

Пример 10. Расчет шпунта усиленного анкерами совместно с грунтовым массивом котлована (применение нелинейных элементов грунта, моделирование предварительного натяжения анкеров, моделирование процесса экскавации котлована)

Цели и задачи:

- показать технологию моделирования многослойного основания с применением теории прочности Кулона-Мора;
- продемонстрировать технологию построения расчетной схемы конструкций ограждения котлована в процессе монтажа;
- показать технологию нелинейного расчета системы "нелинейно-деформируемое основание – линейно-деформируемые конструкции ограждения" с учетом процесса монтажа и разработки котлована;
- произвести расчет с учетом модуля деформации грунта по ветви вторичного нагружения (учет разгрузки модели грунта).

Исходные данные:

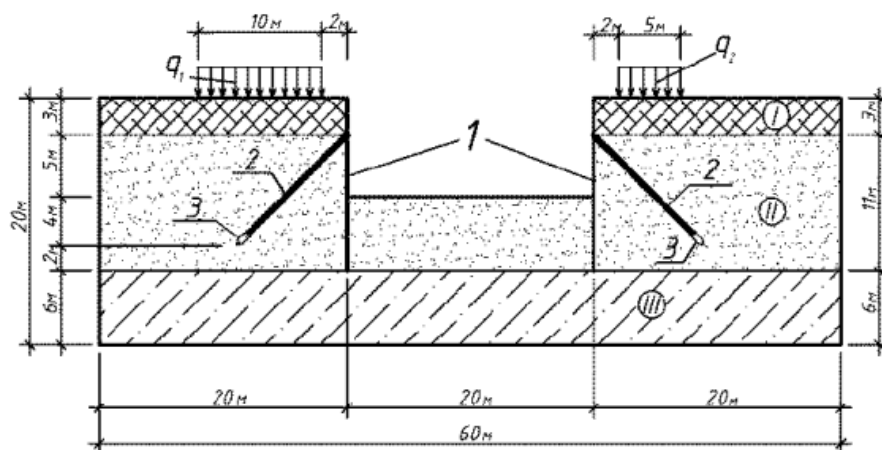
Профиль трехслойного основания с размерами 60 x 20 м, толщиной 1 м (рис.10.1).

Котлован с размерами 20 x 8 м (рис.10.1).

Вертикальные конструкции ограждения высотой 14 м (рис.10.1).

Опоры анкеров длиной 3 м, анкера длиной 10 м, расположенные под углом 45° (рис.10.1).

Расчет производится для сетки профиля основания с размерами КЭ 1 x 1 м.



- 1- шпунтовое ограждение
2- анкера
3- опоры анкеров
I- насыпной грунт
II- песок
III- суглинок

Рис.10.1 Схема конструкций ограждения котлована и нагрузок на многослойное основание

Нагрузки:

- загрузка 1 – собственный вес грунта трехслойного основания;
- загрузка 2 – постоянная равномерно-распределенная нагрузка $q_1 = 1$ т/м, постоянная равномерно-распределенная нагрузка $q_2 = 0.5$ т/м, приложенные на поверхность основания (рис.10.1), собственный вес конструкций ограждения;
- загрузка 4 – предварительное натяжение анкеров $F = 5$ т.



Создание новой задачи

Для того чтобы начать работу с ПК ЛИРА, выполните следующую команду Windows:

Пуск ⇒ Программы ⇒ Lira Soft ⇒ ЛИРА 9.4 ⇒ ЛИРА 9.4.

Этап 1. Создание новой задачи



- Для создания новой задачи выполните пункт меню **Файл ⇒ Новый** (кнопка  на панели инструментов).
- В появившемся диалоговом окне **Признак схемы** (рис.10.2) задайте следующие параметры:
 - имя создаваемой задачи – **Пример10** (шифр задачи по умолчанию совпадает с именем задачи);
 - признак схемы – **2 – Три степени свободы в узле (два перемещения и поворот) X0Z**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.


Рис.10.2. Диалоговое окно Признак схемы



Создание геометрической схемы

Этап 2. Создание геометрической схемы

Создание профиля основания

- С помощью меню **Схема** ⇒ **Создание** ⇒ **Регулярные фрагменты и сети** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Создание плоских фрагментов и сетей**.
- В этом окне перейдите на четвертую закладку **Генерация балки-стенки**.
- Задайте шаг конечно-элементной сетки вдоль первой и второй осей:
 - Шаг вдоль первой оси: Шаг вдоль второй оси:
 - | L(м) | N |
|------|----|
| 1 | 60 |





L(м)	N
1	20
 - Остальные параметры принимаются по умолчанию (рис.10.3).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

Рис.10.3. Диалоговое окно Создание плоских фрагментов и сетей

Смена типа конечных элементов основания

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка блока** (кнопка  на панели инструментов).
- Укажите курсором на любой узел или элемент (узлы и элементы окрашиваются в красный цвет).
- Выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Смена типа конечного элемента** (кнопка  на панели инструментов).

- В диалоговом окне **Смена типа конечного элемента** (рис.10.4) с помощью курсора выделите строку **Тип 281 – физически нелинейный прямоугольный КЭ плоской задачи (грунт)**.

- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

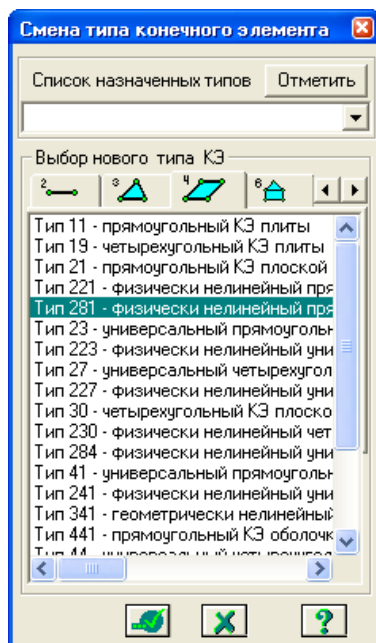





Рис.10.4. Диалоговое окно **Смена типа конечного элемента**

- Снимите выделение узлов с помощью меню **Выбор ⇒ Отмена выделения** (кнопка  на панели инструментов).

Вывод на экран номеров узлов

- Выполните пункт меню **Опции ⇒ Флаги рисования** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Показать** (рис.10.5) перейдите на вторую закладку **Узлы** и установите флажок **Номера узлов**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

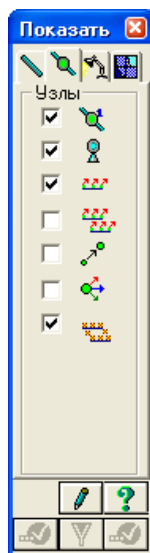



Рис.10.5. Диалоговое окно **Показать**

- Выполните пункт меню **Вид ⇒ Увеличить** (кнопка  на панели инструментов).
- Чтобы увеличить фрагмент схемы выделите его "резиновым окном" как это показано на рис.10.6 (отображение на экране нужной части увеличенного фрагмента схемы осуществляется с помощью полос прокрутки).

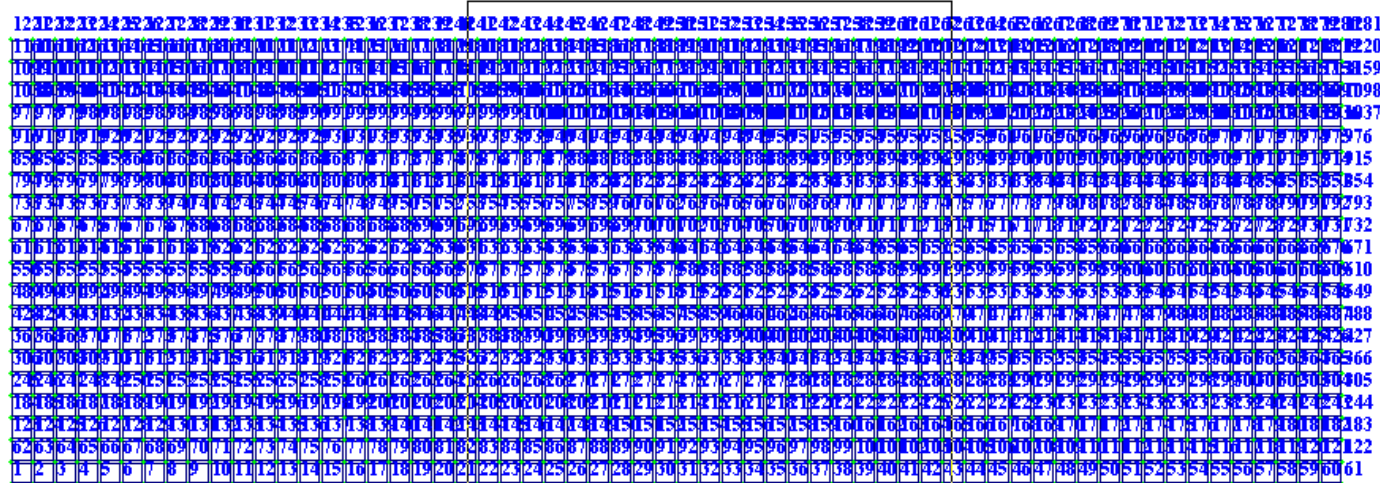



Рис.10.6. Выделение "резиновым окном" фрагмента схемы

Добавление конструкций ограждения котлована, анкеров и опор анкеров

- С помощью меню **Схема ⇒ Корректировка ⇒ Добавить элемент** (кнопка  на панели инструментов) вызовите на экран диалоговое окно **Добавить элемент** (рис.10.7).

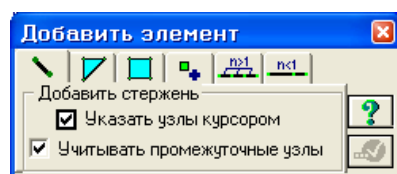







Рис.10.7. Диалоговое окно **Добавить элемент**

- Для добавления конструкций ограждения котлована между узлами № 387 и 1241, 407 и 1261 (по вертикали), при установленных флажках **Указать узлы курсором** и **Учитывать промежуточные узлы**, укажите последовательно курсором на эти пары узлов (при этом между ними протягивается резиновая нить).
- Для добавления опор анкеров между узлами № 500 и 624, 538 и 658 (по наклонной) укажите последовательно курсором на эти пары узлов.
- Для добавления анкеров между узлами № 624 и 1058, 658 и 1078 (по наклонной) в диалоговом окне **Добавить элемент** снимите флажок **Учитывать промежуточные узлы** и после этого укажите последовательно курсором на эти пары узлов.

Смена типа конечных элементов анкеров и опор анкеров

- Выполните пункт меню **Выбор ⇒ Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов) и **Выбор ⇒ Полигональная отметка** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью левой клавиши мыши задайте замкнутый контур вокруг наклонных элементов опор анкеров сначала с левой стороны ограждения котлована между узлами № 500 и 624, а затем выполнив ещё раз пункт меню **Выбор ⇒ Полигональная отметка** (кнопка  на панели инструментов) – с правой стороны ограждения котлована между узлами № 538 и 658 (также элементы можно просто указать на схеме с помощью курсора).
- Выполните пункт меню **Схема ⇒ Корректировка ⇒ Смена типа конечного элемента** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Смена типа конечного элемента** (рис.10.4) с помощью курсора выделите строку **Тип 1 – КЭ плоской фермы**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выделите на расчетной схеме элементы анкеров находящиеся между узлами № 624 и 1058, 658 и 1078 с помощью полигональной отметки.
- В диалоговом окне **Смена типа конечного элемента** с помощью курсора выделите строку **Тип 208 – физически нелинейный специальный двухузловой КЭ для моделирования предварительного натяжения**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Восстановите исходный размер расчетной схемы после выполнения операции **Увеличить** с помощью меню **Вид ⇒ Исходный размер** (кнопка  на панели инструментов).
- Выполните пункт меню **Выбор ⇒ Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов), чтобы снять активность с операции выделения элементов.

Сохранение информации о расчетной схеме

- Для сохранения информации о расчетной схеме выполните пункт меню **Файл ⇒ Сохранить** (кнопка  на панели инструментов).
- В появившемся диалоговом окне **Сохранить как** задайте:
 - имя задачи – **Пример10**;
 - папку, в которую будет сохранена эта задача (по умолчанию выбирается папка – **LData**).


- Щелкните по кнопке **Сохранить**.



Задание граничных условий

Этап 3. Задание граничных условий



Выделение узлов нижней грани основания

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите узлы нижней грани основания № 1 – 61 (узлы окрашиваются в красный цвет).



Отметка узлов выполняется с помощью одиночного указания курсором или растягиванием вокруг нужных узлов "резинового окна".

Задание граничных условий в узлах нижней грани основания

- С помощью меню **Схема** ⇒ **Связи** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Связи в узлах** (рис.10.8).
- В этом окне, с помощью установки флажков, отметьте направления, по которым запрещены перемещения узлов (**X**, **Z**).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить** (узлы окрашиваются в синий цвет).

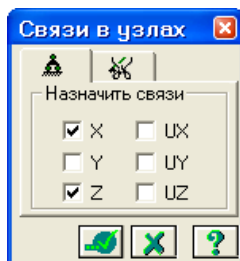




Рис.10.8. Диалоговое окно **Связи в узлах**

Задание граничных условий в узлах боковых граней основания


- С помощью курсора выделите узлы крайней левой и крайней правой боковых граней основания.
- В диалоговом окне **Связи в узлах** отметьте направления, по которым запрещены перемещения узлов (**X**). Для этого необходимо снять флажок с направления **Z**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов), чтобы снять активность с операции выделения узлов.



Задание жесткостных параметров элементам расчетной схемы

Этап 4. Задание жесткостных параметров элементам расчетной схемы

Формирование типов жесткости

- С помощью меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Жесткости элементов** (рис.10.9).
- В этом окне щелкните по кнопке **Добавить** для того, чтобы вывести список стандартных типов сечений.
- Далее в библиотеке жесткостных характеристик щелкните по третьей закладке численного описания жесткости.
- Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **КЭ 281 – 284 численное** (на экран выводится диалоговое окно для задания жесткостных характеристик выбранного типа сечения).

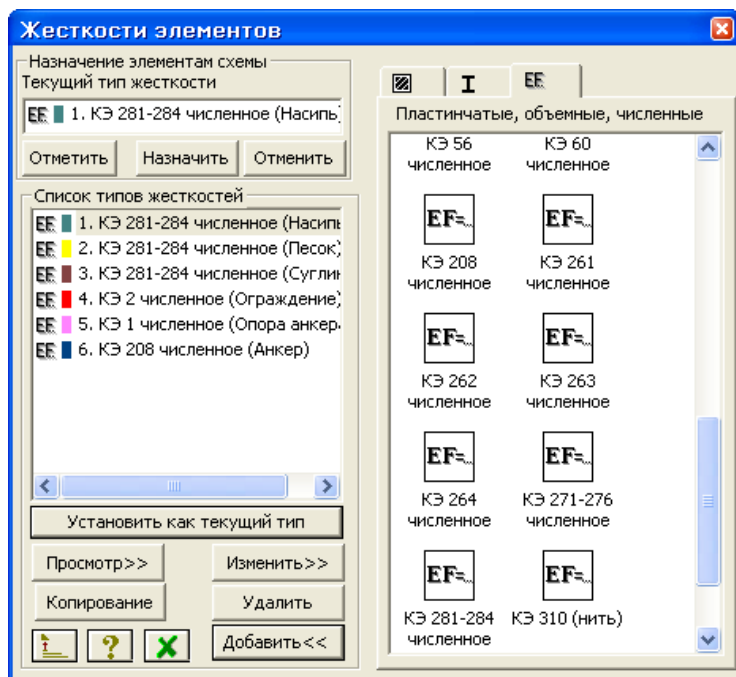


Рис.10.9. Диалоговое окно Жесткости элементов

- В диалоговом окне **Численное описание для КЭ 281 – 284** (рис.10.10) задайте параметры первого слоя грунта (насыпь):
 - модуль деформации грунта по ветви первичного нагружения – $E = 800 \text{ т/м}^2$;
 - коэф. Пуассона – $V = 0.3$;
 - толщина– $H = 100 \text{ см}$;
 - удельный вес материала – $R_o = 1.6 \text{ т/м}^3$;
 - коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения $K_e = 3$;
 - сцепление – $C = 0.1 \text{ т/м}^2$;
 - предельное напряжение при растяжении – $R_t = 0.01 \text{ т/м}^2$;
 - угол внутреннего трения – $F_i = 30 \text{ град}$;
 - в поле **Комментарий** введите **Насыпь** и выберите цвет для данной жесткости (зеленый).
- Для ввода данных щелкните по кнопке – **Подтвердить**.

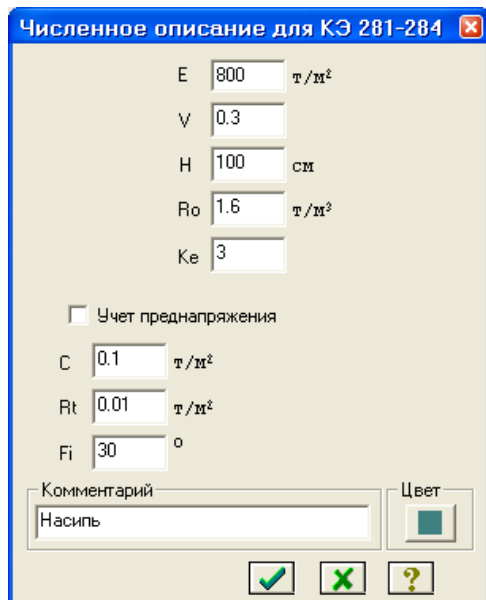



Рис.10.10. Диалоговое окно Численное описание для КЭ 281 – 284

- Далее в диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей с помощью курсора выделите строку **1.КЭ 281-284 численное** и дважды щелкните по кнопке **Копирование**.
- После этого в списке типов жесткостей выделите строку **2.КЭ 281-284 численное** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В диалоговом окне **Численное описание для КЭ 281 – 284** измените параметры для второго слоя грунта (песок):
 - модуль деформации грунта по ветви первичного нагружения – $E = 3000 \text{ т/м}^2$;
 - коэф. Пуассона – $V = 0.3$;
 - толщина– $H = 100 \text{ см}$;


- удельный вес материала – $R_o = 1.7 \text{ т/м}^3$;
- коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения $K_e = 3$;
- сцепление – $C = 0.1 \text{ т/м}^2$;
- предельное напряжение при растяжении – $R_t = 0.01 \text{ т/м}^2$;
- угол внутреннего трения – $F_i = 34 \text{ град}$;
- в поле **Комментарий** введите **Песок** и выберите цвет для данной жесткости (желтый).

➤ Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

➤ В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите строку **3.КЭ 281-284 численное** и щелкните по кнопке **Изменить**.

➤ Далее в диалоговом окне **Численное описание для КЭ 281 – 284** измените параметры для третьего слоя грунта (суглинок):


- модуль деформации грунта по ветви первичного нагружения – $E = 2000 \text{ т/м}^2$;
- коэф. Пуассона – $V = 0.33$;
- толщина – $H = 100 \text{ см}$;
- удельный вес материала – $R_o = 1.7 \text{ т/м}^3$;
- коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения $K_e = 3$;
- сцепление – $C = 0.8 \text{ т/м}^2$;
- предельное напряжение при растяжении – $R_t = 0.08 \text{ т/м}^2$;
- угол внутреннего трения – $F_i = 29 \text{ град}$;
- в поле **Комментарий** введите **Суглинок** и выберите цвет для данной жесткости (коричневый).

➤ Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

➤ После этого в диалоговом окне **Жесткости элементов** выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **КЭ 2 численное**.

➤ В диалоговом окне **КЭ 2 численное** (рис.10.11) задайте параметры сечения конструкций ограждения:

- жесткость элемента на осевое сжатие (растяжение) – $EF = 1.2\text{e}6 \text{ т}$ (при английской раскладке клавиатуры);
- жесткость элемента на изгиб вокруг оси Y_1 – $Ely = 12000 \text{ т*м}^2$;
- погонный вес $q = 0.83 \text{ т/м}$;
- в поле **Комментарий** введите **Ограждение** и выберите цвет для данной жесткости (красный).

➤ Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

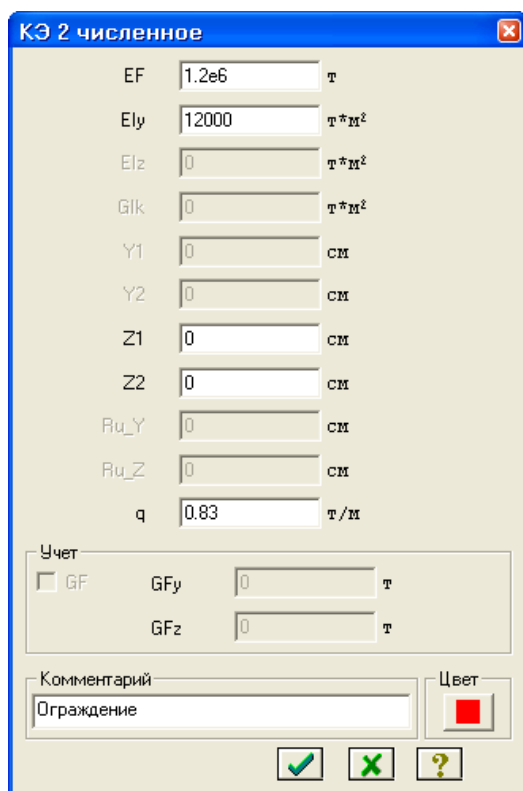



Рис.10.11. Диалоговое окно **КЭ 2 численное**

➤ После этого в диалоговом окне **Жесткости элементов** выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **КЭ 1 численное**.

➤ В диалоговом окне **КЭ 1 численное** (рис.10.12) задайте параметры сечения опор анкеров:

- жесткость элемента на осевое сжатие (растяжение) – $EF = 10000$ т;
- в поле **Комментарий** введите **Опора анкера** и выберите цвет для данной жесткости (малиновый).

➤ Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

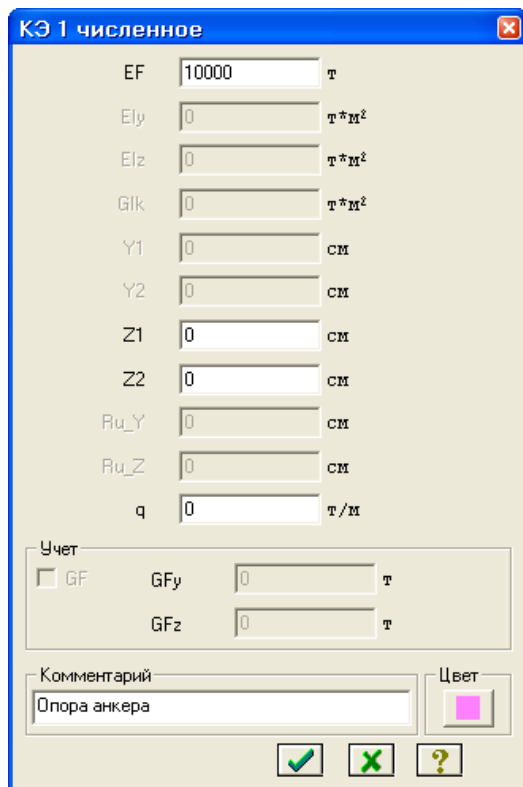



Рис.10.12. Диалоговое окно **КЭ 1 численное**

- После этого в диалоговом окне **Жесткости элементов** выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **КЭ 208 численное**.
- В диалоговом окне **Численное описание для КЭ 208** (рис. 10.13), при включенной радио-кнопке способа задания сечения **Численное**, задайте параметры сечения анкеров:
 - жесткость элемента на растяжение – $EF = 8000$ т;
 - максимальное растягивающее усилие – $N_{max} = 1e9$ т (при английской раскладке клавиатуры);
 - в поле **Комментарий** введите **Анкер** и выберите цвет для данной жесткости (синий).
- Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

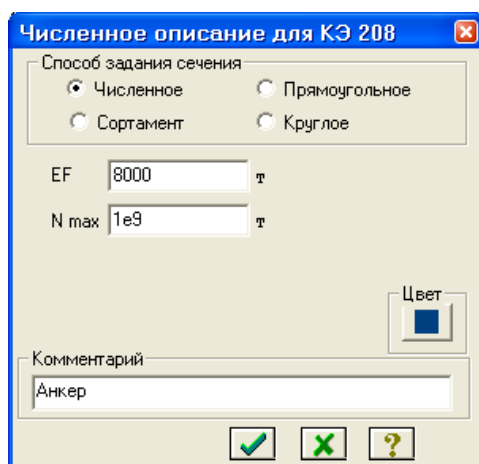



Рис.10.13. Диалоговое окно **Численное описание для КЭ 208**

- Чтобы скрыть библиотеку жесткостных характеристик, в диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Добавить**.

Назначение жесткостей элементам расчетной схемы

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **1.КЭ 281-284 численное**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип** (при этом выбранный тип записывается в окне редактирования **Текущий тип жесткости**. Можно назначить текущий тип жесткости двойным щелчком на строке списка).
- Выполните пункт меню **Выбор ⇒ Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите три верхних ряда конечных элементов основания (толщина слоя 3 м).



Отметка элементов выполняется с помощью одиночного указания курсором или растягиванием вокруг нужных элементов "резинового окна".

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).
- В появившемся диалоговом окне **Предупреждение** (рис.10.14) щелкните по кнопке **ОК** (это сообщение появляется из-за того, что кроме пластинчатых элементов на расчетной схеме выделились ещё и стержневые элементы, которым данный тип жесткости назначить нельзя).

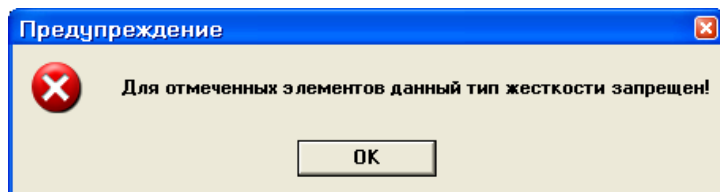






Рис.10.14. Диалоговое окно **Предупреждение**

- Далее в диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **2.КЭ 281-284 численное**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- С помощью курсора выделите с четвертого по четырнадцатый включительно (от верха анкеров до низа элементов конструкций ограждения) ряды конечных элементов основания (толщина слоя 11 м).
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- В появившемся диалоговом окне **Предупреждение** щелкните по кнопке **ОК**.
- Снимите выделение элементов с помощью меню **Выбор ⇒ Отмена выделения** (кнопка  на панели инструментов).
- После этого в диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите курсором тип жесткости **3.КЭ 281-284 численное**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- С помощью курсора выделите оставшиеся шесть рядов конечных элементов основания (толщина слоя 6 м).
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- Затем в диалоговом окне **Жесткости элементов** установите текущим тип жесткости **4.КЭ 2 численное**.
- Выполните пункт меню **Выбор ⇒ Отметка вертикальных элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите все вертикальные элементы схемы.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- Установите текущим тип жесткости **6.КЭ 208 численное**.
- С помощью меню **Выбор ⇒ ПолиФильтр** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **ПолиФильтр** (рис.10.15), для того чтобы выделить элементы анкеров.
- В этом окне перейдите на вторую закладку **Фильтр для элементов**.
- Далее установите флажок **По типу КЭ** и в раскрывающемся списке с помощью курсора выберите строку **Тип 208 – физически нелинейный специальный двухузловой КЭ для моделирования предварительного натяжения**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

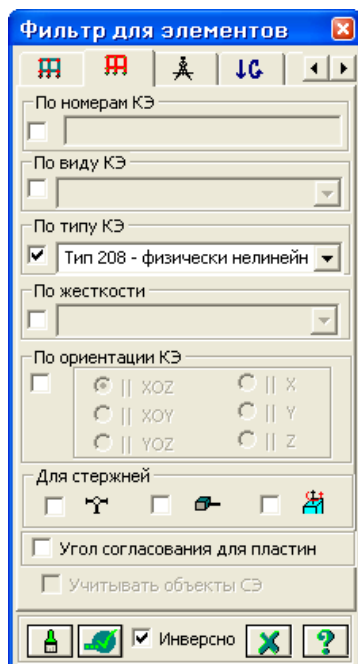


Рис.10.15. Диалоговое окно **Фильтр для элементов**

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.
- Установите текущим тип жесткости **5.КЭ 1 численное**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** при установленном флажке **По типу КЭ** в раскрывающемся списке выберите строку **Тип 1 – КЭ плоской фермы**.
- Щелкните по кнопке – **Применить**.
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить** (назначенной жесткостью остается та, которая была назначена последней).



Задание нагрузок

Этап 5. Задание нагрузок

Формирование загрузки № 1

- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** в раскрывающемся списке **По типу КЭ** выберите строку **Тип 281 – физически нелинейный прямоугольный КЭ плоской задачи (грунт)**.
- Щелкните по кнопке – **Применить**.
- Для задания нагрузки от собственного веса элементов основания, вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес** (рис.10.16) с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Добавить собственный вес**.

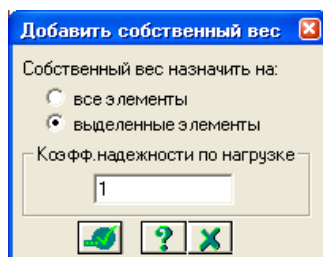


Рис.10.16. Диалоговое окно **Добавить собственный вес**

- В этом окне включите радио-кнопку **выделенные элементы** и щелкните по кнопке – **Применить** (в соответствии с заданным объемным весом R_0 элементы загружаются нагрузкой от собственного веса).
- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка элементов** (кнопка на панели инструментов), чтобы снять активность с операции выделения элементов.

Формирование загрузки № 2

- Смените номер текущего загрузки, вызвав диалоговое окно **Активное загрузке** (рис.10.17) с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор загрузки** (кнопка на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте номер загрузки **2**.
- Щелкните по кнопке – **Подтвердить**.

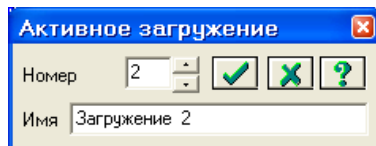


Рис.10.17. Диалоговое окно **Активное загрузие**

- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** в раскрывающемся списке **По типу КЭ** выберите строку **Тип 10 – универсальный пространственный стержневой КЭ**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- С помощью пункта меню **Нагрузки** ⇒ **Добавить собственный вес** вызовите диалоговое окно **Добавить собственный вес**.
- В этом окне включите радио-кнопку **выделенные элементы** и щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Увеличить** (кнопка  на панели инструментов) и увеличьте фрагмент расчетной схемы.
- Затем выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите узлы верхней грани основания № 1230 – 1238.
- Из меню **Нагрузки** ⇒ **Нагрузка на узлы и элементы** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** (рис.10.18).

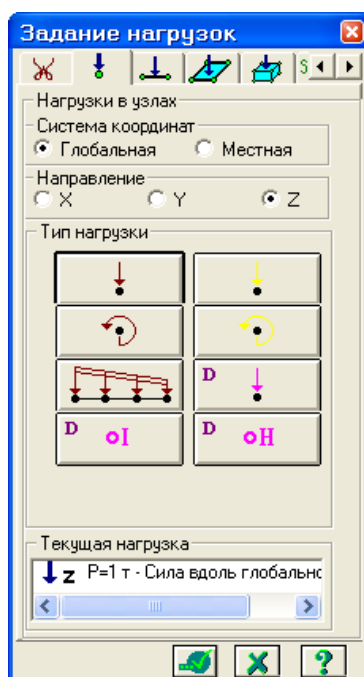



Рис.10.18. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

- В этом окне, при активной закладке **Нагрузки в узлах** и включенных радио-кнопках системы координат – **Глобальная**, направления – вдоль оси **Z**, щелчком по кнопке сосредоточенной силы вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки**.
- В появившемся окне введите значение **P = 1 т** (рис.10.19).
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

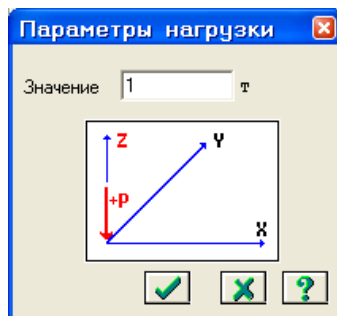










Рис.10.19. Диалоговое окно **Параметры нагрузки**

- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – **Применить**.
- С помощью курсора выделите узлы верхней грани основания № 1229 и 1239.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** щелчком по кнопке сосредоточенной силы вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузки**.



- В появившемся окне введите значение $P = 0.5$ т.
- Щелкните по кнопке  – Подтвердить.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – Применить.
- С помощью курсора выделите узлы верхней грани основания № 1264 – 1267.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – Применить.
- С помощью курсора выделите узлы верхней грани основания № 1263 и 1268.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** щелчком по кнопке сосредоточенной силы вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузок**.
- В появившемся окне введите значение $P = 0.25$ т.
- Щелкните по кнопке  – Подтвердить.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – Применить.

Формирование загрузки № 4

- Смените номер текущего нагружения, вызвав диалоговое окно **Активное нагружение** с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор нагружения** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте номер нагружения 4.
- Щелкните по кнопке  – Подтвердить.



В данной задаче будет смоделировано пять стадий монтажа и пять нелинейных нагружений. Чтобы это можно было сделать нужно третье нагружение оставить "пустыми", в четвертом задать предварительное натяжение анкеров, а в пятом задать фиктивную нагрузку в одном из крайних узлов основания по направлению граничных условий этого узла.

- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** в раскрывающемся списке **По типу КЭ** выберите строку **Тип 208 – физически нелинейный специальный двухузловой КЭ для моделирования предварительного натяжения**.
- Щелкните по кнопке  – Применить.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** перейдите на третью закладку **Нагрузки на стержни**.
- Щелчком по кнопке нагрузки на спецэлемент вызовите диалоговое окно **Параметры**.
- В появившемся окне задайте силу натяжения $P = 5$ т (рис.10.20).
- Щелкните по кнопке  – Подтвердить.

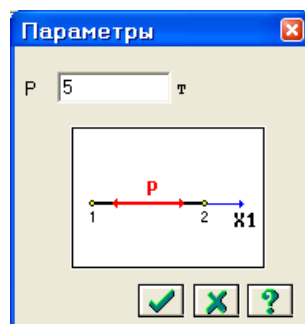




Рис.10.20. Диалоговое окно **Параметры**

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


Формирование загрузки № 5

- Смените номер текущего нагружения, вызвав диалоговое окно **Активное нагружение** с помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Выбор нагружения** (кнопка  на панели инструментов).
- В этом диалоговом окне задайте номер нагружения 5.
- Щелкните по кнопке  – Подтвердить.
- С помощью курсора выделите узел нижней грани основания № 1.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** перейдите на вторую закладку **Нагрузки в узлах**.
- Щелчком по кнопке сосредоточенной силы вызовите диалоговое окно **Параметры нагрузок**.
- В появившемся окне введите значение $P = 0.001$ т.
- Щелкните по кнопке  – Подтвердить.
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке  – Применить.
- Восстановите исходный размер расчетной схемы после выполнения операции **Увеличить** с помощью меню **Вид** ⇒ **Исходный размер**

(кнопка  на панели инструментов).

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов), чтобы снять активность с операции выделения узлов.

Корректировка флагов рисования

- В диалоговом окне **Показать** (рис.10.5) при активной закладке **Узлы** снимите флажок **Номера узлов**.
- Далее перейдите на первую закладку **Элементы** и установите флажок **Показать жесткости цветом**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Перерисовать**.

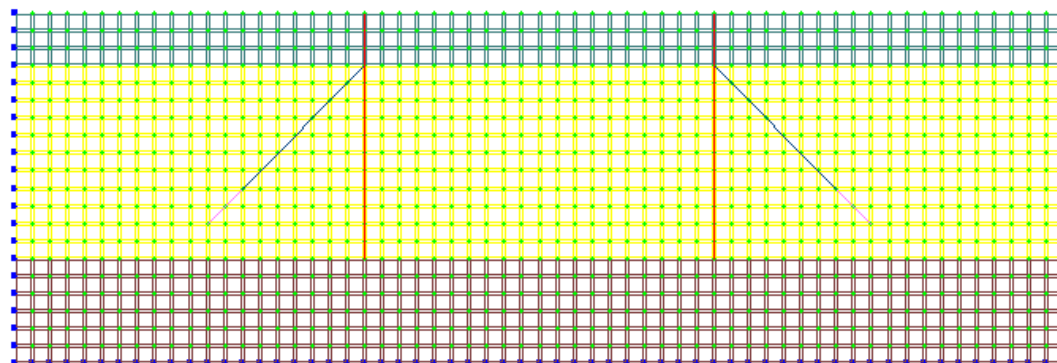




Рис.10.21. Расчетная схема основания



Моделирование стадий возведения

Этап 6. Моделирование стадий возведения

- С помощью меню **Нагрузки** ⇒ **Задание монтажных таблиц** вызовите диалоговое окно **Монтажная таблица**.
- В этом окне для создания первой стадии монтажа щелкните по кнопке **Новая**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** в раскрывающемся списке **По типу КЭ** выберите строку **Тип 281 – физически нелинейный прямоугольный КЭ плоской задачи (грунт)**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- После выделения элементов в диалоговом окне **Монтажная таблица** (рис.10.22) в поле ввода **Монтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные** (в списке автоматически отображаются номера выделенных на схеме элементов).
- Далее щелкните по кнопке  – **Применить**.

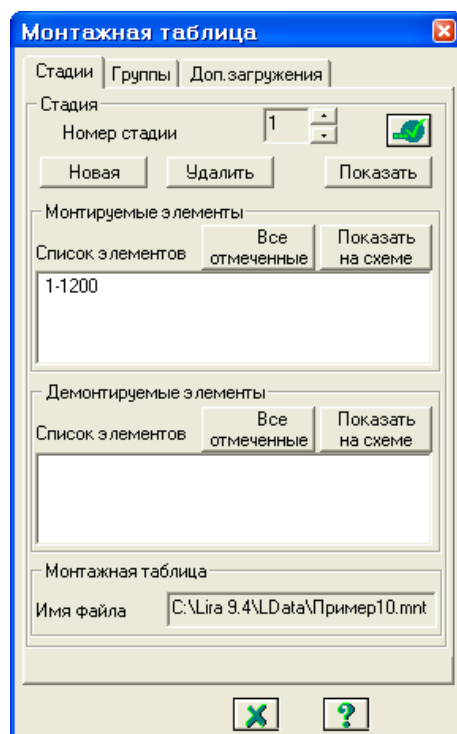









Рис.10.22. Диалоговое окно **Монтажная таблица**

- Снимите выделение элементов с помощью меню **Выбор** ⇒ **Отмена выделения** (кнопка  на панели инструментов).

- В диалоговом окне **Монтажная таблица** для создания второй стадии монтажа щелкните по кнопке **Новая**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** снимите флажок **По типу КЭ**, установите флажок **По жесткости** и в раскрывающемся списке с помощью курсора выберите строку **4. КЭ 2 численное**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- После выделения элементов в диалоговом окне **Монтажная таблица** в поле ввода **Монтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные**.
- Далее щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Снимите выделение элементов с помощью меню **Выбор ⇨ Отмена выделения** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Монтажная таблица** для создания третьей стадии монтажа щелкните по кнопке **Новая**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** в раскрывающемся списке **По жесткости** с помощью курсора выберите строку **1. КЭ 281-284 численное**.
- Выполните пункт меню **Выбор ⇨ Отметка элементов** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью курсора выделите элементы 1-го слоя основания внутри элементов ограждения (рис.10.23).
- После выделения элементов в диалоговом окне **Монтажная таблица** в поле ввода **Демонтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные**.
- Далее щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Снимите выделение элементов с помощью меню **Выбор ⇨ Отмена выделения** (кнопка  на панели инструментов).

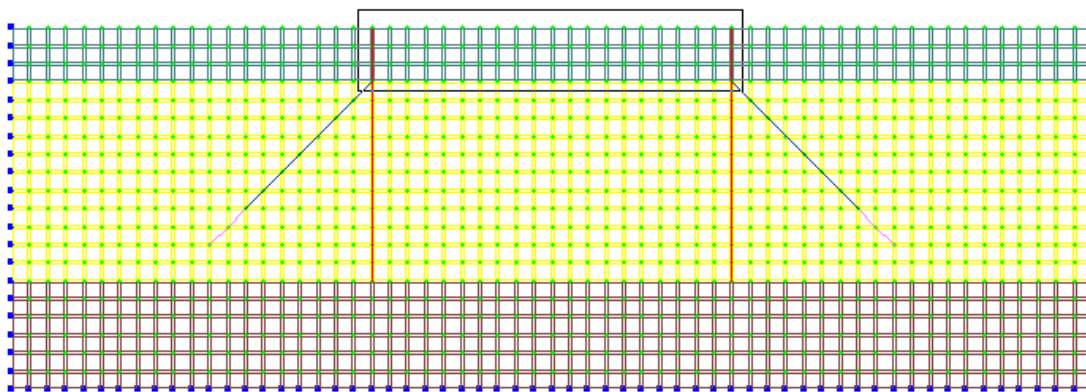










Рис.10.23. Выделение элементов 1-го слоя основания внутри ограждения

- В диалоговом окне **Монтажная таблица** для создания четвертой стадии монтажа щелкните по кнопке **Новая**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** снимите флажок **По жесткости**, установите флажок **По типу КЭ** и в раскрывающемся списке с помощью курсора выберите строку **Тип 1 – КЭ плоской фермы**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** в раскрывающемся списке **По типу КЭ** с помощью курсора выберите строку **Тип 208 – физически нелинейный специальный двухузловой КЭ для моделирования предварительного натяжения**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- После выделения элементов в диалоговом окне **Монтажная таблица** в поле ввода **Монтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные**.
- Далее щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Снимите выделение элементов с помощью меню **Выбор ⇨ Отмена выделения** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Монтажная таблица** для создания пятой стадии монтажа щелкните по кнопке **Новая**.
- В диалоговом окне **Фильтр для элементов** снимите флажок **По типу КЭ**, установите флажок **По жесткости** и в раскрывающемся списке с помощью курсора выберите строку **2. КЭ 281-284 численное**.
- С помощью курсора выделите 5 верхних рядов элементов 2-го слоя основания внутри элементов ограждения (рис.10.24).
- После выделения элементов в диалоговом окне **Монтажная таблица** в поле ввода **Демонтируемые элементы** щелкните по кнопке **Все отмеченные**.
- Далее щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Снимите выделение элементов с помощью меню **Выбор ⇨ Отмена выделения** (кнопка  на панели инструментов).
- Закройте диалоговое окно **Фильтр для элементов** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.
- Закройте диалоговое окно **Монтажная таблица** щелчком по кнопке  – **Заккрыть**.

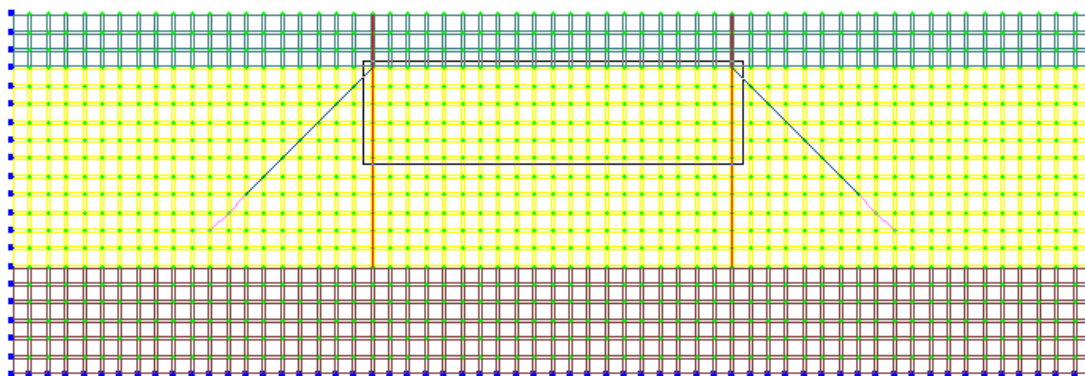


Рис.10.24. Выделение элементов 2-го слоя основания внутри ограждения




Моделирование нелинейных нагружений

Этап 7. Моделирование нелинейных нагружений



Для выполнения нелинейного расчета системы с учетом процесса монтажа необходимо задать количество нелинейных нагружений равное количеству стадий монтажа.

- С помощью пункта меню **Нагрузки** ⇒ **Моделирование нелинейных нагружений** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Моделирование нелинейных нагружений конструкции** (рис.10.25).
- В этом окне для формирования первого нагружения задайте следующие параметры:
 - № нагружения – 1;
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Окончательный результат**;
 - включите радио-кнопку **Равномерные шаги** и задайте количество шагов 1.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на вторую строку).

Моделирование нелинейных нагружений конструкции

N нагружения: Подтвердить Заккрыть

Учет предыстории: ☐ Удалить Отменить

Метод расчета: Справка

Печать:

Максимальное число итераций: Количество шагов:

Значения коэффициентов к нагрузкам по шагам

☐ Чтение из файла

☐ Ввод и редактирование

☒ Равномерные шаги

Суммарный коэффициент: Точность: Начальный шаг:

Сводная таблица нелинейных нагружений

1	1	1	0	300	0	1
2	1	1	0	300	0	1
3	1	1	0	300	1	1
4	1	1	0	300	1	1
5	1	1	0	300	1	1

Рис.10.25. Диалоговое окно Моделирование нелинейных нагружений конструкции



Для того чтобы во второй стадии монтажа исключить деформации основания от нагрузки собственного веса, во втором нелинейном нагружении не нужно устанавливать флажок **Учет предыстории**. Напряжения суммируются автоматически в системе **МОНТАЖ**.


- Для формирования второго нагружения задайте следующие параметры:

- № загрузки – 2;
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Окончательный результат**;
 - включите радио-кнопку **Равномерные шаги** и задайте количество шагов 1.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на третью строку).
- Для формирования третьего загрузки задайте следующие параметры:
- № загрузки – 3;
 - установите флажок **Учет предыстории**;
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Окончательный результат**;
 - включите радио-кнопку **Равномерные шаги** и задайте количество шагов 1.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на четвертую строку).
- Для формирования четвертого загрузки задайте следующие параметры:
- № загрузки – 4;
 - установите флажок **Учет предыстории**;
 - в раскрывающемся списке **Метод расчета** выберите строку **(1) Простой шаговый**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Окончательный результат**;
 - включите радио-кнопку **Равномерные шаги** и задайте количество шагов 1.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на пятую строку).
- Для формирования пятого загрузки задайте следующие параметры:
- № загрузки – 5;
 - установите флажок **Учет предыстории**;
 - в раскрывающемся списке выберите метод расчета – **Простой шаговый (1)**;
 - в раскрывающемся списке **Печать** выберите строку **Окончательный результат**;
 - включите радио-кнопку **Равномерные шаги** и задайте количество шагов 1.
- Щелкните по кнопке **Подтвердить** (происходит автоматическое переключение на шестую строку).
- Для окончания моделирования нелинейных нагрузок, щелкните по кнопке **Закреть**.



Нелинейный расчет схемы



Этап 8. Нелинейный расчет схемы

- Запустите задачу на расчет с помощью меню **Режим ⇒ Выполнить расчет** (кнопка  на панели инструментов).



Просмотр и анализ результатов расчета

Этап 9. Просмотр и анализ результатов расчета

- После расчета задачи, переход в режим результатов расчета осуществляется с помощью меню **Режим ⇒ Результаты расчета** (кнопка  на панели инструментов).
- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается с учетом перемещений узлов (рис.10.26). Для отображения схемы без учета перемещений узлов выполните пункт меню **Схема ⇒ Исходная схема** (кнопка  на панели инструментов).

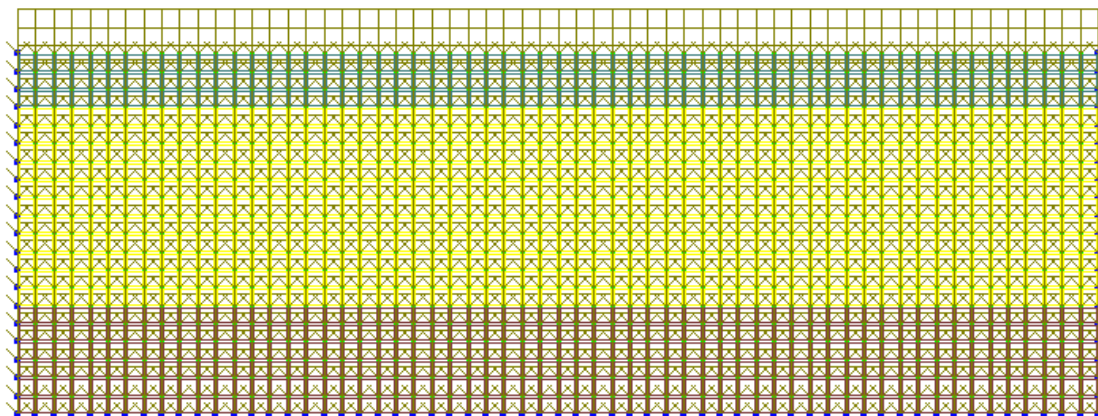





Рис.10.26. Расчетная схема с учетом перемещений узлов




Смена номера текущего нагружения

- На панели инструментов **Загружения**  смените номер нагружения на **5** и щелкните по кнопке  – **Применить**.






Вывод на экран изополей перемещений

- Выведите на экран изополя перемещений по направлению Z с помощью меню **Деформации** ⇒ **В глобальной системе** ⇒ **Изополя перемещений** ⇒ **Изополя перемещений по Z** (кнопки  и  на панели инструментов).
- Для вывода на экран изополей перемещений по направлению X выполните пункт меню **Деформации** ⇒ **В глобальной системе** ⇒ **Изополя перемещений** ⇒ **Изополя перемещений по X** (кнопка  на панели инструментов).


Вывод на экран мозаик напряжений

- Чтобы вывести на экран мозаику напряжений по N_x , выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Изополя** ⇒ **Мозаика напряжений** ⇒ N_x (кнопки  и  на панели инструментов).
- Для отображения мозаики напряжений по N_z , выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Изополя** ⇒ **Мозаика напряжений** ⇒ N_z (кнопка  на панели инструментов).

Вывод на экран эпюр внутренних усилий

- Выведите на экран эпюру **My** с помощью меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры изгибающих моментов (My)** (кнопки  и  на панели инструментов).
- Для вывода эпюры **N**, выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Эпюры продольных сил (N)** (кнопка  на панели инструментов).
- Чтобы вывести мозаику усилия **N**, выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Мозаика N** (кнопка  на панели инструментов).
- Для вывода мозаики усилия **My**, выполните пункт меню **Усилия** ⇒ **Эпюры** ⇒ **Мозаика My** (кнопка  на панели инструментов).

Формирование и просмотр таблиц результатов расчета

- Для вывода на экран таблицы со значениями усилий в элементах схемы выполните пункт меню **Окно** ⇒ **Стандартные таблицы**.
- После этого в диалоговом окне **Стандартные таблицы** (рис.10.27) выделите строку **Усилия**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить** (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**).

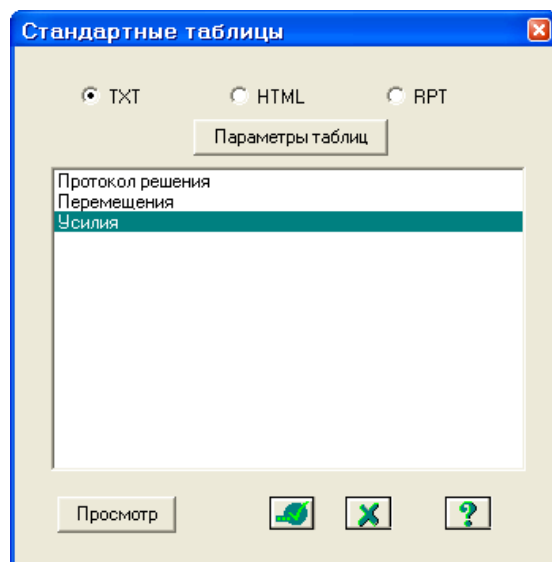



Рис.10.27. Диалоговое окно Стандартные таблицы

➤ Далее в новом окне **Выбор загрузжений** (рис.10.28) щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

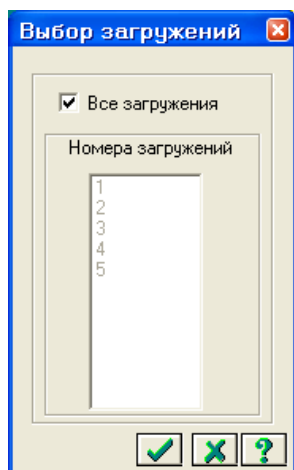



Рис.10.28. Диалоговое окно **Выбор загрузжений**

➤ Для того чтобы закрыть таблицу, выполните пункт меню **Файл** ⇒ **Заккрыть**.

Вывод на экран информации о перемещении верха шпунтового ограждения

➤ Чтобы вывести на экран информацию о перемещении верха шпунтового ограждения, выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Информация об узле или элементе** (кнопка  на панели инструментов).

➤ Укажите курсором на один из верхних узлов шпунтового ограждения (например, с левой стороны котлована). На экране появится диалоговое окно (рис.10.29) со значениями перемещений в указанном узле.

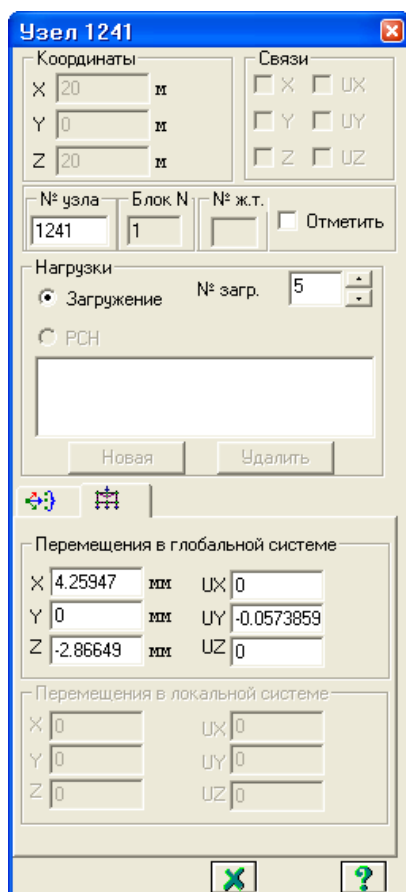


Рис.10.29. Диалоговое окно **Информация об узле №**

