



# Российские САЕ-системы на службе промышленности<sup>2020</sup>

## Расчет вынужденных колебаний

Шанин Дмитрий



НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов



## Общие понятия и методология расчета

**Расчёт вынужденных колебаний** представляет собой решения уравнений динамики в общем виде:

$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{u}}\} + [\mathbf{C}]\{\dot{\mathbf{u}}\} + [\mathbf{K}]\{\mathbf{u}\} = \{\mathbf{F}(t)\}$$

$[\mathbf{M}]$  – матрица масс,  $[\mathbf{C}]$  – матрица демпфирования,  $[\mathbf{K}]$  – матрица жесткости,  
 $\{\ddot{\mathbf{u}}\}$  – вектор ускорений в узлах,  $\{\dot{\mathbf{u}}\}$  – вектор скоростей в узлах,  $\{\mathbf{u}\}$  – вектор перемещений в узлах,  
 $\{\mathbf{F}(t)\}$  – вектор приложенных внешних воздействий.

### Разложение по собственным формам

- Использование интеграла Дюамеля
- Использование собственных форм
- Использование единого логарифмического декремента колебаний

### Прямое интегрирование

- Использование метода Ньюмарка
- Использование затухания из демпфирующих свойств материала



## Области применения

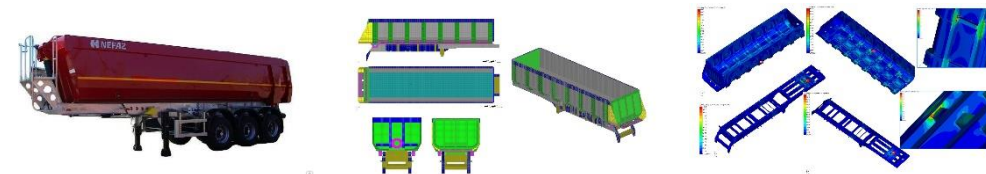
### Автомобильный транспорт

Нагрузки от движения с ускорением – разгон и торможение

Движение по неровной дороге

Режим подъема кузова

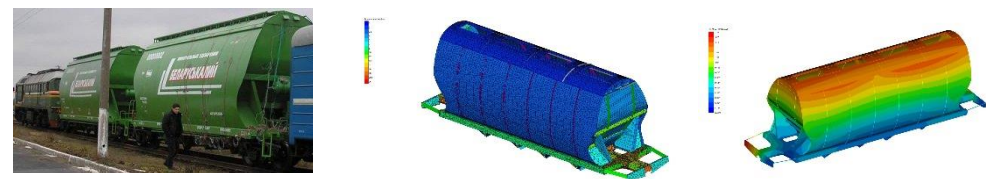
Нагрузки от ДВС, трансмиссии и компрессора пневмосистем



### Железнодорожный транспорт

Нагрузки от трогания с места, осаживания или торможения

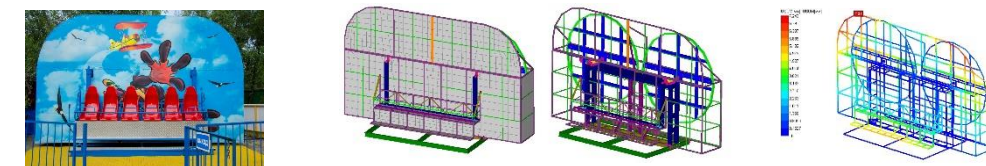
Нагрузки от соударения вагонов при манёвровой и сортировочных работах



### Индустрия развлечений

Нагрузки от виброактивного оборудования

Нагрузки от резкой остановки движущихся частей





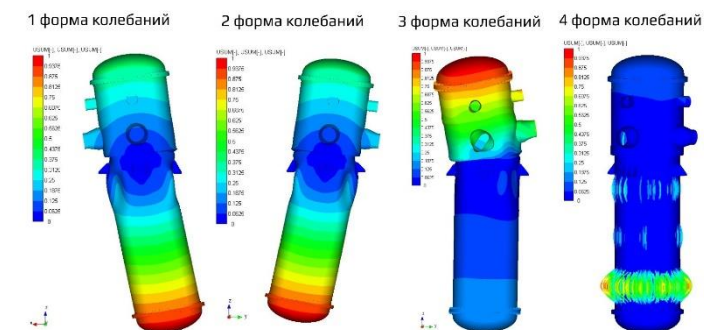
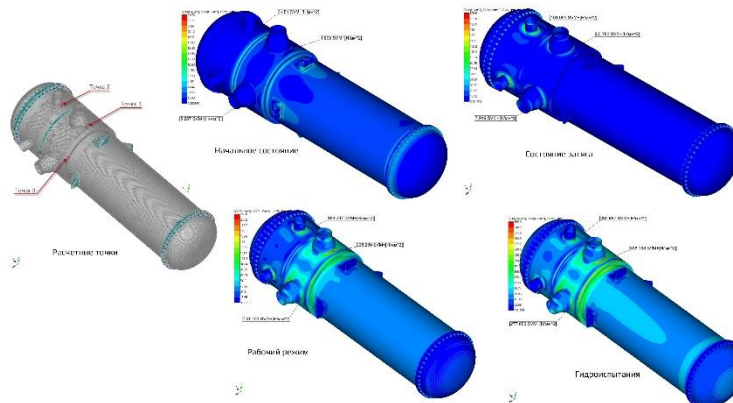
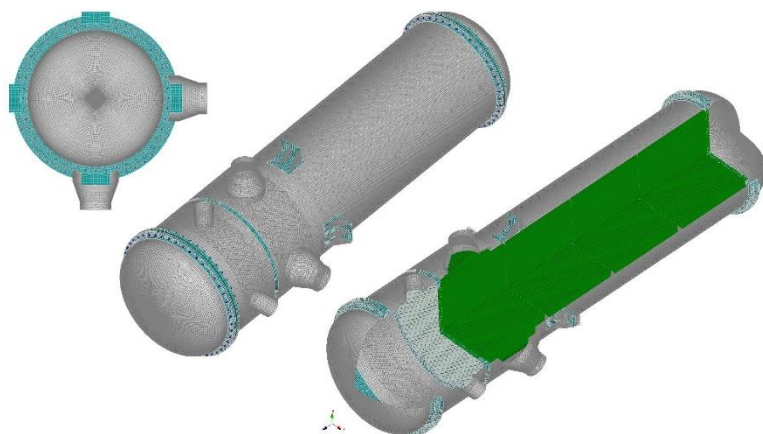
## Области применения

**Оборудование атомной и нефтегазовой промышленности**

**Теплообменник контура расхолаживания**

Нагрузки от виброактивного оборудования

Нагрузки от дистиллята в режиме запуска



**И большинство не озвученных отраслей машиностроения, а также строительства**

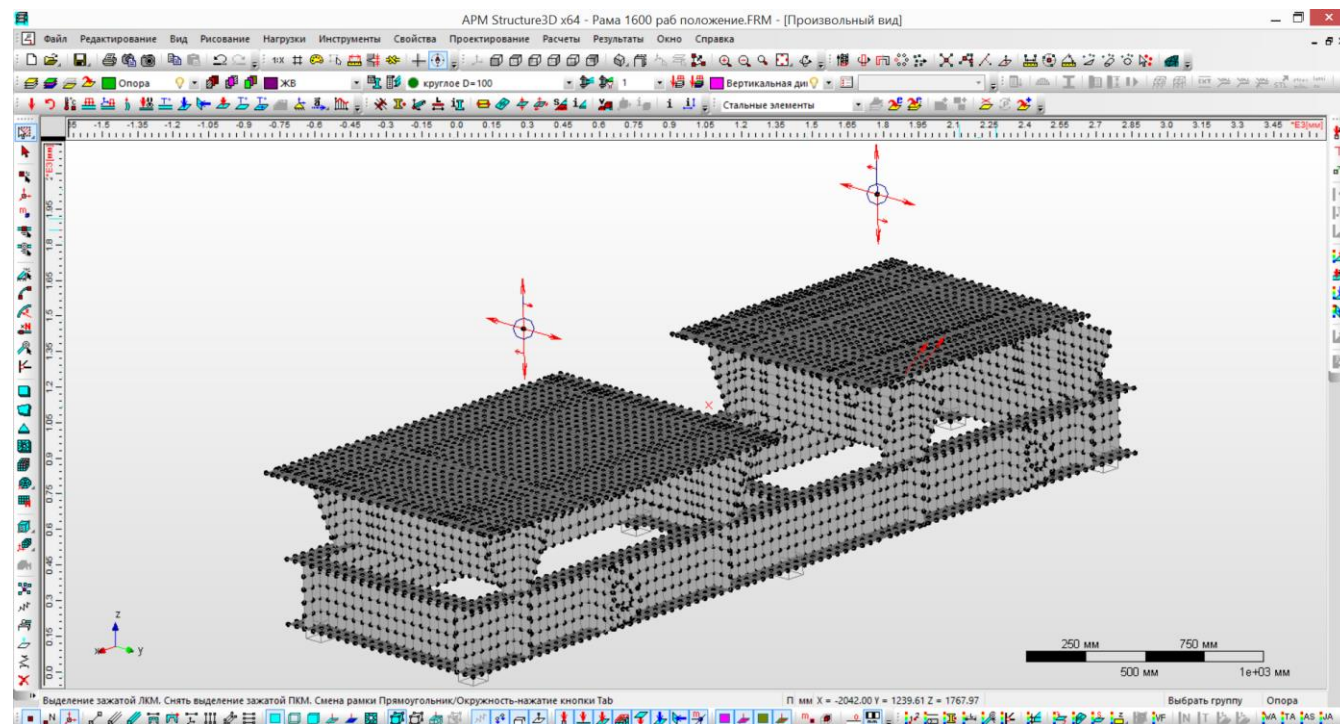




## Пример решения задачи

### Прочностной расчет рамы компрессорной установки

На раму установлены электродвигатель и компрессор каждый из которых является причиной вибрационного воздействия 4 Гц





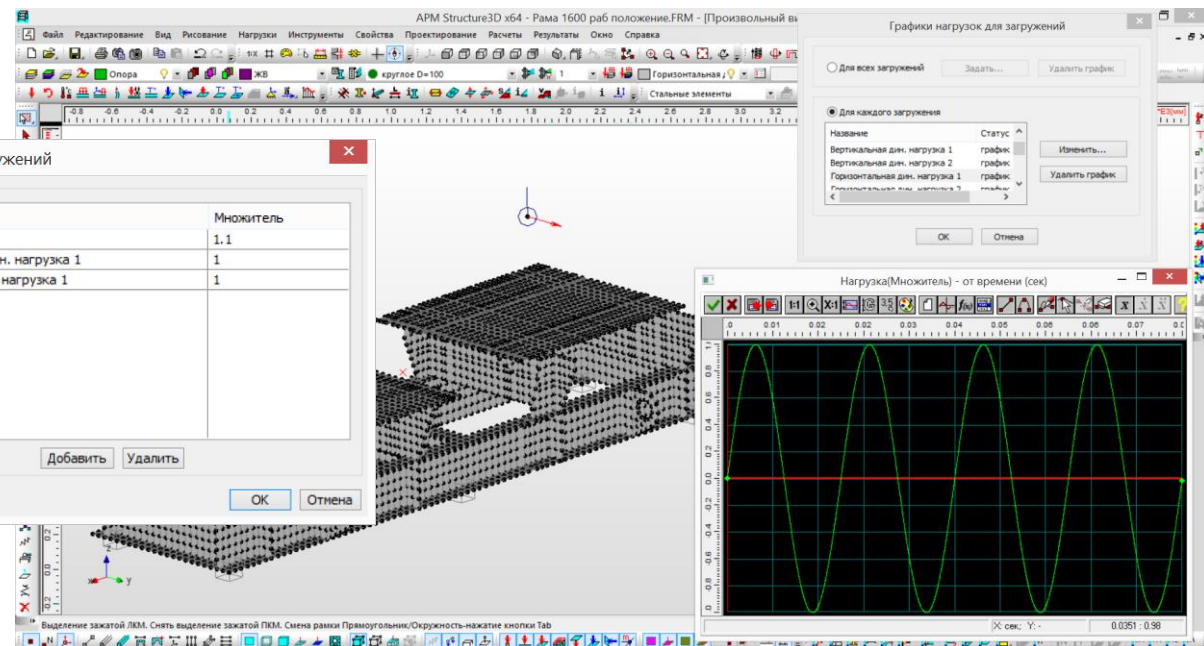
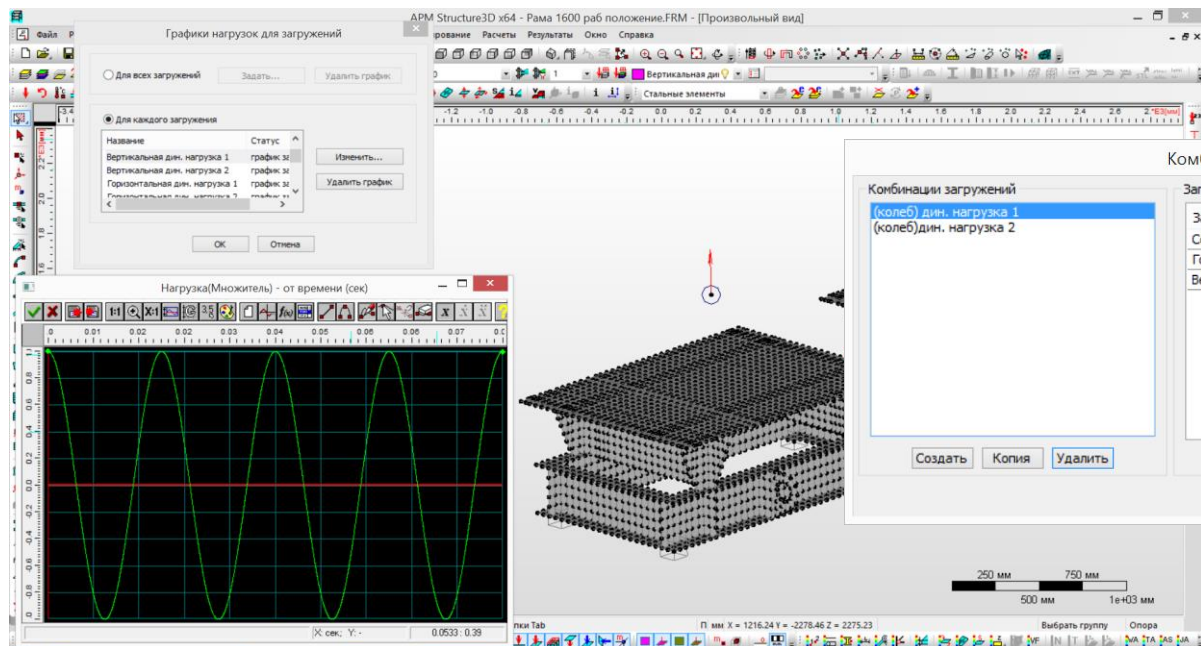
## Пример решения задачи

### Прочностной расчет рамы компрессорной установки

Юзюминкой данной модели является подход к заданию кругового вибрационного воздействия

Вертикальная составляющая нагрузки

Горизонтальная составляющая нагрузки





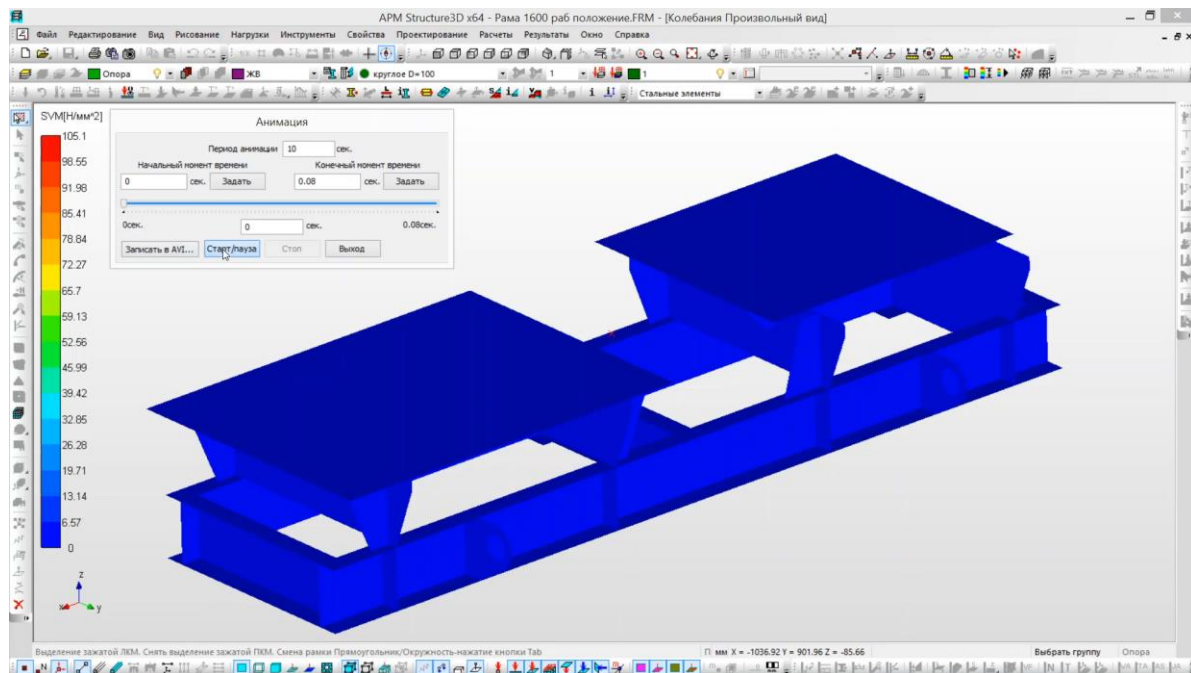


## Пример решения задачи

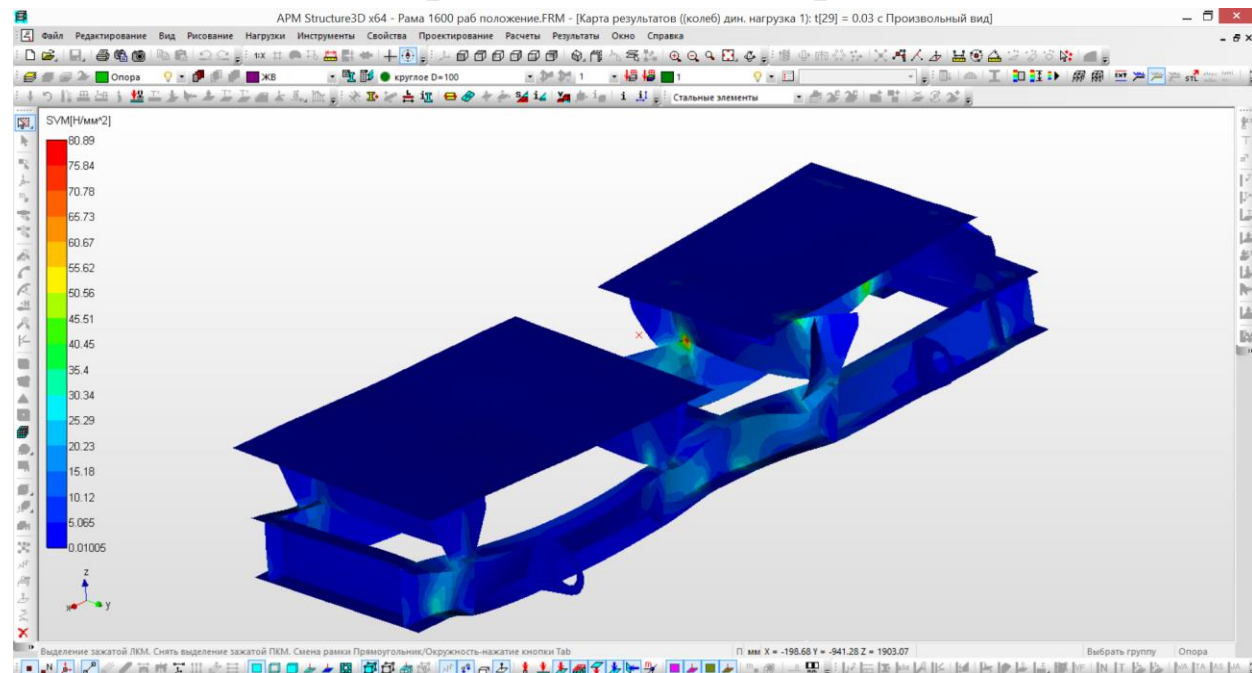
### Прочностной расчет рамы компрессорной установки

### Результаты расчета вынужденных колебаний

Анимационная картина изменения  
эквивалентных напряжений



Карта эквивалентных напряжений в  
конкретный момент времени





## Пример решения задачи

### Прочностной расчет рамы компрессорной установки

### Результаты расчета вынужденных колебаний

Анимационная картина изменения суммарных линейных перемещений

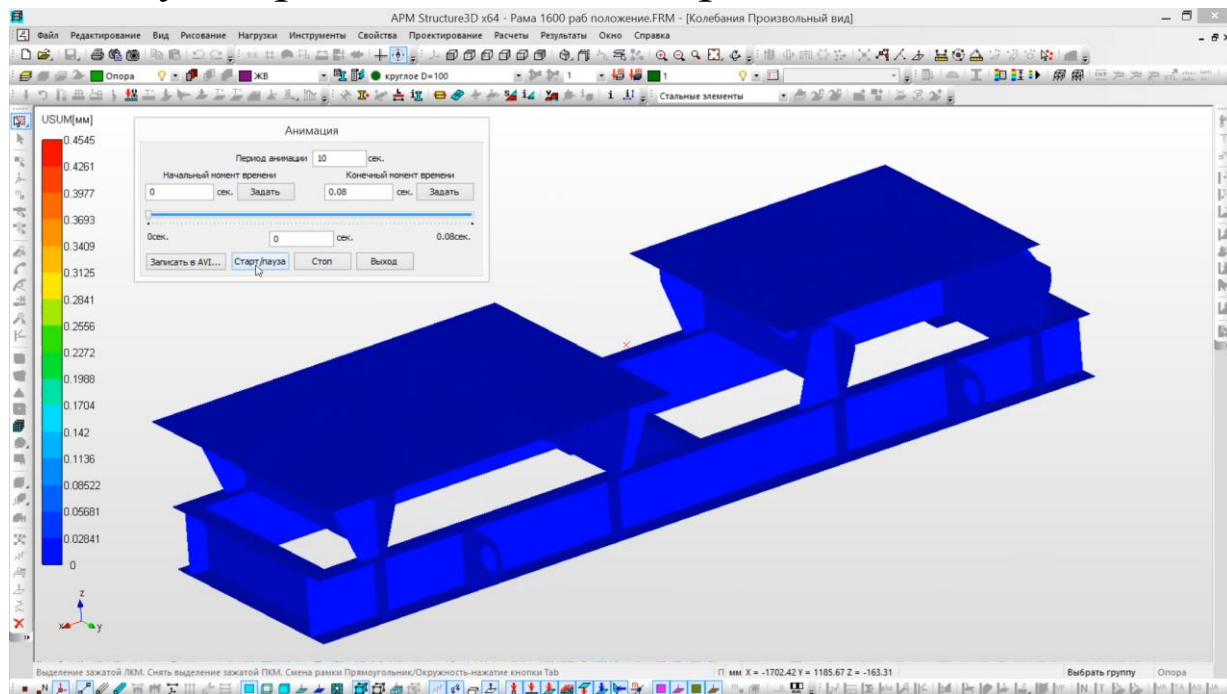
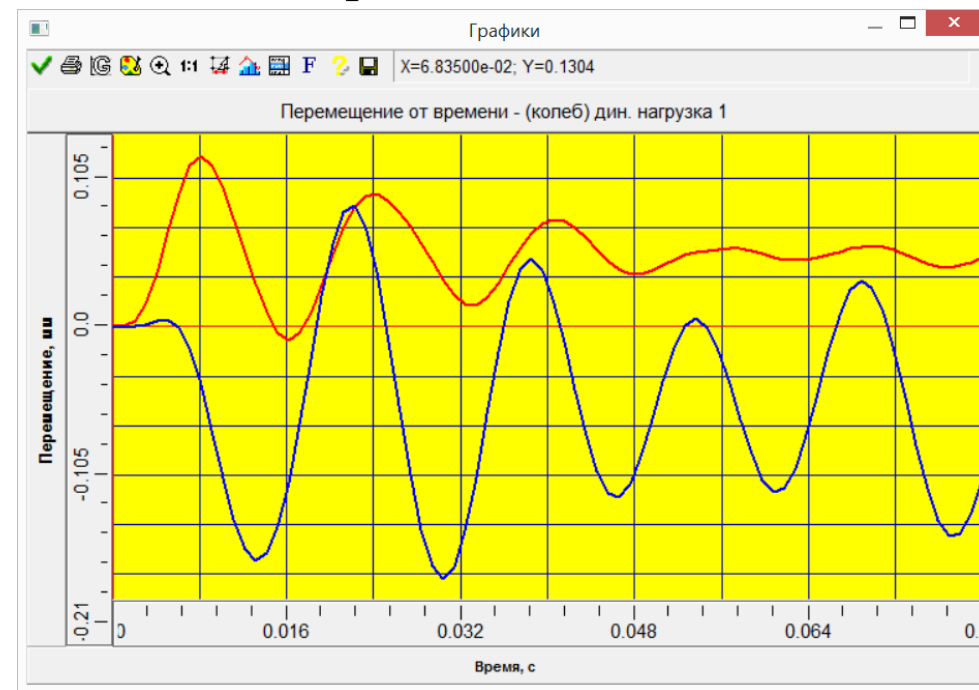


График горизонтальных перемещения верхней плиты







## Пример решения задачи

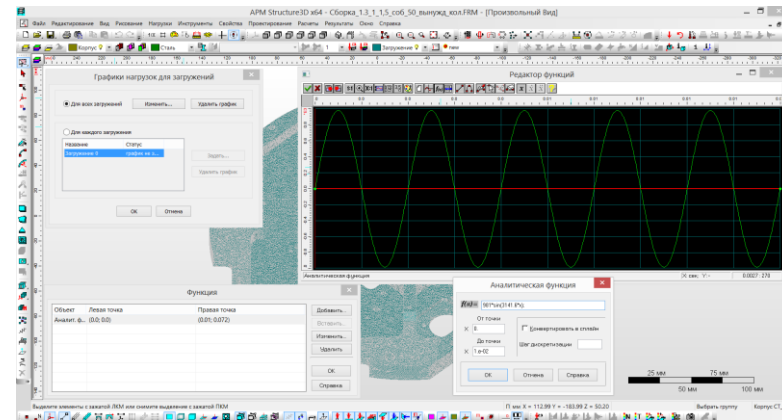
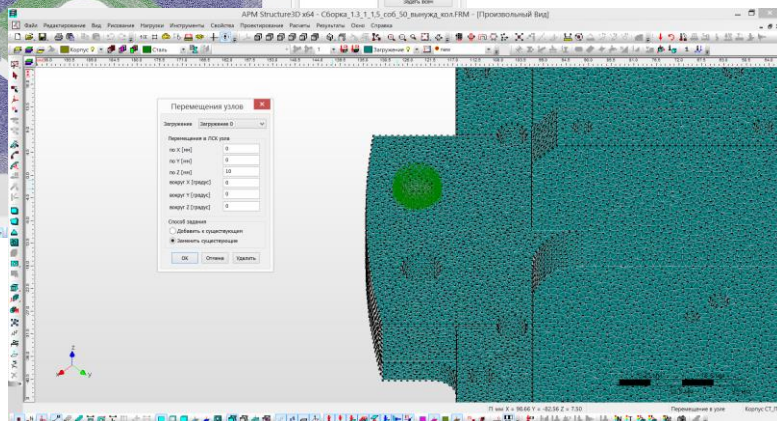
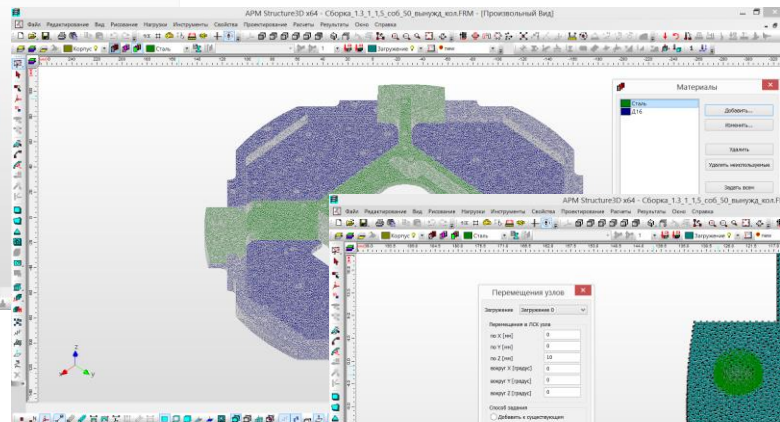
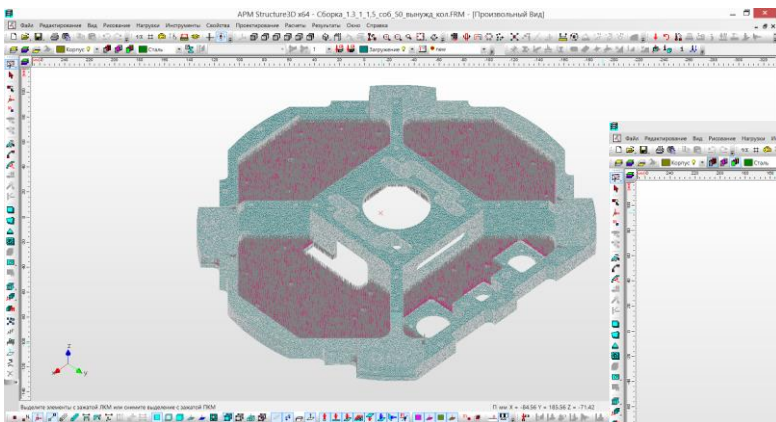
# Моделирование вибрационного испытания корпусных деталей на стенде

## Особенности расчетной схемы

Присутствуют контактные зоны

Разные материалы

Задание вибрации основания

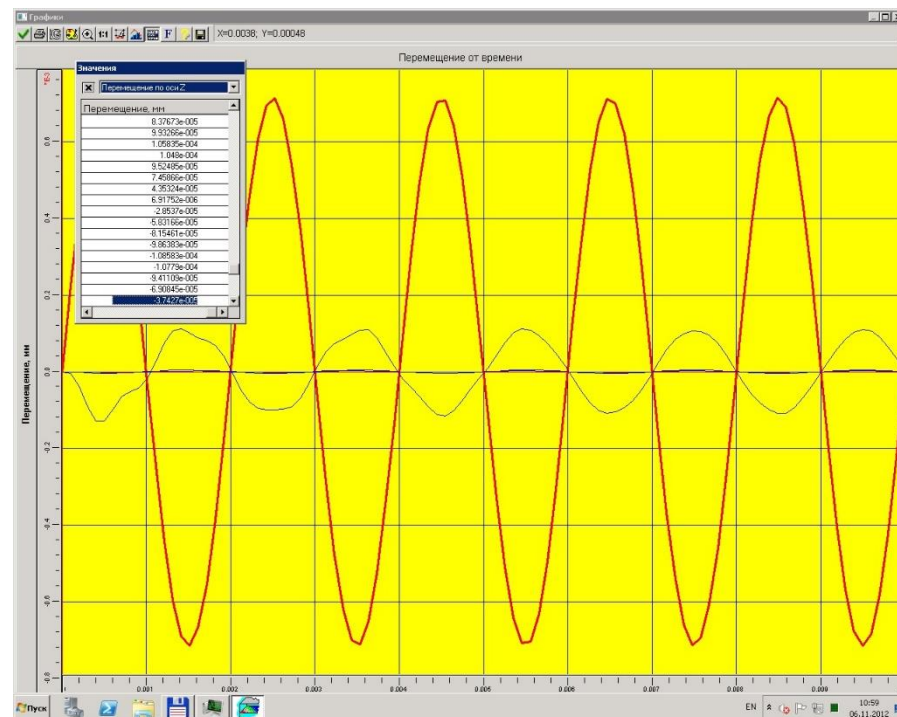
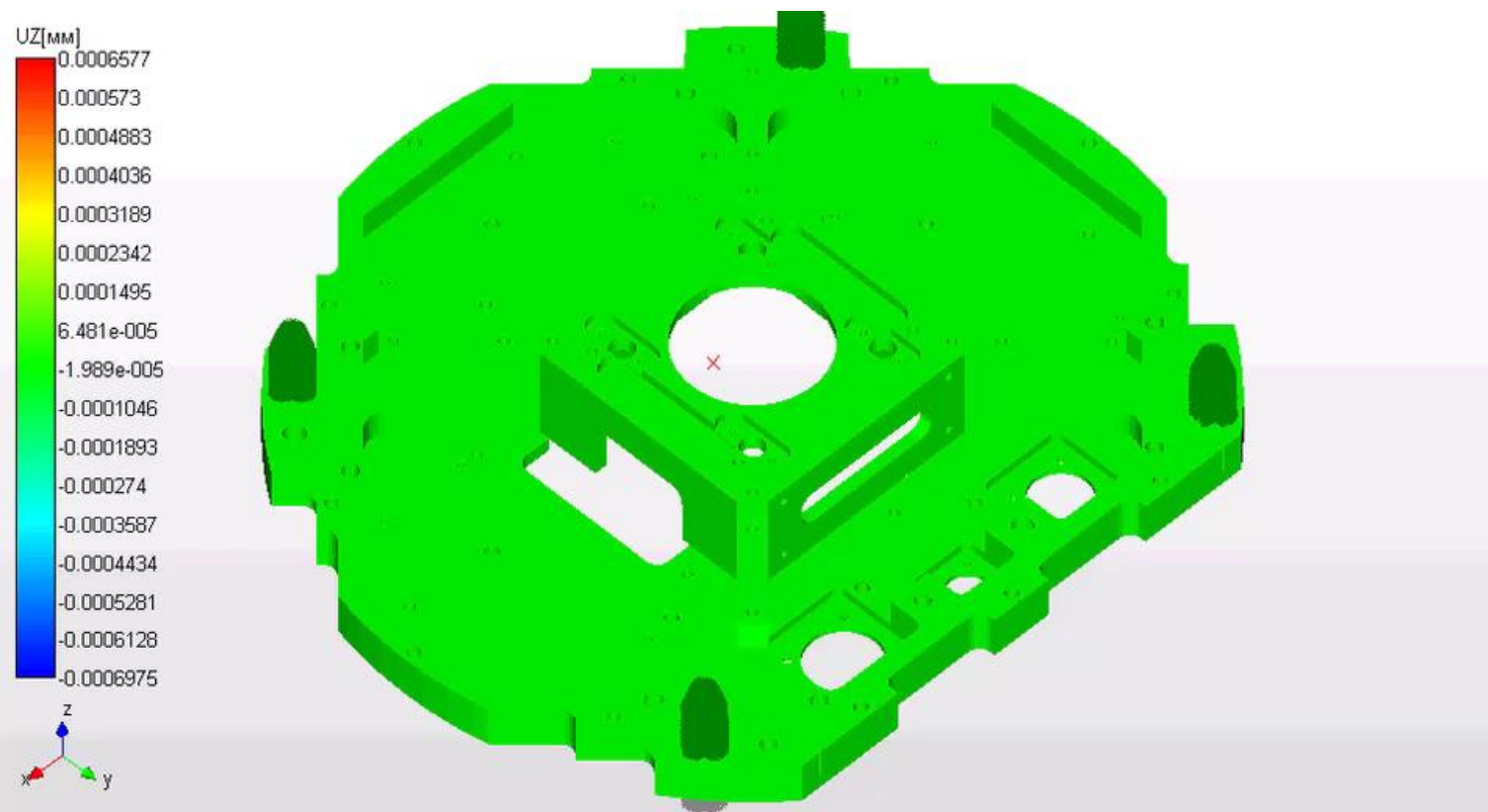




## Пример решения задачи

**Моделирование вибрационного испытания корпусных деталей на стенде**

**Наибольший интерес вызывали вертикальные перемещения**



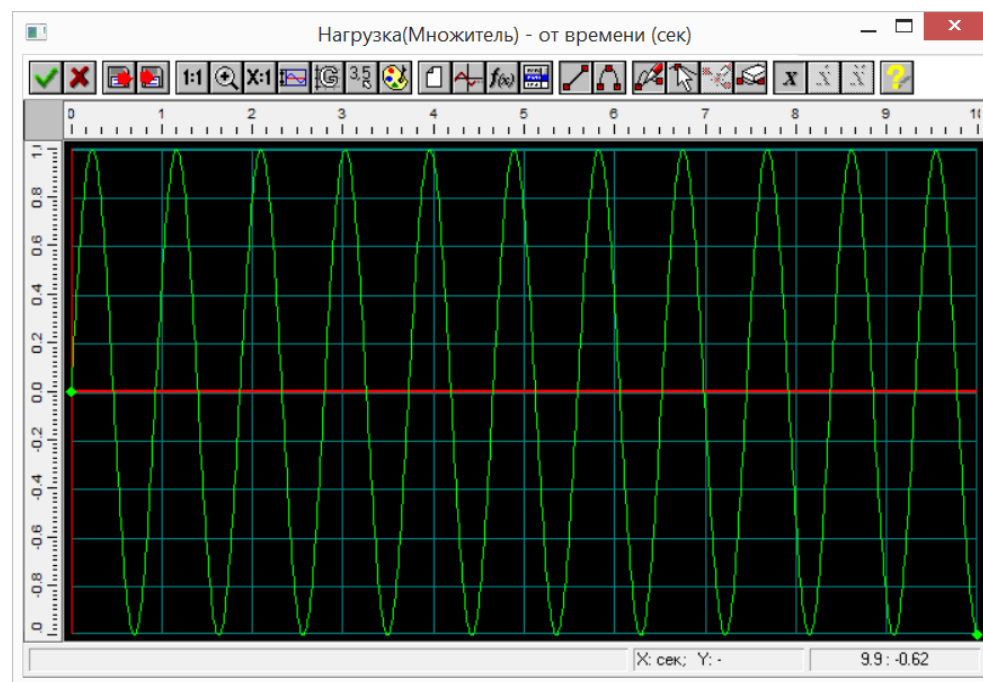
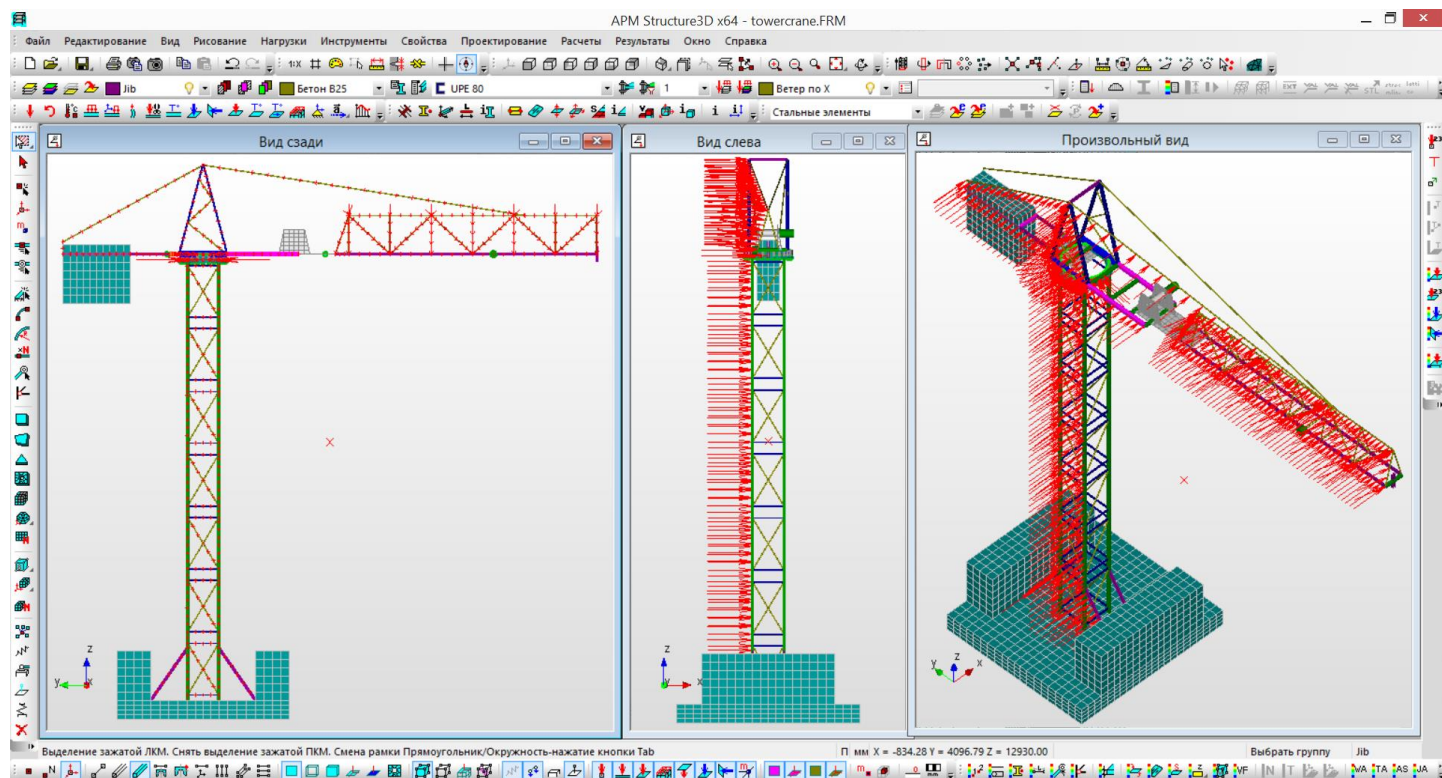




## Пример решения задачи

### Прочностной расчет башенного крана

Моделирование поведения крана при действии пульсационной составляющей ветровой нагрузки



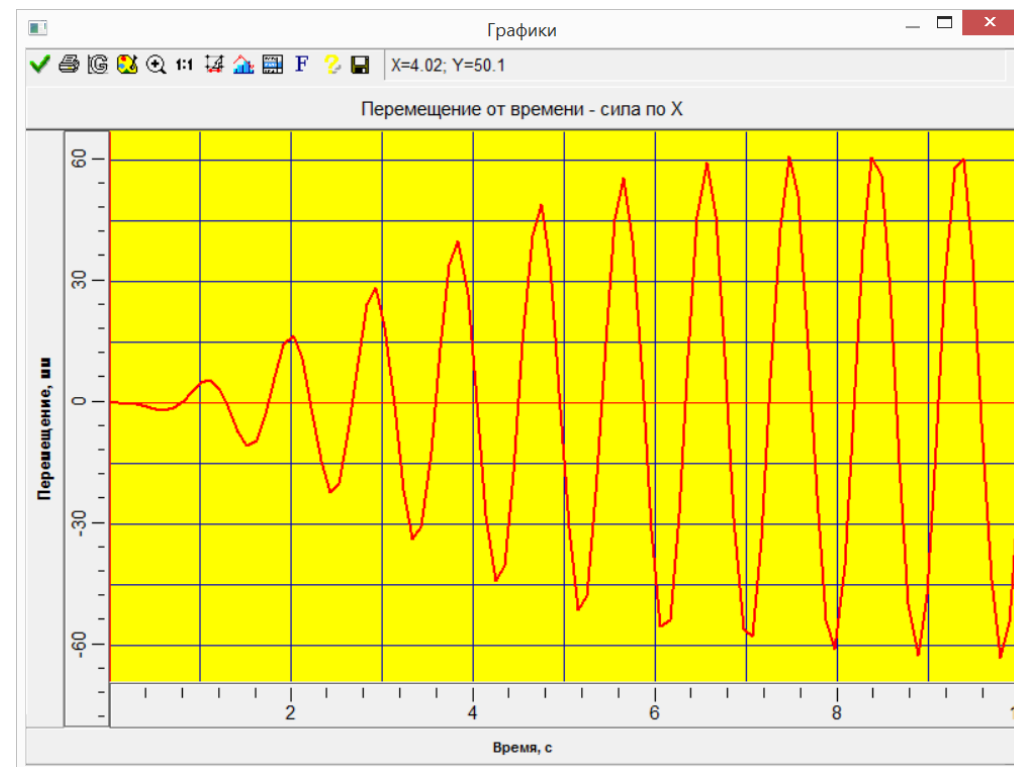
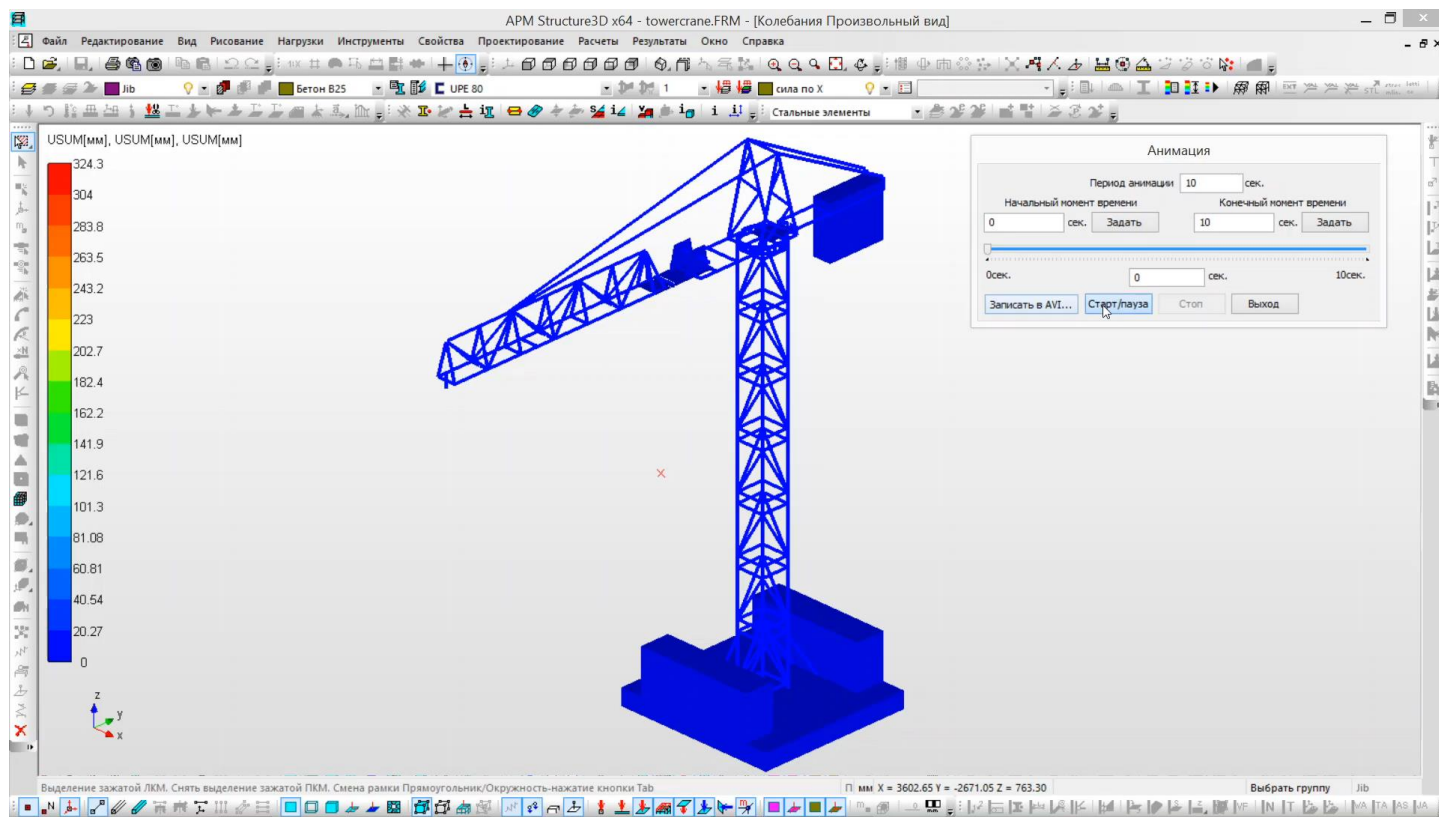




## Пример решения задачи

### Прочностной расчет башенного крана

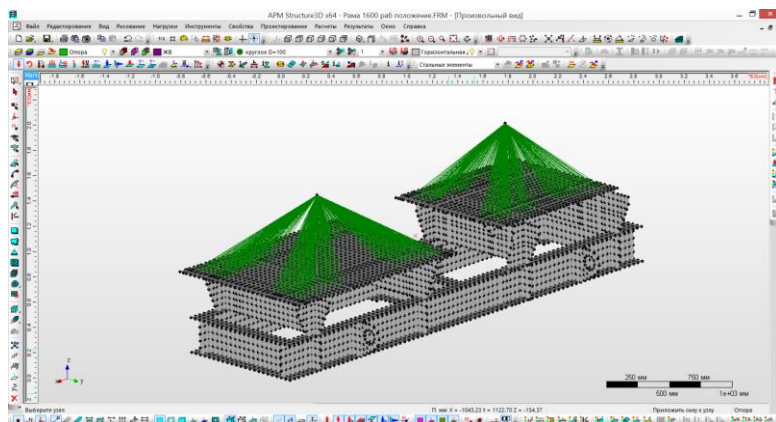
### Анимация отклика крана на пульсацию ветра и график перемещения стрелы



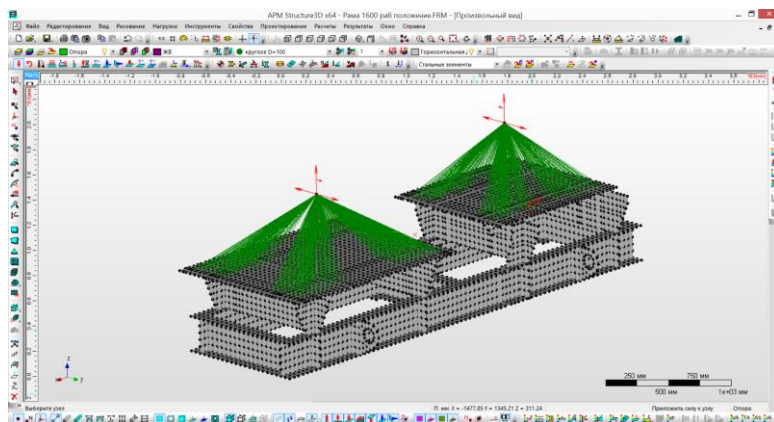


## Подготовка модели для расчета вынужденных колебаний

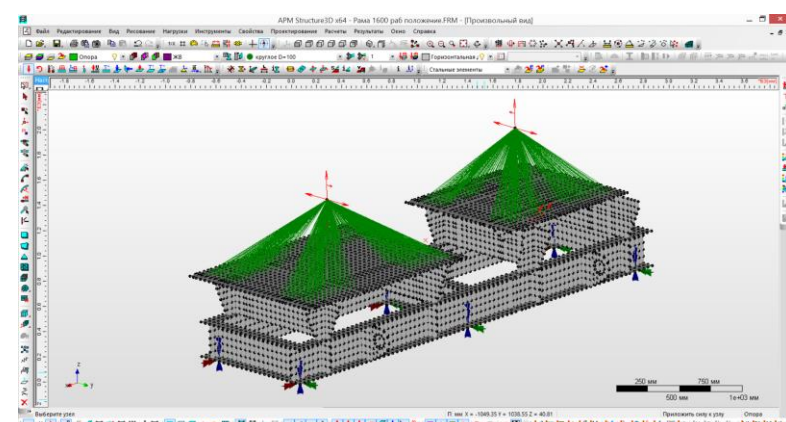
### Построение геометрии



### Задание нагрузок

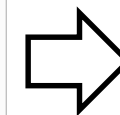
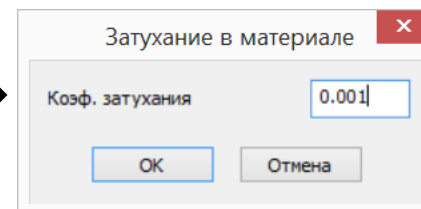
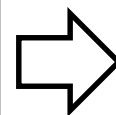
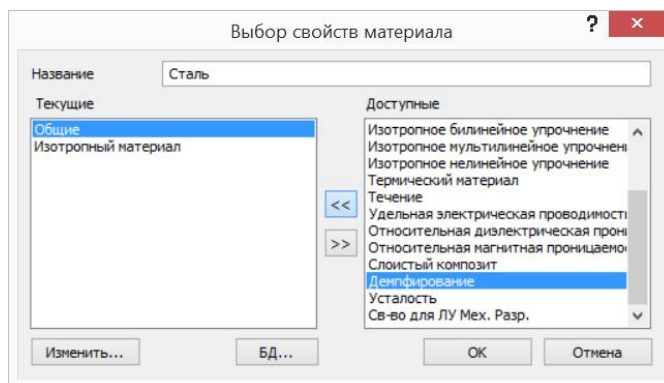
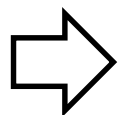


### Задание закреплений



## Обратите Внимание!!!

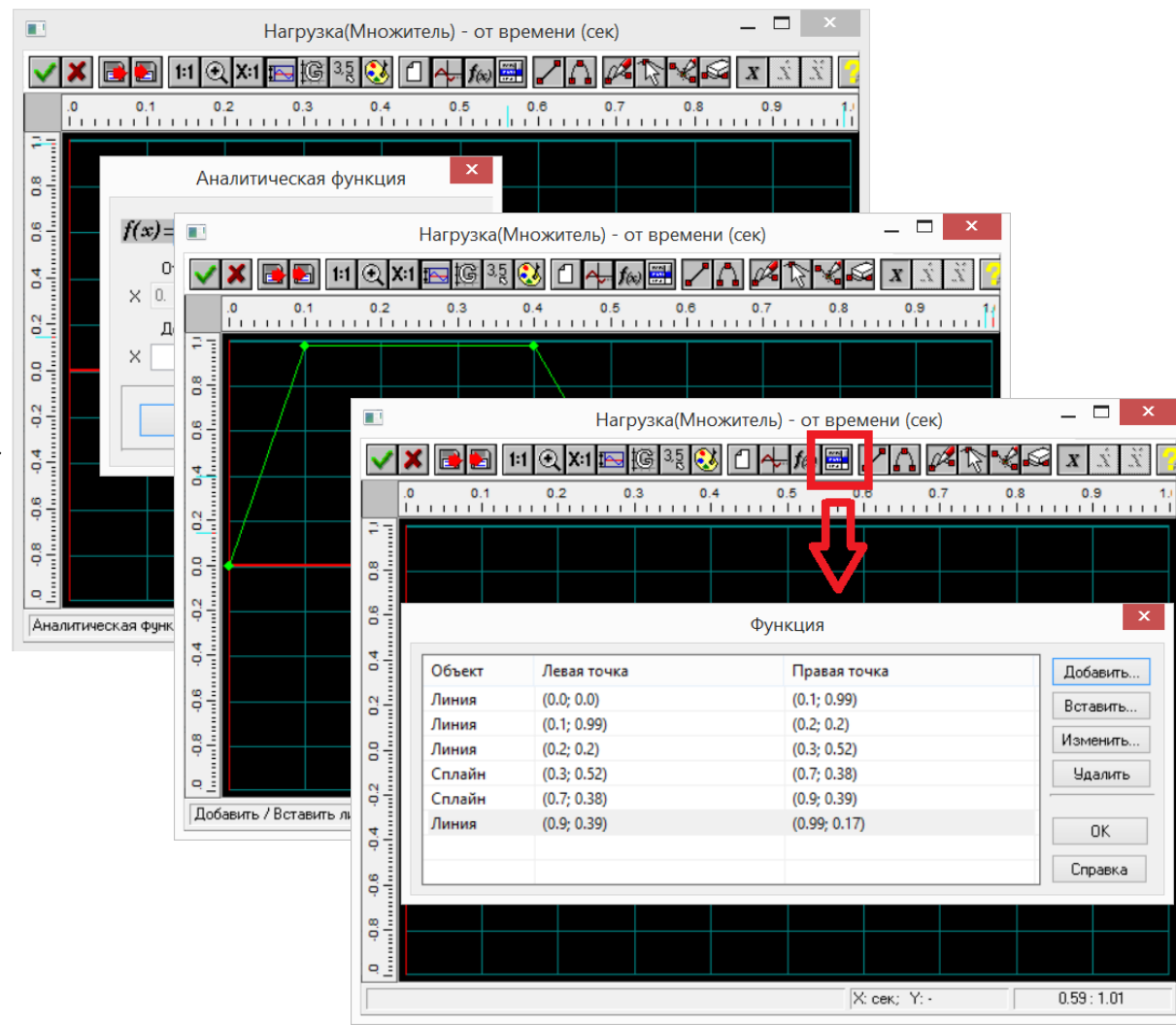
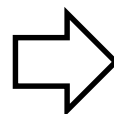
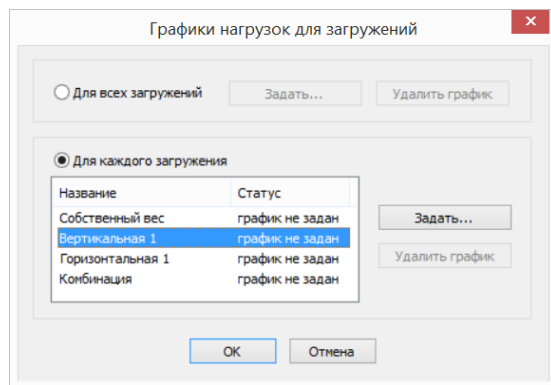
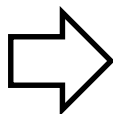
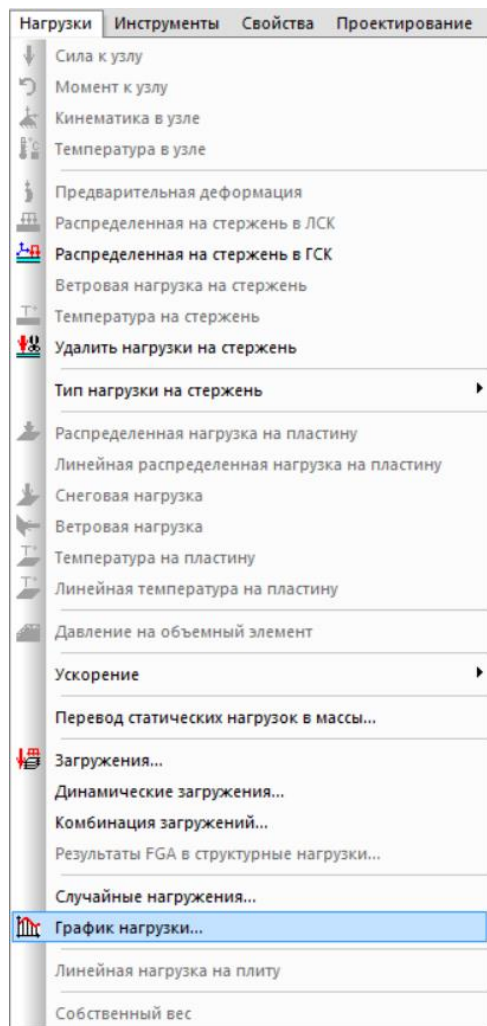
Учет материалов с  
различными  
демпфирующими  
свойств



Прямое  
интегрирование



## Задание изменения нагрузки во времени

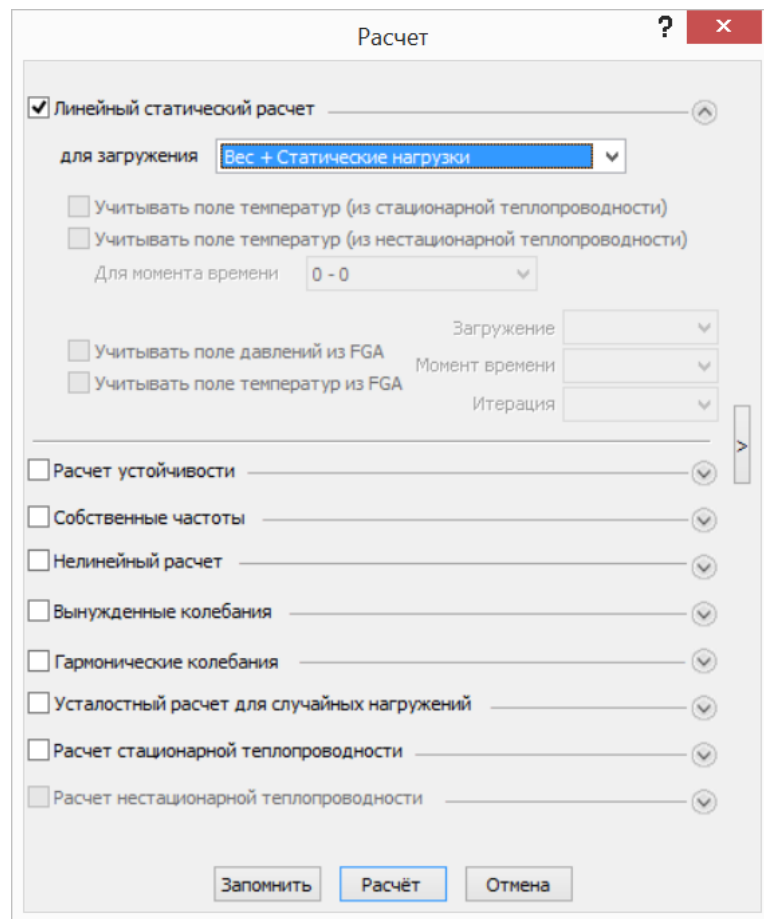




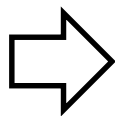


## Предварительные расчеты

### Линейный статический расчет

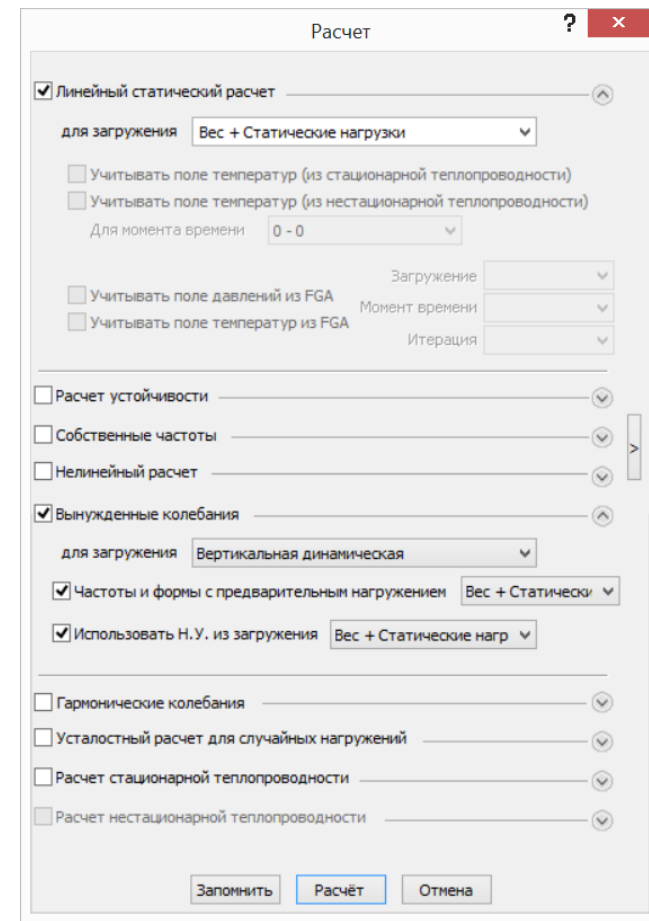


**Оценка корректности  
расчетной схемы**



**Использование в качестве  
предварительного нагружения  
при расчете частот**

**Использование в качестве  
Начальных Условий (Н.У.)  
при расчете частот**





## Предварительные расчеты

### Собственные частоты

Результаты расчета собственных частот являются основой для корректного задания параметров расчета вынужденных колебаний

Период первой собственной формы увеличенный в 5 раз определяет окончание временного интервала

Расчет

☐ Линейный статический расчет

☐ Расчет устойчивости

☒ Собственные частоты

☐ Учитывать предварительное нагружение для загрузки

☐ Нелинейный расчет

☐ Вынужденные колебания

☐ Гармонические колебания

☐ Усталостный расчет для случайных нагружений

☐ Расчет стационарной теплопроводности

☐ Расчет нестационарной теплопроводности

Запомнить

Расчёт

Отмена

| Частоты собственных колебаний |         |        |           |                                  |                |            |
|-------------------------------|---------|--------|-----------|----------------------------------|----------------|------------|
| Собственные частоты           |         |        |           | Модальные массы (м.м.) и суммы м |                |            |
| N                             | [рад/с] | [Гц]   | [с]       | м.м. X [%]                       | с.м.м. X [...] | м.м. Y [%] |
| 1                             | 81.6498 | 12.995 | 0.0769529 | 4.59e-05                         | 4.59e-05       | 10.2       |
| Форма...                      |         |        |           |                                  |                |            |

$$0,077*5=0,385$$

| Свойство  | Значение                         |
|---|----------------------------------|
| [M].{x}''+[C].{x}'+[K].{x}={F(t)}                           |                                  |
| Алгоритм решения СЛАУ для [M].{x}''+[C].{x}'+[K].{x}={F(t)} | Sparse                           |
| Точность решения  | 0.001                            |
| Максимальное кол-во итераций                                | 100                              |
| Объём оперативной памяти, Мб                                | 8000                             |
| Хранение разложения матрицы                                 | AutoDecide                       |
| Размер временного файла                                     | 1500                             |
| Окончание временного интервала, [с]                         | 0.0385                           |
| Кол-во моментов времени                                     | 10                               |
| Алгоритм решения  | Разложение по собственным формам |
| Логарифмический декремент колебаний                         | 0.3                              |
| Кол-во собственных форм                                     | 8                                |
| Минимальная частота учёта собственных форм, [Гц]            | 0                                |
| Шаг по времени, [с]   | 0.001                            |
| Усталостный расчёт  | <input type="checkbox"/>         |
| Окончание временного интервала, [с]                         |                                  |
| Расчёт проводится с 0 до указанного значения времени        |                                  |



## Предварительные расчеты

### Собственные частоты

Величины значений суммарных модальных масс указывают какое количество собственных форм необходимо учесть при использовании алгоритма разложения по собственным формам

| Собственные частоты |         |         |            | Модальные массы (н.н.) и суммы модальных масс (с.н.н.) по направлениям ГСК |              |            |              |            |              |
|---------------------|---------|---------|------------|--|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| N                   | [рад/с] | [Гц]    | [с]        | н.н. X [%]   | с.н.н. X [%] | н.н. Y [%] | с.н.н. Y [%] | н.н. Z [%] | с.н.н. Z [%] |
| 62                  | 499.406 | 79.4829 | 0.0125813  | 0.000246   | 87.2         | 4.17e-05   | 84.2         | 0.000555   | 47.1         |
| 63                  | 516.673 | 82.231  | 0.0121609  | 4.29e-06   | 87.2         | 0.395      | 84.6         | 0.626      | 47.7         |
| 64                  | 530.982 | 84.5084 | 0.0118331  | 0.0273   | 87.2         | 0.00516    | 84.6         | 0.000971   | 47.7         |
| 65                  | 547.254 | 87.0982 | 0.0114813  | 0.0421   | 87.3         | 0.0386     | 84.6         | 0.0115     | 47.7         |
| 66                  | 562.548 | 89.5323 | 0.0111692  | 0.503  | 87.8         | 0.00167    | 84.6         | 0.00281    | 47.7         |
| 67                  | 576.837 | 91.6791 | 0.0109076  | 0.0655   | 87.8         | 4.17e-11   | 84.6         | 0.00138    | 47.7         |
| 68                  | 591.499 | 94.3591 | 0.0105226  | 2.3e-05  | 87.7         | 0.00122    | 84.6         | 7.20e-05   | 47.7         |
| 69                  | 628.767 | 100.071 | 0.00999286 | 0.761  | 91           | 0.00492    | 84.6         | 0.000465   | 47.7         |
| 70                  | 633.539 | 100.831 | 0.0099176  | 0.0187   | 91           | 0.0105     | 84.7         | 0.00191    | 47.7         |
| 71                  | 643.35  | 102.392 | 0.00976635 | 0.00353  | 91           | 1.56e-05   | 84.7         | 0.00143    | 47.7         |
| Форма...            |         |         |            | Закрыть  |              |            |              |            |              |

| Собственные частоты |         |         |            | Модальные массы (н.н.) и суммы модальных масс (с.н.н.) по направлениям ГСК |              |            |              |            |              |
|---------------------|---------|---------|------------|--|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| N                   | [рад/с] | [Гц]    | [с]        | н.н. X [%]   | с.н.н. X [%] | н.н. Y [%] | с.н.н. Y [%] | н.н. Z [%] | с.н.н. Z [%] |
| 98                  | 819.408 | 130.413 | 0.00766795 | 0.00113  | 93.4         | 0.0961     | 87.5         | 0.0431     | 52.1         |
| 99                  | 822.257 | 130.866 | 0.00764139 | 0.006  | 93.4         | 0.192      | 87.7         | 0.285      | 52.3         |
| 100                 | 823.593 | 131.079 | 0.00762899 | 0.000866   | 93.4         | 1.27       | 88.9         | 0.305      | 52.7         |
| 101                 | 837.45  | 133.284 | 0.00750276 | 0.00179  | 93.4         | 1.79e-05   | 88.9         | 3.34       | 56           |
| 102                 | 857.614 | 136.493 | 0.00732636 | 0.000259   | 93.4         | 0.522      | 89.4         | 4.71       | 60.7         |
| 103                 | 868.313 | 138.196 | 0.00723608 | 0.0015   | 93.4         | 0.503      | 90           | 4.53       | 65.2         |
| 104                 | 875.933 | 139.409 | 0.00717313 | 0.0184   | 93.5         | 0.0655     | 90           | 0.303      | 65.5         |
| 105                 | 893.33  | 142.178 | 0.00703344 | 0.0124   | 93.5         | 0.206      | 90.2         | 0.351      | 65.9         |
| 106                 | 896.632 | 142.703 | 0.00700754 | 0.000642   | 93.5         | 0.107      | 90.3         | 0.0145     | 65.9         |
| 107                 | 899.408 | 143.145 | 0.00698591 | 0.000355   | 93.5         | 0.0453     | 90.4         | 0.00248    | 65.9         |
| Форма...            |         |         |            | Закреть  |              |            |              |            |              |

| Собственные частоты |         |         |            | Модальные массы (н.н.) и суммы модальных масс (с.н.н.) по направлениям ГСК |              |            |              |            |              |
|---------------------|---------|---------|------------|--|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| N                   | [рад/с] | [Гц]    | [с]        | н.н. X [%]   | с.н.н. X [%] | н.н. Y [%] | с.н.н. Y [%] | н.н. Z [%] | с.н.н. Z [%] |
| 141                 | 1411.66 | 224.673 | 0.0044509  | 0.00167  | 94.1         | 1.36e-09   | 92.7         | 1.05       | 74.6         |
| 142                 | 1421.9  | 226.302 | 0.00441887 | 0.00127  | 94.1         | 0.000127   | 92.7         | 8.21       | 82.8         |
| 143                 | 1464.28 | 233.047 | 0.00429099 | 0.000498   | 94.1         | 0.00963    | 92.7         | 0.216      | 83           |
| 144                 | 1477.89 | 235.214 | 0.00425144 | 0.00254  | 94.1         | 5.99e-06   | 92.7         | 3.78       | 86.8         |
| 145                 | 1496.36 | 238.153 | 0.00419899 | 0.000841   | 94.1         | 0.00476    | 92.7         | 0.649      | 87.5         |
| 146                 | 1521.75 | 242.193 | 0.00412893 | 0.000425   | 94.1         | 0.0149     | 92.7         | 0.382      | 87.8         |
| 147                 | 1534.02 | 244.147 | 0.00409589 | 2.1e-05  | 94.1         | 0.00857    | 92.7         | 1.55       | 89.4         |
| 148                 | 1541.98 | 245.414 | 0.00407475 | 4.48e-05   | 94.1         | 0.000976   | 92.7         | 0.119      | 89.5         |
| 149                 | 1576.36 | 250.885 | 0.00398589 | 2.96e-06   | 94.1         | 0.0172     | 92.7         | 0.0749     | 89.6         |
| 150                 | 1579.17 | 251.333 | 0.00397879 | 6.59e-06   | 94.1         | 0.00351    | 92.7         | 0.0137     | 89.6         |

Форма...

Закрыть

По оси X достаточно 68 форм

По оси Y достаточно 103 формы

По оси Z достаточно 144 формы

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Физическая нелинейность   |                                  |
| Общая нелинейность  |                                  |
| Линейный контакт  |                                  |
| XFEM  |                                  |
| Трещины-жизнь/смерть элементов  |                                  |
| Вынужденные колебания   |                                  |
| Усталостный расчёт  |                                  |
| Гармонический анализ  |                                  |
| Стальные элементы   |                                  |
| Армированные элементы   |                                  |
| Фундаменты  |                                  |
| PCU   |                                  |
| Стационарная теплопроводность   |                                  |
| Свойство  | Значение                         |
| [M].{x}'' + [C].{x}' + [K].{x} = {F(t)}   |                                  |
| Алгоритм решения СЛАУ для [M].{x}'' + [C].{x}' + [K].{x} = {F(t)}                                     | Sparse                           |
| Точность решения  | 0.001                            |
| Максимальное кол-во итераций  | 100                              |
| Объём оперативной памяти, Мб  | 8000                             |
| Хранение разложения матрицы   | AutoDecide                       |
| Размер временного файла   | 1500                             |
| Окончание временного интервала, [с]   | 0.0385                           |
| Кол-во моментов времени   | 10                               |
| Алгоритм решения  | Разложение по собственным формам |
| Логарифмический декремент колебаний   | 0.3                              |
| Кол-во собственных форм   | 144                              |
| Минимальная частота учёта собственных форм, [Гц]  | 0                                |
| Шаг по времени, [с]   | 0.001                            |
| Усталостный расчёт  | <input type="checkbox"/>         |
| Кол-во собственных форм   |                                  |
| Общее число собственных форм, которые будут учитываться при расчёте разложением по собственным формам |                                  |





## Предварительные расчеты

### Собственные частоты

Период частоты, на которой достигается требуемые значения суммарной модальной массы, определяет шаг по времени и количество моментов времени при методе Прямого интегрирования

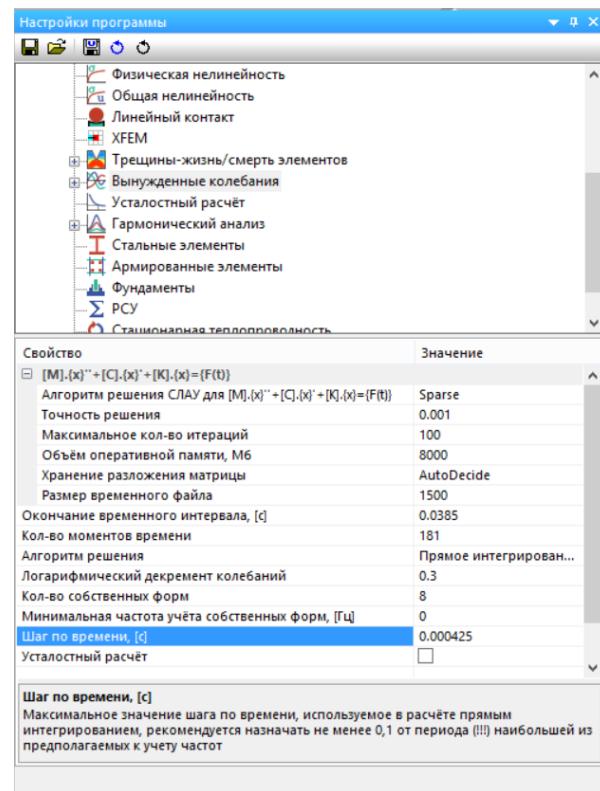
| Собственные частоты |         |         |            | Модальные массы (н.м.) и суммы модальных масс (с.м.м.) по направлениям ГСК |              |            |              |            |              |
|---------------------|---------|---------|------------|--|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| N                   | [рад/с] | [Гц]    | [с]        | м.м. X [%]   | с.м.м. X [%] | м.м. Y [%] | с.м.м. Y [%] | м.м. Z [%] | с.м.м. Z [%] |
| 141                 | 1411.66 | 224.673 | 0.0044509  | 0.00167  | 94.1         | 1.36e-09   | 92.7         | 1.05       | 74.6         |
| 142                 | 1421.9  | 226.302 | 0.00441887 | 0.00127  | 94.1         | 0.000127   | 92.7         | 8.21       | 82.8         |
| 143                 | 1464.28 | 233.047 | 0.00429099 | 0.000498   | 94.1         | 0.00963    | 92.7         | 0.216      | 83           |
| 144                 | 1477.89 | 235.214 | 0.00425144 | 0.00254  | 94.1         | 5.99e-06   | 92.7         | 3.78       | 86.8         |
| 145                 | 1496.36 | 238.153 | 0.00419899 | 0.000841   | 94.1         | 0.00476    | 92.7         | 0.649      | 87.5         |
| 146                 | 1521.75 | 242.193 | 0.00412893 | 0.000425   | 94.1         | 0.0149     | 92.7         | 0.382      | 87.8         |
| 147                 | 1534.02 | 244.147 | 0.00409589 | 2.1e-05  | 94.1         | 0.00857    | 92.7         | 1.55       | 89.4         |
| 148                 | 1541.98 | 245.414 | 0.00407475 | 4.48e-05   | 94.1         | 0.000976   | 92.7         | 0.119      | 89.5         |
| 149                 | 1576.36 | 250.885 | 0.00398589 | 2.96e-06   | 94.1         | 0.0172     | 92.7         | 0.0749     | 89.6         |
| 150                 | 1579.17 | 251.333 | 0.00397879 | 6.59e-06   | 94.1         | 0.00351    | 92.7         | 0.0137     | 89.6         |

По оси Z необходимо 144 формы

Шаг по времени составит:  $0,00425/10 = 0,000425$

При ранее найденном интервале времени:  $0,077*5=0,385$

Количество моментов времени составит:  $0,385/(0,00425/2)=181$





## Настройки программы

## Непосредственно из диалога Расчет

## Настройки расчета

APM Structure3D x64 - Этажерка\_АГ

APM Structure3D x64 - Этажерка\_АГМ2.FRM - [Произвольный вид]

Настройки программы

- Односторонние опоры/канаты
- Геометрическая нелинейность
- Физическая нелинейность
- Общая нелинейность
- Линейный контакт
- XFEM
- Трещины-жизни/смерть элементов
- Вынужденные колебания
- Усталостный расчёт
- Гармонический анализ
- Стальные элементы

Свойство Значение

| Свойство  | Значение                         |
|---|----------------------------------|
| [M]·(x') + [C]·(x) + [K]·(x) = (F(t))                 |                                  |
| Алгоритм решения СЛАУ для [M]·(x') + [C]·(x) = (F(t)) | Sparse                           |
| Точность решения                                      | 0.001                            |
| Максимальное кол-во итераций                          | 100                              |
| Объём оперативной памяти, Мб                          | 8000                             |
| Хранение разложения матрицы                           | AutoDecide                       |
| Размер временного файла                               | 1500                             |
| Окончание временного интервала, [с]                   | 1                                |
| Кол-во моментов времени                               | 10                               |
| Алгоритм решения                                      | Разложение по собственным формам |
| Логарифмический декремент колебаний                   | Разложение по собственным формам |
| Кол-во собственных форм                               | Прямое интегрирование            |
| Минимальная частота учёта собственных ...             | 0                                |
| Шаг по времени, [с]                                   | 0.001                            |
| Усталостный расчёт                                    | <input type="checkbox"/>         |

Алгоритм решения

Решение задачи  $[M] \cdot (x') + [C] \cdot (x) + [K] \cdot (x) = (F(t))$  алгоритмом "Разложение по собственным формам" требует предварительного расчёта собственных частот/форм и не учитывает демпфирование, заданное в свойствах материала. Алгоритм "Прямое интегрирование" учитывает демпфирование материала, но не учитывает заданный декремент затухания

Расчет

☒ Линейный статический расчет

для загрузки:

☐ Учитывать поле температур (из стационарной теплопроводности)

☐ Учитывать поле температур (из нестационарной теплопроводности)

Для момента времени:

☐ Учитывать поле давлений из FGA

☐ Учитывать поле температур из FGA

Загрузка:

Момент времени:

Итерация:

☐ Расчет устойчивости

☐ Собственные частоты

☐ Нелинейный расчет

☒ Вынужденные колебания

для загрузки:

☒ Частоты и формы с предварительным нагружением

Стат. нагрузки по:

☒ Использовать Н.У. из загрузки

Стат. нагрузки по:

☐ Гармонические колебания

☐ Усталостный расчет для случайных нагрузок

☐ Расчет стационарной теплопроводности

☐ Расчет нестационарной теплопроводности

Заполнить Расчет Отмена

Общие настройки

- Линейная статика
- Вынужденные колебания
- Частоты собственных колебаний

Свойство Значение

| Свойство  | Значение                 |
|---|--------------------------|
| [M]·(x') + [C]·(x) + [K]·(x) = (F(t))                 |                          |
| Алгоритм решения СЛАУ для [M]·(x') + [C]·(x) = (F(t)) | Sparse                   |
| Точность решения                                      | 0.001                    |
| Максимальное кол-во итераций                          | 100                      |
| Объём оперативной памяти, ...                         | 8000                     |
| Хранение разложения матрицы                           | AutoDecide               |
| Размер временного файла                               | 1500                     |
| Окончание временного интервала...                     | 1                        |
| Кол-во моментов времени                               | 10                       |
| Алгоритм решения                                      | Разложение по собс...    |
| Логарифмический декремент ко...                       | 0.3                      |
| Кол-во собственных форм                               | 8                        |
| Минимальная частота учёта собс...                     | 0                        |
| Шаг по времени, [с]                                   | 0.001                    |
| Усталостный расчёт                                    | <input type="checkbox"/> |

Кол-во моментов времени

Число моментов времени, в которых производится сохранение данных, не учитывая начальный момент

625 мм 1.88e+03 мм

1.25e+03 мм 2.5e+03 мм

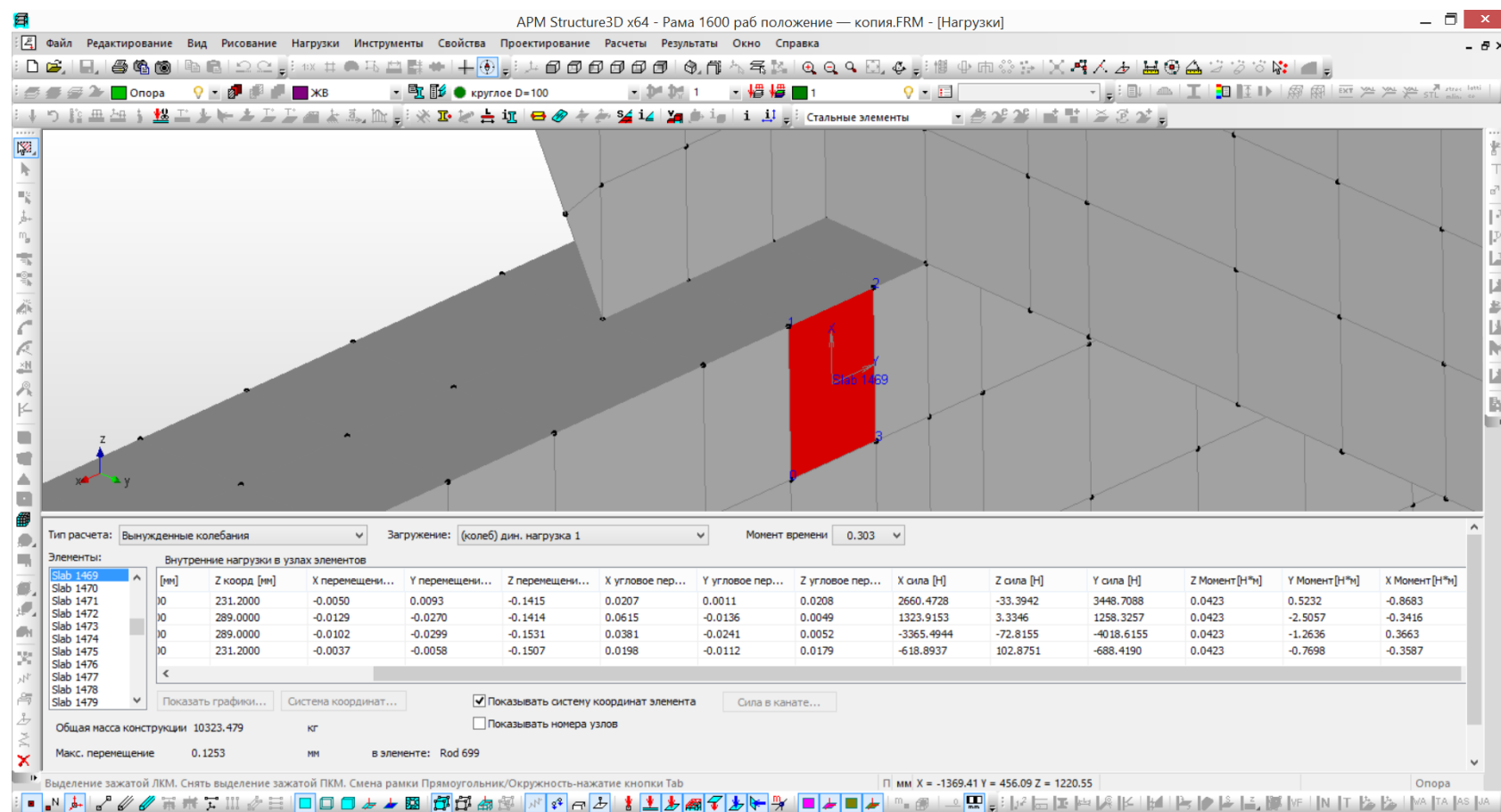
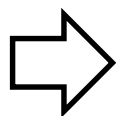
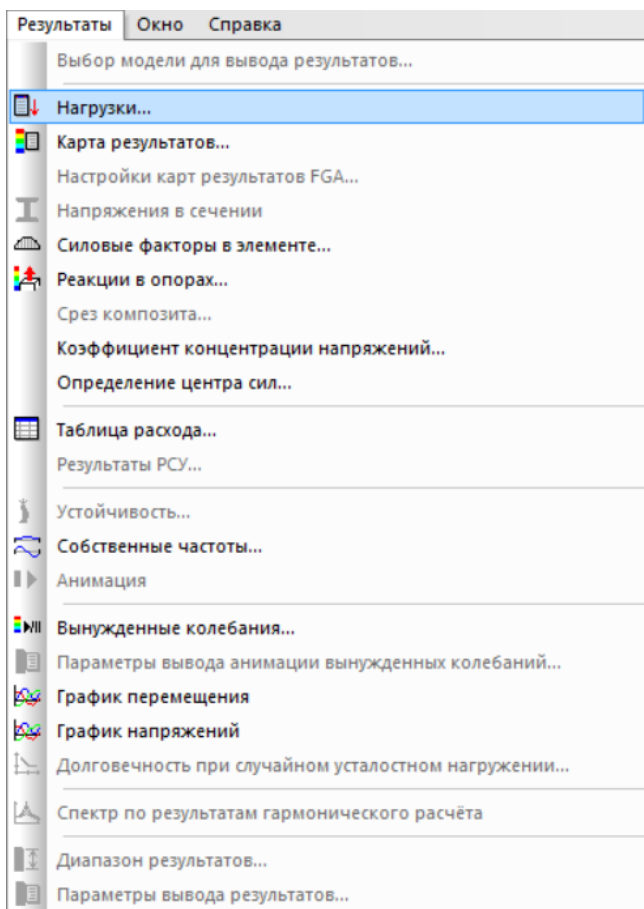
П. мм X = -224.90 Y = 7674.90 Z = 5267.95

Выбрать группу Площадка



## Результаты расчета

### Внутренние нагрузки в узлах элементов в конкретный момент времени

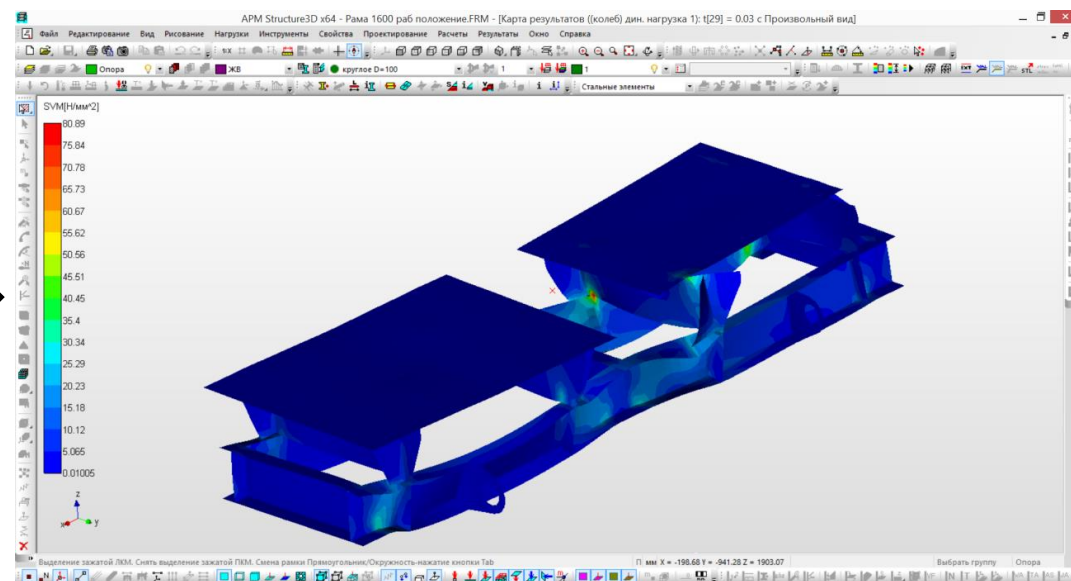
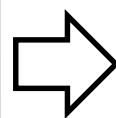
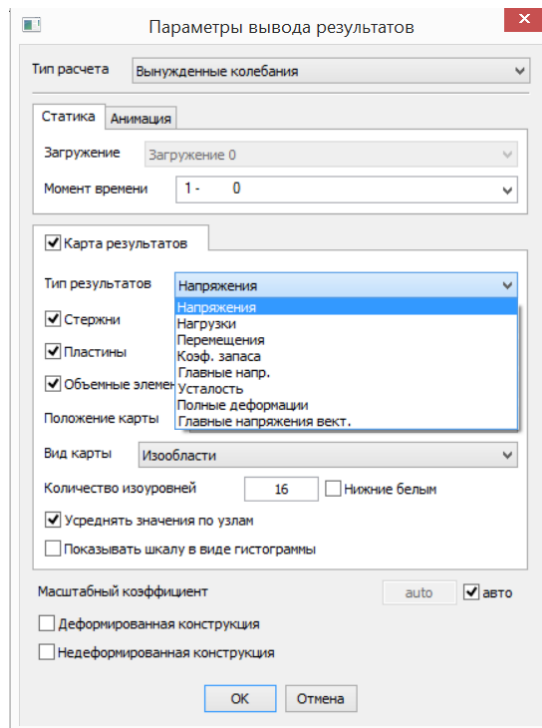
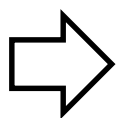
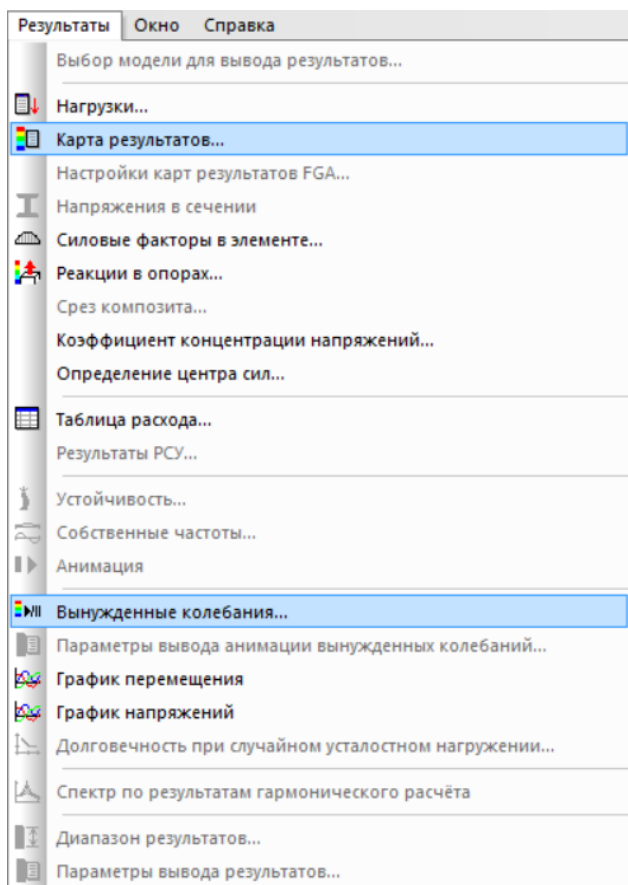






## Результаты расчета

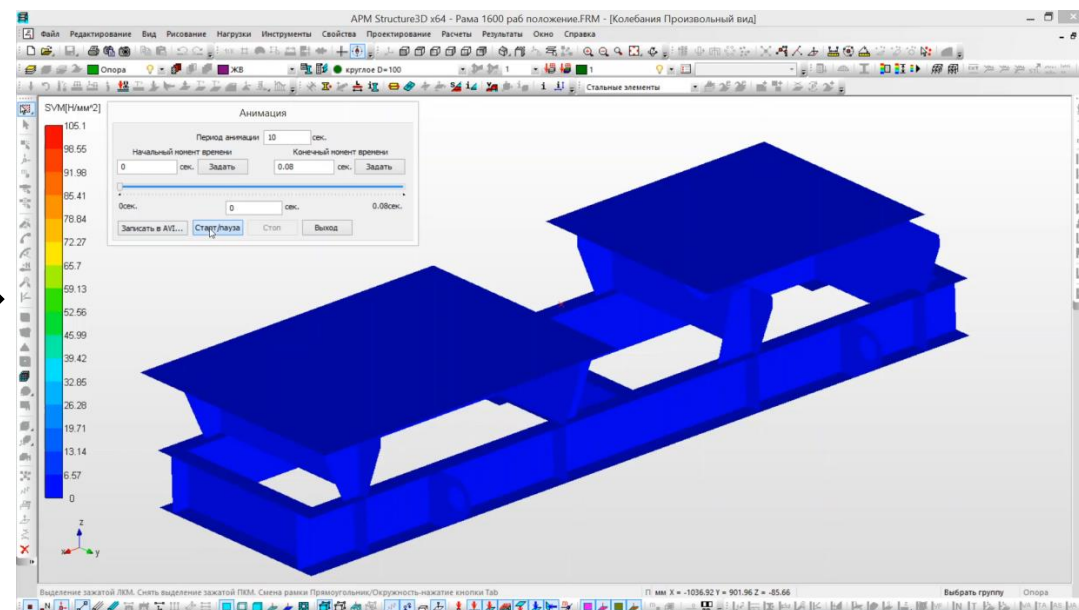
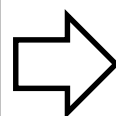
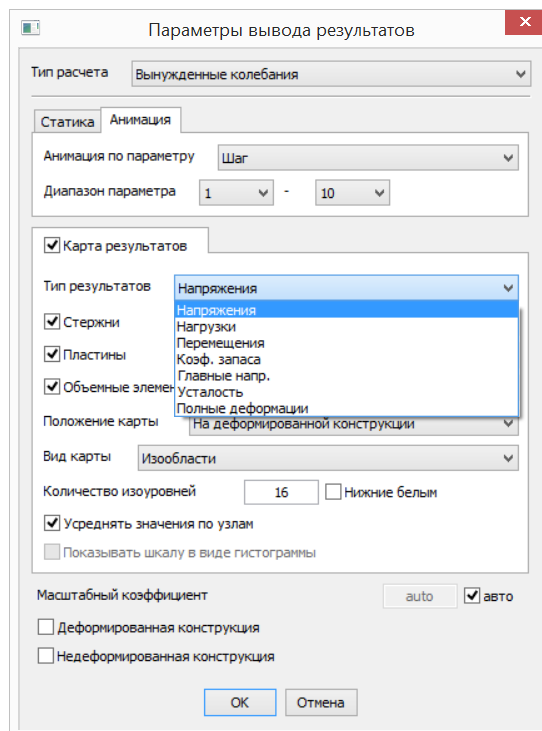
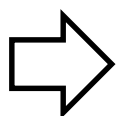
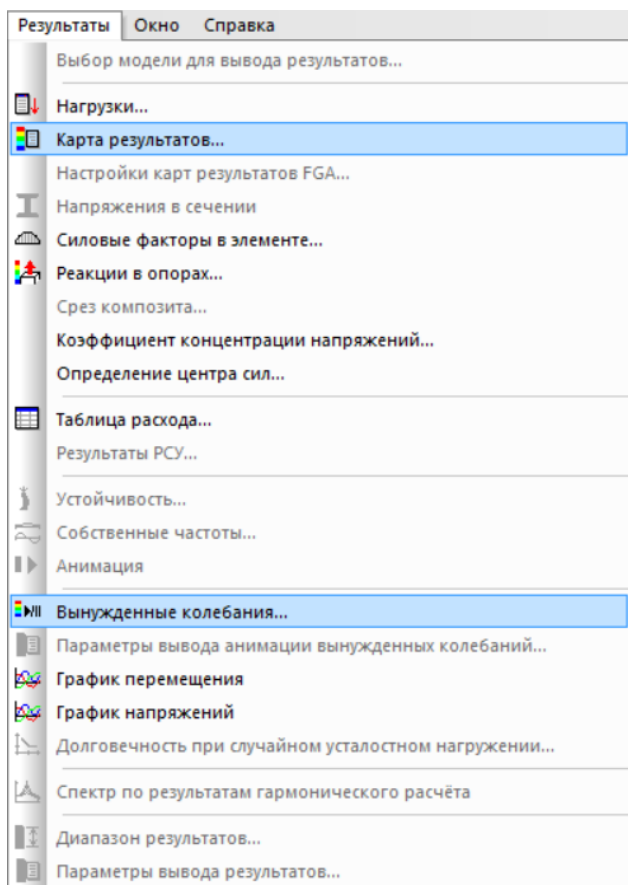
### Анимированные и статические карты распределения в рассчитанном интервале времени





## Результаты расчета

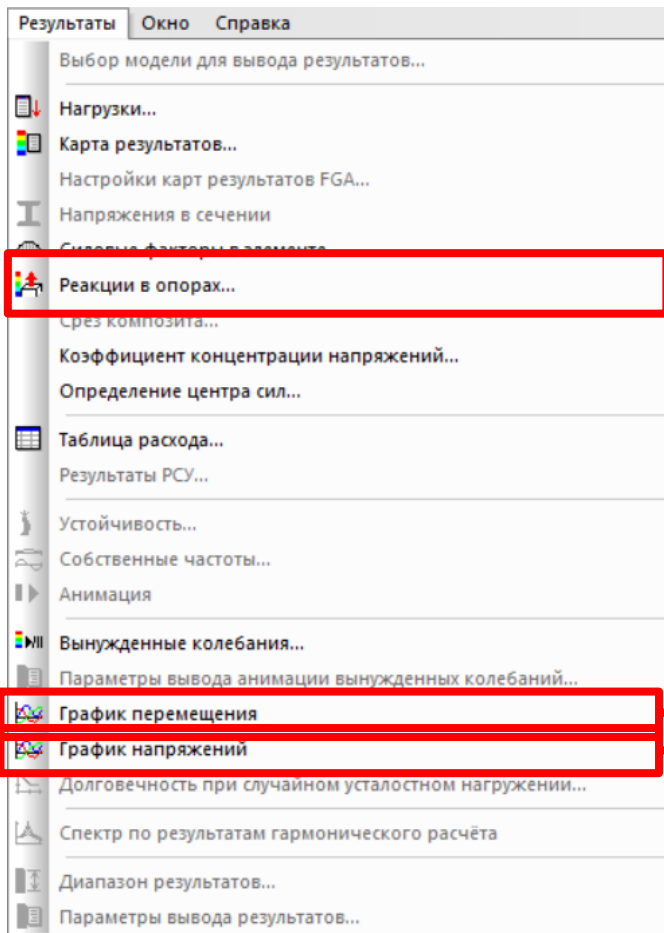
### Анимированные и статические карты распределения в рассчитанном интервале времени





## Результаты расчета

Графики напряжений и перемещений указанной точки от времени, а также реакции опор

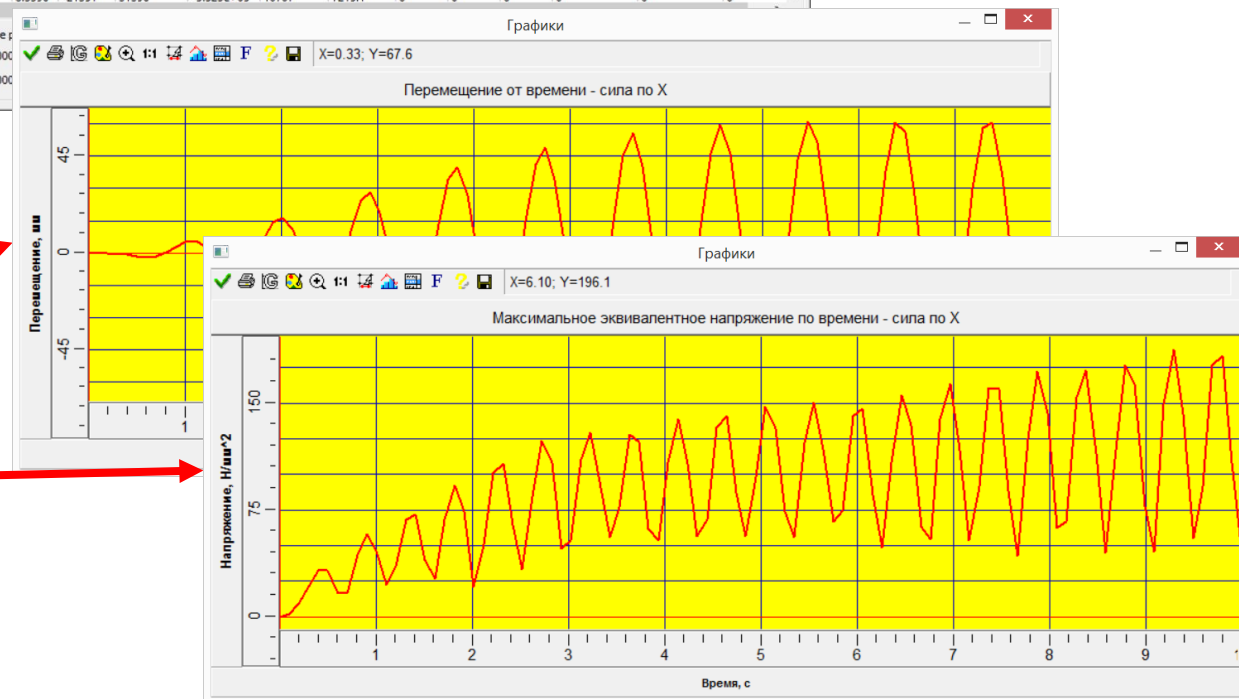


Реакции в опорах

Тип расчета: Вынужденные колебания    Загрузка: сила по X    Момент времени: 5.455

| N | N узла | Rx [H]  | Ry [H] | Rz [H]      | Mx [H*mm]   | My [H*mm]  | Mz [H*mm] | UX [mm] | UY [mm] | UZ [mm] | ROTX [градус] | ROTY [градус] | ROTZ [градус] |
|---|--------|---------|--------|-------------|-------------|------------|-----------|---------|---------|---------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 0      | 2620.2  | 1310.7 | -98626      | -3.6697e+05 | 7.4306e+05 | 60890     | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |
| 2 | 4      | 9624.1  | 6108.2 | 1.0678e+05  | -6.4481e+05 | 1.5797e+06 | 83662     | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |
| 3 | 8      | 4614.9  | 8453.7 | -1.0015e+05 | -8.1171e+05 | 8.7774e+05 | 52052     | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |
| 4 | 12     | 1246    | 1027.6 | 93071       | -4.2329e+05 | 4.7314e+05 | 60308     | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |
| 5 | 608    | 8.4459  | -18256 | -26653      | -2.4184e+05 | 17875      | -11578    | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |
| 6 | 609    | 31.595  | 8150.1 | 11594       | 54134       | 25397      | -16817    | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |
| 7 | 610    | -9.7198 | 12027  | -17495      | 1.5521e+05  | 5947.7     | 3881.2    | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |
| 8 | 611    | 8.3396  | -21351 | 31396       | -3.323e+05  | 10707      | 7215.1    | 0       | 0       | 0       | 0             | 0             | 0             |

Суммарные: Rx: 0.0000, My: 0.0000







# Спасибо за внимание!

**Компания НТЦ «АПМ»  
(научно-технический центр)  
Московская область, г. Королев  
Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6  
Тел.: (495) 120-58-10  
Internet: [www.apm.ru](http://www.apm.ru)  
E-mail: [com@apm.ru](mailto:com@apm.ru)**