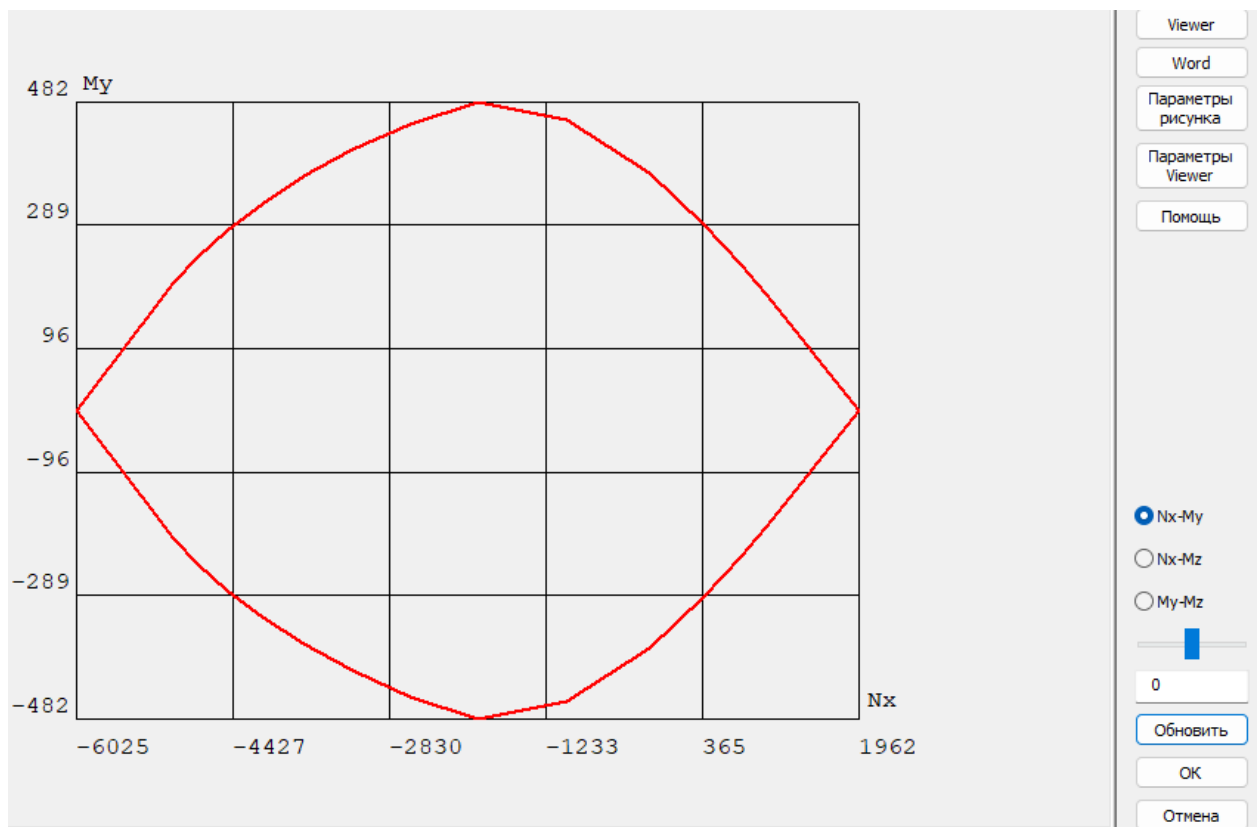


И переключим на «Балки 1».



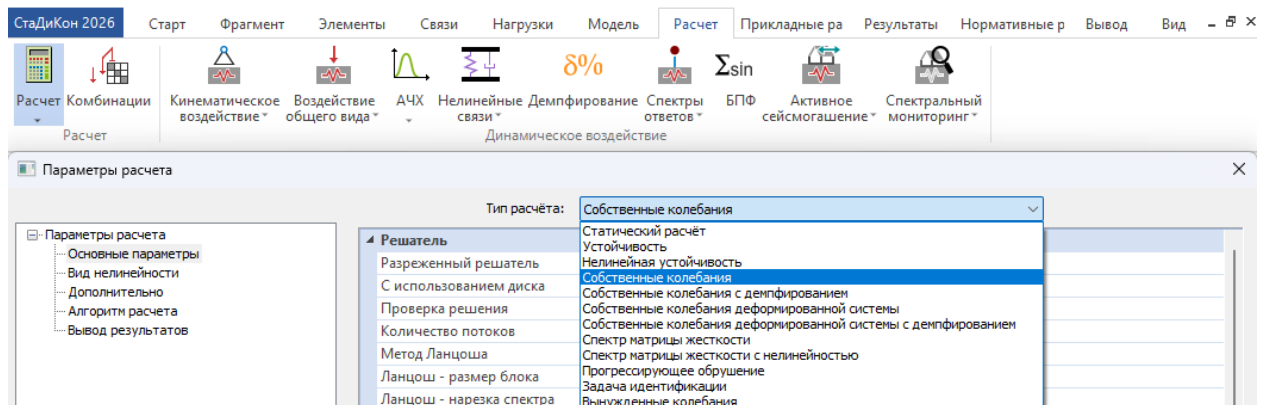
После посмотрим на график полученной диаграммы.



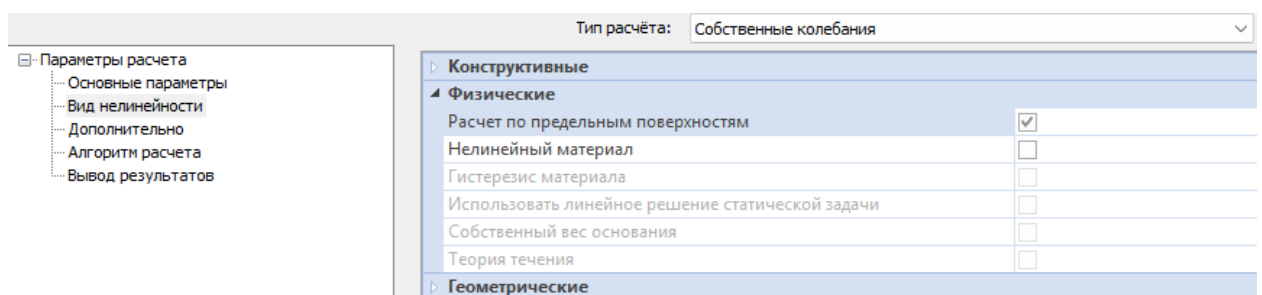


2.7. Выполнение динамического расчета

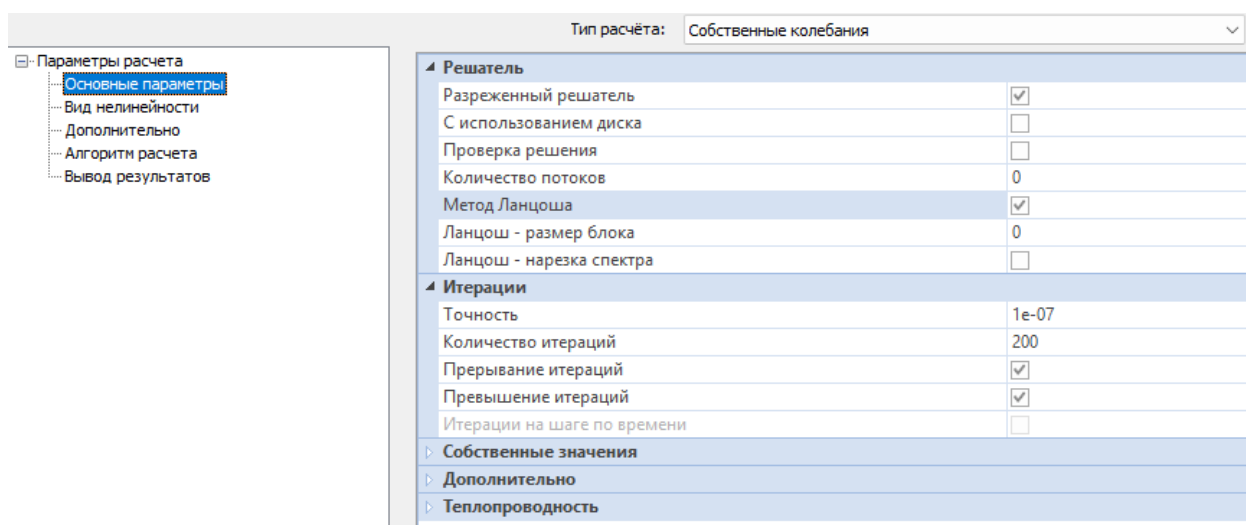
Открываем окно расчета и выбираем «Тип расчета – Собственные колебания».



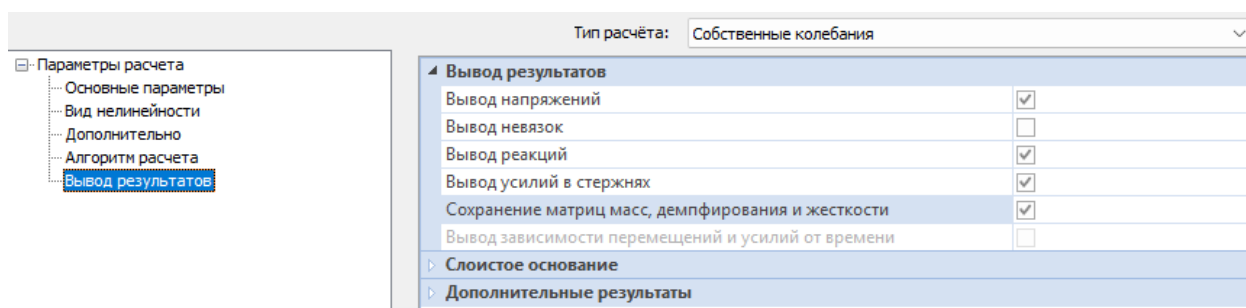
Во вкладке «Вид нелинейности» включаем «Расчет по предельным поверхностям» при расчетах с использованием материала «3D Балка».



На вкладке «Основные параметры» устанавливаем «Метод Ланцоша» и «Превышение итераций».

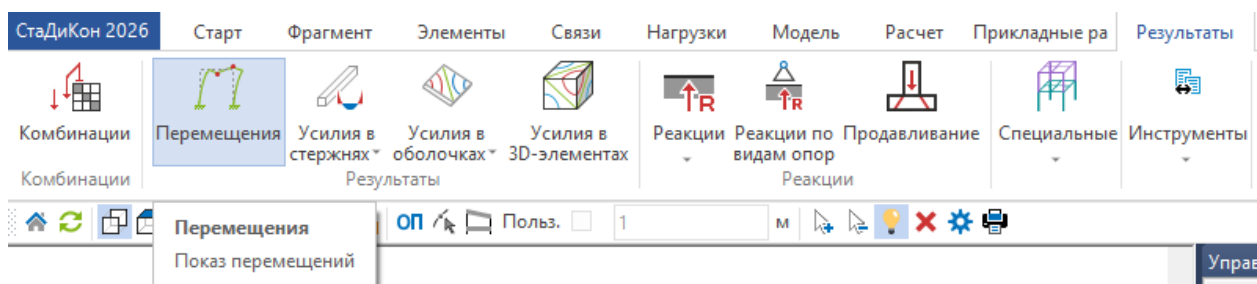


На вкладке «Вывод результатов» включаем «Сохранение матриц масс, демпфирования и жесткости».

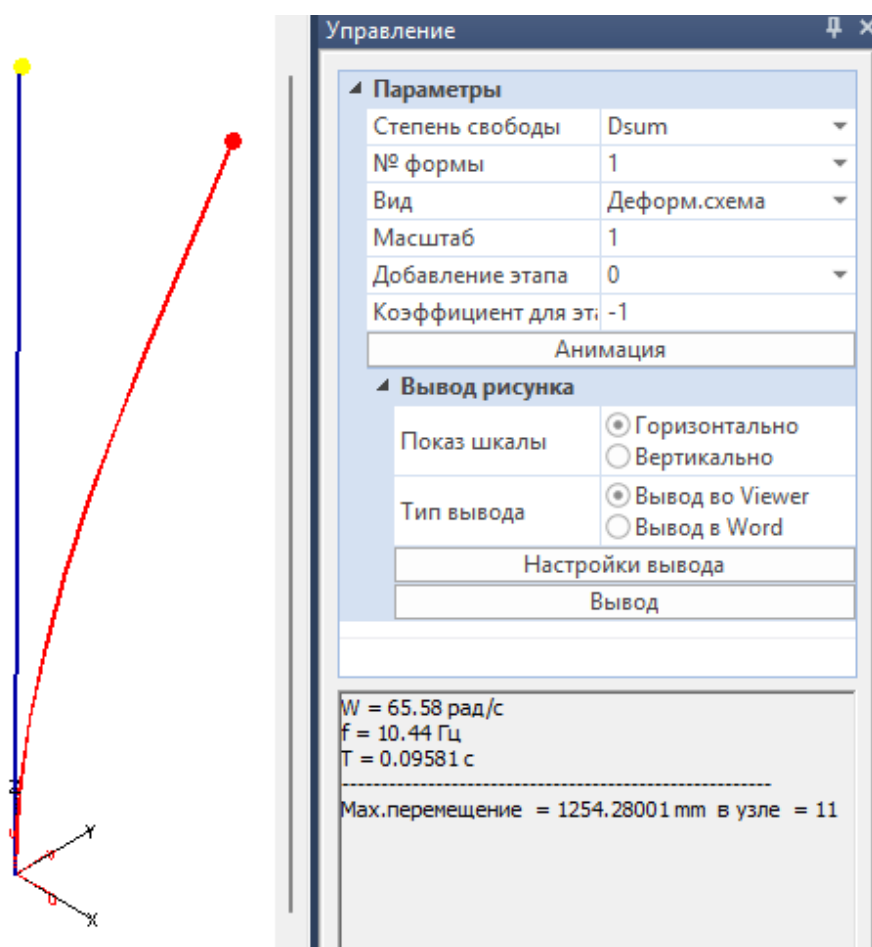


Запускаем расчет.

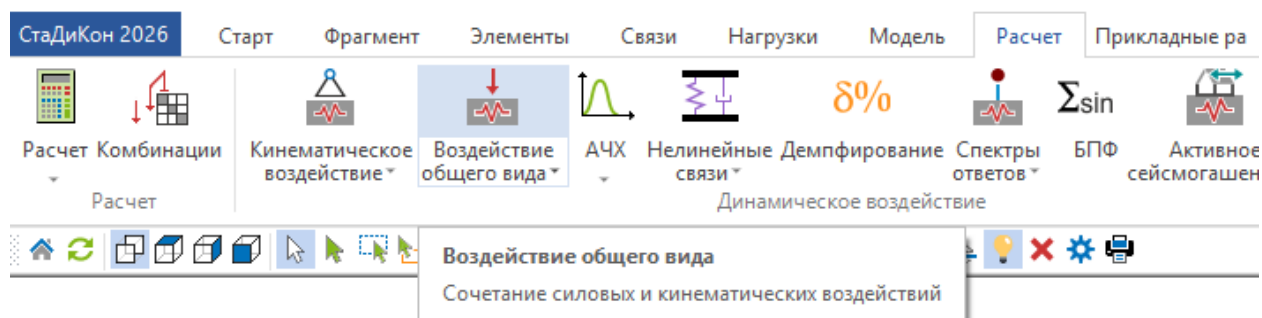
После расчета переходим на вкладку «Результаты» - «Перемещения».



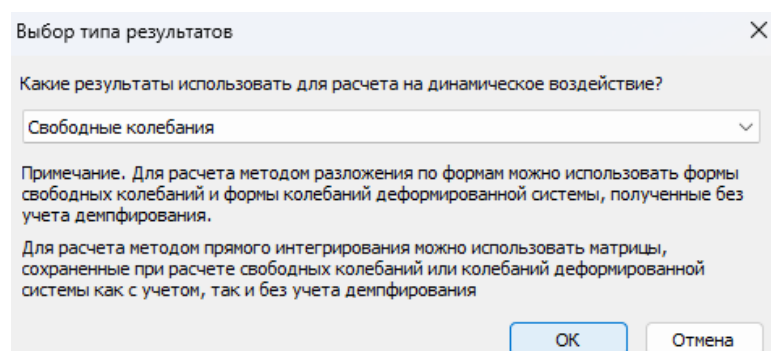
Получаем значение периода равное 0.09581 с, поэтому дальнейший шаг динамического расчета будет принят равным 0.01 с.



Для задания воздействия переходим на вкладку «Расчет» - «Воздействие общего вида».



Нажимаем «OK».



Нажимаем «Добавить».

Динамическое воздействие

Воздействие: Добавить

Тип: Изменить

Точки приложения: Установить Удалить

Направление

Угол с ОХ в гориз. пл. (гр.):

Угол с гориз. пл. (гр.):

Начальные условия

☐ определять по статической деформации

Смещение: Номер комбинации:

Скорость: Коэффициент:

Выбираем «из нагрузжений – Комбинация № 1».

Выберите тип воздействия

Узловая нагрузка

☐ Сила

☐ Момент

OK Отменить Помощь

Поле ускорений

☐ неравномерное

☐ равномерное

☒ из нагрузжений

Комбинация №:

Деформационные и температурные нагрузки не учитываются!

Задаем имя и соответствующее воздействие. После нажимаем «OK».

Задание коэффициента для изменения нагрузки (воздейств...)

Файл: ...

Имя:

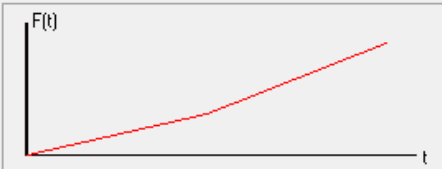
Способ задания

☒ по точкам

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

Время (с)	Коэффициент
0	0
5	1639.79
10	4500

Добавить Удалить Заполнить Сдвиг по времени



OK Отменить Помощь

Для дальнейшего быстрого доступа сохраняем данное воздействие.

Имя файла: N_1
 Тип файла: в табличной форме (*.dn2)

Далее вновь жмем «Добавить».

Динамическое воздействие

Воздействие: 1. N_1 [Добавить]

Тип: Статическая нагрузка (комбинация 1) [Изменить]

Точки приложения [Удалить]

[Установить] [Удалить]

Выбираем вторую комбинацию.

Выберите тип воздействия

☐ Узловая нагрузка

☐ Сила

☐ Момент

☐ Поле ускорений

☐ неравномерное

☐ равномерное

☒ из нагружений

Комбинация № 2

Деформационные и температурные нагрузки не учитываются!

[OK] [Отменить] [Помощь]

И задаем моментное воздействие.

Задание коэффициента для изменения нагрузки (воздейст...)

Файл: [...]

Имя: M_1

Способ задания

☒ по точкам

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

Время (с)	Коэффициент
0	0
5	479.42
10	479.72

[Добавить] [Удалить] [Заполнить] [Сдвиг по времени]

[OK] [Отменить] [Помощь]

График F(t) vs t: [Изображение графика]

После нажимаем «*Расчет*».

Динамическое воздействие

Воздействие: 1. N_1

Тип: Статическая нагрузка (комбинация 1)

Точки приложения: Установить Удалить

Направление: Угол с OX в гориз. пл. (гр.): 0 Угол с гориз. пл. (гр.): 0

Начальные условия: ☐ определять по статической деформации

Смещение: 0 Номер комбинации: 1

Скорость: 0 Коэффициент: 1

График: F(t) vs t

Интегрирование: Интервалы времени (с): Коэффициент: Сохранить

Расчет Отменить Помощь

Для задания демпфирования нажимаем «*Сохранить матрицу*» - «*Да*».

>>

Демпфирование: ☒ по Фойхту

Ф.	%
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5
6	5

Диапазон: 1 - 6

Сохранить матрицу

☐ Непропорц.

Сообщение

Вычисленные значения коэффициентов $c_m = 6.51356$ и $c_k = 0.000101355$. Сохранить соответствующую матрицу демпфирования $C = c_m * M + c_k * K$?

Да Нет

После задаем интервал с шагом и нажимаем «Реакция».

Параметры расчета

Обратные связи и спектральный мониторинг

☒ не учитывать

☐ учитывать обратные связи

☐ учитывать обратные связи (ЛМН)

☐ учитывать результаты спектрального мониторинга

>>

Демпфирование:

☒ по Фойхту

Ф.	%
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5
6	5

Диапазон: 1 - 6

Сохранить матрицу

☐ Непропорц.

Количество учитываемых форм: 6

Количество форм Ригца: 6

Интервал интегрирования: 10

Шаг выдачи (с): 0.01

Контроль устойчивости ☐

Учет нелинейных связей ☒

Учет недиаг. масс ☒

Матрица демпфирования - из расчета своб. колеб. с демпфированием ☐

Сохранить DR-файл ☐

Вычислять факторы участия ☐

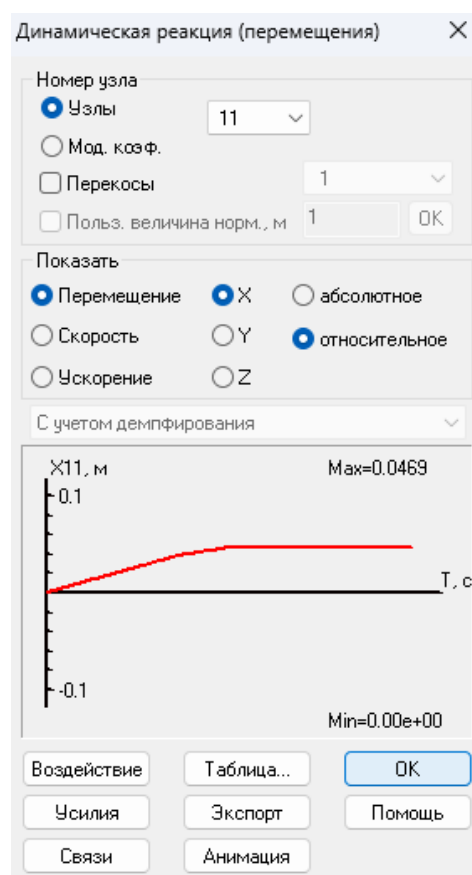
Загрузить имеющиеся ☐

☐ из другого проекта

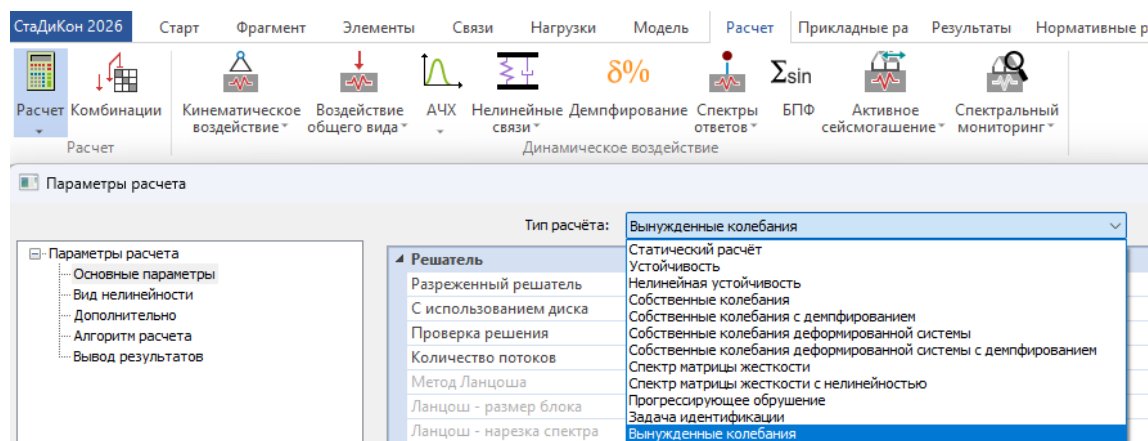
Воздействие Реакция

Отменить Помощь

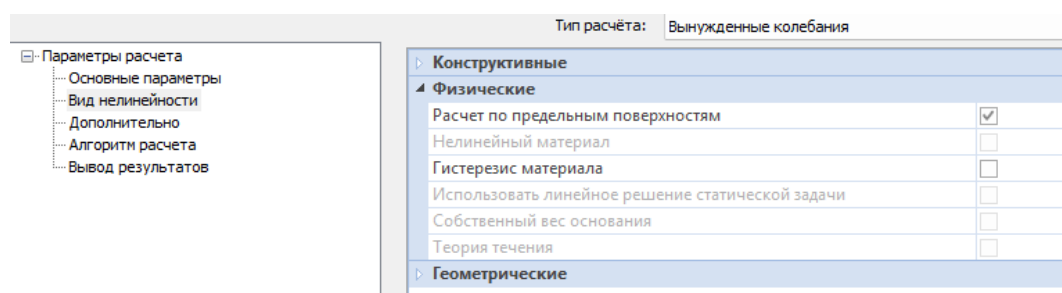
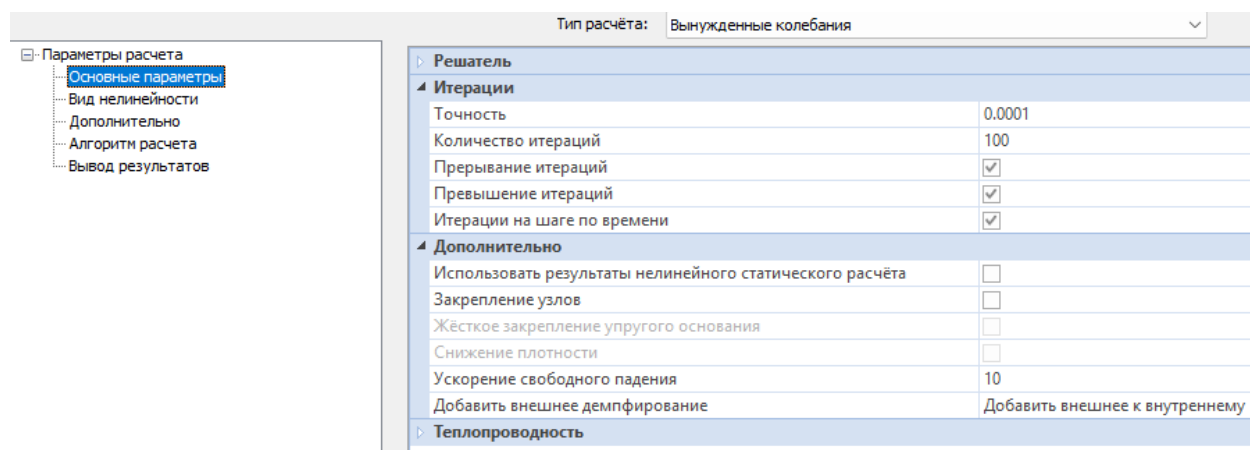
Закрываем, нажав на «OK».



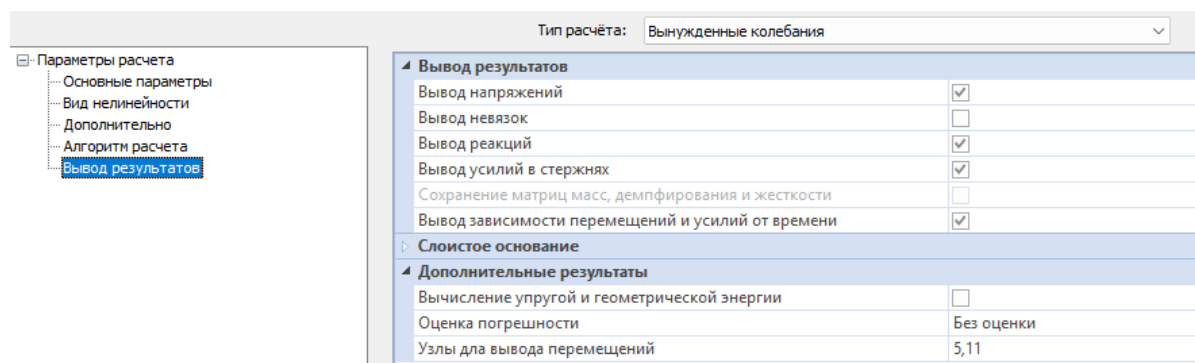
Теперь возвращаемся к окну расчета и выбираем «Тип расчета – *Вынужденные колебания*».



Установлены следующие параметры расчета (свернутые или непоказанные установлены по умолчанию):

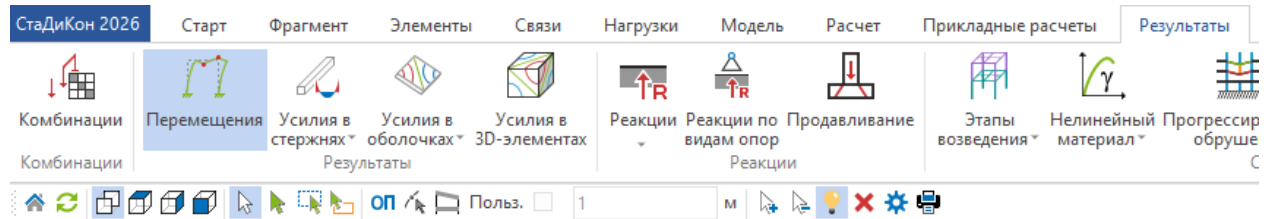


В пункте «Узлы для вывода перемещений» указаны 5 узел (в шарнире) и 11 узел (свободный конец колонны).

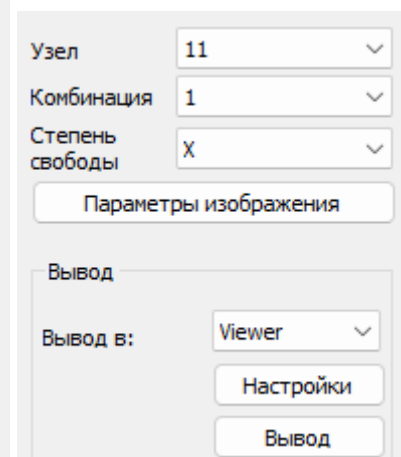
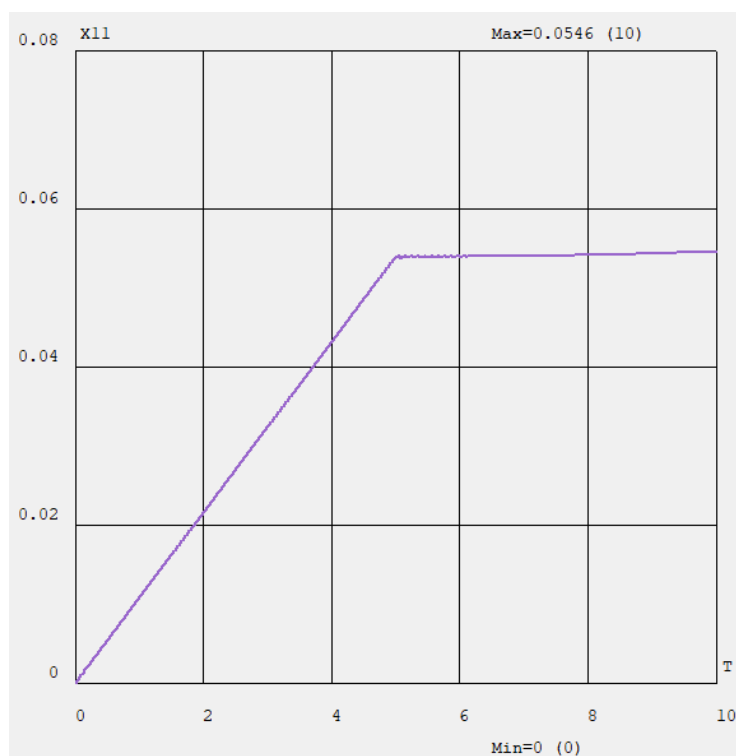
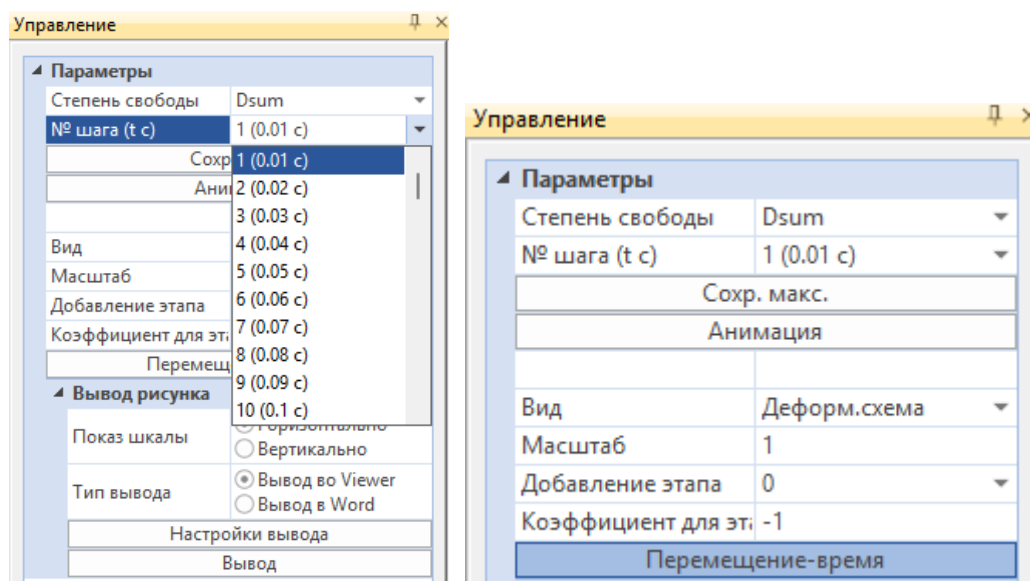


Выполняем расчет.

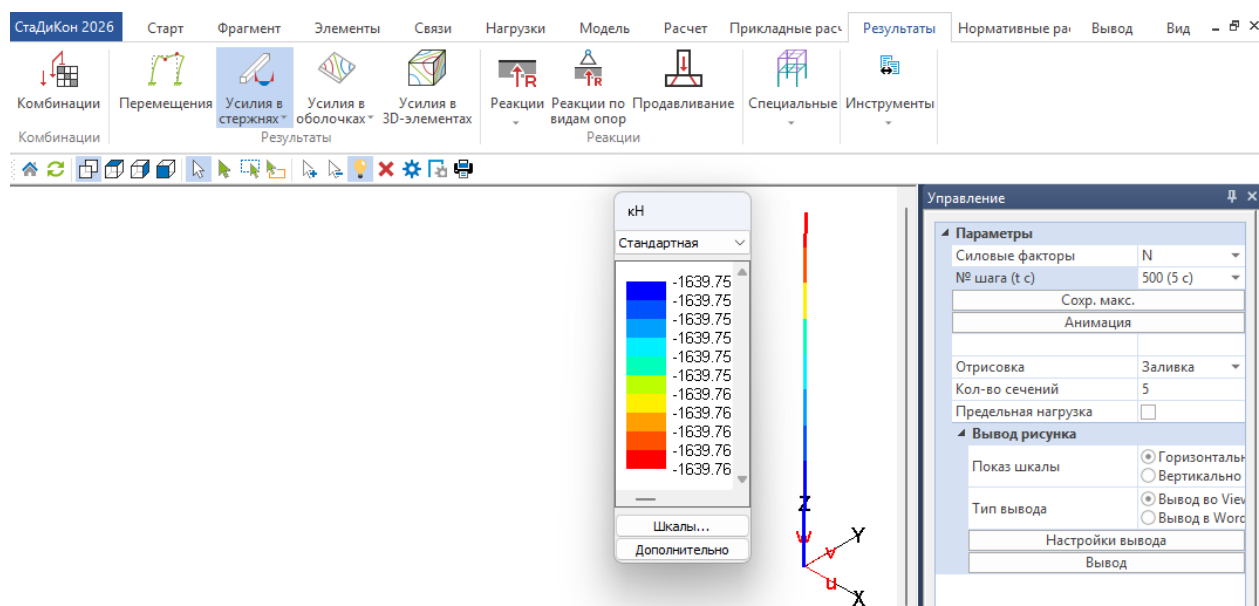
Результаты просматриваются на вкладке «Результаты». Посмотрим на вычисленные перемещения, выбрав «Перемещения».



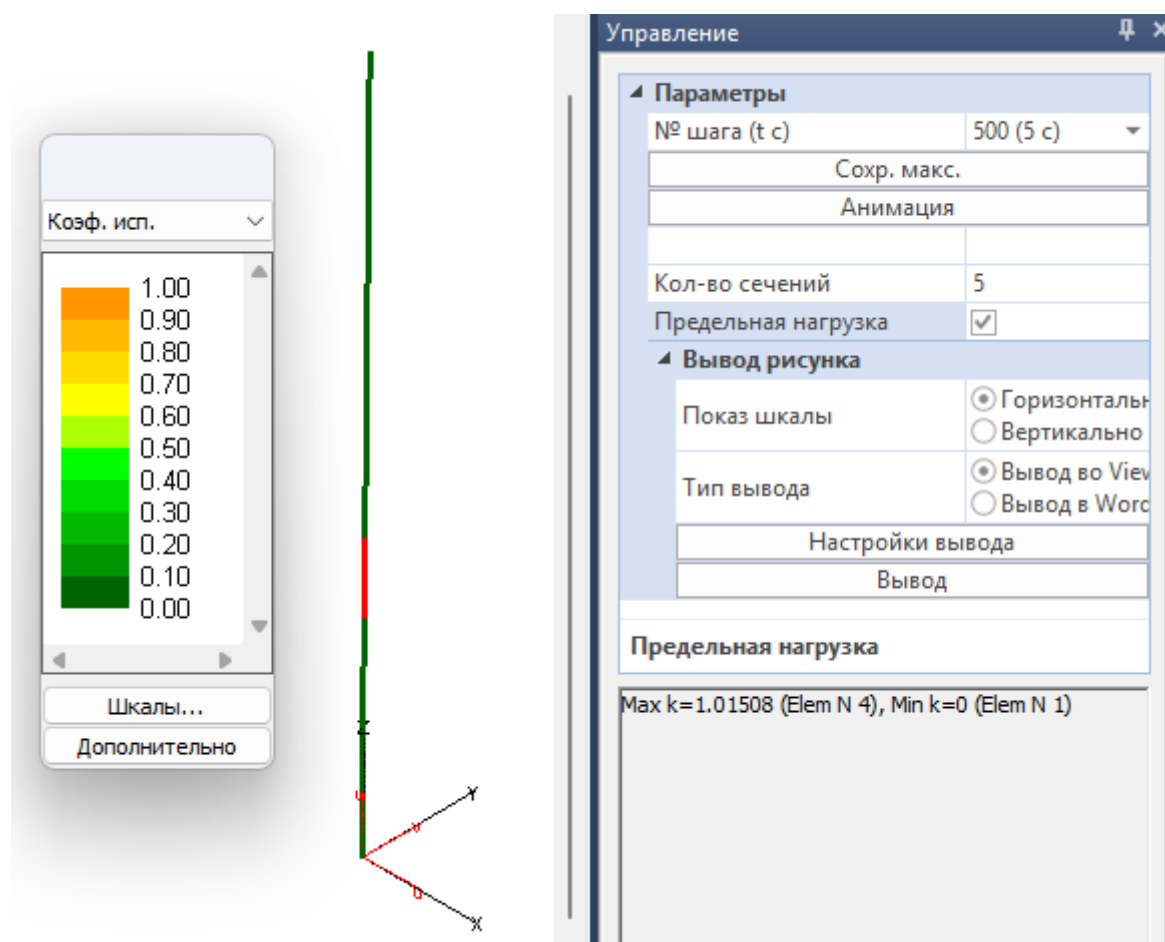
В окне «Управление» можно переключаться между промежуточными шагами расчета. Нажав на «Перемещение-время», можно посмотреть графики перемещений для записанных ранее в параметрах расчета узлов.



Усилия просматриваются на вкладке «Усилия в стержнях».

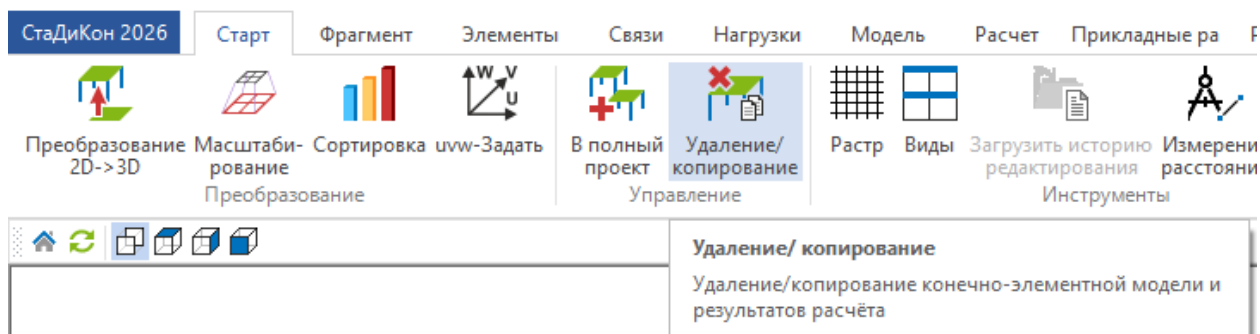


Установив галочку в пункте «Предельная нагрузка», можно посмотреть коэффициент использования в установленном шарнире.

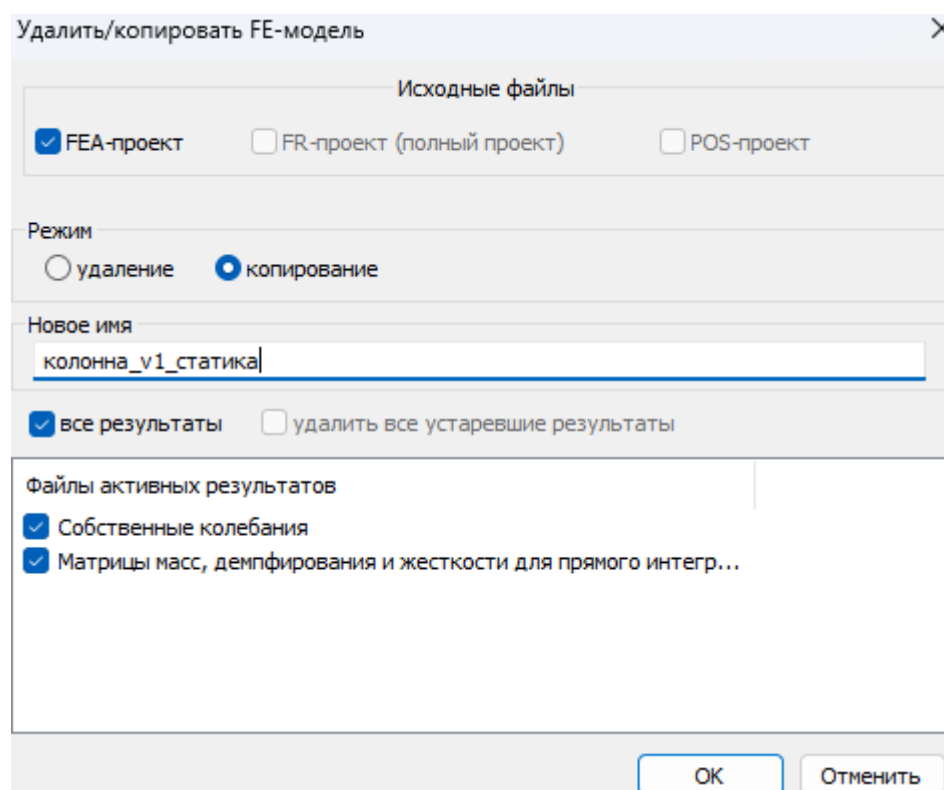


2.8. Выполнение статического расчета

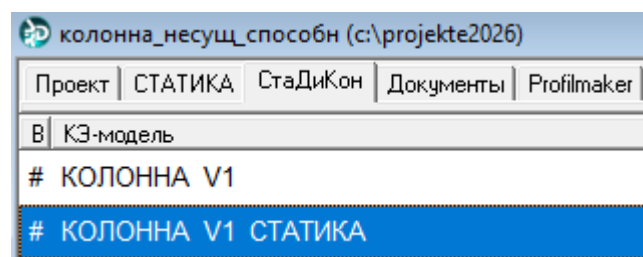
Сохраним прошлую схему под другим именем. На вкладке «Старт» выбираем «Удаление/копирование».



Зададим отличное имя и сделаем копию.



Откроем новую схему.



Открываем комбинации и отредактируем их в соответствии с воздействием (воздействия были интерполированы для задания промежуточных значений; номер комбинации соответствует времени воздействия).

СтаДиКон 2026 Старт Фрагмент Элементы Связи Нагрузки Модель **Расчет**

Расчет **Комбинации** Кинематическое воздействие Воздействие общего вида АЧХ Нелинейные связи Демпфирование Спектры ответов БГ

Динамическое воздействие

	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10
1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.Pz	327.958	655.916	983.874	1311.83	1639.79	2211.83	2783.87	3355.92	3927.96	4500
3.My	95.884	191.768	287.652	383.536	479.42	479.48	479.54	479.6	479.66	479.72

Комбинации нагружений можно экспортировать для дальнейшей вставки в другие схемы.

Новая Удалить Восстановить [Иконки] 1

Задать свойства нелинейных комбинаций ... Лин./нелин. 1 Задать

Нелинейные комбинации для сейсмических воздействий Задать

Вывод комбинаций
☐ Word ☒ Viewer Вывести Свойства Импорт **Экспорт**

OK Отменить Помощь

Имя файла: колонна_v1_статика

Тип файла: архив комбинаций *.s_l0a

В окне расчета выбираем «Тип расчета – Статический расчёт».

СтаДиКон 2026 Старт Фрагмент Элементы Связи Нагрузки Модель **Расчет** Прикладные ра Результаты Нормативные

Расчет **Комбинации** Кинематическое воздействие Воздействие общего вида АЧХ Нелинейные связи Демпфирование Спектры ответов БГФ Активное сейсмогашение Спектральный мониторинг

Динамическое воздействие

Параметры расчета

Параметры расчета

- Основные параметры
- Вид нелинейности
- Дополнительно
- Алгоритм расчета
- Вывод результатов

Тип расчёта: Статический расчёт

Решатель

- Разреженный решатель
- С использованием диска
- Проверка решения
- Количество потоков
- Метод Ланцоша
- Ланцош - размер блока
- Ланцош - нарезка спектра

Статический расчёт

- Устойчивость
- Нелинейная устойчивость
- Собственные колебания
- Собственные колебания с демпфированием
- Собственные колебания деформированной системы
- Собственные колебания деформированной системы с демпфированием
- Спектр матрицы жесткости
- Спектр матрицы жесткости с нелинейностью
- Прогрессирующее обрушение
- Задача идентификации
- Вынужденные колебания

Тип расчёта: Статический расчёт

Панель параметров:

- Параметры расчёта
 - Основные параметры
 - Вид нелинейности**
 - Дополнительно
 - Алгоритм расчёта
 - Вывод результатов

Конструктивные

Физические

Расчет по предельным поверхностям	☒
Нелинейный материал	☐
Гистерезис материала	☐
Использовать линейное решение статической задачи	☐
Собственный вес основания	☐
Теория течения	☐

Геометрические

Теория II порядка	☐
Отрицательные диагональные элементы	☐
Нелинейные деформации	☐
Конечные вращения	☐
Расширенная стержневая теория	☒
Растянутые элементы	☐

Тип расчёта: Статический расчёт

Панель параметров:

- Параметры расчёта
 - Основные параметры
 - Вид нелинейности
 - Дополнительно
 - Алгоритм расчёта
 - Вывод результатов

Решатель

Итерации

Точность	0.0001
Количество итераций	100
Прерывание итераций	☒
Превышение итераций	☒
Итерации на шаг по времени	☒

Дополнительно

Использовать результаты нелинейного статического расчёта	☐
Закрепление узлов	☐
Жёсткое закрепление упругого основания	☐
Снижение плотности	☐
Ускорение свободного падения	10
Добавить внешнее демпфирование	Добавить внешнее к внутреннему

Теплопроводность

Выполняем расчет.

2.9. Выполнение динамического расчета с материалом «Армированная балка»

Сделаем копию схемы, полученной по итогам пункта [2.7].

Удалить/копировать FE-модель

Исходные файлы

☒ FEA-проект ☐ FR-проект (полный проект) ☐ POS-проект

Режим

☐ удаление ☒ копирование

Новое имя

колонна_v1_нелин

☒ все результаты ☐ удалить все устаревшие результаты

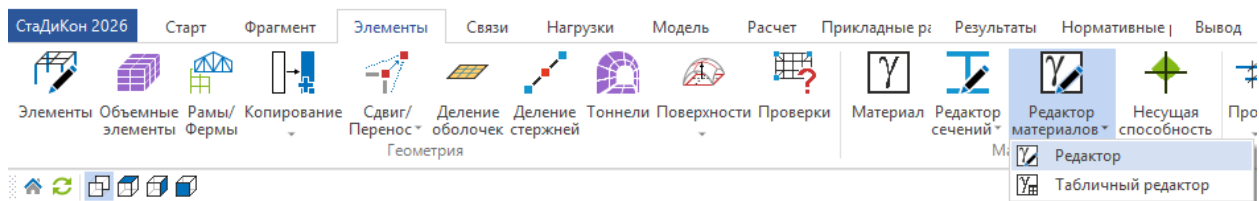
Файлы активных результатов

☒ Собственные колебания

☒ Матрицы масс, демпфирования и жесткости для прямого интегр...

OK Отменить

В новой схеме открываем «Редактор материалов».



Во вкладке «Армированная балка» нажимаем «Новый».

Материалы

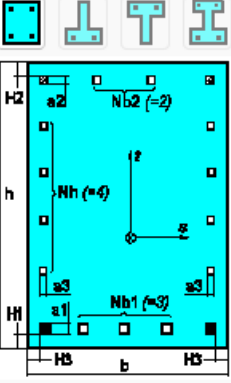
Прямоугольный нелинейн.бетон

3D - балка Прямоугольный Трос ТРОС2

Прямоугольная нелинейн.сталь Слоистый Армированная балка

Номер мат.

Имя матер.



h1 h

Nb1

Nb2

Nh

a1 < d1 >

a2 < d2 >

a3 < d3 >

IG D

Материал

Бетон Верх.арм.

Констр.арм. Нижн.арм.

Ссылка

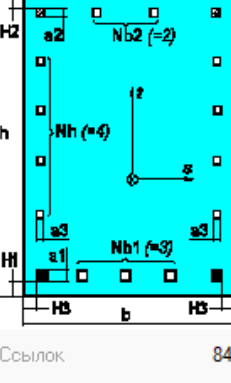
Цвет Cm Ck

Задаем следующие характеристики материала.

Прямоугольная нелинейн.сталь Слоистый Армированная балка

Номер мат. 2

Имя матер. 2 (Арм.балка)



b 0.45 h 0.45

H1 0.0425 Nb1 1

H2 0.0425 Nb2 1

H3 0.0425 Nh 1

a1 0.0221557 < d1 > 0.025

a2 0.0221557 < d2 > 0.025

a3 0.0221557 < d3 > 0.025

IG 46274 D 0.005

Материал

Бетон Верх.арм.

Констр.арм. Нижн.арм.

Ссылка 8415

Цвет Cm 0 Ck 0

Далее нажимаем «Бетон».

И задаем следующие характеристики.

После в каждом из пунктов «Верх. арм.», «Констр. арм.» и «Нижн. арм.» изменим значение предела текучести.

Верхняя арматура

Прямоугольная нелинейн. сталь

Номер мат. 2 Новый

Имя матер. 0 (Прям.нелин.сталь) ...

B 0.0221557 Копировать

Hs 0.018054 Стандарт

Hg 0.0221557 ☐ Hg = Hs

E 2.1e+08 Cm 0

Rho 7.85 Ck 0

Krho 1 Cm / Ck

T-Fak 1 предел.деформ. ☐

G 8.1e+07 Elim

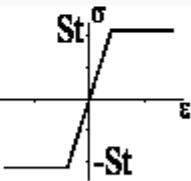
St 500000

Цвет Изменить

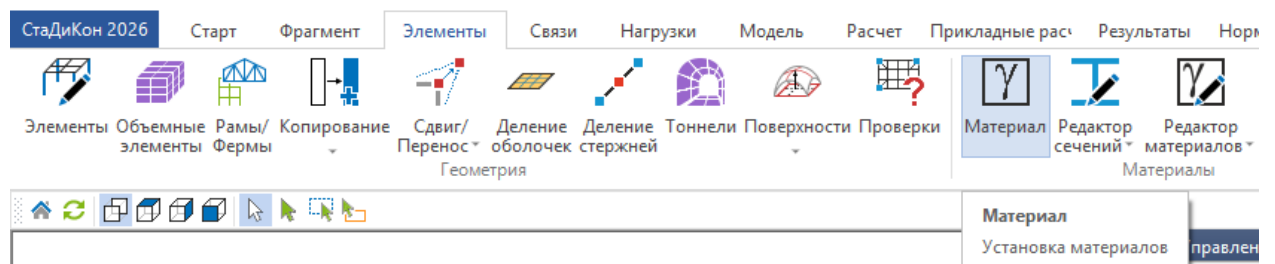
Материалов

Ссылка

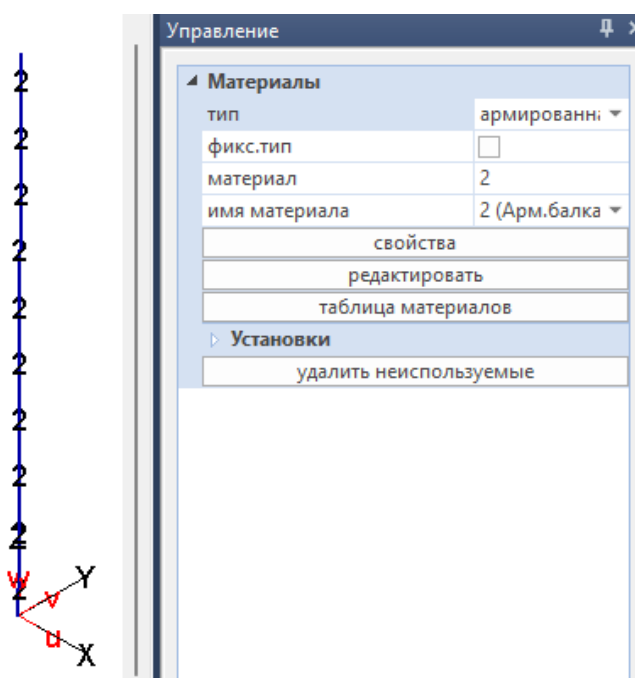
OK Отмена Справка



После создания материала переходим к пункту «Материал».



И задаем созданный материал.



Далее переходим к окну расчета и выполняем расчет на собственные колебания. При выполнении расчетов с материалом «Армированная балка» в параметрах устанавливается пункт «Нелинейный материал».

Тип расчёта: Собственные колебания

Параметры расчета

- Основные параметры
- Вид нелинейности
- Дополнительно
- Алгоритм расчета
- Вывод результатов

Конструктивные

Физические

- Расчет по предельным поверхностям
- Нелинейный материал
- Гистерезис материала
- Использовать линейное решение статической задачи
- Собственный вес основания
- Теория течения

Геометрические

- Теория II порядка
- Отрицательные диагональные элементы
- Нелинейные деформации
- Конечные вращения
- Расширенная стержневая теория
- Растянутые элементы

Управление

Параметры

- Степень свободы: Dsum
- № формы: 1
- Вид: Деформ.схема
- Масштаб: 1
- Добавление этапа: 0
- Коэффициент для эт.: -1

Анимация

Вывод рисунка

- Показ шкалы: Горизонтально
- Тип вывода: Вывод во Viewer

Настройки вывода

Вывод

W = 68.87 рад/с
f = 10.96 Гц
T = 0.09123 с
Max.перемещение = 1231.78129 mm в узле = 11

После аналогично пункту [2.7] задаем воздействия и выполняем расчет на вынужденные колебания с включенным пунктом «Нелинейный материал».

Тип расчёта: Вынужденные колебания

Параметры расчета

- Основные параметры
- Вид нелинейности
- Дополнительно
- Алгоритм расчета
- Вывод результатов

Конструктивные

Физические

- Расчет по предельным поверхностям
- Нелинейный материал
- Гистерезис материала
- Использовать линейное решение статической задачи
- Собственный вес основания
- Теория течения

Геометрические

2.10. Выполнение статического расчета с материалом

«Армированная балка»

Выполнение статического расчета для нелинейного материала аналогично описанному ранее в пункте [2.8], за исключением установки пункта «Нелинейный материал» в параметрах расчета.

Тип расчёта: Статический расчёт

Параметры расчета

- Основные параметры
 - Вид нелинейности**
 - Дополнительно
 - Алгоритм расчета
 - Вывод результатов

Конструктивные

Физические

- Расчет по предельным поверхностям ☐
- Нелинейный материал ☒
- Гистерезис материала ☐
- Использовать линейное решение статической задачи ☐
- Собственный вес основания ☐
- Теория течения ☐

Геометрические

- Теория II порядка ☐
- Отрицательные диагональные элементы ☐
- Нелинейные деформации ☐
- Конечные вращения ☐
- Расширенная стержневая теория ☒
- Растянутые элементы ☐

2.11. Выполнение расчетов для случаев нагружений 2-4

Расчеты для 2-4 случаев нагружений выполнялись аналогично описанным выше для двух различных материалов статическим и динамическим методами. Для удобства расчетов созданные ранее схемы можно скопировать и заменить в них только воздействия.

Ниже приведены используемые комбинации нагружений для статических расчетов.

Второй случай нагружения (шаг воздействия – 1 с):

	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6	К-7	К-8	К-9	К-10
1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.Новое нагружение 2	974.148	1948.3	2922.44	3896.59	4870.74	4600	4200	3800	3300	2600
3.Новое нагружение 3	45.3448	90.6896	136.034	181.379	226.724	271.379	316.034	360.69	405.345	450

Третий случай нагружения (шаг воздействия – 1 с):

	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6	К-7	К-8	К-9	К-10
1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.Новое нагружение 2	327.958	655.916	983.874	1311.83	1639.79	1672.59	1705.38	1738.18	1770.97	1803.77
3.Новое нагружение 3	95.884	191.768	287.652	383.536	479.42	489.008	498.596	508.184	517.772	527.36

Четвертый случай нагружения (первая комбинации соответствует 1 с; вторая – 2.5 с; третья – 5 с и т.д. с шагом 2.5 с до 20 с):

	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6	К-7	К-8	К-9
1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.Новое нагружение 2	4870.74	4870.74	4870.74	4870.74	4870.74	4870.74	4870.74	4870.74	4870.74
3.Новое нагружение 3	133.208	226.726	0.361096	-226.725	-0.722191	226.724	1.08328	-226.722	-1.44437

Ниже приведены некоторые графики перемещений для данных воздействий.

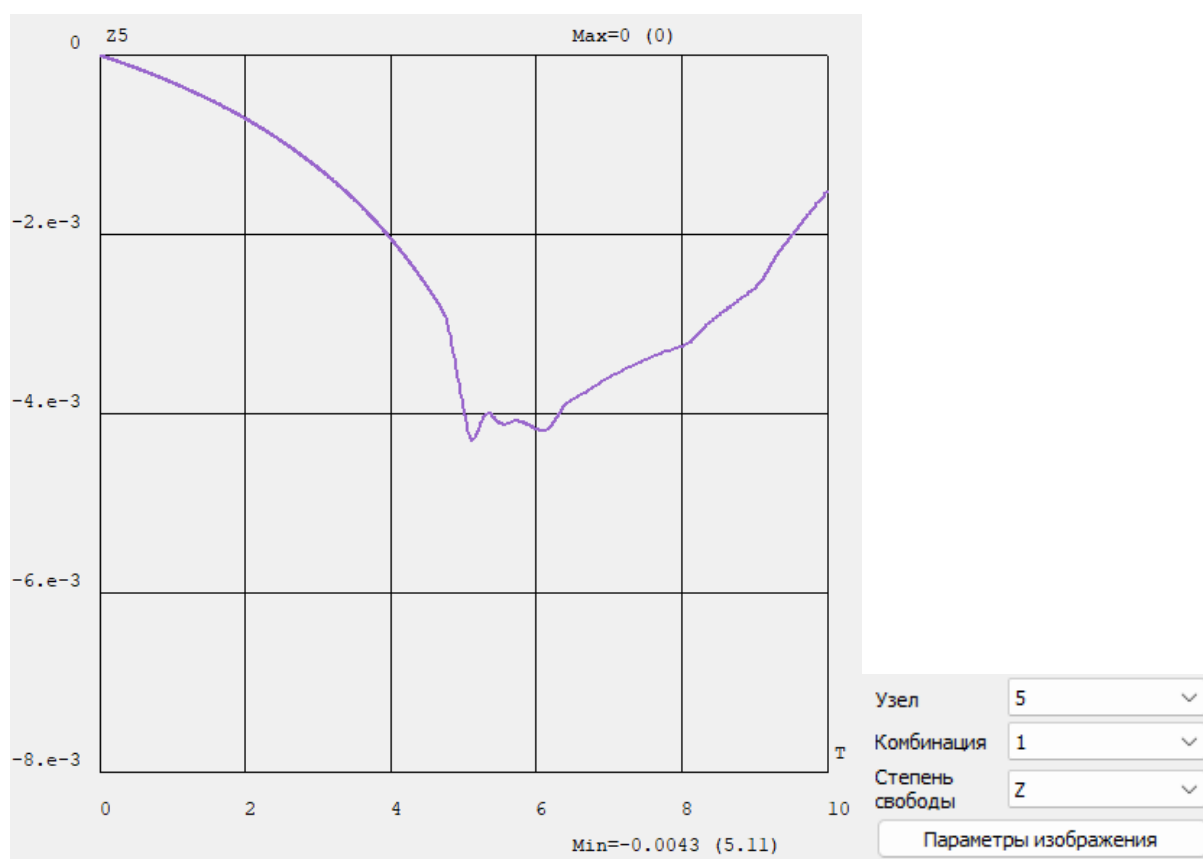


Рис. 2.11.1 – График перемещений узла №5 по Z (Второй случай воздействия.
Динамический расчет. Нелинейный материал).

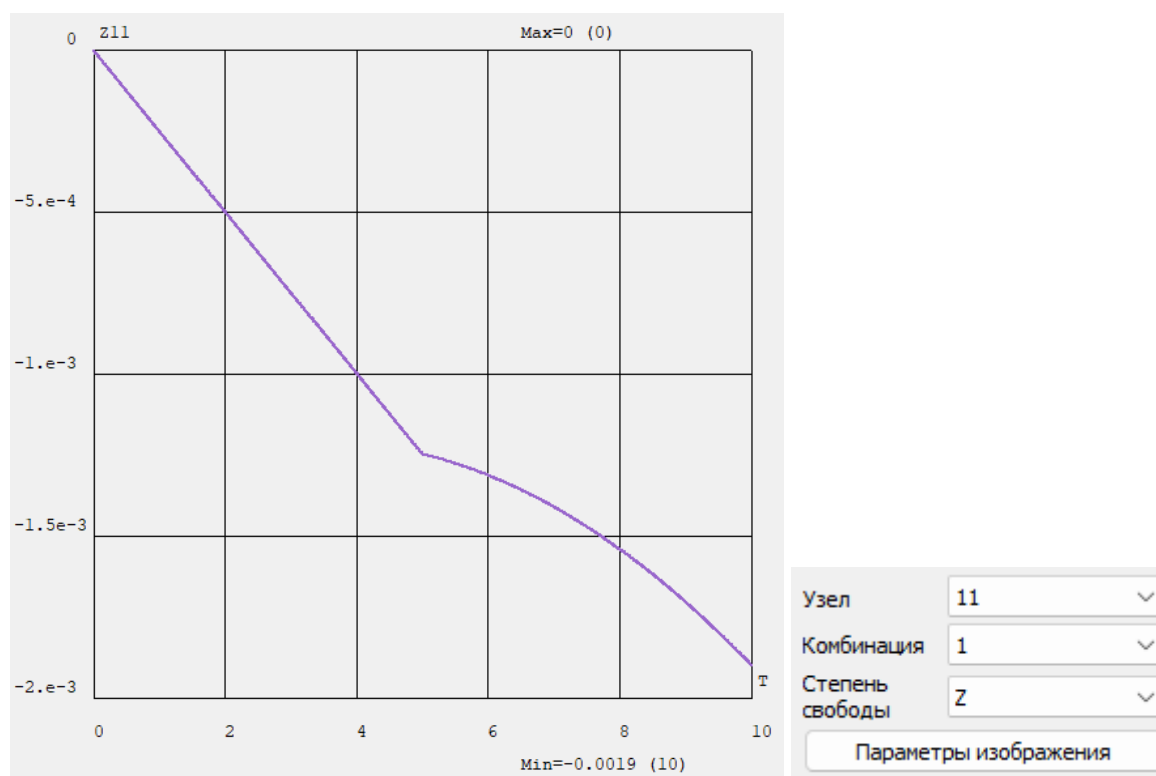


Рис. 2.11.2 – График перемещений узла №11 по Z (Третий случай воздействия.
Динамический расчет. Материал «3D Балка»).

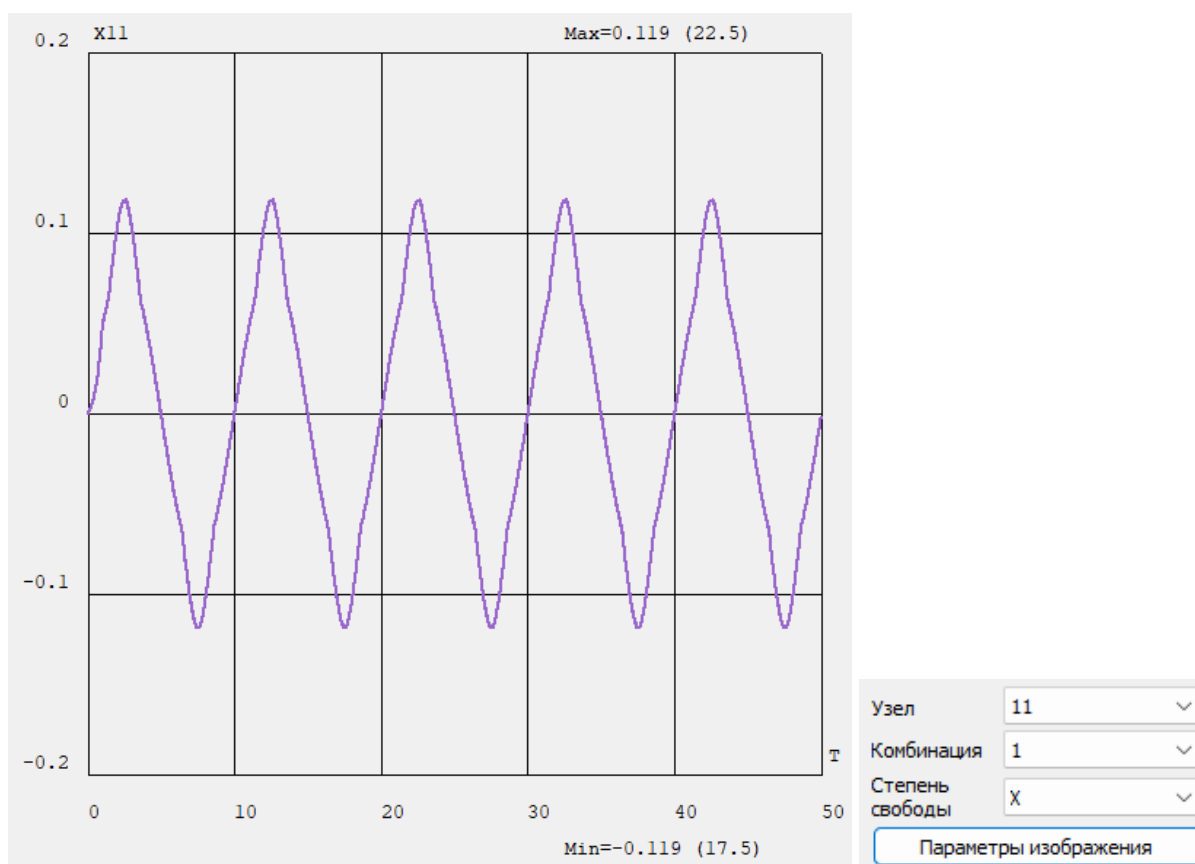


Рис. 2.11.3 – График перемещений узла №11 по X (Четвертый случай воздействия).

Динамический расчет. Нелинейный материал).

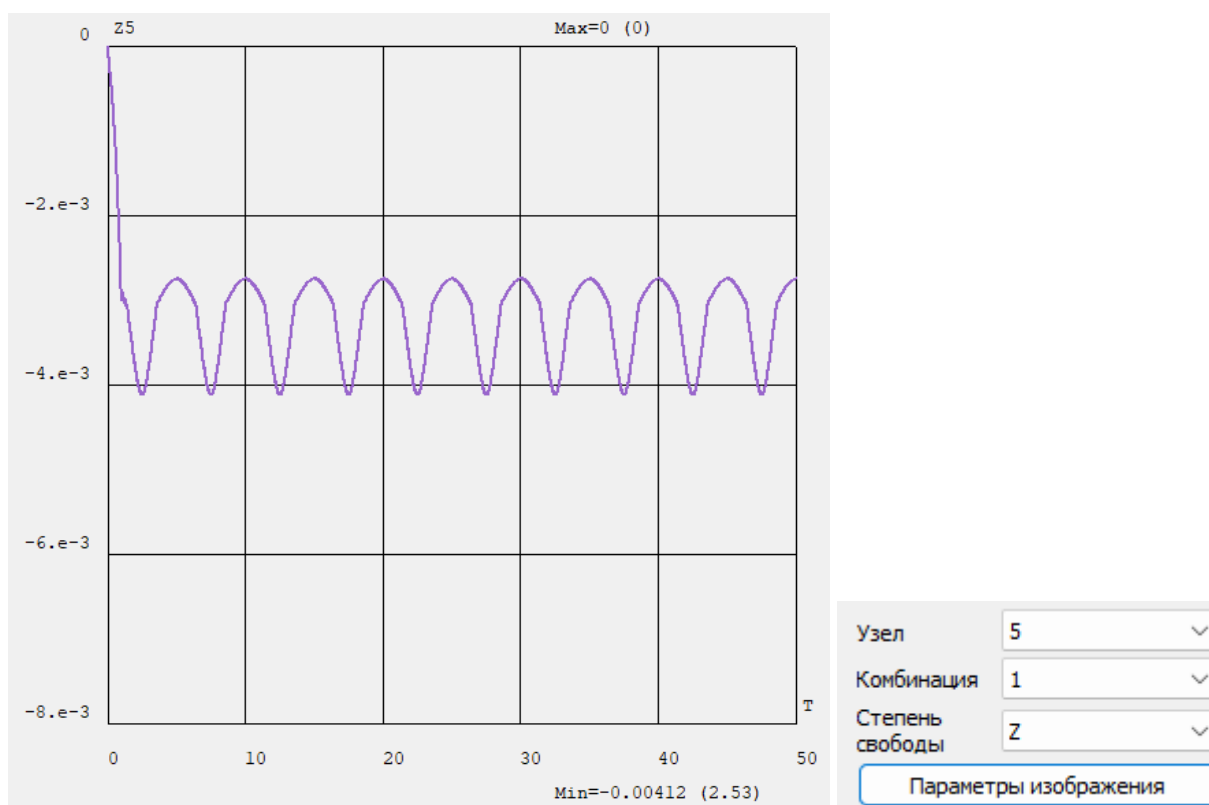


Рис. 2.11.4 – График перемещений узла №5 по Z (Четвертый случай воздействия).

Динамический расчет. Нелинейный материал).

3. Сравнение результатов расчетов

3.1. Первый случай нагружения

Таблица 3.1.1 – Значения максимальных перемещений при первом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [мм]	Статический расчет [мм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [мм]	Статический расчет. Нелинейный материал [мм]
1	10.784	10.795	13.611	13.624
2	21.574	21.590	50.022	50.283
3	32.369	32.385	84.744	84.985
4	43.164	43.180	126.104	126.431
5	53.960	53.975	184.367	214.159
6	54.000	53.994	195.233	194.932
7	54.092	54.172	4810.45	27138
8	54.259	131.773	14720	31053
9	54.518	28382	24215	34737
10	54.883	9750940	33458	38358

Таблица 3.1.2 – Значения минимальных продольных сил при первом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кН]	Статический расчет [кН]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кН]	Статический расчет. Нелинейный материал [кН]
1	-327.93	-327.958	-328	-329.38
2	-655.886	-655.916	-659.931	-656.111
3	-983.846	-983.874	-986.176	-983.25
4	-1311.8	-1311.83	-1312.49	-1311.2
5	-1639.76	-1639.79	-1642.49	-1639.41
6	-2212.8	-2212.83	-2216.29	-2210.28
7	-2783.88	-2783.87	-3391.17	-2778.51
8	-3355.86	-3355.92	-3424.99	-3355.89
9	-3927.91	-3927.96	-3889.6	-3927.95
10	-4499.95	-4500	-4459.46	-4499.94

Таблица 3.1.3 – Значения минимальных изгибающих моментов при первом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кНм]	Статический расчет [кНм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кНм]	Статический расчет. Нелинейный материал [кНм]
1	-95.8781	-95.884	-95.8613	-95.63
2	-191.76	-191.768	-191.813	-191.774
3	-287.643	-287.652	-287.646	-287.561
4	-383.527	-383.536	-383.451	-383.45
5	-479.411	-479.42	-478.162	-479.231
6	-479.663	-479.48	-479.578	-479.272
7	-479.578	-479.54	-479.386	-480.427
8	-479.639	-479.6	-476.135	-479.605
9	-479.661	-479.66	-476.259	-479.661
10	-479.72	-479.72	-480.055	-479.73

Таблица 3.1.4 – Значения коэффициентов использования в области шарнира при первом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет	Статический расчет	Динамический расчет. Нелинейный материал	Статический расчет. Нелинейный материал
1	0.2029	0.2031	0.2023	0.2024
2	0.4059	0.4061	0.4044	0.4061
3	0.6089	0.6092	0.6083	0.6090
4	0.8120	0.8123	0.8108	0.8121
5	1.0151	1.0154	1.0063	1.0149
6	1.0213	1.0209	1.0209	1.0204
7	1.0716	1.0716	1.0594	1.0727
8	1.1332	1.1333	1.0363	1.1333
9	1.1976	1.1976	1.0468	1.1976
10	1.2681	1.2681	1.1469	1.2681

3.2. Второй случай нагружения

Таблица 3.2.1 – Значения максимальных перемещений при втором случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [мм]	Статический расчет [мм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [мм]	Статический расчет. Нелинейный материал [мм]
1	5.152	5.157	5.603	5.611
2	10.307	10.314	14.163	14.157
3	15.464	15.471	27.456	27.454
4	20.621	20.628	48.539	48.591
5	25.778	25.786	112.283	117.970
6	30.741	30.744	140.714	141.755
7	35.716	35.714	141.081	140.289
8	40.707	40.700	157.764	157.665
9	45.709	45.692	169.285	169.251
10	50.715	50.688	175.092	175.061

Таблица 3.2.2 – Значения минимальных продольных сил при втором случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кН]	Статический расчет [кН]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кН]	Статический расчет. Нелинейный материал [кН]
1	-974.066	-974.148	-974.027	-973.922
2	-1948.21	-1948.3	-1948.12	-1946.81
3	-2922.36	-2922.44	-2922.2	-2920.61
4	-3896.49	-3896.59	-3896.24	-3895.17
5	-4870.64	-4870.74	-4868.72	-4868.5
6	-4599.41	-4600	-4602.25	-4598.1
7	-4199.85	-4200	-4199.26	-4198.17
8	-3800.83	-3800	-3802.79	-3798.25
9	-3299.98	-3300	-3307.73	-3298.45
10	-2599.94	-2600	-2605.98	-2598.49

Таблица 3.2.3 – Значения минимальных изгибающих моментов при втором случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кНм]	Статический расчет [кНм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кНм]	Статический расчет. Нелинейный материал [кНм]
1	-45.342	-45.345	-45.338	-45.319
2	-90.686	-90.690	-90.679	-90.524
3	-136.03	-136.034	-136.019	-135.839
4	-181.375	-181.379	-181.355	-181.241
5	-226.72	-226.724	-226.324	-226.478
6	-271.375	-271.379	-271.454	-271.153
7	-316.03	-316.034	-316.462	-315.811
8	-360.685	-360.69	-361.441	-360.473
9	-405.341	-405.345	-405.4	-405.149
10	-449.996	-450	-449.852	-449.8

Таблица 3.2.4 – Значения коэффициентов использования в области шарнира при втором случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет	Статический расчет	Динамический расчет. Нелинейный материал	Статический расчет. Нелинейный материал
1	0.2002	0.2003	0.2001	0.2002
2	0.4004	0.4005	0.4003	0.4001
3	0.6007	0.6008	0.6005	0.6003
4	0.8009	0.8010	0.8006	0.8006
5	1.0012	1.0013	0.9975	1.0007
6	1.0066	1.0074	1.0067	1.0069
7	1.0019	1.0020	1.0019	1.0015
8	1.0066	1.0066	1.0062	1.0060
9	1.0096	1.0097	1.0096	1.0092
10	1.0044	1.0045	1.0043	1.0040

3.3. Третий случай нагружения

Таблица 3.3.1 – Значения максимальных перемещений при третьем случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [мм]	Статический расчет [мм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [мм]	Статический расчет. Нелинейный материал [мм]
1	10.784	10.795	13.611	13.624
2	21.574	21.590	50.022	50.283
3	32.369	32.385	84.744	84.985
4	43.164	43.180	126.104	126.431
5	53.960	53.975	184.367	214.159
6	55.087	55.059	5197.02	27746.4
7	56.236	56.169	9760.94	28804.4
8	57.409	57.457	13619.01	29848.9
9	58.613	59.927	17275.17	30887.1
10	59.847	70.526	20724.31	31921.8

Таблица 3.3.2 – Значения минимальных продольных сил при третьем случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кН]	Статический расчет [кН]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кН]	Статический расчет. Нелинейный материал [кН]
1	-327.93	-327.958	-328	-329.38
2	-655.886	-655.916	-659.931	-656.111
3	-983.846	-983.874	-986.176	-983.25
4	-1311.8	-1311.83	-1312.49	-1311.2
5	-1639.76	-1639.79	-1642.49	-1639.41
6	-1672.44	-1672.59	-1782.73	-1672.64
7	-1705.39	-1705.38	-1824.47	-1705.4
8	-1738.36	-1738.18	-1785.61	-1738.17
9	-1770.99	-1770.97	-1791.97	-1770.95
10	-1803.76	-1803.77	-1891.87	-1803.77

Таблица 3.3.3 – Значения минимальных изгибающих моментов при третьем случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кНм]	Статический расчет [кНм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кНм]	Статический расчет. Нелинейный материал [кНм]
1	-95.878	-95.884	-95.861	-95.630
2	-191.76	-191.768	-191.813	-191.774
3	-287.643	-287.652	-287.646	-287.561
4	-383.527	-383.536	-383.451	-383.45
5	-479.411	-479.42	-478.162	-479.231
6	-489.161	-489.008	-498.685	-489.004
7	-498.624	-498.596	-501.844	-498.595
8	-508.197	-508.184	-507.408	-508.185
9	-517.772	-517.772	-517.027	-517.774
10	-527.359	-527.36	-526.679	-527.36

Таблица 3.3.4 – Значения коэффициентов использования в области шарнира при третьем случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет	Статический расчет	Динамический расчет. Нелинейный материал	Статический расчет. Нелинейный материал
1	0.2029	0.2031	0.2023	0.2024
2	0.4059	0.4061	0.4044	0.4061
3	0.6089	0.6092	0.6083	0.6090
4	0.8120	0.8123	0.8108	0.8121
5	1.0151	1.0154	1.0063	1.0149
6	1.0361	1.0357	0.8152	1.0357
7	1.0560	1.0560	0.9354	1.0560
8	1.0762	1.0663	0.9791	1.0763
9	1.0966	1.0966	0.9832	1.0966
10	1.1169	1.1169	0.9957	1.1169

3.4. Четвертый случай нагружения

Таблица 3.4.1 – Значения максимальных перемещений при четвертом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [мм]	Статический расчет [мм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [мм]	Статический расчет. Нелинейный материал [мм]
1	15.433	15.443	48.091	48.752
2.5	25.789	25.786	119.253	117.973
5	3.702	3.701	6.874	6.810
7.5	25.788	25.786	119.246	117.971
10	3.702	3.702	6.883	6.814
12.5	25.788	25.786	119.232	117.970
15	3.704	3.703	6.894	6.820
17.5	25.788	25.785	119.217	117.967
20	3.706	3.705	6.908	6.828

Таблица 3.4.2 – Значения минимальных продольных сил при четвертом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кН]	Статический расчет [кН]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кН]	Статический расчет. Нелинейный материал [кН]
1	-4870.33	-4870.74	-4868.11	-4868.34
2.5	-4879.2	-4870.74	-4871.95	-4868.49
5	-4870.98	-4870.74	-4870.75	-4851.47
7.5	-4870.76	-4870.74	-4870.8	-4868.5
10	-4870.73	-4870.74	-4870.75	-4851.47
12.5	-4870.74	-4870.74	-4870.8	-4868.5
15	-4870.73	-4870.74	-4870.75	-4851.47
17.5	-4870.74	-4870.74	-4870.8	-4868.5
20	-4870.74	-4870.74	-4870.75	-4851.47

Таблица 3.4.3 – Значения максимальных по модулю изгибающих моментов при четвертом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет [кНм]	Статический расчет [кНм]	Динамический расчет. Нелинейный материал [кНм]	Статический расчет. Нелинейный материал [кНм]
1	133.204	133.208	133.085	133.001
2.5	226.756	226.726	227.378	226.48
5	0.706	0.361	1.600	0.355
7.5	226.76	226.725	227.076	226.479
10	1.067	0.722	1.958	0.709
12.5	226.759	226.724	227.064	226.478
15	1.428	1.083	2.316	1.064
17.5	226.756	226.722	227.052	226.476
20	1.789	1.444	2.675	1.418

Таблица 3.4.4 – Значения коэффициентов использования в области шарнира при четвертом случае нагружения.

Время воздействия [с]	Динамический расчет	Статический расчет	Динамический расчет. Нелинейный материал	Статический расчет. Нелинейный материал
1	0.9185	0.9188	0.9169	0.9182
2.5	1.0026	1.0013	1.0015	1.0007
5	0.8090	0.8088	0.8094	0.8056
7.5	1.0013	1.0013	1.0015	1.0007
10	0.8092	0.8091	0.8097	0.8059
12.5	1.0013	1.0013	1.0015	1.0007
15	0.8095	0.8094	0.8100	0.8062
17.5	1.0013	1.0013	1.0015	1.0007
20	0.8098	0.8097	0.8103	0.8065

При достижении сходимости результаты получаются крайне близкими. Отличительны лишь значения перемещений при расчетах с нелинейным материалом, что обосновывается расчетом по второй группе предельных состояний с раскрытием трещин. При этом значения внутренних усилий между разными материалами хорошо сопоставимы.