

## Пример 5. Расчет металлической башни

### Цели и задачи:

- продемонстрировать процедуру построения расчетной схемы металлической башни;
- показать технику задания ветрового пульсационного воздействия;
- продемонстрировать процедуру расчета нагрузки на фрагмент.

### Исходные данные:

Схема башни показана на рис.5.1.

Металлическая башня высотой 16 м.

Сечения элементов башни:

- стойки – труба бесшовная горячекатаная, профиль 45х3.5;
- раскосы – труба бесшовная горячекатаная, профиль 25х3.5;

### Нагрузки:

- загрузка 1 – собственный вес; постоянная равномерно распределенная  $p = 0.25$  т/м, приложенная на верхние стержни;
- загрузка 2 – гололед;
- загрузка 3 – ветровая статическая нагрузка;
- загрузка 4 – ветровая нагрузка с учетом пульсации.

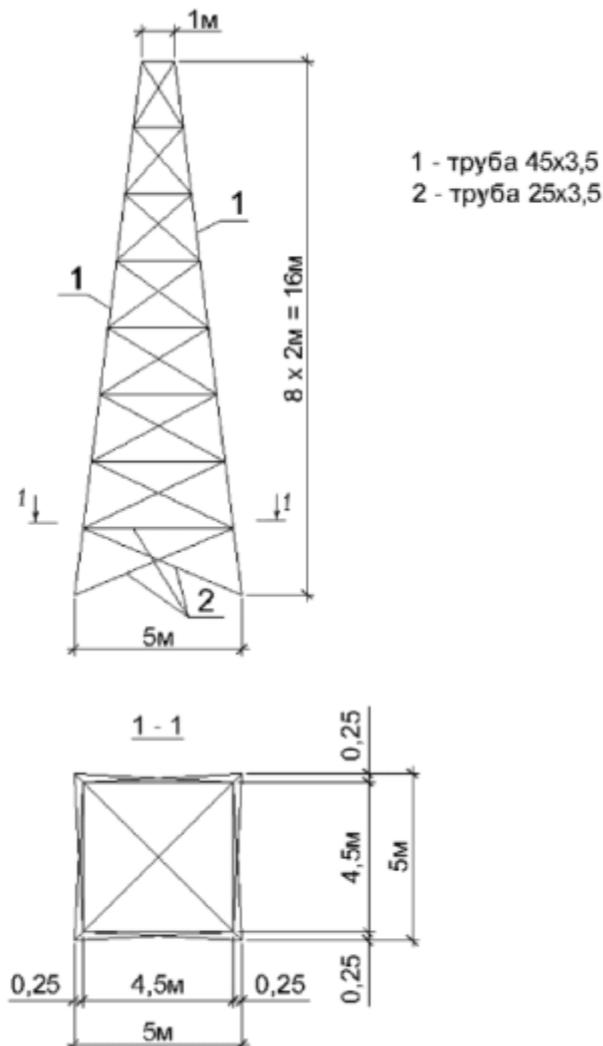


Рис.5.1. Схема башни

Для того чтобы начать работу с ПК ЛИРА-САПР®, выполните следующую команду Windows:  
Пуск ⇒ Программы (Все программы) ⇒ LIRA SAPR ⇒ ЛИРА-САПР 2020 ⇒ ЛИРА-САПР 2020.

### Этап 1. Создание новой задачи

- Для создания новой задачи откройте меню **Приложения** и выберите пункт **Новый** (кнопка  на панели быстрого доступа).
- В появившемся диалоговом окне **Описание схемы** (рис 5.2) задайте следующие параметры:
  - имя создаваемой задачи – **05\_башня МК**;
  - в раскрывающемся списке **Признак схемы** выберите строку **4 – Три степени свободы в узле (X,Y,Z)**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

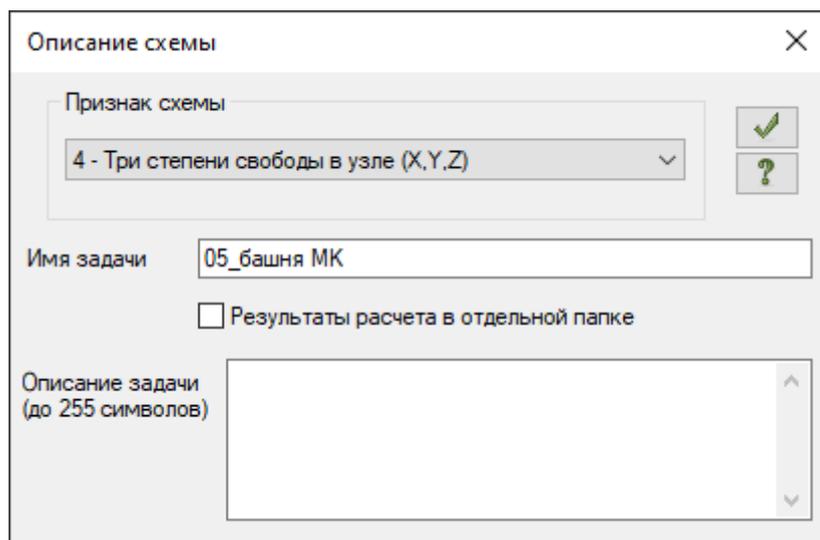


Рис.5.2. Диалоговое окно **Описание схемы**



Диалоговое окно **Описание схемы** также можно открыть с уже выбранным признаком схемы. Для этого в меню **Приложения** в раскрывающемся списке пункта **Новый** выберите

команду  – **Четвертый признак схемы (Три степени свободы в узле)** или на панели

быстрого доступа в раскрывающемся списке **Новый** выберите команду  – **Четвертый признак схемы (Три степени свободы в узле)**. После этого нужно задать только имя задачи.

Установка флажка **Результаты расчета в отдельной папке** в диалоговом окне **Описание схемы** дает возможность сохранять все результаты расчета для конкретной задачи в отдельной папке с именем, которое совпадает с именем задачи. Данная папка создается в каталоге хранения результатов расчета. Это удобно в том случае, если нужно найти результаты расчета для конкретной задачи и последующей передаче файлов результатов расчета или просмотра и анализа этих файлов с помощью проводника или других файловых менеджеров.

## Этап 2. Создание геометрической схемы

### Добавление узлов

- Вызовите диалоговое окно **Добавить узел** (рис.5.3) щелчком по кнопке  – **Добавить узел** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом диалоговом окне задайте координаты базового узла:
  - |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>Z</b> |
| 0        | 0        | 0.       |
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Затем введите координаты нижнего левого узла башни:
  - |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>Z</b> |
| -2.5     | -2.5     | 0.       |
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Затем введите координаты верхнего левого узла башни:
  - |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>Z</b> |
| -0.5     | -0.5     | 16.      |
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

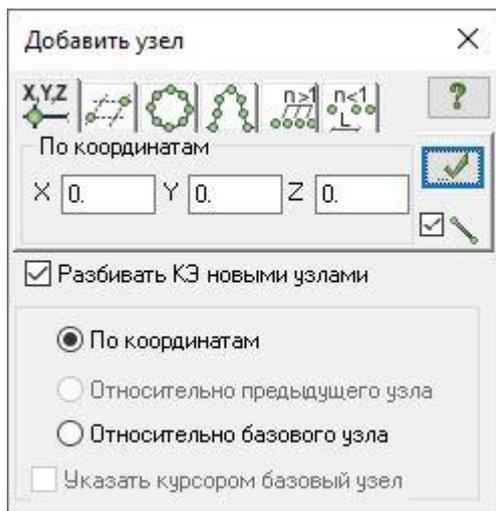


Рис.5.3. Диалоговое окно **Добавить узел**

### Вывод на экран номеров узлов

- Щелкните по кнопке  – **Флаги рисования** на панели инструментов **Панель выбора** (по умолчанию находится в нижней области рабочего окна).
- В диалоговом окне **Показать** (рис.5.4) перейдите на вторую закладку **Узлы** и установите флажок **Номера узлов**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.



Рис.5.4. Диалоговое окно Показать

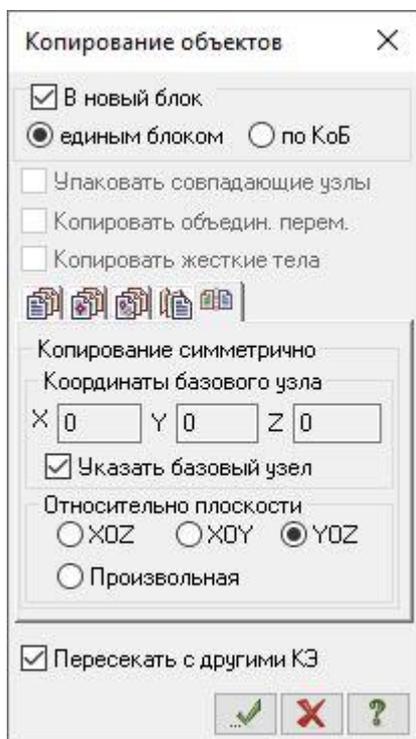
#### Добавление стержневых элементов

- В диалоговом окне **Добавить узел** перейдите на пятую закладку **Разделить на N равных частей**.
- В поле ввода введите значение **N = 8**.
- При установленных флажках **Указать узлы курсором** и **Соединить узлы стержнями** укажите последовательно курсором узлы № 2 и 3 (при этом между ними протягивается резиновая нить).

#### Копирование элементов схемы

- Щелкните по кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите все элементы схемы.
- Вызовите диалоговое окно **Копирование объектов** щелчком по кнопке  – **Копирование** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом окне перейдите на последнюю закладку **Копирование симметрично** (рис.5.5).

- Для указания плоскости, относительно которой будет произведено копирование, включите радиокнопку **YOZ**.
- При установленном флажке **Указать базовый узел**, укажите курсором на схеме узел № 1 (узел окрасился в малиновый цвет).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

Рис.5.5. Диалоговое окно **Копирование объектов**

- Снимите выделение с узлов и элементов щелчком по кнопке  – **Отмена выделения** на панели инструментов **Панель выбора**.



Диалоговое окно **Копирование объектов** также можно сразу открыть при активной закладке **Копирование симметрично**. Для этого в раскрывающемся списке **Копирование**

выберите команду  – **Копирование симметрично** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**).

#### [Добавление стержневых элементов решетки башни](#)

- Вызовите диалоговое окно **Добавить элемент** (рис.5.6) щелчком по кнопке  – **Добавить элемент** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом диалоговом окне снимите флажок **Пересекать с другими КЭ**.

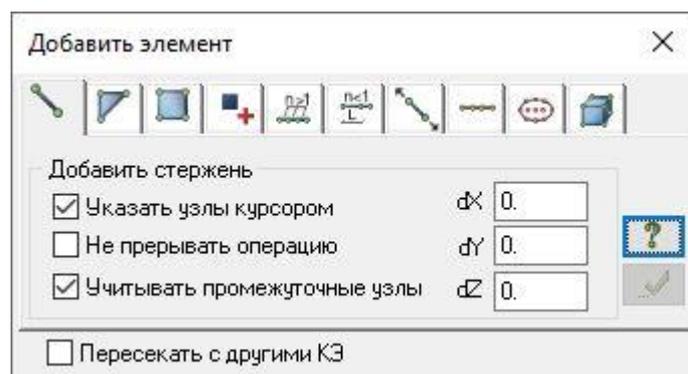


Рис.5.6. Диалоговое окно **Добавить элемент**

- Для добавления стержневых элементов между узлами № 2 и 13; 4 и 11; 4 и 13; 4 и 14; 5 и 13; 5 и 14; и аналогично до вершины башни, укажите последовательно курсором на эти пары узлов (при этом между ними протягивается резиновая нить).  
На рис.5.7 представлена полученная схема.

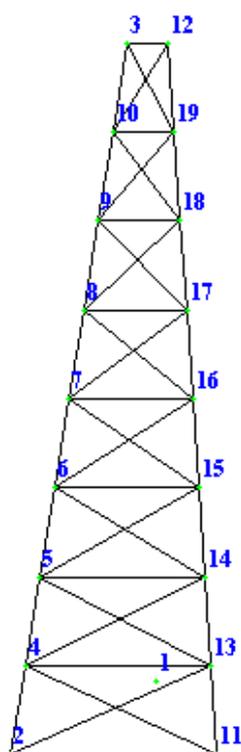


Рис.5.7. Схема части башни

### Этап 3. Задание граничных условий

#### Выделение узлов опирания

- Щелкните по кнопке  – **Отметка узлов** в раскрывающемся списке **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите узлы № 2 и 11 (узлы окрашиваются в красный цвет).

#### Задание граничных условий в узлах опирания

- Щелчком по кнопке  – **Связи** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис.5.8).
- В этом окне, с помощью установки флажков, отметьте направления, по которым запрещены перемещения узлов (**X, Y, Z**).
- После этого щелкните по кнопке  – **Добавить связи в отмеченных узлах** (узлы окрашиваются в синий цвет, а в списке **Комбинации связей** добавляется строка назначенной комбинации связей).

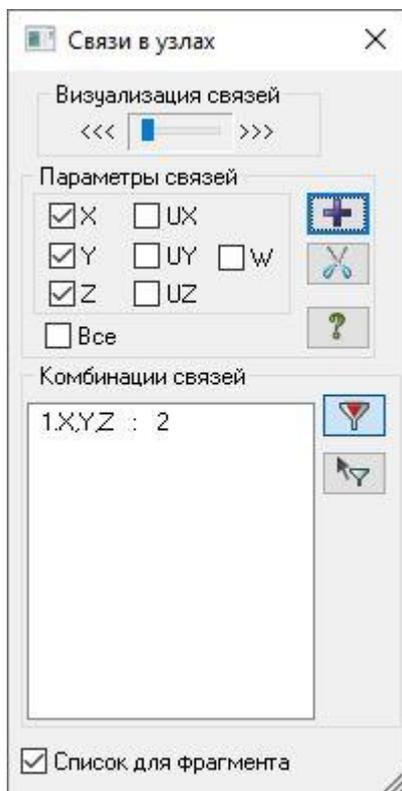


Рис.5.8. Диалоговое окно **Связи в узлах**

## Этап 4. Задание жесткостных параметров

### Формирование типов жесткости

- Щелчком по кнопке  – **Жесткости и материалы** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Жесткости и материалы** (рис.5.9,а).
- В этом окне щелкните по кнопке **Добавить** и в появившемся окне **Добавить жесткость** (библиотеке жесткостных характеристик) щелкните по второй закладке **База металлических сечений** (рис.5.9,б).
- Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **Труба**.

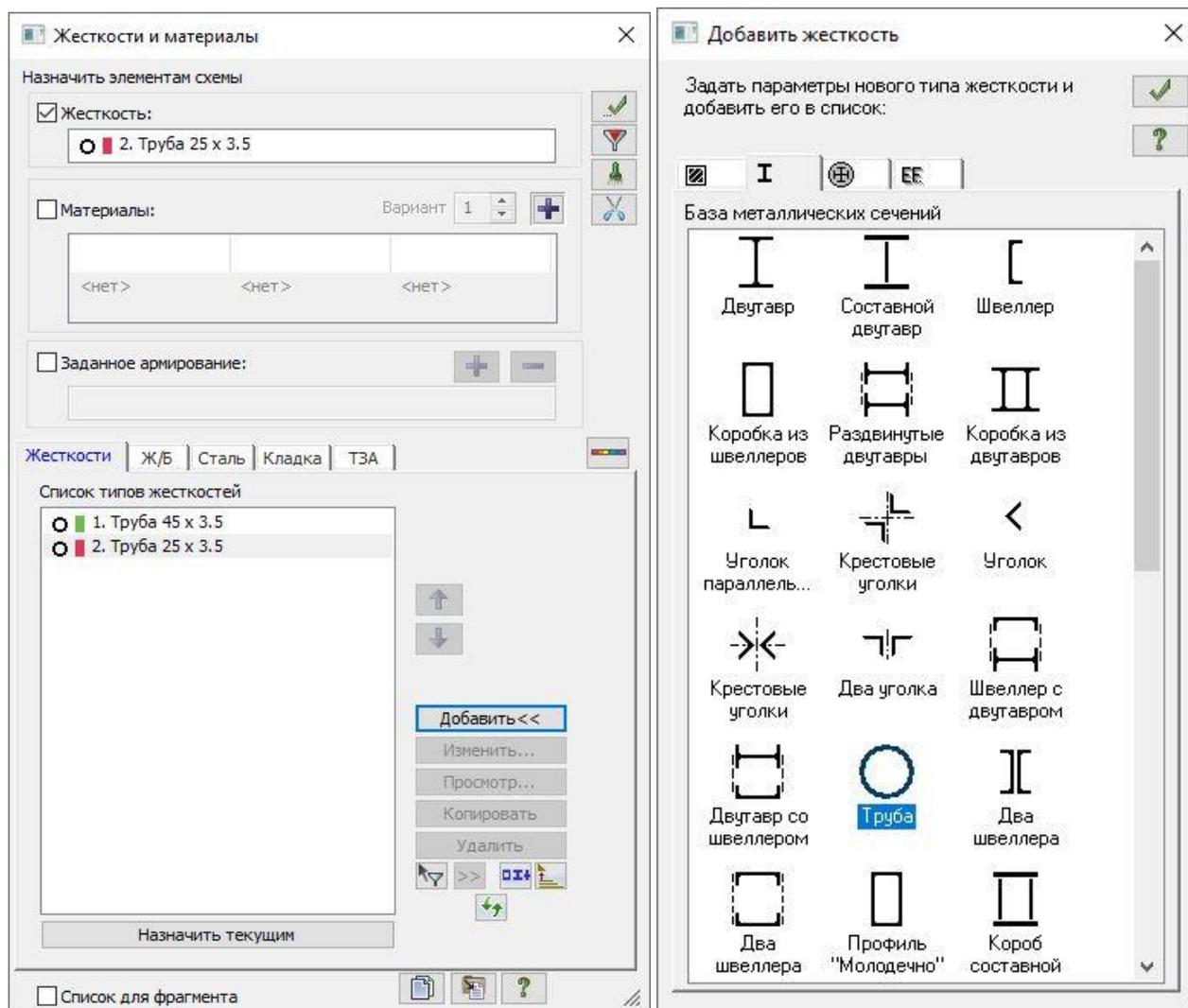
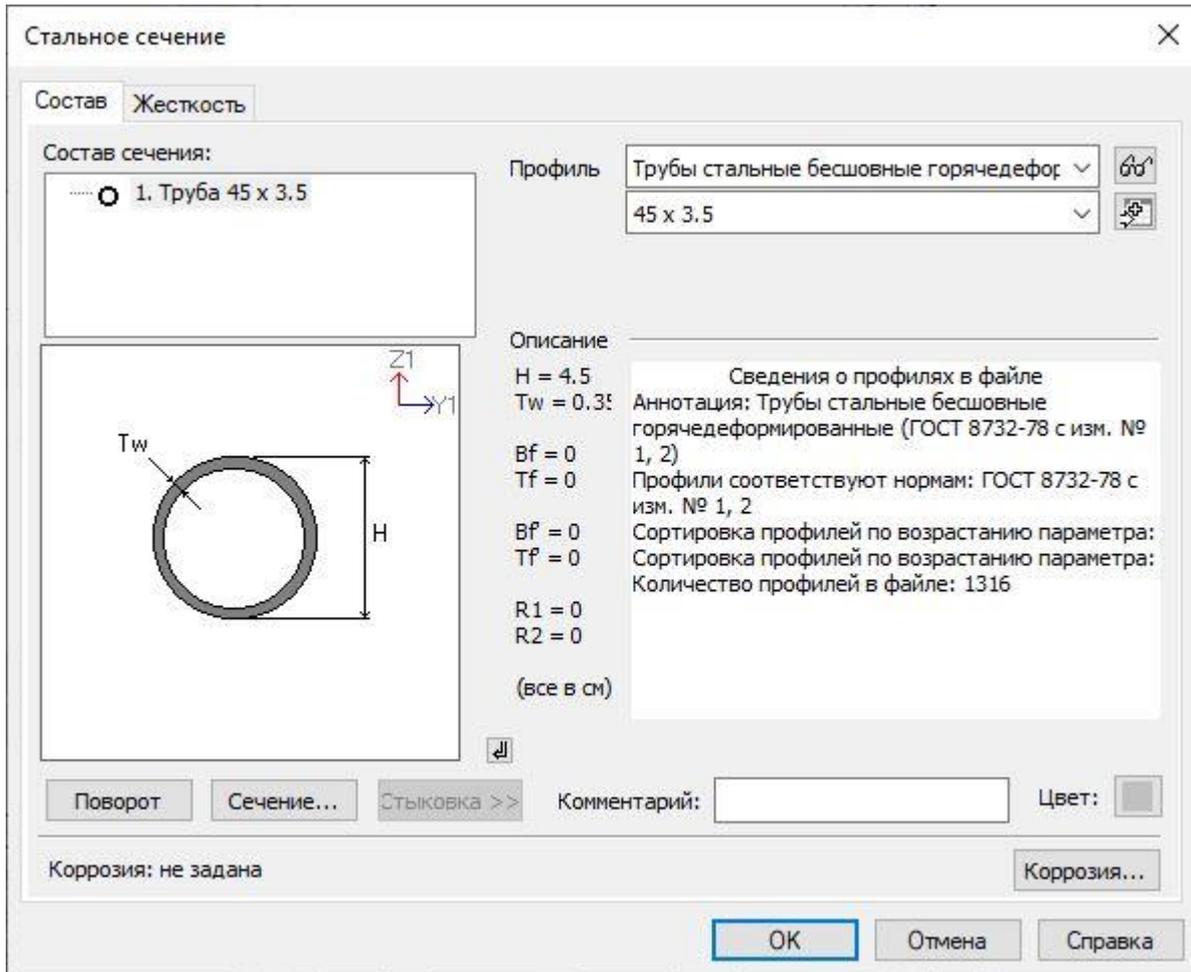


Рис.5.9. Диалоговые окна: а – Жесткости и материалы, б – Добавить жесткость

- В диалоговом окне **Стальное сечение** (рис.5.10) задайте параметры сечения **Труба** (для стоек):
  - в раскрывающемся списке – **Профиль** сначала выберите позицию – **Трубы стальные бесшовные горячедеформированные**;
  - после этого в следующем списке выберите строку профиля – **45 x 3.5**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.
- Еще раз двойным щелчком мыши выберите тип сечения **Труба**.
- В диалоговом окне **Стальное сечение** задайте параметры сечения **Труба** (для раскосов):
  - в раскрывающемся списке – **Профиль** сначала выберите позицию – **Трубы стальные бесшовные горячедеформированные**;
  - после этого в следующем списке выберите строку профиля – **25 x 3.5**.
- Для ввода данных щелкните по кнопке **ОК**.

Рис.5.10. Диалоговое окно **Стальное сечение**

- Для того чтобы скрыть библиотеку жесткостных характеристик, в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке **Добавить**.

#### Вывод на экран номеров элементов

- В диалоговом окне **Показать** перейдите на первую закладку **Элементы** и установите флажок **Номера элементов**.

- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

#### Назначение жесткостей

- Щелчком по кнопке  – **ПолиФильтр** на панели инструментов **Панель выбора** вызовите диалоговое окно **ПолиФильтр**, для того чтобы выделить элементы раскосов башни.
- В этом окне перейдите на вторую закладку **Фильтр для элементов**.
- Далее установите флажок **По номерам КЭ** и в соответствующем поле введите номера элементов **17 – 40** (рис.5.11).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

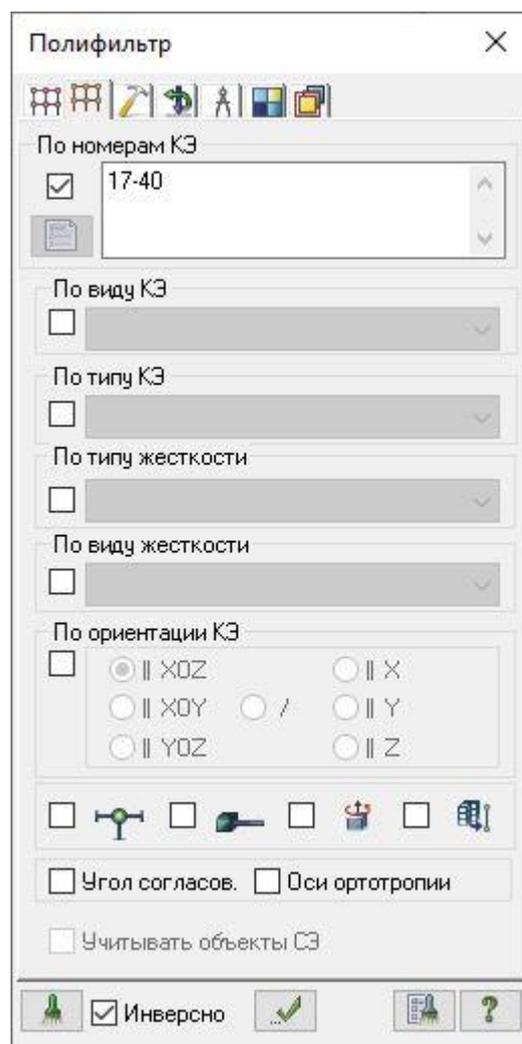


Рис.5.11. Диалоговое окно ПолиФильтр

- В диалоговом окне **Жесткости и материалы**, при назначенной текущей жесткости **2. Труба 25 x 3.5**, щелкните по кнопке  – **Применить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).
- В этом же окне в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **1. Труба 45 x 3.5**.
- Щелкните по кнопке **Назначить текущим** (при этом выбранный тип записывается в строке редактирования **Жесткость** поля **Назначить элементам схемы**. Можно назначить текущий тип жесткости двойным щелчком по строке списка).
- Для выделения элементов стоек башни, в диалоговом окне **ПолиФильтр** введите номера элементов **1 – 16**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Затем в диалоговом окне **Жесткости и материалы** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Назначьте текущим тип жесткости **2. Труба 25 x 3.5**.

## Этап 5. Корректировка схемы

### Копирование существующего фрагмента схемы

- Щелкните по кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите все узлы и элементы схемы.
- Вызовите диалоговое окно **Копирование объектов** на закладке **Копирование поворотом**

(рис.5.12), выбрав команду  – **Копирование поворотом** в раскрывающемся списке **Копирование** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**).

- В этом окне задайте следующие параметры копирования:
  - для того чтобы указать ось, вокруг которой будет произведено копирование, включите радиокнопку **Z**;
  - введите значение угла поворота  $\Phi_i = 90$  градусов;
  - задайте количество копий  $N = 3$ .
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

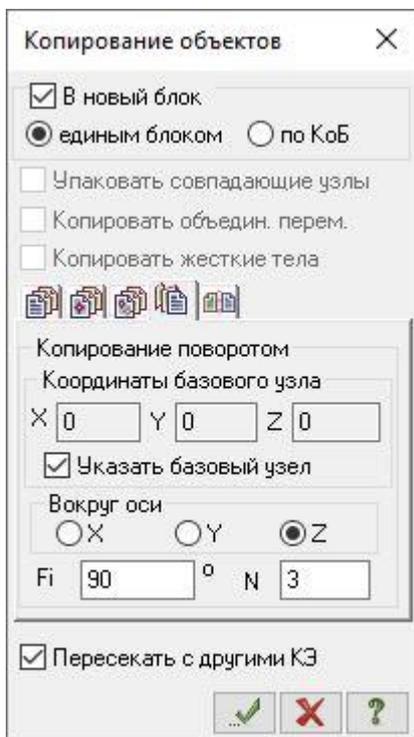


Рис.5.12. Диалоговое окно **Копирование объектов**

### Упаковка схемы

- Щелчком по кнопке  – **Упаковка схемы** (панель **Редактирование** на вкладке **Создание и редактирование**) вызовите диалоговое окно **Упаковка** (рис.5.13).
- В этом окне щелкните по кнопке  – **Применить** (упаковка схемы производится для сшивки совпадающих узлов и элементов, а также для безвозвратного исключения из расчетной схемы удаленных узлов и элементов).

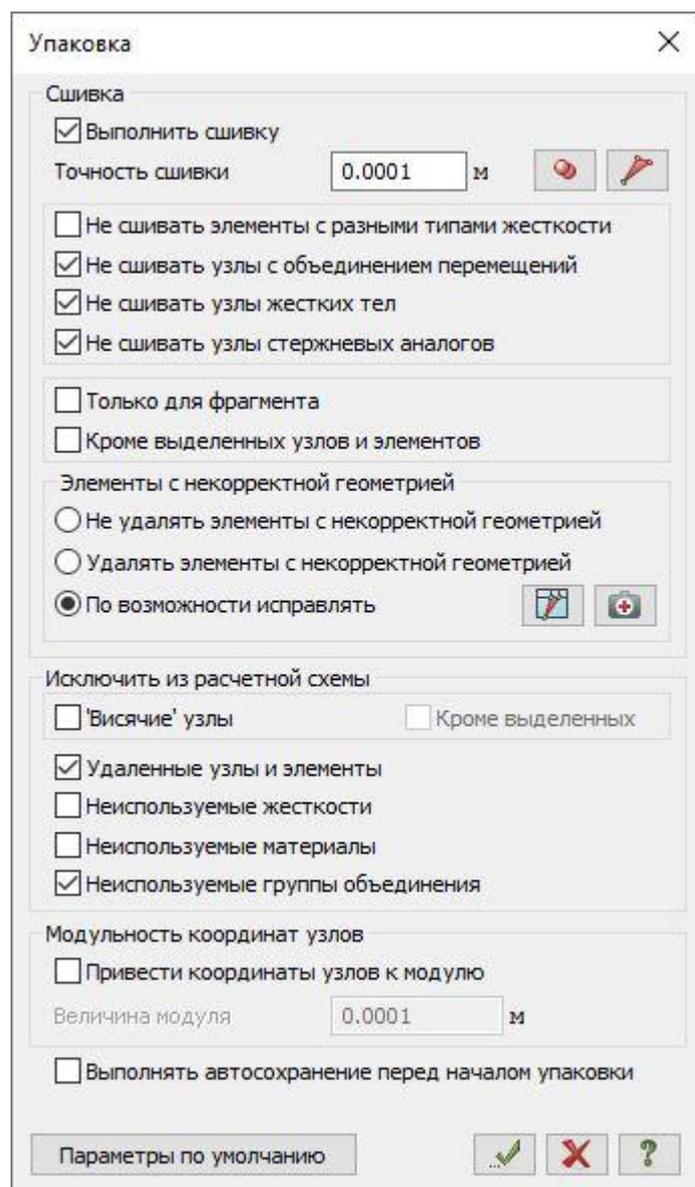


Рис.5.13. Диалоговое окно Упаковка



Диалоговое окно **Упаковка** предназначено для управления параметрами упаковки схемы после выполнения операций **Сборка**, **Копирование** и других операций с геометрией.

- Снимите выделение с элементов щелчком по кнопке  – **Отмена выделения** на панели инструментов **Панель выбора**.

#### Отключение отображения номеров элементов на расчетной схеме

- В диалоговом окне **Показать** при активной закладке **Элементы** снимите флажок **Номера элементов**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

#### Добавление стержневых элементов решетки башни

- В диалоговом окне **ПолиФильтр** перейдите на последнюю закладку **Сечения и отсечения** (рис.5.14) и для выбора секущей плоскости включите радио-кнопку **Произвольная** (по умолчанию установлены флажки **Узлы** и **Элементы** в поле **Включить**, включена радио-кнопка **Сечение плоскостью** в поле **Выбор режима**, а также установлен флажок **Указать узлы плоскости**).
- Укажите курсором на схеме три узла, определяющие диагональ башни (узлы № 2, 20 и 24).

- После этого в диалоговом окне **ПолиФильтр** щелкните по кнопке  – **Применить**.

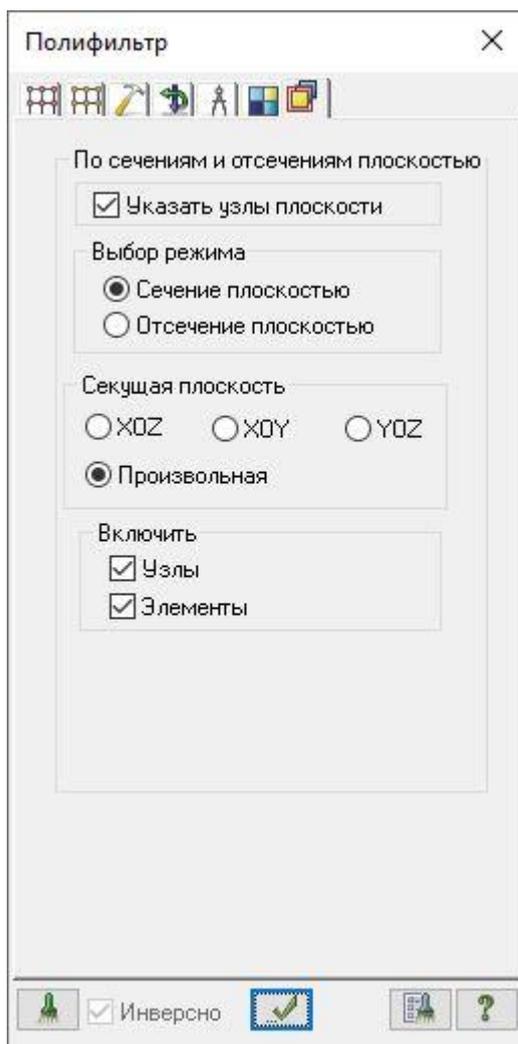


Рис.5.14. Диалоговое окно **ПолиФильтр**

- Для отображения на экране только отмеченных узлов и элементов схемы, выполните фрагментацию щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Для представления расчетной схемы в проекции на плоскость XOZ щелкните по кнопке  – **Проекция на XOZ** на панели инструментов **Проекция**.
- Вызовите диалоговое окно **Добавить элемент** (рис.5.6) щелчком по кнопке  – **Добавить элемент** (панель **Создание** на вкладке **Создание и редактирование**).
- Для добавления стержневых элементов между узлами № 4 и 24; 5 и 26; 6 и 28 и аналогично до вершины башни, укажите последовательно курсором на эти пары узлов.
- На рис.5.15 представлена полученная расчетная схема части башни в проекции на плоскость XOZ.

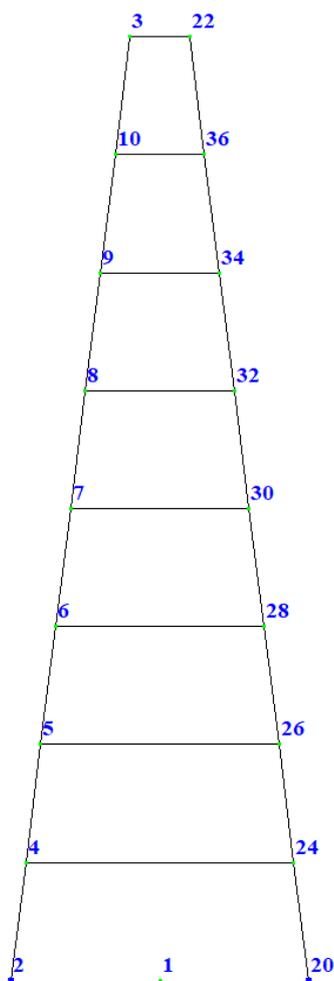
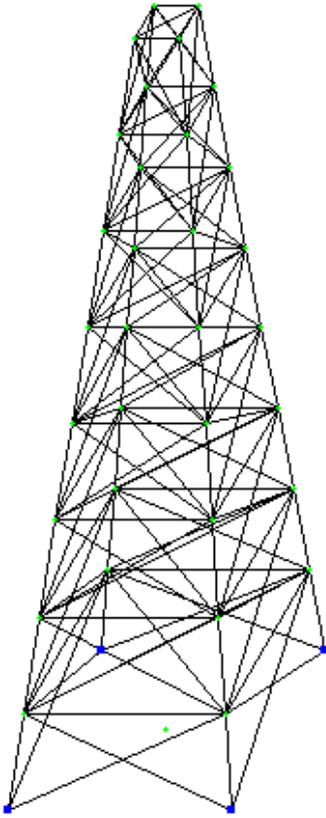


Рис.5.15. Схема части башни в проекции на плоскость XOZ

- Перейдите в диметрическую проекцию представлением расчетной схемы щелчком по кнопке  – **Диметрическая проекция** на панели инструментов **Проекция**.
- Для восстановления расчетной схемы в первоначальном виде после операции фрагментации, щелкните по кнопке  – **Восстановление конструкции** на панели инструментов **Панель выбора**.
- В диалоговом окне **ПолиФильтр** установите флажок **Указать узлы плоскости**.
- Укажите курсором на схеме три узла, определяющие другую диагональ башни (узлы № 11, 13 и 21).
- После этого в диалоговом окне **ПолиФильтр** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выполните фрагментацию щелчком по кнопке  – **Фрагментация** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Щелкните по кнопке  – **Проекция на XOZ** на панели инструментов **Проекция**.
- Затем в диалоговом окне **Добавить элемент** при отключенном флажке **Пересекать с другими КЭ** установите флажок **Указать узлы курсором** и укажите последовательно курсором на следующие пары узлов: № 25 и 13, 27 и 14 и аналогично до вершины башни.
- Щелкните по кнопке  – **Диметрическая проекция** на панели инструментов **Проекция**.
- Щелкните по кнопке  – **Восстановление конструкции** на панели инструментов **Панель выбора**.

- В диалоговом окне **Показать** перейдите на вторую закладку **Узлы** и снимите флажок **Номера узлов**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

На рис.5.16 представлена полученная расчетная схема башни.



**Рис.5.16.** Расчетная схема башни



Так как в диалоговом окне **Жесткости и материалы** текущим установлен тип жесткости **2. Труба 25 x 3.5**, то всем стержневым элементам, которые добавляются в расчетную схему, назначается данный тип жесткости.

#### Сохранение информации о расчетной схеме

- Для сохранения информации о расчетной схеме откройте меню **Приложения** и выберите пункт **Сохранить** (кнопка  на панели быстрого доступа).
- В появившемся диалоговом окне **Сохранить как** задайте:
  - имя задачи – **05\_башня МК**;
  - папку, в которую будет сохранена эта задача (по умолчанию выбирается папка – **Data**).
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.

## Этап 6. Задание нагрузок

### Формирование загрузки № 1

- Вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес** (рис.5.17) щелчком по кнопке  – **Добавить собственный вес** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом окне, при включенной радио-кнопке **все**, в поле **Кэф. надежности по нагрузке** задайте коэффициент равен **1.05** (так как в системе **РС-САПР** (Редактируемый сортамент) погонный вес элементов задан нормативным, то его нужно преобразовать в расчетный).
- Щелкните по кнопке  – **Применить** (всем элементам конструкции автоматически назначается равномерно распределенная нагрузка, равная погонному весу элементов).

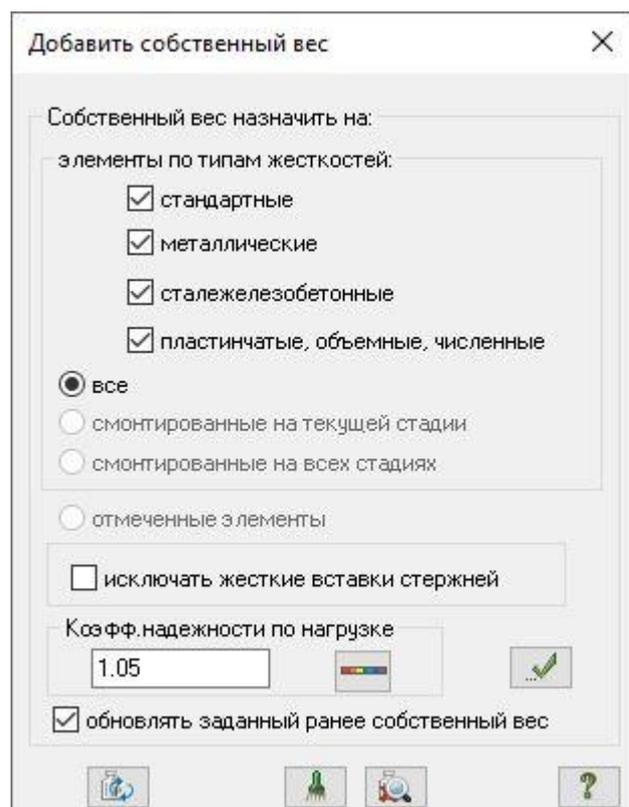


Рис.5.17. Диалоговое окно **Добавить собственный вес**

- Щелкните по кнопке  – **Отметка горизонтальных стержней** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите только горизонтальные элементы верхней площадки башни.
- После этого вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** на закладке **Нагрузки на стержни** (рис.5.18), выбрав команду  – **Нагрузка на стержни** в раскрывающемся списке **Нагрузки на узлы и элементы** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом окне по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**.

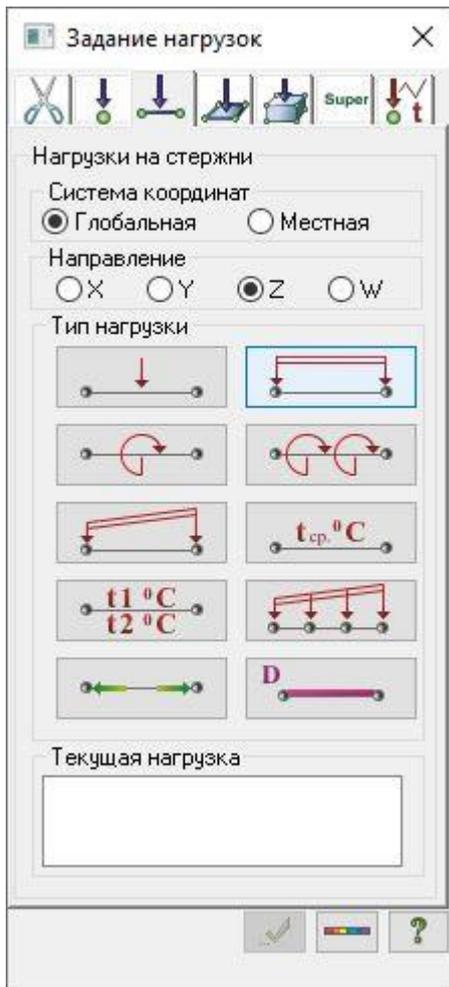


Рис.5.18. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки  $p = 0.25$  т/м (рис.5.19).
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.



Рис.5.19. Диалоговое окно **Параметры**

### Формирование загрузки № 2

- Смените номер текущего нагружения щелчком по кнопке  – **Следующее нагружение** в строке состояния (находится в нижней области рабочего окна).
- Щелкните по кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора**.
- С помощью курсора выделите все элементы башни.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** при текущей нагрузке  $p = 0.25$  т/м по направлению глобальной оси Z щелкните по кнопке  – **Применить**.

### Формирование загрузки № 3

- Смените номер текущего нагружения щелчком по кнопке  – **Следующее нагружение** в строке состояния.



*Ввиду того, что в каждом уровне башни имеется жесткий диск, статическое давление ветра можно задать, как сумму скоростного напора ветра и отсоса.*

- Щелкните по кнопке  – **Проекция на XOZ** на панели инструментов **Проекция**.
- В диалоговом окне **ПолиФильтр** перейдите на вторую закладку **Фильтр для элементов**.
- Далее установите флажок **По типу жесткости** и в раскрывающемся списке выберите строку **1. Труба 45 x 3.5**.
- Выделите проекцию пяти нижних элементов правой грани башни растягиванием резинового окна слева направо, как показано на рис.5.20.



*Ветровая равномерно-распределенная нагрузка прикладывается на высоте до 10 м.*

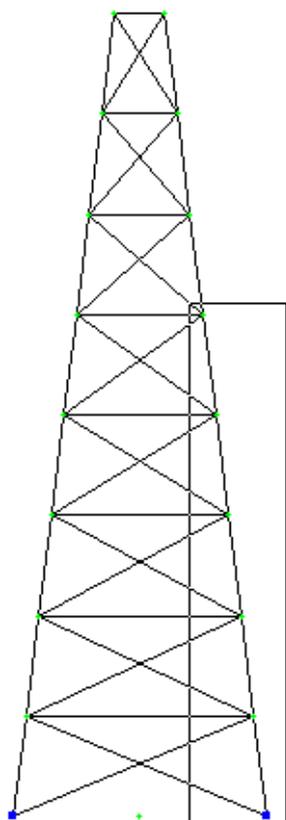


Рис.5.20. Выделение элементов растягиванием "резинового окна"

- В диалоговом окне **Задание нагрузок** для изменения направления нагрузки включите радио-кнопку **X**.
- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В этом окне задайте интенсивность нагрузки  $p = 0.1$  т/м.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- Выделите проекцию трех верхних элементов правой грани башни растягиванием резинового окна.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** щелчком по кнопке трапециевидной нагрузки на группу стержней вызовите диалоговое окно **Неравномерная нагрузка** (рис.5.21).
- В этом окне задайте значение нагрузки в начале и в конце ее приложения:  $p_1 = 0.1$  т/м,  $p_2 = 0.12$  т/м.
- Для указания направления изменения величины нагрузки включите радио-кнопку **Вдоль оси Z**.
- Снимите флажок **Объединить в блок**.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

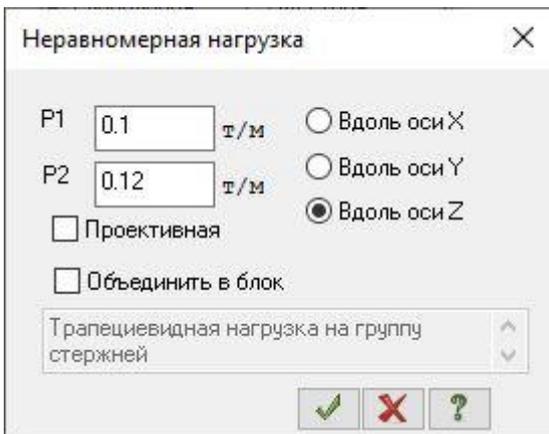


Рис.5.21. Диалоговое окно **Неравномерная нагрузка**

- Щелкните по кнопке  – **Диметрическая проекция** на панели инструментов **Проекция**.
- Закройте диалоговое окно **ПолиФильтр** щелчком по кнопке  – **Закреть**.

#### Задание расширенной информации о загрузениях

- Вызовите диалоговое окно **Редактор загрузений** (рис.5.22) щелчком по кнопке  – **Редактор загрузений** (панель **Нагрузки** на вкладке **Создание и редактирование**).
- В этом диалоговом окне в списке загрузений выделите строку соответствующую первому загрузению.
- Далее в поле **Редактирование выбранного загрузения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Постоянное** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- После этого в списке загрузений выделите строку соответствующую второму загрузению, а затем в поле **Редактирование выбранного загрузения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Кратковременное** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Далее в списке загрузений выделите строку соответствующую третьему загрузению, а затем в поле **Редактирование выбранного загрузения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Неактивное (стат. ветр. для пульсации)** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Чтобы добавить четвертое загрузение, в поле **Список загрузений** щелкните по кнопке  – **Добавить загрузение (в конец)**.

- Для Загружения 4 в поле **Редактирование выбранного нагружения** выберите в раскрывающемся списке **Вид** строку **Мгновенное** и щелкните по кнопке  – **Применить**.

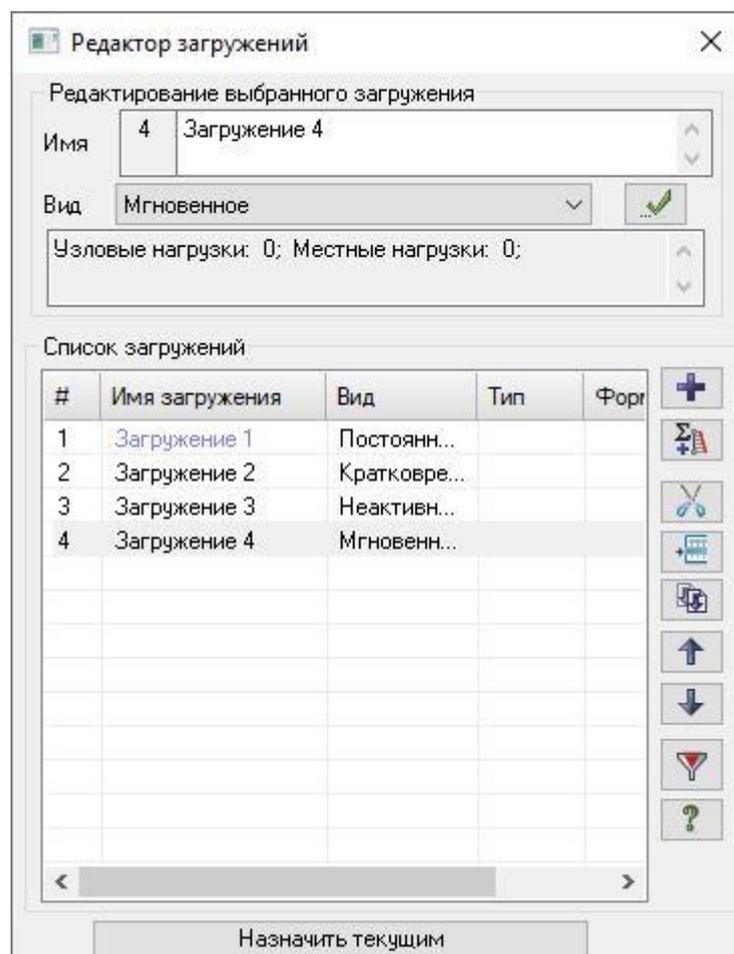


Рис.5.22. Диалоговое окно **Редактор нагружений**

## Задание характеристик для расчета башни на пульсацию ветра

### Этап 7. Формирование динамических нагрузений из статических

- Вызовите диалоговое окно **Формирование динамических нагрузений из статических** (рис.5.23)

щелчком по кнопке  – **Учет статических нагрузений** (панель **Динамика** на вкладке **Расчет**).

- Для формирования первой строки сводной таблицы, в этом окне, при включенной радио-кнопке **нагрузки (код 1)**, задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – **4**;
  - № соответствующего статического нагружения – **1**;
  - Коэф. преобразования – **1**.
- Щелкните по кнопке  – **Добавить**.
- Для формирования второй строки сводной таблицы, в этом же окне задайте следующие параметры:
  - № динамического нагружения – **4**;
  - № соответствующего статического нагружения – **2**;
  - Коэф. преобразования – **0.9**.
- Щелкните по кнопкам  – **Добавить** и  – **Подтвердить**.

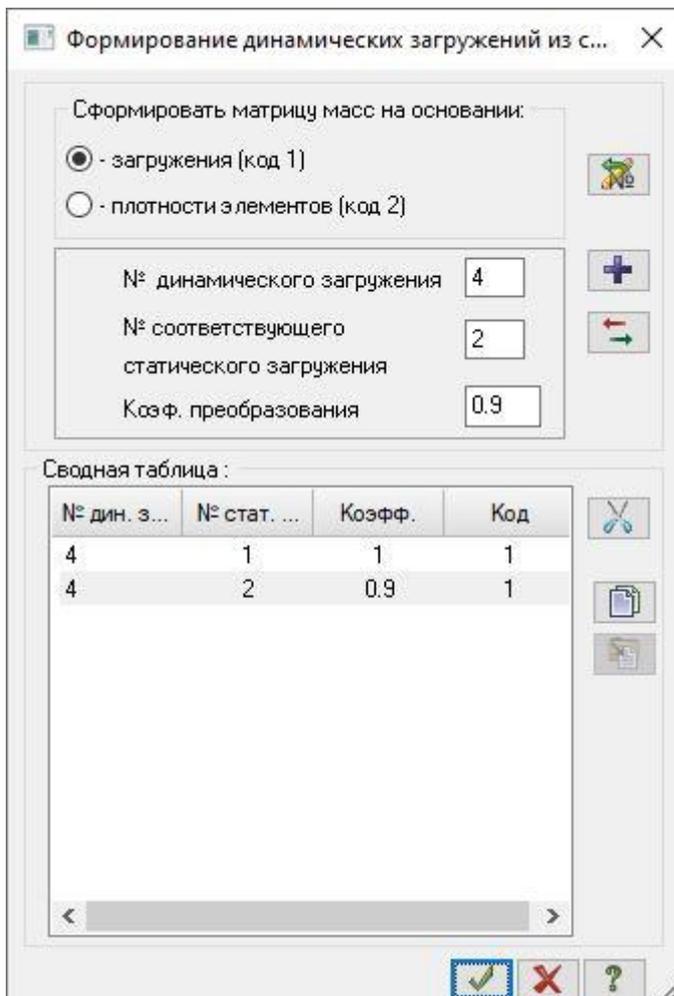


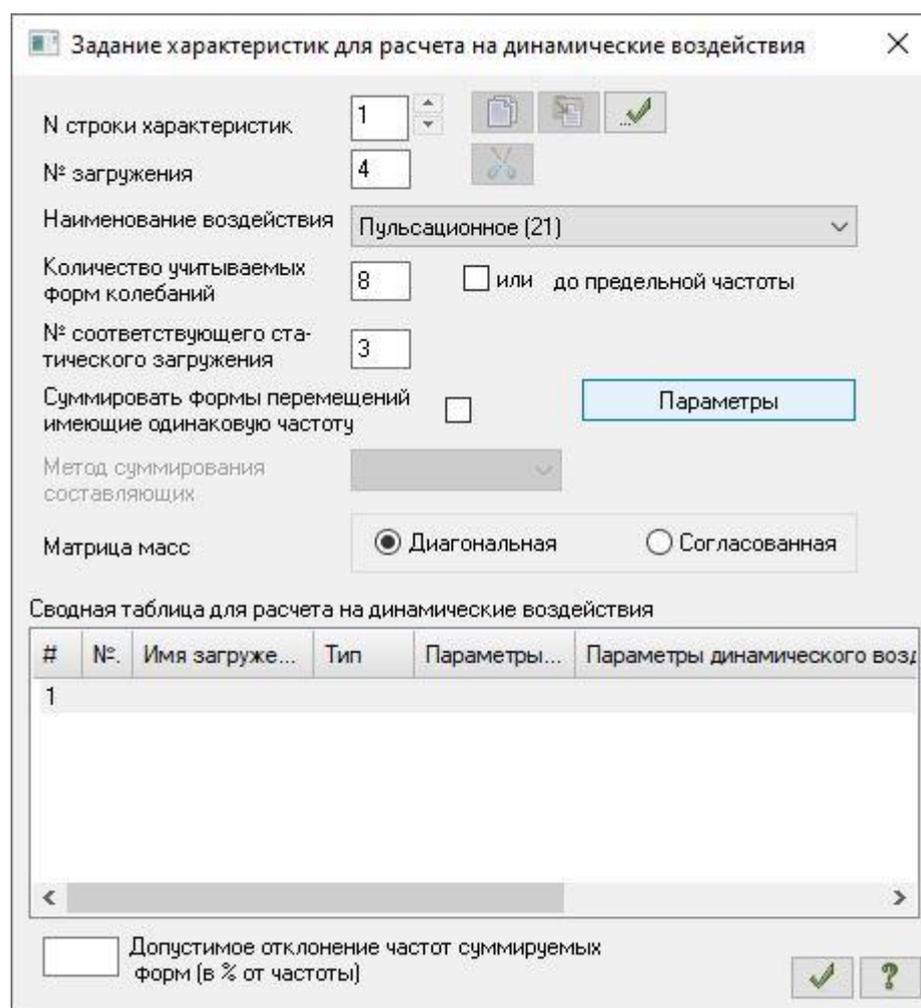
Рис.5.23. Диалоговое окно **Формирование динамических нагрузений из статических**

### Этап 8. Формирование таблицы параметров динамических воздействий

- Вызовите диалоговое окно **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия**

(рис.5.24) щелчком по кнопке  – **Таблица динамических нагрузок** (панель **Динамика** на вкладке **Расчет**).

- В этом окне задайте следующие параметры:
  - № загрузки – **4**;
  - Наименование воздействия – **Пульсационное (21)**;
  - Количество учитываемых форм колебаний – **8**;
  - № соответствующего статического нагружения – **3**;
  - включите радио-кнопку **Диагональная** (для матрицы масс).
- Затем щелкните по кнопке **Параметры**.



Задание характеристик для расчета на динамические воздействия

N строк характеристик: 1

№ загрузки: 4

Наименование воздействия: Пульсационное (21)

Количество учитываемых форм колебаний: 8  или до предельной частоты

№ соответствующего статического нагружения: 3

Суммировать формы перемещений имеющие одинаковую частоту:

Метод суммирования составляющих: [dropdown]

Матрица масс:  Диагональная  Согласованная

Параметры

Сводная таблица для расчета на динамические воздействия

#	№	Имя загрузки...	Тип	Параметры...	Параметры динамического возд...
1					

Допустимое отклонение частот суммируемых форм (в % от частоты)

✓ ?

Рис.5.24. Диалоговое окно **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия**

- В диалоговом окне **Параметры расчета на ветровое воздействие с учетом пульсации** (рис.5.25), при выбранных нормах **СНиП 2.01.07-85\***, задайте следующие параметры:
  - в раскрывающемся списке **Ветровой район строительства** выберите строку **Район 2**;
  - Длина здания вдоль оси X – **5 м**;
  - Длина здания вдоль оси Y – **5 м**;
  - Логарифмический декремент колебаний – **0.15 (стальные конструкции)**;
  - остальные параметры принимаются по умолчанию.
- Подтвердите ввод данных щелчком по кнопке  – **Подтвердить**.

Рис.5.25. Диалоговое окно **Параметры расчета на ветровое воздействие с учетом пульсации**

- В диалоговом окне **Задание характеристик для расчета на динамические воздействия** щелкните по кнопке – **Подтвердить**.

### Этап 9. Генерация таблицы РСУ

- Щелчком по кнопке – **Таблица РСУ** (панель **PCУ** на вкладке **Расчет**) вызовите диалоговое окно **Расчетные сочетания усилий** (рис.5.26).



Так как вид загружений задавался в диалоговом окне **Редактор загружений** (рис.5.22) таблица РСУ сформировалась автоматически с параметрами, принятыми по умолчанию для каждого загружения. Далее нужно только изменить параметры для первого, второго и четвертого загружений.

- В этом окне, при выбранных строительных нормах **СНиП 2.01.07-85\***, задайте следующие данные:
  - в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку соответствующую 1-му загружению. Затем в текстовом поле **Коэффициент надежности** задайте величину **1.05** и после этого щелкните по кнопке – **Применить**;
  - далее в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку соответствующую 2-му загружению. Затем в текстовом поле **Коэффициент надежности** задайте величину **1.3** и после этого щелкните по кнопке – **Применить**;
  - далее в сводной таблице для вычисления РСУ выделите строку соответствующую 4-му загружению. Затем установите флажок **Учитывать знакопеременность** и после этого щелкните по кнопке – **Применить**.

- Закройте диалоговое окно щелчком по кнопке  – **Подтвердить**.

**Расчетные сочетания усилий**

Номер таблицы РСУ:       

Имя таблицы РСУ:  

Строительные нормы:

Номер загрузки:  Загрузка 4

Вид загрузки:   По умолчанию

К надежности по ответственности:  
 для I-го ПС:   
 для II-го ПС:

N группы объединяемых временных нагрузений:

Учитывать знакопеременность:

N группы взаимоисключающих нагрузений:

NN сопутствующих нагрузений:

Коэффициент надежности:

Доля длительности:

Не учитывать для II-го пред. сост.:

Ограничения для кранов и тормозов:  
 Кран:  Тормоз:

Коэффициенты для РСУ

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(б С)	5 сочет.	6 сочет.	7 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.00	0.90	0.50	0.80	0.00	0.00	0.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№.	Имя загрузки...	Вид	Параметры РСУ	Коэффициенты РСУ
1	Загрузка 1	Постоянное(0)	0 0 0 0 0 0 1.05 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	Загрузка 2	Кратковреме...	2 0 0 0 0 0 1.30 0.35	1.00 0.90 0.50 0.80
3	Загрузка 3	Неактивное(...)	9 0 0 0 0 0 0.00 0.00	0.00 0.00 0.00
4	Загрузка 4	Мгновенное(7)	7 0 1 0 0 0 1.40 0.00	1.00 0.90 0.50 0.80

Рис.5.26. Диалоговое окно **Расчетные сочетания усилий**

### Этап 10. Статический расчет башни

- Запустите задачу на расчет щелчком по кнопке  – **Выполнить полный расчет** (панель **Расчет** на вкладке **Расчет**).

## Этап 11. Просмотр и анализ результатов расчета



После расчета задачи, просмотр и анализ результатов статического и динамического расчетов осуществляется на вкладке **Анализ**.

- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов. Для отображения схемы без учета перемещений узлов щелкните по кнопке



– **Исходная схема** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).

### Отключение отображения нагрузок на расчетной схеме

- В диалоговом окне **Показать** перейдите на третью закладку **Общие** и снимите флажок **Нагрузки**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

### Вывод на экран эпюр внутренних усилий

- Для вывода на экран эпюры продольных сил **N**, щелкните по кнопке  – **Эпюры продольных сил N** (панель **Усилия в стержнях** на вкладке **Анализ**).

- Чтобы вывести мозаику усилия **N**, выберите команду  – **Мозаика усилий в стержнях** в раскрывающемся списке **Эпюры/мозаика** (панель **Усилия в стержнях** на вкладке **Анализ**).

### Смена номера текущего нагружения

- В строке состояния (находится в нижней области рабочего окна) в раскрывающемся списке **Сменить номер нагружения** выберите строку соответствующую второму нагружению или щелкните по кнопке



– **Следующее нагружение**.



По умолчанию в строке состояния включена опция **Применять текущий номер нагружения автоматически** и в таком случае переключение на выбранное нагружение происходит автоматически. В случае отключения данной опции, для переключения на

выбранное нагружение, нужно в строке состояния щелкнуть по кнопке  – **Применить**.

### Вывод форм колебаний конструкции

- В строке состояния в раскрывающемся списке **Сменить номер нагружения** выберите строку соответствующую четвертому нагружению.

- Для отображения схемы с учетом перемещений узлов щелкните по кнопке  – **Исходная схема** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).

- Для отключения отображения мозаики усилия **N**, щелкните по кнопке  – **Мозаика N** (панель **Усилия в стержнях** на вкладке **Анализ**).

- Выведите первую форму колебаний, выбрав команду  – **Формы колебаний** в раскрывающемся списке **НДС схемы** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).
- Для вывода второй формы колебаний четвертого нагружения, в строке состояния в раскрывающемся списке **Номер формы (составляющей, периода)** выберите строку соответствующую второй форме колебаний.

### Просмотр анимации второй формы колебаний

- Чтобы перейти в режим пространственной модели, откройте меню **Приложения** и выберите пункт

**Пространственная модель (3D-графика)** (кнопка  на панели быстрого доступа).

- Для просмотра анимации второй формы колебаний четвертого нагружения, с помощью команд управления выберите нужный ракурс отображения расчетной схемы и после этого щелкните по кнопке  – **Показать анимацию колебаний** (панель **Анимация** на вкладке **3D Вид**).
- В диалоговом окне **Колебания** (рис.5.27) щелкните по кнопке  – **Воспроизвести анимацию**.
- Закройте диалоговое окно **Колебания** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

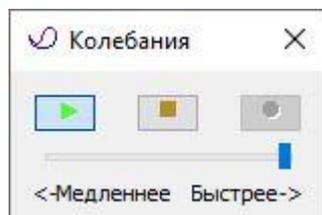


Рис.5.27. Диалоговое окно **Колебания**

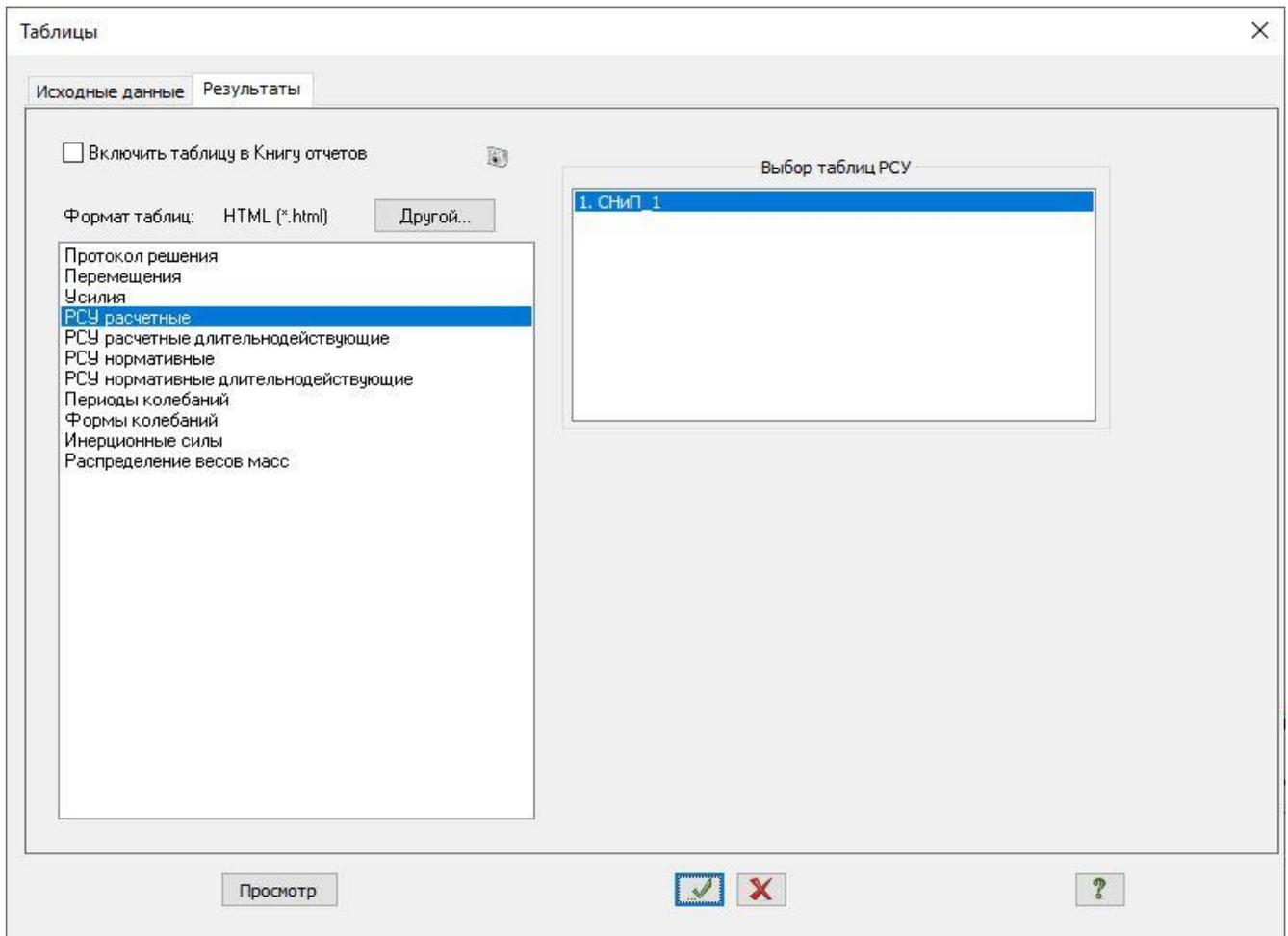
- Для возврата в режим визуализации результатов расчета, закройте окно пространственной модели или щелкните по кнопке  – **Конечноэлементная модель** (панель **Возврат** на вкладке **3D Вид**).

#### Вывод на экран номеров элементов

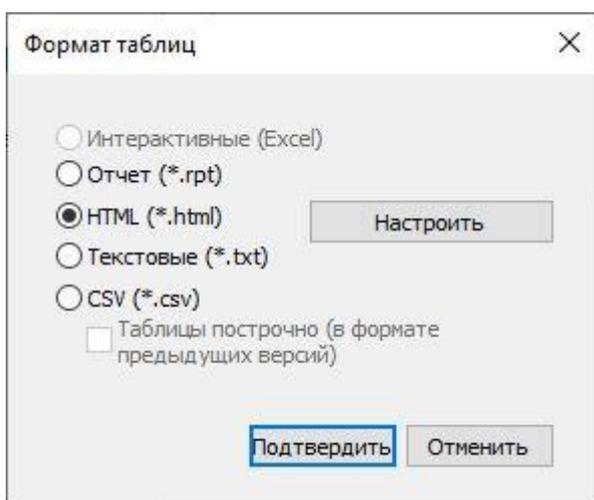
- В диалоговом окне **Показать** перейдите на первую закладку **Элементы** и установите флажок **Номера элементов**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

#### Формирование и просмотр таблиц результатов расчета

- При включенной кнопке  – **Отметка элементов** в раскрывающемся списке **Отметка элементов** на панели инструментов **Панель выбора**, с помощью курсора выделите опорный элемент башни №1.
- Для вывода на экран таблицы со значениями расчетных сочетаний усилий в выделенном элементе схемы, выберите команду  – **Стандартные таблицы** в раскрывающемся списке **Документация** (панель **Таблицы** на вкладке **Анализ**).
- После этого в диалоговом окне **Таблицы** (рис.5.28) выделите строку **PCY расчетные**.

Рис.5.28. Диалоговое окно **Таблицы**

- Для создания таблицы в формате HTML, щелкните по кнопке **Другой**.
- В новом диалоговом окне **Формат таблиц** (рис.5.29) включите радио-кнопку **HTML** и щелкните по кнопке **Подтвердить**.
- После этого в диалоговом окне **Таблицы** щелкните по кнопке  – **Применить**.

Рис.5.29. Диалоговое окно **Формат таблиц**



По умолчанию стандартные таблицы создаются в формате CSV. Информация, которая выводится в данных таблицах, разделена по разным закладкам: исходные данные (например, коэффициенты для РСУ), если такие имеются; результаты для стержневых элементов; результаты для пластинчатых элементов и т. д.

При установке флажка **Включить таблицу в Книгу отчетов** таблица будет создана только в формате CSV и вставлена в «Книгу отчетов». Таблицу, которая находится в «Книге отчетов», можно в дальнейшем обновлять в случае необходимости и верстать в отчет средствами «Книги отчетов».

Чтобы изменить формат создаваемой таблицы, нужно в диалоговом окне **Стандартные таблицы** щелкнуть по кнопке **Другой** и в появившемся окне **Формат таблиц** выбрать нужный формат и подтвердить выбор щелчком по кнопке **Подтвердить** (для создания таблиц в текстовом формате нужно включить радио-кнопку **Текстовые**. Для создания таблиц в формате HTML нужно включить радио-кнопку **HTML**. Для создания таблиц в формате для дальнейшей работы в режиме программы "Графический Макетировщик" нужно включить радио-кнопку **RPT**).

Выбранный формат таблиц запоминается и будет использован по умолчанию при дальнейшей работе со стандартными таблицами.

- В окне Windows Internet Explorer открывается таблица 5.1.

Таблица 5.1. РАСЧЕТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ

ЭЛМ	НС	КРТ	СТ	КС	Г	N	МК	МУ	QZ	MZ	QY	ЗАГРУЖЕНИЯ.
1	1	2	1		A1	.....	0	0	.....	0	0	1, 2,
		1	1		B1	.....	0	0	.....	0	0	1, -4,



В приведенной таблице приняты следующие обозначения:

1 колонка – **ЭЛМ** – номер элемента на расчетной схеме;

2 колонка – **НС** – номер сечения стержневого элемента;

3 колонка – **КРТ** – критерий выбора расчетного сочетания усилий;

4 колонка – **СТ** – номер столбца коэффициентов расчетных сочетаний усилий в таблице РСУ;

5 колонка – **КС** – отметка о крановых и сейсмических воздействиях в случае, если эти воздействия участвуют в РСУ;

6 колонка – индексы внутренней группы РСУ – **A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2**, различаемые по длительности действия нагрузок, входящих в сочетание.

Внутренние группы для **1ПС** – группы **A1, B1, C1, D1** – формируются на основании критериев, вычисленных по полным расчетным значениям усилий. Индексом **A1** обозначаются РСУ, которые состоят из загрузений продолжительной длительности.

Индексом **B1** обозначаются РСУ, которые состоят из всех загрузений независимо от длительности действия кроме сейсмического и прочих особых. Индексом **C1** обозначаются РСУ, которые включает группу **B1** плюс сейсмическое загрузение. Индексом **D1** обозначаются РСУ, которые включает группу **B1** плюс особое (не сейсмическое) загрузение.

Внутренние группы для **2ПС** формируются двояко:

- группы **A2, B2** – на основании критериев, вычисленных по длительной части нормативных (характеристических) усилий.

- группы **C2, D2** – на основании полных нормативных усилий.

Группа **A2** – включает только постоянные и длительные загрузения. Группа **B2** – включает постоянные, длительные и кратковременные загрузения (кроме мгновенного).

Группа **C2** – включает все заданные загрузения независимо от длительности действия кроме сейсмического и прочих особых. Группа **D2** – включает группу **C2** плюс сейсмическое загрузение.

- Для того чтобы закрыть таблицу, щелкните в окне Windows Internet Explorer по кнопке  – **Закрыть**.
- Закройте диалоговое окно **Таблицы** щелчком по кнопке  – **Закрыть**.
- Для переключения в режим результатов статического расчета, выберите команду  – **Форма перемещений** в раскрывающемся списке **НДС схемы** (панель **Деформации** на вкладке **Анализ**).

## Этап 12. Расчет нагрузки на фрагмент

### Вывод на экран номеров узлов

- В диалоговом окне **Показать** перейдите на вторую закладку **Узлы** и установите флажок **Номера узлов**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

### Расчет нагрузки на фрагмент



Информацией для расчета нагрузок на фрагмент являются:

- номера узлов, в которых должна быть вычислена нагрузка;
- номера элементов, которые передают нагрузку на эти узлы;
- углы поворота узлов вокруг оси Z глобальной системы координат.

- При включенной кнопке  – **Отметка узлов** в раскрывающемся списке **Отметка узлов** на панели инструментов **Панель выбора** с помощью курсора выделите узлы №2 и 11.
- Для выделения элементов, которые передают нагрузку на выделенные узлы, щелкните по кнопке  – **Отметить элементы, примыкающие к отмеченным узлам** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Щелкните по кнопке  – **Рассчитать нагрузку на фрагмент** (панель **Фрагмент** на вкладке **Расширенный анализ**).
- В диалоговом окне **Расчет нагрузок на фрагмент** (рис.5.30) задайте следующие параметры:
  - В поле ввода **Список элементов** щелкните по кнопке **Обновить**, для того чтобы внести номера выделенных элементов в соответствующее поле ввода;
  - Для создания новой группы узлов примыкания фрагмента щелкните по кнопке **Создать**;
  - В поле ввода **Список узлов** щелкните по кнопке **Обновить**, для того чтобы внести номера выделенных узлов в соответствующее поле ввода.
- После этого щелкните по кнопке **Выполнить расчет**.



Данные для расчета нагрузки на фрагмент можно также задать перед запуском задачи на расчет после окончания формирования расчетной схемы. При этом процесс выделения узлов и элементов остается таким же, а диалоговое окно **Расчет нагрузок на фрагмент**

вызывается щелчком по кнопке  – **Данные для расчета нагрузки на фрагмент** (панель **Доп. расчеты** на вкладке **Расчет**). Ввод данных производится щелчком по кнопке



– **Подтвердить**.

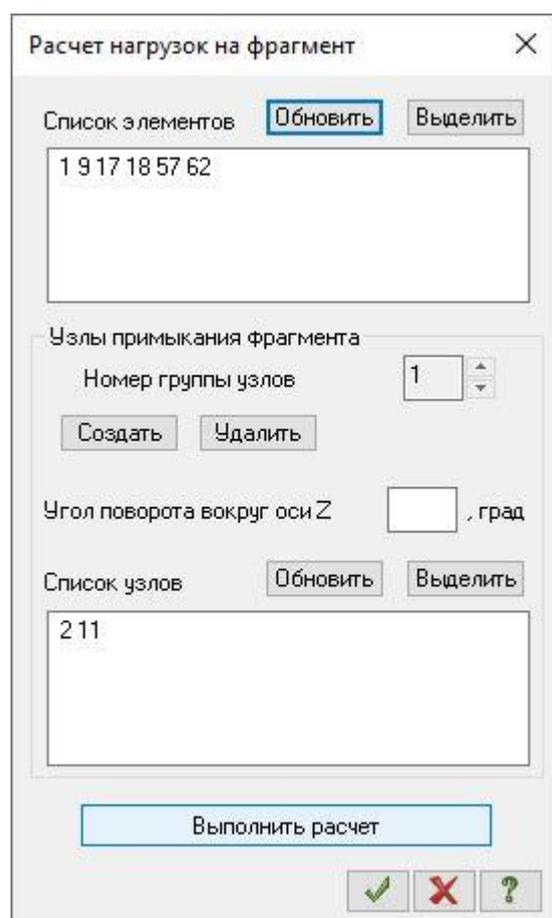


Рис.5.30. Диалоговое окно **Расчет нагрузок на фрагмент**

#### [Формирование и просмотр таблицы результатов расчета нагрузки на фрагмент](#)

- Для вывода на экран таблицы со значениями нагрузок на фрагмент в узлах, выберите команду  – **Стандартные таблицы** в раскрывающемся списке **Документация** (панель **Таблицы** на вкладке **Анализ**).
- После этого в диалоговом окне **Таблицы** выделите строку **Нагрузка на фрагмент**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Закройте диалоговое окно **Таблицы** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

#### [Корректировка флагов рисования](#)

- В диалоговом окне **Показать** при активной закладке **Узлы** снимите флажок **Номера узлов**.
- Далее перейдите на первую закладку **Элементы** и снимите флажок **Номера элементов**.
- После этого перейдите на третью закладку **Общие** и установите флажок **Величины нагрузок**.
- Щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

#### [Вывод на экран значений нагрузки на фрагмент в узлах расчетной схемы](#)

- В строке состояния в раскрывающемся списке **Сменить номер загрузки** выберите строку соответствующую первому загрузению.
- Снимите выделение с узлов и элементов щелчком по кнопке  – **Отмена выделения** на панели инструментов **Панель выбора**.
- Для отображения нагрузки на фрагмент в виде сил, выберите команду  – **Силы в глобальной системе** в раскрывающемся списке **Мозаика/векторы** (панель **Результат** на вкладке **Расширенный анализ**).

- Выведите на экран значения сил на узлы фрагмента по направлению Z щелчком по кнопке  $\Sigma P_z$  – **Сила по Z** (панель **Фрагмент** на вкладке **Расширенный анализ**).
- Для вывода значений сил на узлы фрагмента по направлению X щелчком по кнопке  $\Sigma P_x$  – **Сила по X** (панель **Фрагмент** на вкладке **Расширенный анализ**).