

Пример 6. Расчет цилиндрического резервуара

Цели и задачи:

- составить расчетную схему цилиндрического резервуара с днищем;
- задать нагрузку на стенку и днище от веса жидкости;
- применить для расчетной схемы локальную систему координат узлов.

Исходные данные:

Железобетонный резервуар радиусом $R = 2$ м и высотой $H = 3$ м.

Материал резервуара – железобетон В25.

Толщина стенки $d = 15$ см и толщина днища $h = 20$ см.



Нагрузка – внутреннее давление воды.



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.6.1) задайте следующие параметры:
 - имя создаваемой задачи – **Пример6** (шифр задачи по умолчанию совпадает с именем задачи);
 - признак схемы – **5 – Шесть степеней свободы в узле**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

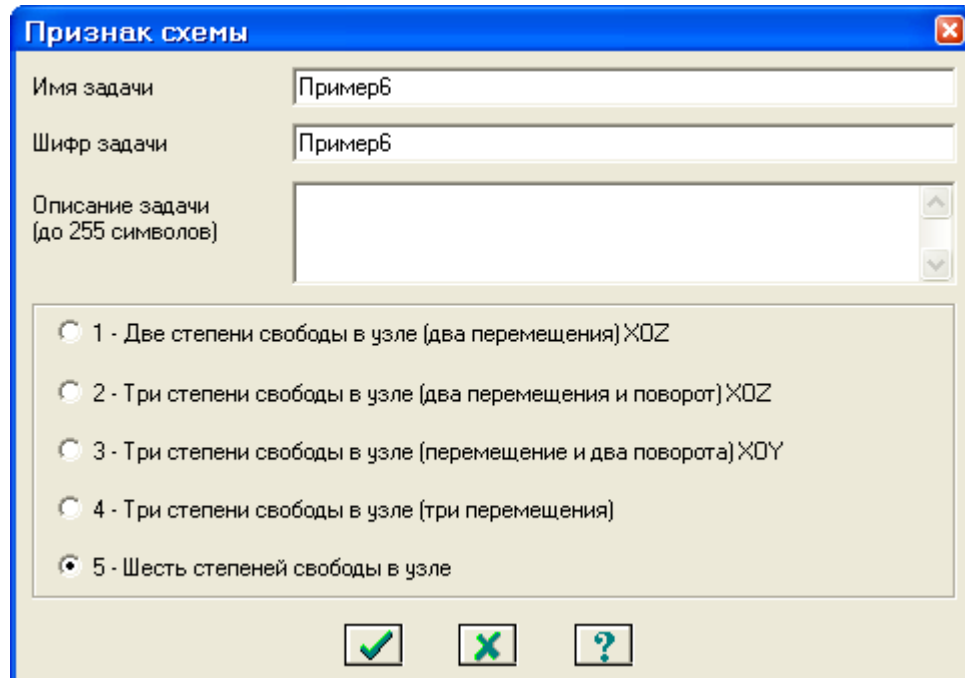


Рис.6.1. Диалоговое окно **Признак схемы**





Создание геометрической схемы резервуара

Этап 2. Создание геометрической схемы резервуара



Поскольку данная расчетная схема и нагрузка являются центрально симметричными, мы можем рассчитывать четверть резервуара, назначая при этом связи симметрии на плоскости отсечения.

Создание стенок резервуара

- С помощью пункта меню **Схема ⇒ Создание ⇒ Поверхности вращения** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Поверхности вращения** (рис.6.2).
- В этом окне задайте параметры, необходимые для генерации цилиндра:
 - радиус цилиндра – $R = 2$ м;
 - высота цилиндра – $H = 3$ м;
 - разбивка стенки резервуара на конечные элементы по вертикали $n1 = 20$, по окружности $n2 = 9$;
 - угол сектора $fi = 90^\circ$.
 - остальные параметры принимаются по умолчанию.
- Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Применить**.

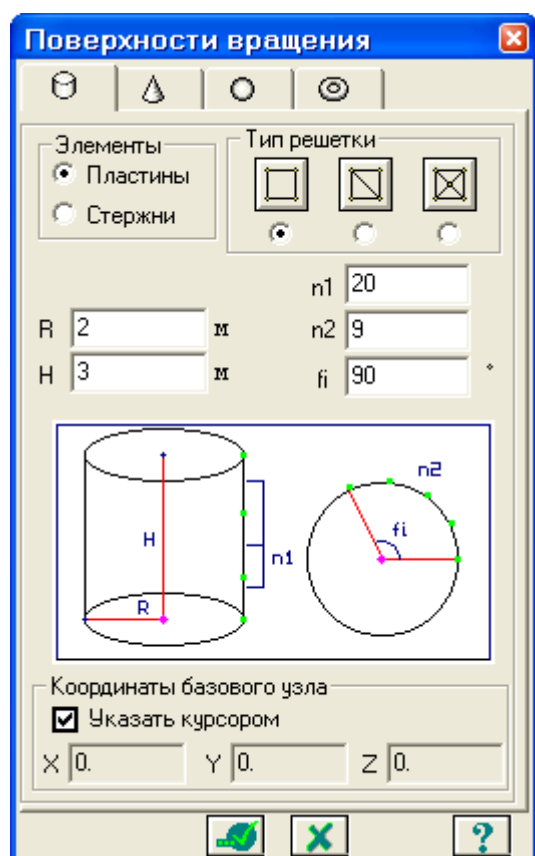



Рис.6.2. Диалоговое окно **Поверхности вращения**

Создание днища резервуара

- В диалоговом окне **Поверхности вращения** (рис.6.3) щелкните по второй закладке генерации конуса и задайте следующие параметры:
 - верхний радиус конуса – $r = 0$ м;
 - нижний радиус конуса – $R = 2$ м;
 - высота конуса – $H = 0$ м;
 - разбивка стенки резервуара на конечные элементы $n1 = 10$, $n2 = 9$;
 - угол сектора – $fi = 90^\circ$.
 - остальные параметры принимаются по умолчанию.
- Для ввода данных щелкните по кнопке  – **Применить**.

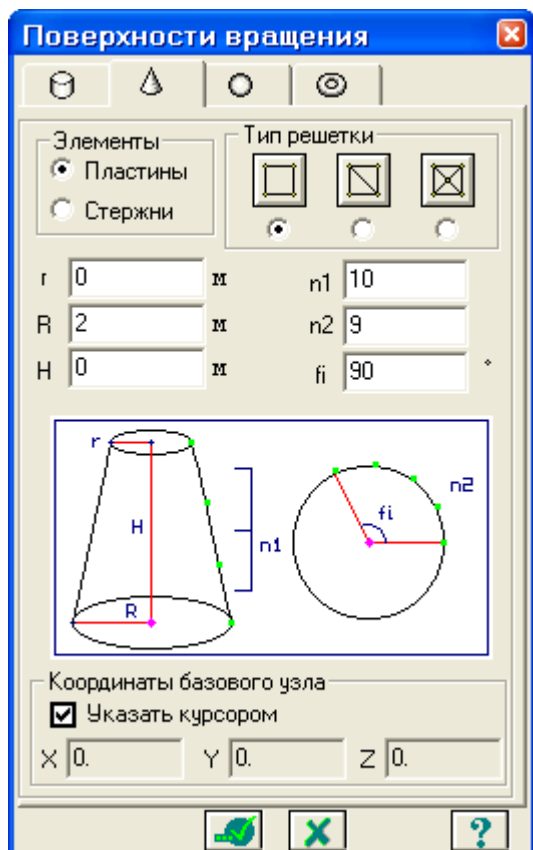




Рис.6.3. Диалоговое окно Поверхности вращения

Упаковка схемы

- Выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Упаковка схемы** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Упаковка** (рис.6.4) щелкните по кнопке  – **Подтвердить** (упаковка схемы производится для сшивки совпадающих узлов и элементов, а также для безвозвратного исключения из расчетной схемы удаленных узлов и элементов).

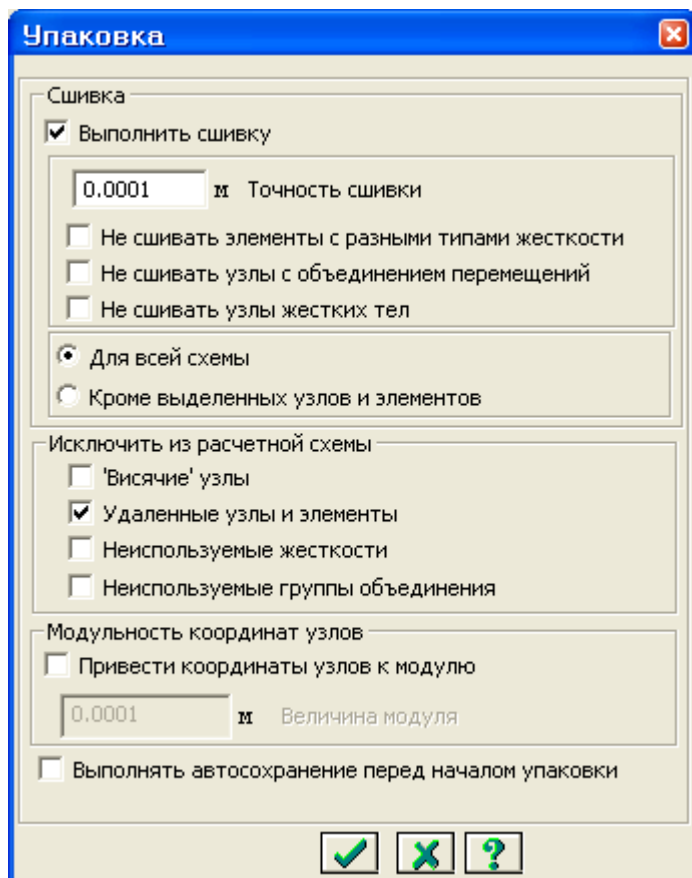



Рис.6.4. Диалоговое окно Упаковка схемы

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 – **Пример6**;
 - папку, в которую будет сохранена эта задача (по умолчанию выбирается папка – **LData**).
- Щелкните по кнопке **Сохранить**.





Назначение локальной системы координат узлам расчетной схемы

Этап 3. Назначение локальной системы координат узлам расчетной схемы

Выделение узлов



Для назначения локальной системы координат, нужно отметить все узлы расчетной схемы, за исключением центрального узла днища с номером 301 (0;0;0).

- Выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **ПолиФильтр** (кнопка  на панели инструментов).
- В появившемся диалоговом окне **Фильтр для узлов** (рис.6.5) установите флажок **По номерам узлов** и в соответствующем поле введите номера узлов **1 – 300**.
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

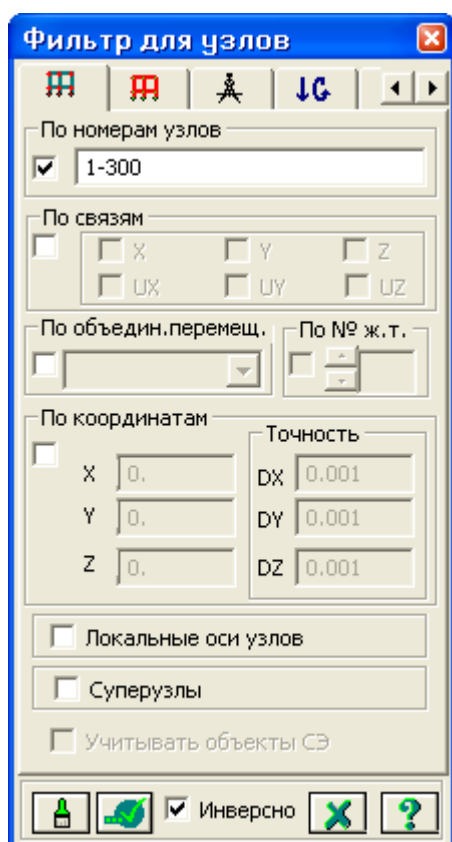



Рис.6.5. Диалоговое окно **Фильтр для узлов**

Назначение локальной системы координат

- С помощью пункта меню **Схема** ⇒ **Корректировка** ⇒ **Локальные оси узлов** вызовите диалоговое окно **Локальные оси узлов** (рис.6.6).
- В этом окне снимите флажок с координаты **Z2** (таким образом, мы задаем координату точки, от которой

будут стремиться местные оси **X**. Так как координата **Z** переменна по высоте, мы отключаем соответствующий флажок).

- Щелкните по кнопке  – **Применить**.

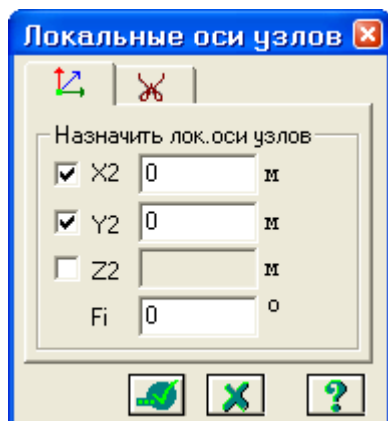



Рис.6.6. Диалоговое окно **Локальные оси узлов**



Задание жесткостных параметров элементам резервуара

Этап 4. Задание жесткостных параметров элементам резервуара

Формирование типов жесткости

- С помощью меню **Жесткости** ⇒ **Жесткости элементов** (кнопка  на панели инструментов) вызовите диалоговое окно **Жесткости элементов** (рис.6.7).
- В этом окне щелкните по кнопке **Добавить** и в библиотеке жесткостных характеристик щелкните по третьей закладке численного описания жесткости.
- Выберите двойным щелчком мыши на элементе графического списка тип сечения **Пластины**.

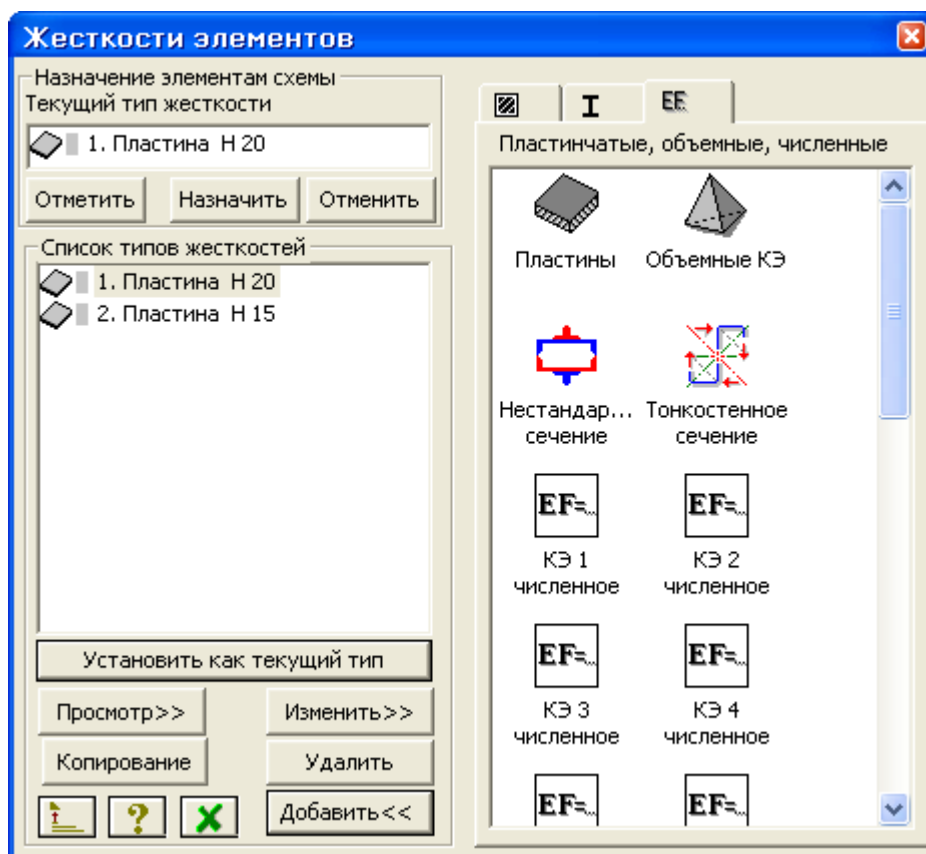



Рис.6.7. Диалоговое окно **Жесткости элементов**

- В диалоговом окне **Задание жесткости для пластин** (рис.6.8) задайте параметры сечения (для днища):
 - модуль упругости – $E = 3e6 \text{ т/м}^2$ (при английской раскладке клавиатуры);
 - коэф. Пуассона – $\nu = 0.2$;
 - толщина – $H = 20 \text{ см}$.
- Затем щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.

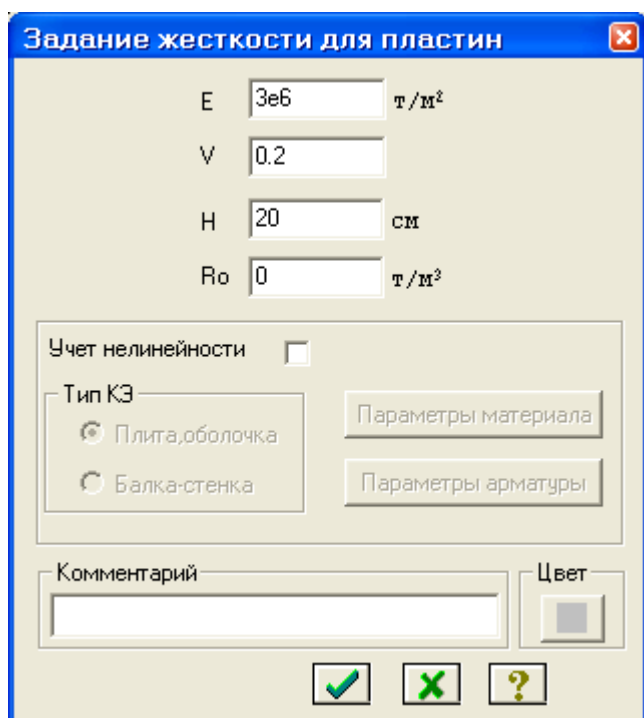



Рис.6.8. Диалоговое окно **Задание жесткости для пластин**

- Далее в диалоговом окне **Жесткости элементов** в списке типов жесткостей выделите строку **1.Пластина Н 20** и щелкните по кнопке **Копирование**.
- После этого в списке типов жесткостей выделите строку **2.Пластина Н 20** и щелкните по кнопке **Изменить**.
- В новом окне **Задание жесткости для пластин** задайте новые параметры сечения (для стенки):
 - толщина – $H = 15 \text{ см}$.
- Щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.
- Для того чтобы скрыть библиотеку жесткостных характеристик, в диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Добавить**.

Назначение жесткостей элементам днища

- В списке типов жесткостей выделить строку **1.Пластина Н 20**.
- 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 по строке списка).
- Выполните пункт меню **Выбор ⇒ Отметка блока** (кнопка  на панели инструментов).
- Укажите курсором в любой узел или элемент днища (узлы и элементы днища окрасились в красный цвет).
- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить** (с элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость).

Назначение жесткостей элементам стенки

- В списке типов жесткостей выделите строку **2.Пластина Н 15**.
- Щелкните по кнопке **Установить как текущий тип**.
- Укажите курсором в любой узел или элемент стенки (узлы и элементы стенки окрасились в красный цвет).

- В диалоговом окне **Жесткости элементов** щелкните по кнопке **Назначить**.





Задание граничных условий

Этап 5. Задание граничных условий



Поскольку узлам расчетной схемы назначена локальная система координат, то налагаемые граничные условия будут соответствовать этой системе координат.

- Выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Связи** (кнопка  на панели инструментов).
- В диалоговом окне **Связи в узлах** (рис.6.9), с помощью установки флажков, укажите направления, по которым запрещены перемещения узлов: **Y**, **UX** и **UZ** (эти направления соответствуют связям симметрии на плоскости отсечения).
- После этого щелкните по кнопке  – **Применить**.

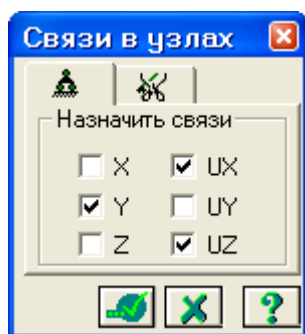








Рис.6.9. Диалоговое окно **Связи в узлах**



- Выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Поворот** ⇒ **Положительный вокруг Z** (кнопки , а затем  на панели инструментов). Поворачивайте схему до тех пор, пока не будут отчетливо видны узлы стыковки днища со стенкой.
- Выполните пункты меню **Выбор** ⇒ **Отметка узлов** (кнопка  на панели инструментов) и **Выбор** ⇒ **Полигональная отметка** (кнопка  на панели инструментов).
- С помощью левой клавиши мыши задайте замкнутый контур вокруг узлов стыковки днища со стенкой (также узлы стыковки днища со стенкой можно просто указать на схеме с помощью курсора).
- В диалоговом окне **Связи в узлах** отметьте дополнительное направление, по которому запрещено перемещение узла (**Z**).
- Щелкните по кнопке  – **Применить**.
- Для возврата схемы в начальное положение, выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Поворот** ⇒ **Начальное положение** (кнопка  на панели инструментов).



Задание нагрузок

Этап 6. Задание нагрузок

Задание давления на днище резервуара

- После выполнения пункта меню **Выбор** ⇒ **Отметка блока** (кнопка  на панели инструментов), укажите курсором на любой элемент или узел днища.
- С помощью пункта меню **Нагрузки** ⇒ **Нагрузка на узлы и элементы** (кнопка  на панели инструментов)

вызовите диалоговое окно **Задание нагрузок** (рис.6.10).

- В этом окне перейдите на четвертую закладку **Нагрузки на пластины** (по умолчанию указана система координат **Глобальная**, направление – вдоль оси **Z**).

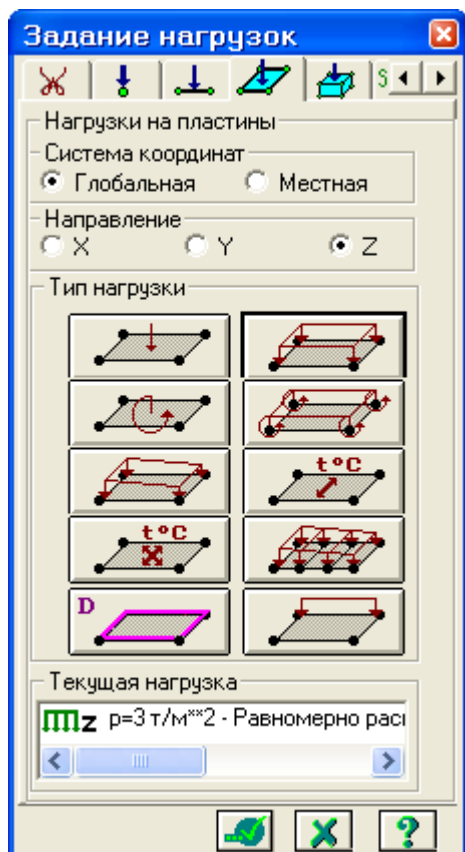


Рис.6.10. Диалоговое окно **Задание нагрузок**

- Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно **Параметры** (рис.6.11).
- В этом окне введите интенсивность нагрузки $p = 3 \text{ т/м}^2$.
- Щелкните по кнопке – **Подтвердить**.

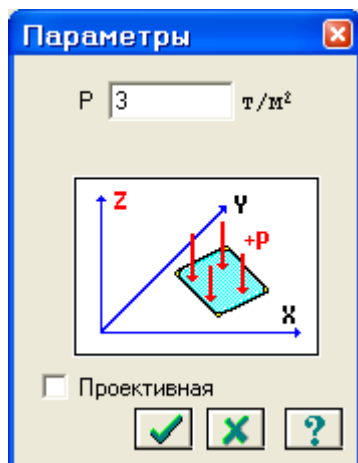



Рис.6.11. Диалоговое окно **Параметры**

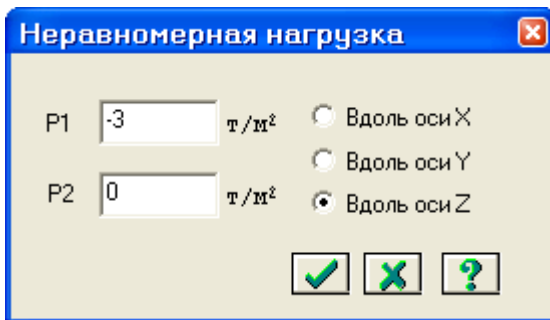
- После этого в диалоговом окне **Задание нагрузок** щелкните по кнопке – **Применить**.

Задание нагрузки на стенки резервуара

- Выделите элементы стенки путем указания на любой узел или элемент стенки резервуара.
- В диалоговом окне **Задание нагрузок** с помощью радио-кнопки задайте систему координат **Местная**.
- Щелчком по кнопке трапецевидной нагрузки на группу пластин вызовите диалоговое окно

Неравномерная нагрузка (рис.6.12).

- В этом окне введите интенсивность нагрузки $p_1 = -3 \text{ т/м}^2$ и щелкните по радио-кнопке **Вдоль оси Z**.
- После этого щелкните по кнопке  – **Подтвердить**.


Рис.6.12. Диалоговое окно **Неравномерная нагрузка**

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





**Статический расчет резервуара****Этап 7. Статический расчет резервуара**

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

**Просмотр и анализ результатов расчета****Этап 8. 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.

Вывод изополей деформаций по направлению локальной оси X на деформированной стенке резервуара

- Выполнив пункт меню **Выбор** ⇒ **Отметка блока** (кнопка  на панели инструментов), укажите на любой узел или элемент днища.
- Выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Инверсная фрагментация** (на экране остаются только невыделенные узлы и элементы).
- С помощью меню **Деформации** ⇒ **В локальной системе** ⇒ **Изополя перемещений** ⇒ **Изополя перемещений по X** (кнопки  и  на панели инструментов) выведите на экран изополя перемещений по направлению локальной оси X.
- Переключите схему в проекцию на плоскость **YOZ** (рис.6.13) с помощью меню **Вид** ⇒ **Проекция на плоскость YOZ** (кнопка  на панели инструментов).

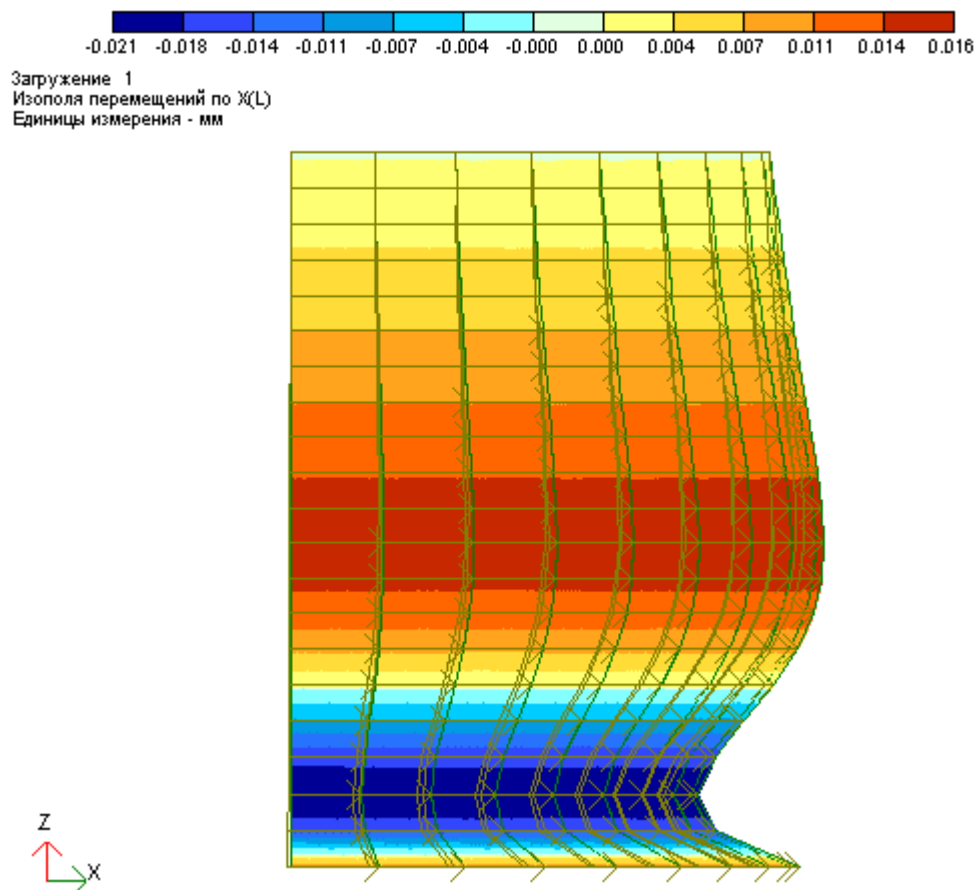




Рис.6.13. Изополя перемещений по направлению локальной оси **X** в элементах стенки резервуара

- Для восстановления первоначального вида схемы, выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Восстановление конструкции**.

Вывод изополей вертикальных перемещений дна на деформированной схеме

- Выделите все узлы и элементы дна путем указания курсором на любой узел или элемент дна.
- Для вывода на экран фрагмента расчетной схемы, выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Фрагментация**.
- С помощью меню **Деформации** ⇒ **В глобальной системе** ⇒ **Изополя перемещений** ⇒ **Изополя перемещений по Z** (кнопка  на панели инструментов), выведите на экран изополя перемещений по направлению глобальной оси **Z**.
- Переключите схему в изометрическую проекцию (рис.6.14) с помощью меню **Вид** ⇒ **Изометрия** (кнопка  на панели инструментов).

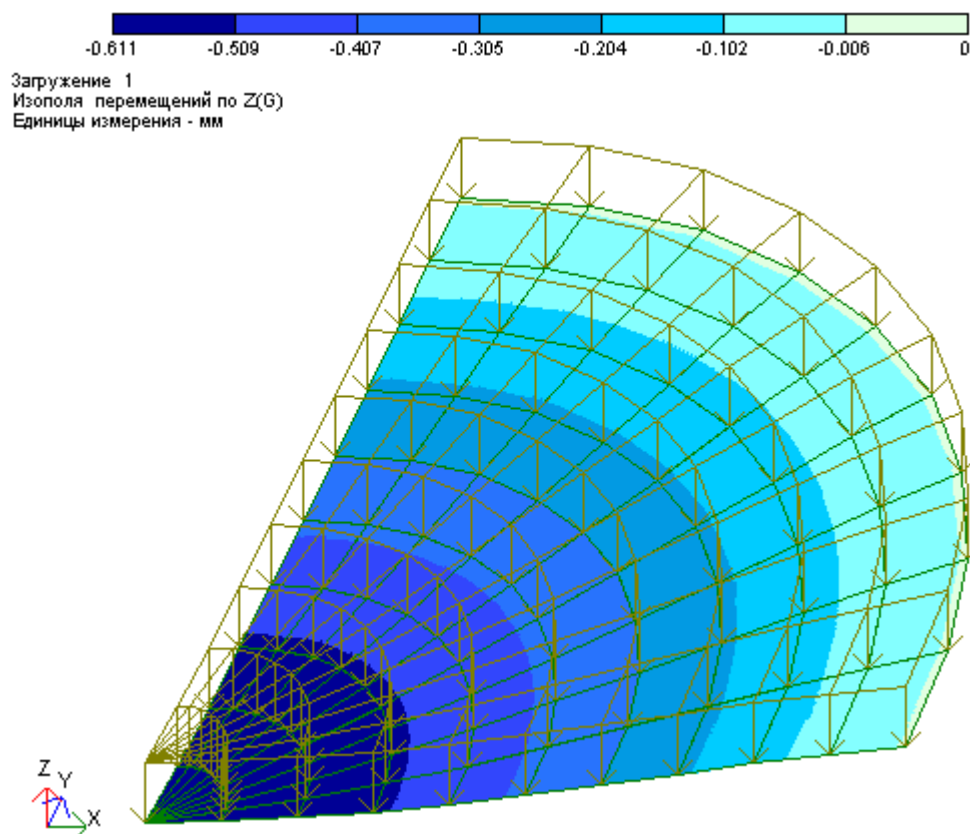





Рис.6.14. Изополя перемещений по направлению глобальной оси **Z** в элементах дна резервуара

- Для восстановления первоначального вида схемы, выполните пункт меню **Вид** ⇒ **Восстановление конструкции**.
- Для отображения схемы без учета перемещений узлов, выполните пункт меню **Схема** ⇒ **Исходная схема** (кнопка  на панели инструментов).
- Для отображения схемы без изополей перемещений, выполните пункт меню **Деформации** ⇒ **В глобальной системе** ⇒ **Изополя перемещений** ⇒ **Изополя перемещений по Z** (кнопка  на панели инструментов).
- Чтобы вывести напряжения в любом из элементов нижней части стенки резервуара, выполните пункт меню **Выбор** ⇒ **Информация об узле или элементе** (кнопка  на панели инструментов) и после этого укажите курсором на один из элементов нижней части стенки резервуара.

В появившемся диалоговом окне (рис.6.15) приведены значения напряжений.

Элемент 9

Номера узлов
210, 4, 13, 14



№ 9 ☐ Отметить

Тип жесткости
2. Пластина Н 15

Тип КЭ 41 Угол согласов. 0 Блок N 1

Площадь, координаты центра тяжести
S=0.0522934м2, Xc=0.173648м, Yc=1.9848

☒ Загружение № загр. 1 ☐ РСН

 **C1** 

1

Nx	-5.42845	т/м**2
Ny	-0.001010	т/м**2
Txy	0.0026606	т/м**2
Mx	0.191683	(т*м)/м
My	0.958417	(т*м)/м
Mxy	-6.53979e	(т*м)/м
Qx	0.0003067	т/м
Qy	-3.07372	т/м

☐ Эпюры

Рис.6.15. Диалоговое окно Информация об элементе №

