

# Руководство пользователя



Alterra 2D 3.2.8

Дата редакции: 30.10.2017

ООО "ИнжПроектСтрой" оставляет за собой право на внесение изменений в данном документе без предварительного уведомления.

Никакая часть данного документа не может быть воспроизведена или передана в любой форме и любыми способами в каких-либо целях без письменного соглашения ООО "ИнжПроектСтрой"

© 2017 ООО "ИнжПроектСтрой".  
С сохранением всех прав

---

# Содержание

<b>1 Введение</b>	5
<b>2 Модели поведения материалов</b>	6
2.1 Введение	6
2.2 Линейно-упругая модель	8
2.3 Линейно-упруго-пластическая модель с критерием Кулона	8
2.4 Нелинейно-упруго-пластическая модель с критерием Кулона	10
2.5 Список литературы	11
<b>3 Обзор программы</b>	12
3.1 Главное меню	13
3.1.1 Настройки	14
3.2 Панель инструментов	15
3.3 Лента	16
3.3.1 Геометрия	16
Точки	17
Линии	18
Области	18
Выбор	19
Объекты	19
3.3.2 Характеристики	19
Материалы	20
Сечения	20
Анкера	20
Ограждения	22
3.3.3 Сетка	23
Параметры сетки на линиях	24
Очистить линии	24
Сетка	25
3.3.4 Этапы	25
Граничные условия	25
Вода	25
Этапы	26
Выбор этапа	26
Решение	26
3.3.5 Результаты	27
Перемещения	27
Деформации	28
Напряжения	28
Эпюры в балках	29
Диапазон этапов	29
Масштаб деформаций	29
Шкала	30
<b>4 Базовые операции</b>	32
4.1 Новый проект	32

<b>4.2 Сохранить проект</b> .....	32
<b>4.3 Открыть проект</b> .....	32
<b>4.4 Создание координатной сетки</b> .....	34
<b>4.5 Работа с геометрией</b> .....	34
4.5.1 Работа с точками .....	35
Добавление узловых точек .....	35
Удаление узловых точек .....	36
4.5.2 Работа с линиями .....	36
Построение линий .....	36
Удаление линий .....	37
4.5.3 Работа с областями.....	37
Создание областей .....	37
Удаление областей .....	38
<b>4.6 Характеристики</b> .....	38
4.6.1 Физико механические свойства материалов.....	39
<b>4.7 Работа с этапами</b> .....	40
<b>5 Вывод результатов</b> .....	41
<b>6 Примеры</b> .....	42
<b>6.1 Пример ограждение котлована с анкером</b> .....	42
6.1.1 Работа с геометрией .....	42
Добавление узловых точек .....	42
Построение линий .....	42
Создание областей .....	43
6.1.2 Создание материалов.....	44
6.1.3 Создание сечений .....	45
6.1.4 Назначение материалов и сечений .....	45
6.1.5 Создание анкеров.....	47
6.1.6 Создание сетки .....	48
6.1.7 Задание граничных условий.....	49
6.1.8 Создание этапов.....	50
Этап 0 .....	50
Этап 1 .....	51
Этап 2 .....	51
6.1.9 Расчёт.....	52
6.1.10 Вывод результатов .....	54

## Введение

Программа Alterra предназначена для расчета напряженно-деформированного состояния системы "основание - фундамент - сооружение", оценки прочности и устойчивости геотехнических конструкций методом конечных элементов в плоской постановке.

Программа разработана для решения сложных геотехнических задач, связанных с возведением и реконструкцией строительных объектов.

В программе реализованы три различные модели поведения грунта: линейно-упругая, линейно-упруго-пластическая с критерием перехода в пластическое состояние по закону Кулона, нелинейно-упруго-пластическая с критерием перехода в пластическое состояние по закону Кулона и нелинейной объемной сжимаемостью.

Программа позволяет решать следующие задачи:

- Комплексное моделирование системы "основание - фундамент - сооружение" с учётом совместной работы (в плоской постановке);
- Расчёт напряженно-деформированного состояния с учётом пластических деформаций;
- Учёт этапности строительства и разработки грунта;
- Построение геометрической модели осуществляется при помощи встроенного CAD-редактора;
- Возможность импорта геометрии из файла в формате DXF (AutoCad);
- Расчет ограждений котлованов;
- Определение осадок и напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов зданий и сооружений;
- Расчёт усилий в анкерных и распорных элементах;
- Расчёт свай по прочности и несущей способности.

## Модели поведения материалов

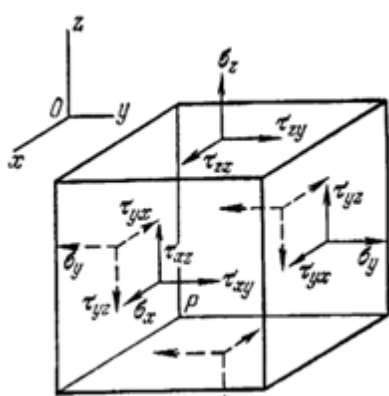
В механике деформированного твердого тела рассматривается задача определения Напряженно-Деформированного состояния системы тел при различном внешнем воздействии.

### 1. Введение

В механике деформированного твердого тела рассматривается задача определения Напряженно-Деформированного состояния системы тел при различном внешнем воздействии.

Основная задача статики упругого тела заключается в определении компонент тензора напряжений, деформаций и вектора перемещений каждой точки.

В трехмерном пространстве компоненты тензора напряжений обычно изображают на элементарном кубическом элементе тела с гранями параллельными координатным осям. (см рис. ниже) :



$$\hat{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

Симметричность тензора напряжений следует из закона парности касательных напряжений:

$$\tau_{ij} = \tau_{ji}$$

Таким образом, из 9 компонент тензора напряжений независимыми остаются 6.

Тензор деформаций также содержит только 6 независимых компонент:

$$\hat{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \gamma_{xy} & \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} & \varepsilon_{yy} & \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} & \gamma_{yz} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

Вектор перемещений содержит 3 независимых компоненты:

$$\vec{u} = \{u_x \ u_y \ u_z\}$$

В рамках линейной теории упругости возможно записать закон Гука в обобщенном виде:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$

Где  $C_{ijkl}$  – тензор 4-го ранга, который содержит константы упругости, описывающие линейную связь между компонентами тензора напряжений и компонентами тензора деформаций.

Для однородного анизотропного тела в общем случае из 36 компонент тензора упругих констант

независимыми являются только 21.

В случае изотропного тела независимых констант остается только 2.

В этом случае распространение получили три формы записи закона Гука для линейно упругой изотропной среды:

1) Первая форма записи:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})]$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{1}{E} [\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{zz})]$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{1}{E} [\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})]$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} \quad \gamma_{xz} = \frac{1}{G} \tau_{xz} \quad \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz}$$

Или в матричной форме:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & 1/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & -\nu/E & 1/E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \end{Bmatrix}$$

2) Вторая форма записи:

$$\sigma_{ij} = \lambda \theta \delta_{ij} + 2G \varepsilon_{ij}$$

Или в матричной форме:

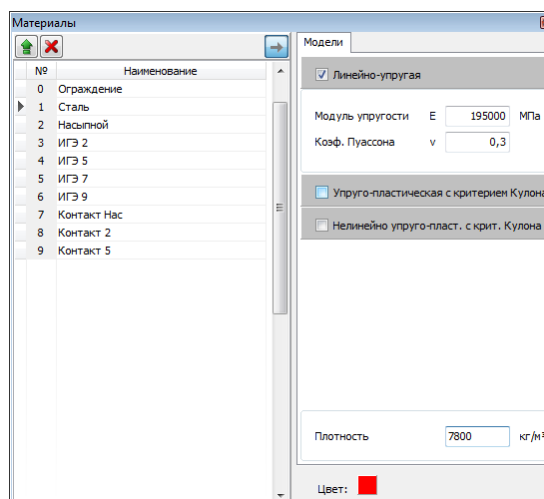
$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu & 2\mu & 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 2\mu & \lambda + 2\mu & 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 2\mu & 2\mu & \lambda + 2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{Bmatrix}$$

При описании упругопластического поведения среды используются более сложные модели, которые кроме характеристик допредельного поведения, включают в себя и параметры прочности.

В механике грунтов получила распространение [модель линейно-упруго-пластического поведения](#) с критерием перехода в пластическое состояние согласно закону Кулона. Требуемые параметры: модуль деформации, коэффициент Пуассона, удельное сцепление, угол внутреннего трения.

Существуют и более сложные модели, например, [модель нелинейно-упруго-пластического поведения](#) с критерием перехода в пластическое состояние согласно закону Кулона и нелинейной объемной сжимаемостью.

## 2. Линейно-упругая модель



Простая и, как следствие, самая распространённая модель поведения материалов - линейно упругая, изотропная. В этой модели предполагается линейная связь между напряжениями и деформациями, которая характеризуется двумя константами:

$E$  - модуль упругости материала [МПа].

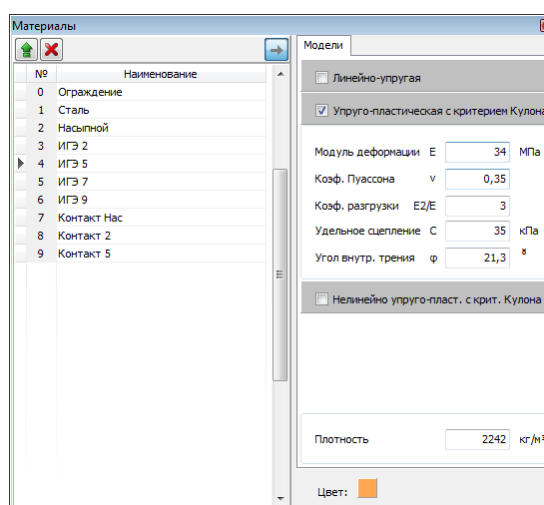
$\nu$  - коэффициент Пуассона. Допустимый диапазон значений [0..0.499].

Примечание: При моделировании грунтов в линейно-упругой постановке, вместо модуля упругости необходимо задавать модуль общей деформации.

Справочные данные по коэффициенту Пуассона для грунтов согласно Справочнику проектировщика [2]:

песок и супесь - 0.3, суглинок - 0.35, глина - 0.42.

## 3. Линейно-упруго-пластическая модель с критерием Кулона



Линейно-упруго-пластическая модель определяет деформирование среды на двух



стадиях. На первой, материал деформируется линейно-упруго. Эта стадия справедлива до наступления предельного состояния, которое формулируется как критериальное соотношение в главных напряжениях. Такое соотношение задает поверхность в пространстве напряжений. Внутри которой материал деформируется упруго, при выходе за поверхность происходит разрушение связей среды и она претерпевает необратимые пластические деформации. Такое разрушение является второй стадией деформирования. Ее реализация выполняется в рамках итерационной процедуры метода начальных напряжений. Согласно которой, при выходе напряжения в некоторой точке за предельную поверхность, вычисляются силы, которые возвращают напряженное состояние точки на поверхность. На полученных силах решается упругая задача, в результате которой получается новое напряженное состояние, которое также подвергается проверке на выход напряжений за предельную поверхность. В том случае, когда максимальное значение корректирующей силы меньше установленной погрешности итерационный процесс останавливается и решение считается успешно завершенным. Если максимальное значение корректирующей силы, в процессе счета не уменьшается, то это свидетельствует о потере устойчивости и как следствие макроскопическом разрушении.

Допредельное деформирование формулируется в приращениях, при этом отдельно рассматривается объёмное и сдвиговое деформирование.

$$d\sigma_V = \begin{cases} K \cdot d\varepsilon_V, & \sigma_V > \sigma_V^* \\ \alpha K \cdot d\varepsilon_V, & \sigma_V < \sigma_V^* \end{cases}$$

$$dS_{ij} = \begin{cases} 2G \cdot de_{ij}, & \tau_i > \tau_i^* \\ \alpha 2G \cdot de_{ij}, & \tau_i < \tau_i^* \end{cases}$$

Где:  $\sigma_V = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$  – объёмное напряжение;  $\varepsilon_V = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$  – изменение объёма;

$S_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \cdot \sigma_V$  – девиатор тензора напряжений;  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера,  $e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \cdot \frac{\varepsilon_V}{3}$  –

девиатор тензора деформаций;  $\sigma_V^*$  – максимальное сжимающее напряжение, которое испытала среда в процессе деформирования;  $\alpha$  – коэффициент разгрузки;

$\tau_i = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$  – интенсивность касательных

напряжений;  $\tau_i^*$  – максимальная интенсивность касательных напряжений, которую испытала среда в процессе деформирования.

Упруго-пластическая модель использует в качестве входных параметров величины, определяемые при стандартных лабораторных исследованиях образцов грунта.

$c$  – удельное сцепление [кПа]

$\phi$  – угол внутреннего трения [°]

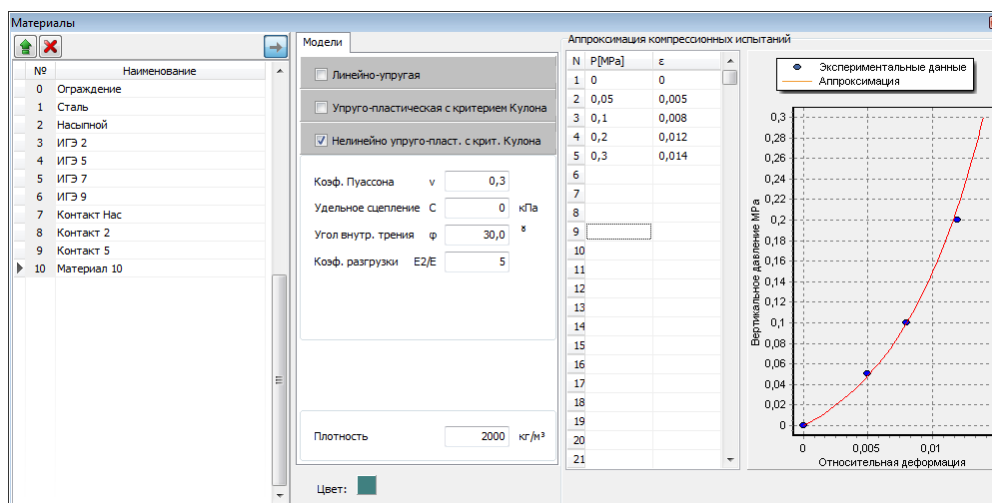
$E$  – модуль общих деформаций [МПа]

$\nu$  - коэффициент Пуассона. Допустимый диапазон значений [0..0.499].

$E2/E$  - коэффициент разгрузки (определяется отношением модуля деформации на вторичной ветви нагружения к модулю деформации на первичной ветви нагружения. В соответствии с СП 22.13330.2011 [3] допускается принимать значение 5 ). Допустимый диапазон значений [1..10].

Примечание:  $c$  и  $\phi$  необходимо задавать по результатам срезовых испытаний.

#### 4. Нелинейно-упруго-пластическая модель с критерием Кулона



Упруго-пластическая модель в качестве входных параметров требует величины, определяемые при стандартных лабораторных испытаниях образцов грунта.

В данной модели заложен принцип увеличения жесткостных свойств материала (модуля деформации и модуля сдвига) при повышении всестороннего обжатия. Характеризуется эта модель следующим набором величин:

$c$  - сцепление [кПа]

$\phi$  - угол внутреннего трения [°]

$\nu$  - коэффициент Пуассона. Допустимый диапазон значений [0..0.499]

$E2/E$  - коэффициент разгрузки (определяется отношением модуля деформации на вторичной ветви нагружения к модулю деформации на первичной ветви нагружения. В соответствии с СП 22.13330.2011 [3] значение допускается принимать 5 ). Допустимый диапазон значений [1..10].

Примечание: прочностные параметры  $c$  и  $\phi$  необходимо задавать по результатам срезовых испытаний.

Функция, аппроксимирующая кривую упрочнения по объемной составляющей, имеет следующий вид:

$$\varepsilon_v = -\lambda \ln((-\sigma_v + p_0)/p_0)$$

где  $\varepsilon_v$  - объемная деформация;

$\sigma_v$  - объемное напряжение.

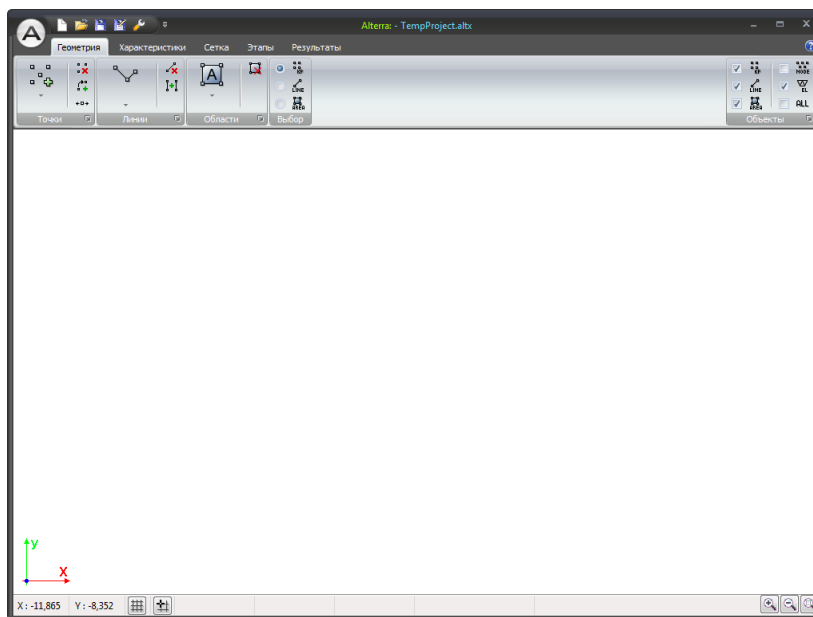
$\lambda$ ,  $P_0$  - параметры аппроксимации компрессионной кривой упрочнения по объемной составляющей

## 5. Список литературы

- 1) О. Зенкевич "Метод конечных элементов в технике" перевод с английского под редакцией Б.Е. Победри, Издательство "МИР", Москва, 1975.
- 2) "Основания, фундаменты и подземные сооружения", Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова. - М.: Стройиздат, 1985. - 480 с, - (Справочник проектировщика)/
- 3) СП 22.133330.2011 Основания зданий и сооружений, Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.

## Обзор программы

Окно запущенной программы выглядит следующим образом:



Окно программы состоит из следующих элементов:

- [Главное меню](#)
- [Панель инструментов](#)
- [Лента](#)
- Строка статуса - используется для отображения служебной информации и координат курсора мыши, а также содержит в себе кнопки управления масштабом отображения и привязки к сетке.
- Графическое поле - используется для отображения расчетной схемы и результатов расчета

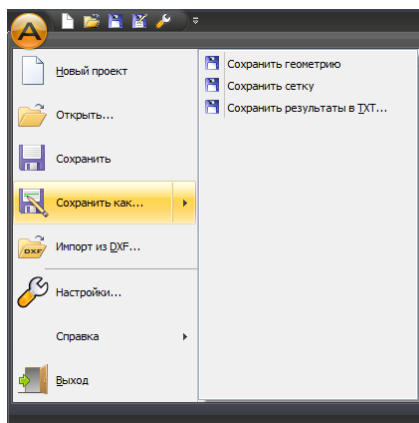
В тексте документа принимаются следующие сокращения:


ЛКМ - Левая Клавиша мыши.


ПКМ - Правая клавиша мыши.

## 1. Главное меню

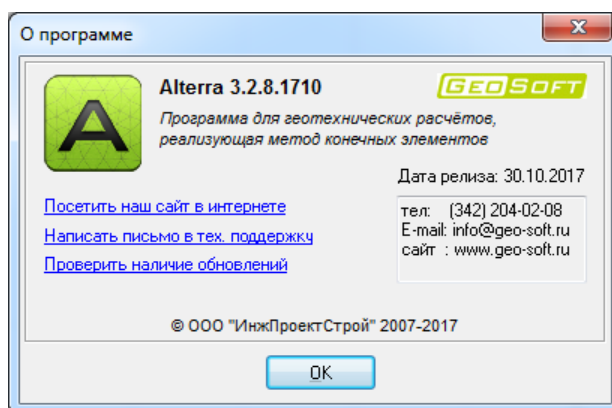
Главное меню представлено рис. ниже.



 <i>Новый проект</i>	создаёт новый пустой проект (сочетание клавиш Ctrl + N).
 <i>Открыть...</i>	открывает диалоговое окно выбора ранее созданного проекта, для продолжения работы над ним (сочетание клавиш Ctrl + O).
 <i>Сохранить</i>	сохраняет текущий проект (сочетание клавиш Ctrl + S).
 <i>Сохранить как...</i>	открывает диалоговое окно сохранения текущего проекта под новым именем и в другой версии формата хранения файлов Alterra. Также содержит меню второго уровня с доп. режимами сохранения.
<i>Сохранить геометрию</i>	сохраняет геометрию текущего проекта. Результаты расчетов и сетка конечных элементов не сохраняются для экономии места, например при отправке файла электронной почтой. <b>ВНИМАНИЕ!</b> сохранение происходит в текущий файл, таким образом, Вы потеряете Конечно-элементную сетку и Результаты расчета в текущем файле! Использовать только когда Вы уверены в том что Вам это необходимо!
<i>Сохранить сетку</i>	сохраняет геометрию и сетку текущего проекта. Результаты расчетов не сохраняются для экономии места, например при отправке файла электронной почтой. <b>ВНИМАНИЕ!</b> сохранение происходит в текущий файл, таким образом, Вы потеряете Результаты расчета в текущем файле! Использовать только когда Вы уверены в том что Вам это необходимо!
<i>Сохранить результаты в TXT...</i>	Открывается диалоговое окно выбора имени файла для сохранения в текстовом виде информации о текущем отображаемом поле результатов расчета. Этот файл можно использовать в дальнейшем для анализа результатов в других программах.

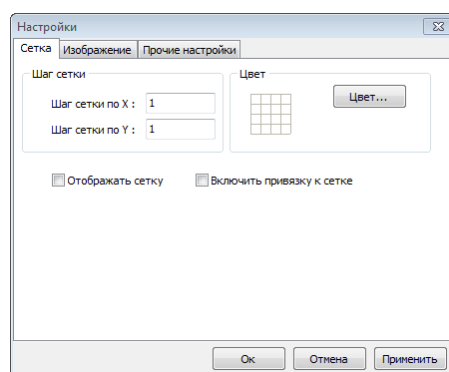
<i>Импорт из DXF...</i>	позволяет импортировать геометрию из файлов формата DXF. Это удобно, если у Вас подготовлен чертеж в сторонних программах, например в AutoCad. При импорте необходимо, чтобы DXF файл содержал только точки и простые отрезки (без полилиний).
<i>Настройки...</i>	открывает окно настроек программы.
<i>Справка</i>	Содержит меню второго уровня с доп. пунктами.
<i>Справка</i>	показывает справку по программе (быстрый вызов - F1).
<i>О программе...</i>	показывает пользователю информацию о версии программы и контактные данные разработчика.
 <i>Выход</i>	Закрывает окно программы.

При обращении в службу поддержки пользователей просьба предоставлять скриншот этой формы:



Для проверки наличия обновлений воспользуйтесь кнопкой "Проверить наличие обновлений".

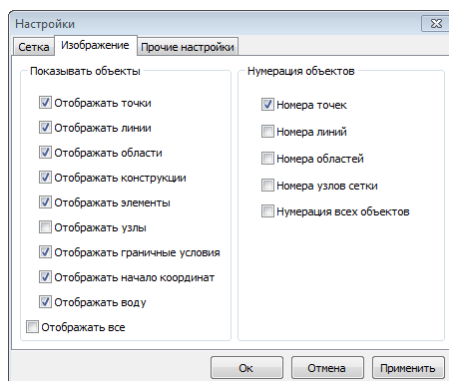
## Настройки



**Настройки координатной сетки**

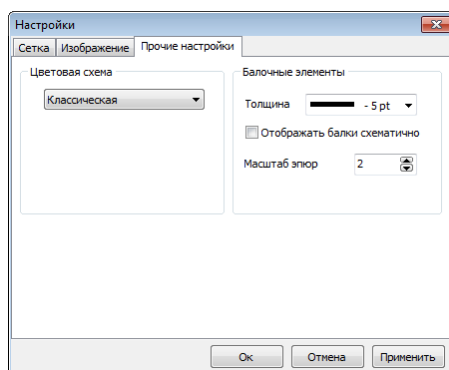
Координатная сетка позволяет создавать геометрические объекты с размерами, кратными шагам координатной сетки. В случае, если масштаб отображения расчетной схемы значительно изменяется, то координатная сетка автоматически меняет свое сгущение. На

данной вкладке Вы можете произвести настройку отображения сетки, задать шаг секти, включить/выключить отображение сетки, привязку к сетке.



Настройки отображения объектов в графическом поле

Вкладка позволяет управлять отображением объектов в графическом поле.








Настройки отображения результатов расчета в графическом поле

Данная вкладка позволяет выбрать цветовую схему отображения объектов в графическом поле, толщину балочных элементов и масштаб эпок.

## 2. Панель инструментов



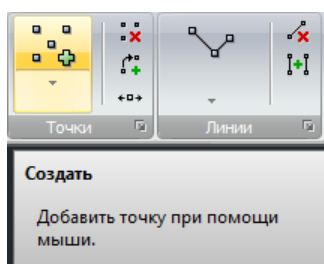
Панель инструментов содержит часто употребляемые команды:


	<b>Новый проект</b>	создать новый пустой проект (сочетание клавиш Ctrl + N).
	<b>Открыть...</b>	открывает диалоговое окно выбора ранее созданного проекта, для продолжения работы над ним (сочетание клавиш Ctrl + O).
	<b>Сохранить</b>	сохраняет текущий проект (сочетание клавиш Ctrl + S)
	<b>Сохранить как...</b>	открывает диалоговое окно сохранения текущего проекта под новым именем и в другой версии формата хранения файлов Alterra.
	<b>Настройки...</b>	открывает окно настроек программы. См. описание Главное меню - Меню Сервис - <a href="#">Настройки</a>

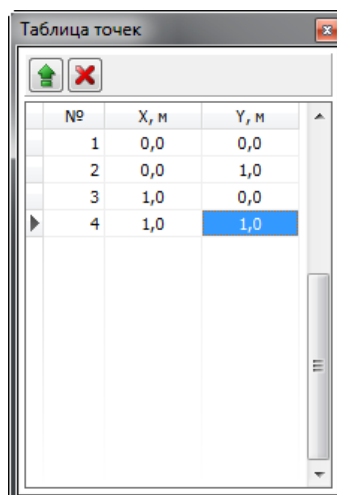
### 3. Лента

Интерфейс программы основан на "ленточном" представлении команд, подобно последним версиям программ Microsoft Office, AutoCAD и т.д. ЛЕНТА расположена в верхней части окна программы, которая обеспечивает доступ к основным функциям программы вместо традиционного меню и панелей инструментов. ЛЕНТА содержит в себе несколько ВКЛАДОК, например, [Геометрия](#), [Характеристики](#), и т.д. ВКЛАДКИ содержат в себе несколько ГРУПП. Команды в группах разделены на групповые и одиночные. К большинству команд при наведении курсора мыши появляется всплывающая контекстная справка.

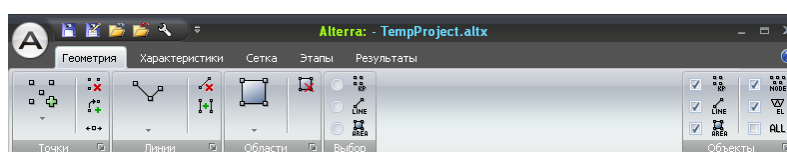
Например, на ВКЛАДКЕ [Геометрия](#) первая ГРУППА называется [ТОЧКИ](#) и при удерживании курсора мыши над командой создания точки появляется следующая подсказка.



Дополнительные функции, относящиеся к ГРУППЕ доступны из диалоговых окон, которые появляются при нажатии на кнопку . Например, для точек после нажатия на эту кнопку появляется диалоговое окно "Таблица точек" с координатами точек в текущем проекте.



### Геометрия



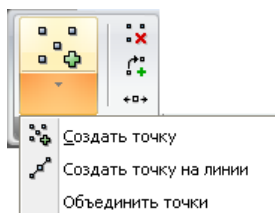
На вкладке представлены группы кнопок:





— *Точки*, позволяет создавать, удалять, копировать и перемещать точки.

Кнопка "Создать точку" содержит в себе коллекцию методов создания точки:



Кроме того, группа Точки содержит дополнительные инструменты для работы с точками:



- перейти в режим удаление точек при помощи мыши,



- перейти в режим копирования точек на расстояние при помощи мыши,



- перейти в режим перемещения точек при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств




позволяет отобразить таблицу всех точек:

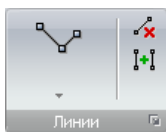
№	X, м	Y, м
0	0,0	0,0
1	0,0	-20,252
2	-18,869	-14,997
3	-10,712	-9,212
4	0,0	-1,615
5	-19,877	-17,15
6	-11,291	-12,023
7	0,0	-5,281
8	-17,332	-19,042
9	-8,744	-13,928
10	0,0	-8,77
11	0,0	-11,431
12	-6,158	-15,068

Во вспомогательном окне присутствуют кнопки



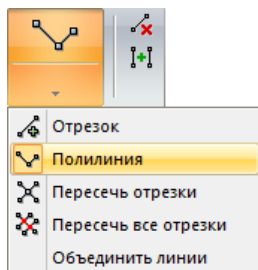
- добавить новую точку в конец таблицы точек

 - удалить текущую запись из таблицы



— *Линии*, позволяет создавать и удалять линии.

Кнопка "Создать линию" содержит в себе коллекцию методов создания линии:



Кроме того, группа Линии содержит дополнительные инструменты для работы с линиями:

 - перейти в режим удаление линий при помощи мыши,

 - перейти в режим копирования точек на расстояние при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств




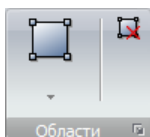
позволяет отобразить таблицу всех линий:

№	Точка начала	Точка конца	Количество узлов	Концентрация узлов	Материал	Сечение
0	23	1	7	1,00	Ограждение	Ограждение
1	2	3	10	0,82		
2	48	4	2	1,00		
3	5	6	9	0,79		
4	49	7	2	1,00		
5	8	9	10	0,84		
6	50	10	2	1,00		
7	51	12	8	1,01		
8	12	13	10	1,14		

Во вспомогательном окне присутствуют кнопки

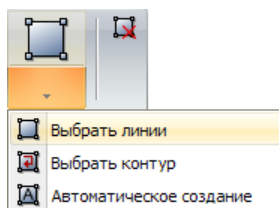
 - добавить новую точку в конец таблицы точек

 - удалить текущую запись из таблицы



— *Области*, позволяет создавать и удалять области.

Кнопка "Создать область" содержит в себе коллекцию методов создания областей:



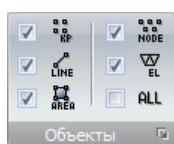
- перейти в режим удаление областей при помощи мыши.



– *Выбор*, пределяет какие объекты модели будут выбираться при помощи "рамки".

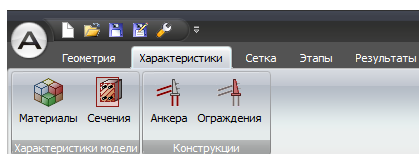
Для выбора доступны варианты - точки, линии, области.

Кроме того, можно менять режимы выделения горячими клавишами - Выделение рамкой без гор. клавиш - выделяются ТОЧКИ, с использованием клавиши CTRL - выделяются линии, с использованием клавиши ALT - выделяются ОБЛАСТИ.



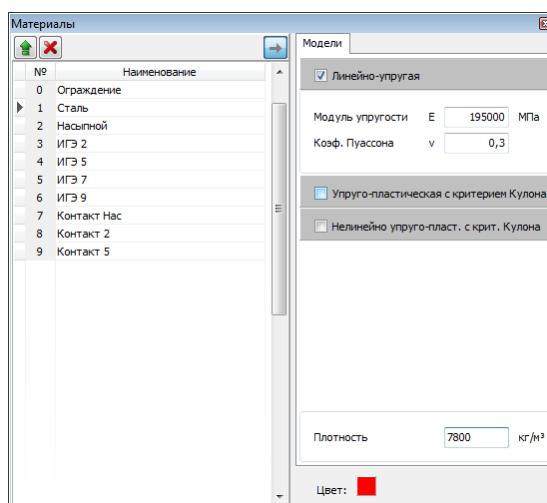
– *Объекты*, позволяет пользователю осуществить быстрый выбор графических объектов, которые будут отображаться в графическом окне. Эта группа располагается по правой стороне экрана на большинстве страниц ленты.

## Характеристики



На вкладке представлены группы кнопок:

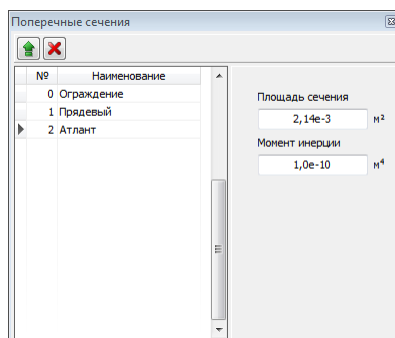
Кнопка "Материалы" открывает окно задания свойств материалов.



Для получения подробной информации по используемым моделям поведения материалов обратитесь в раздел [Материалы](#).

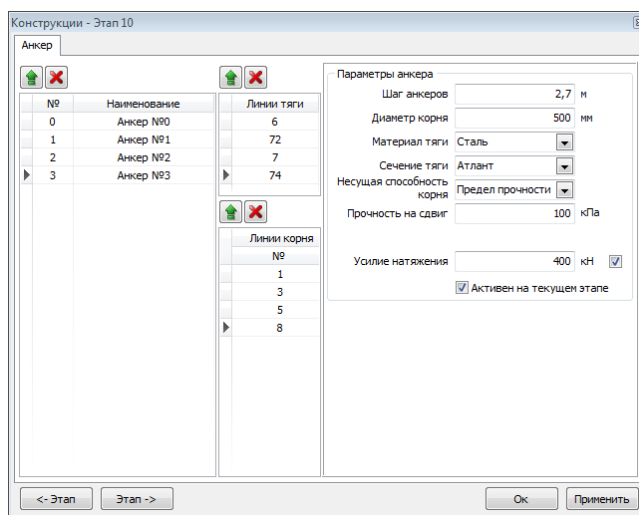
Для учета собственного веса материалов, необходимо задать плотность материалов в поле "Плотность".

Кнопка "Сечения" открывает окно задания характеристик сечения балочных элементов.

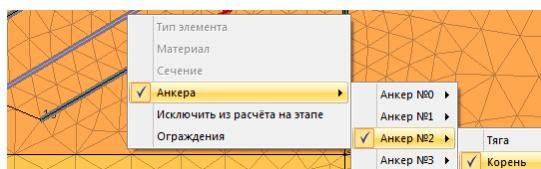


Для задания сечения необходимо указать его площадь и момент инерции.

Группа "Конструкции" содержит в себе инструменты для задания характеристик взаимосвязанных групп элементов:

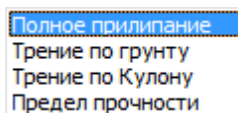


Создание нового анкера включает в себя нажатие кнопок "Добавить анкер" вверху списка анкеров, затем последовательно нажатие кнопок "Добавить линию тяги" и "Добавить линию корня" и задание номеров линий, которые относятся к тяги или к корню текущего анкера. Кроме того, назначить анкер на линию можно из контекстного меню Графического поля.



В разделе "Параметры анкера" необходимо указать "Шаг анкеров в плане", "Диаметр корня", "Материал тяги", "Сечение тяги".

Для расчета пластические деформации анкеров по грунту в поле "Несущая способность корня" необходимо определить методику расчета несущей корней анкеров по грунту:



По-умолчанию выбран режим "Полное прилипание". В этом случае прочность контакта корня анкера и грунта полагается бесконечной.

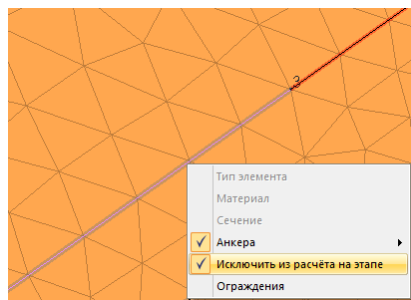
Режим "Трение по Кулону" позволяет задать параметры прочности контакта для критерия прочности Кулона.

Режим "Трение по грунту" позволяет автоматически определять параметры прочности контакта для критерия Кулона, собирая информацию из окружающего грунта.

Режим "Предел прочности" позволяет ограничить напряжения контакта корня анкера и грунта введенной пользователем величиной.

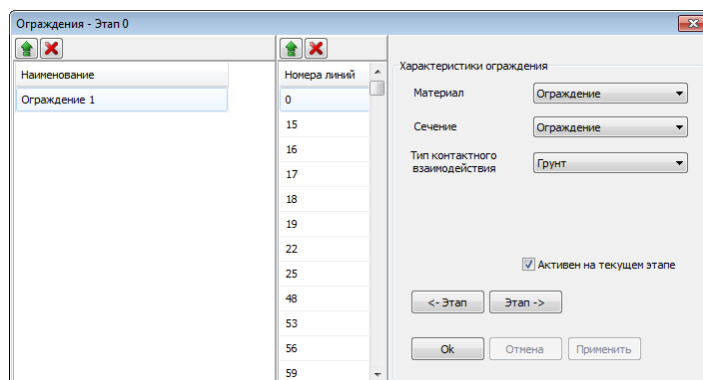
Для расчета анкеров Важно задать этапы, на которых Анкер активен. Для таких этапов необходимо установить флаг "Активен на текущем этапе".

Для удобства работы включение/выключение анкеров на этапе можно проводить пользуясь контекстным меню. Для этого нужно выделить любую линию анкера, нажать над ней ПКМ (правой кнопкой мыши) и отметить/снять отметку с флага "Исключить из расчёта на этапе".

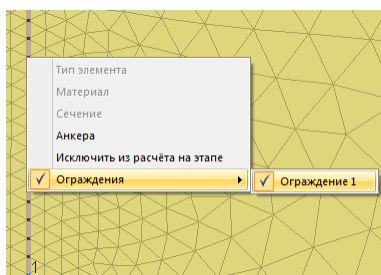


Усилие преднатяжения необходимо задавать на соответствующем этапе.

Кнопка "Ограждение" открывает окно задания ограждающих конструкций:

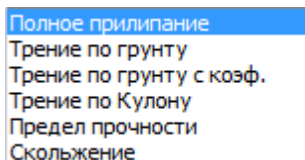


Создание нового ограждения включает в себя нажатие кнопок "Добавить ограждение" вверху списка ограждений, затем последовательно нажатие кнопок "Добавить сегмент ограждения" и задание номеров линий, которые относятся к текущему ограждению. Кроме того, присвоить какой-то линии созданное ограждение можно из контекстном меню Графического поля.



В разделе "Параметры ограждения" необходимо выбрать "Материал" из списка материалов, которые были заданы на форме [Материалы](#), "Сечения" из списка сечений, которые были заданы на форме [Сечения](#).

Для расчета пластические деформации по границе грунта и ограждения необходимо выбрать "Тип контактного взаимодействия":



По-умолчанию выбран вариант "Полная прилипание". В этом случае прочность контакта ограждения и грунта полагается бесконечной (при любых напряжениях грунт не "отлипает" от ограждения).

"Трение по Кулону" позволяет задать параметры прочности контакта для критерия прочности Кулона.

"Трение по грунту" позволяет автоматически определять параметры прочности контакта для критерия Кулона, собирая информацию из окружающего грунта.

"Трение по грунту с коэффициентом" - аналог варианта "Грунт" с возможностью занижения прочностных характеристик на величину вводимого коэффициента.

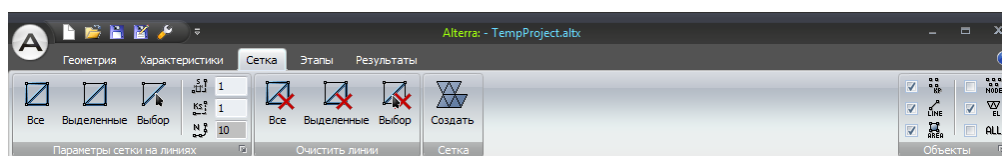
"Предел прочности" позволяет ограничить напряжения контакта введенной пользователем величиной.

"Скольжение" - возможность продольного скольжения ограждения по грунту без возможность "отлипания"

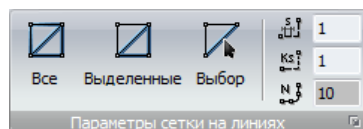
Для большинства задач подходит вариант "Трение по грунту" или "Трение по грунту с коэффициентом"

Для расчета ограждений Важно задать этапы, на которых Ограждение активно. Для таких этапов необходимо установить флаг "Активен на текущем этапе".

## Сетка



На вкладке представлены группы кнопок:



- *Параметры сетки на линиях*, позволяет задать параметры разбивки, и назначить эти параметры либо на конкретную линию, либо на все линии в модели.

Перед созданием сетки необходимо задать настройки сетки, то есть определить густоту сетки на наиболее интересующих участках расчетной схемы, таких как корни анкеров, область грунта в окрестности ограждения, и т.д. Кроме того, для уменьшения числа элементов, и увеличения скорости расчета рекомендуется назначать достаточно крупный размер элементов на границы области.

На линии можно назначить следующие параметры разбивки:

- фиксированный размер элемента на линии
- количество узлов на линии (N)

Дополнительным параметром разбиения является коэффициент сгущения сетки. Он позволяет назначить переменный размер элементов на линию. По умолчанию этот коэффициент равен  $K_s=1$  (равномерная сетка). При изменении этого коэффициента в сторону уменьшения:

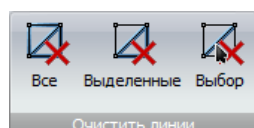
$$K_s=1/m,$$

где  $m>1$  - происходит "сжатие" сетки к первой точки на линии,

При стремлении этого коэффициента в сторону увеличения:

$$K_s=m,$$

где  $m>1$  - происходит "сжатие" сетки ко второй точки на линии, причем количество элементов на линии остается постоянным.



- *Очистить линии*, позволяет очистить параметры разбиения с



выбранных линий, либо со всех линий в модели.

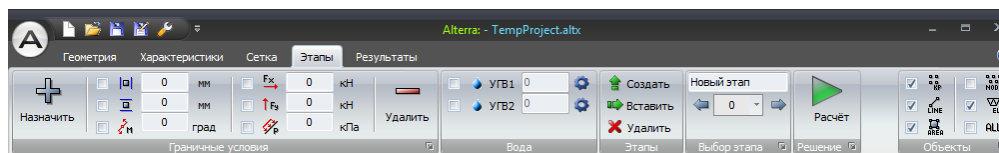
Эти команды позволяют редактировать предварительно заданные параметры разбиения для модификации сетки.



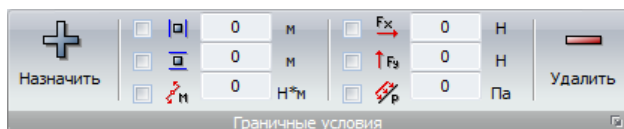
- *Создать сетку*, позволяет выполнить генерацию конечно-элементной сетки на всей модели, или на отдельных областях (полигонах).

Примечание: Производить генерацию сетки можно только после того, как будут назначены параметры разбивки на линии.

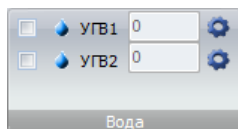
## Этапы



На вкладке представлены группы кнопок:

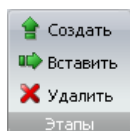
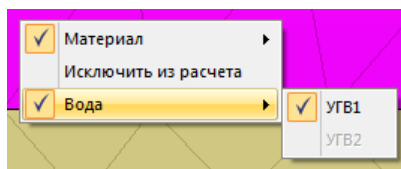


- *Граничные условия*, позволяют добавлять и удалять граничные условия на линии и опорные точки расчетной схемы.



- *Вода*, позволяют добавлять и удалять УГВ в расчетную схему. Два УГВ необходимо задавать, если в расчетной ситуации предполагается наличие двух независимых бассейнов воды. Например, при расчете непроницаемого ограждения с устройством в котловане ПФЗ.

После задания УГВ необходимо назначить на расчетные области какой именно УГВ на них действует:

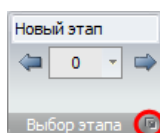


— *Этапы*, позволяет создавать и удалять этапы расчёта.

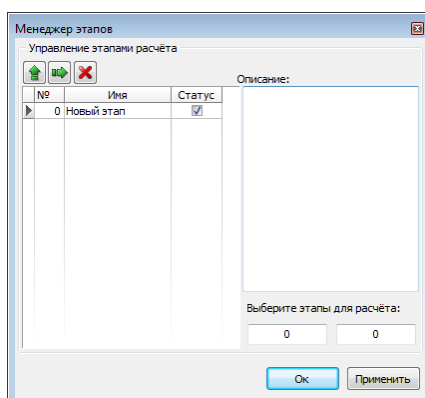
Кнопка "Создать" создаёт новый этап в конце очереди этапов расчёта.

Кнопка "Вставить" создаёт новый этап и помещает его после текущего этапа.

Кнопка "Удалить" удаляет текущий этап расчёта.



— *Выбор этапа*, предназначен для навигации между созданными этапами расчёта. Позволяет получить доступ к окну дополнительных параметров (на рисунке обведено зеленым кругом).

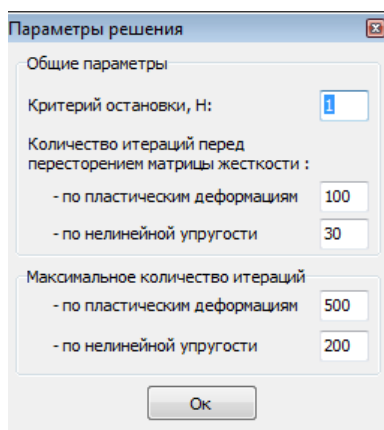


Окно позволяет управлять этапами расчётной схемы (создавать, удалять). Кроме того, имеется возможность выбрать диапазон этапов для расчета (проводить расчет не всех этапов, а только выбранного диапазона).



— *Решение*, запускает расчёт задачи.

При нажатии на кнопку  появляется окно доп. параметров расчета:



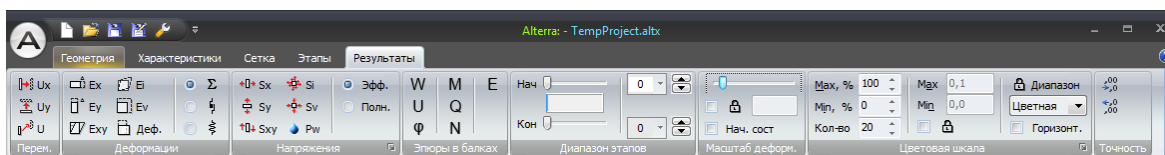
Окно позволяет задать внутренние настройки итерационной процедуры решателя системы уравнений. Изменять эти значения следует с особой осторожностью.

Решение системы уравнений в программе выполняется комбинацией методов переменных жесткостей и начальных напряжений. Метод переменных жесткостей подразумевает перестроение матрицы жесткости, что является достаточно длительной операцией, но позволяет ускорить метод начальных напряжений, то есть позволяет получить решение системы за меньшее количество итераций. Перестроение матрицы жесткости осуществляется через каждый N итераций метода начальных напряжений. Параметр N задается в поле *Количество итераций перед перестроением матрицы жесткости*.

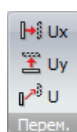
*Критерий остановки, N*, управляет требуемой точностью решения системы уравнений на каждой итерации. Это минимально допустимая невязка решения системы уравнений.

*Максимальное количество итераций* задает количество итераций по пластическим деформациям и по нелинейной упругости, при достижении которого будет предложена возможность остановки расчета или его продолжения, в том случае когда критерий остановки не достигнут.

## Результаты



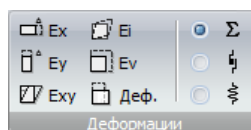
На вкладке представлены группы кнопок:



Группа кнопок позволяет отображать следующие поля:

- Перемещения вдоль оси X (горизонтальные).

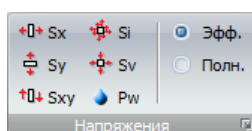
- Перемещения вдоль оси Y (вертикальные).
- Полные (суммарные) перемещения



Группа кнопок позволяет отображать следующие поля:

- Деформации вдоль оси X (горизонтальные)
- Деформации вдоль оси Y (вертикальные)
- Касательные (угловые) деформации
- Интенсивности полных деформаций
- Объемные деформации
- Деформированная геометрия с цветами материалов. Удобное поле для наглядного представления процесса деформирования расчетной схемы.

Справа от кнопок выбора отображаемых полей находится выбор типа отображаемых деформаций - суммарные, пластические и упругие.

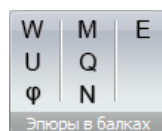
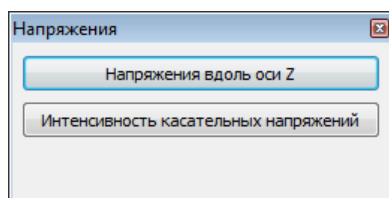


Группа кнопок позволяет отображать следующие поля:

- Напряжения вдоль оси X (горизонтальные)
- Напряжения вдоль оси Y (вертикальные)
- Касательные напряжения в плоскости XY
- Интенсивность напряжений
- Объемные напряжения
- Давление воды.

Справа от кнопок выбора отображаемых полей находится выбор типа отображаемых напряжений - эффективные (только в скелете грунта) и полные (эффективные и давление воды).

Имеется возможность выводить дополнительные поля напряжений используя соответствующее окно:



Группа кнопок позволяет отображать следующие эпюры для балочных элементов:

W - Прогибы

U - Продольные перемещения

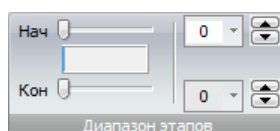
Ф - Углы поворота

M - Игибающие моменты

Q - Перерезывающие усилия

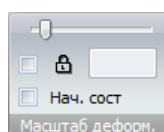
N - Продольные усилия

E - Продольные деформации



Группа позволяет управлять диапазоном этапов для отображения результатов. Следует помнить, что программа выводит результаты в приращениях результатов между этапами.

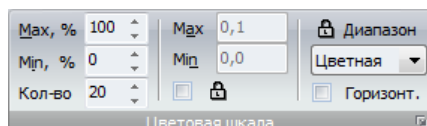
При анализе результатов Вам необходимо установить начальный этап. Все результаты до этого этапа будут считаться историей возникновения текущего НДС и не будут отображаться. Таким образом, результаты будут содержать в себе изменение полей с Начального до конечного.



Группа кнопок позволяет управлять масштабом отображения деформированного состояния расчетной схемы после расчета. Программа позволяет задавать либо относительную величину коэффициента масштабирования (через ползунок), либо абсолютное

значение (используя флажок с изображением замка). Последняя опция необходима например, в случае, когда есть необходимость увидеть реальный масштаб перемещений. Тогда необходимо отметить флажок напротив изображения замка и установить коэффициент в поле ввода равный "1".

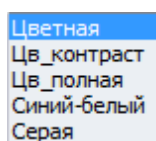
Флажок "начальное состояние" позволяет выводить одновременного с деформированной геометрией ее начальное состояние (недеформированное).



Группа позволяет сокращать диапазон значений отображаемого поля. Эта функция необходима для возможности отображения результатов с учетом концентраторов напряжений.

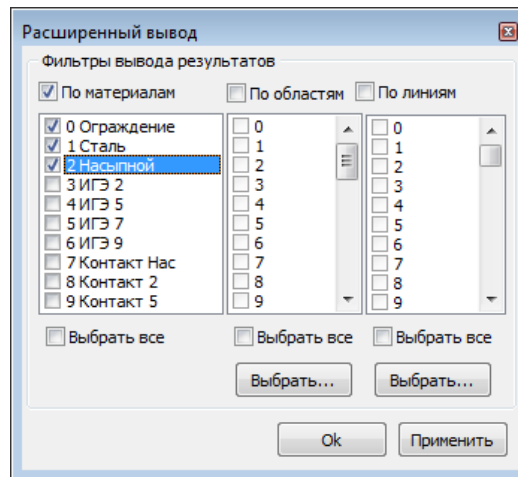
У пользователя есть выбор либо задать границы отображения в относительном виде в %, либо абсолютные Мин. и Макс значения отображаемого поля. Для упрощения задания абсолютных значений присутствует кнопка "Диапазон". Она позволяет для текущего диапазона отображаемых результатов (от Начального этапа до Конечного) найти Абсолютный Мин и Макс и задать их в качестве ограничителей. В этом случае при переходе между этапами пользователь будет видеть одну и ту же цветовую шкалу результатов.

В группе также имеются инструменты отображения цветовой шкалы горизонтально и типа цветовой шкалы:



Дополнительное диалоговое окно фильтра вывода результатов позволяет скрывать из отображения элементы с определенными материалами, областями или линиями.

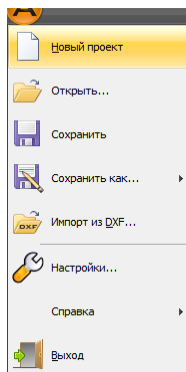
Для удобства отображения результатов в секции "Дополнительно" имеется окно фильтров:



## Базовые операции

### 1. Новый проект

Новый проект можно создать командой из верхнего меню "Новый проект" или сочетанием клавиш (Ctrl + N):

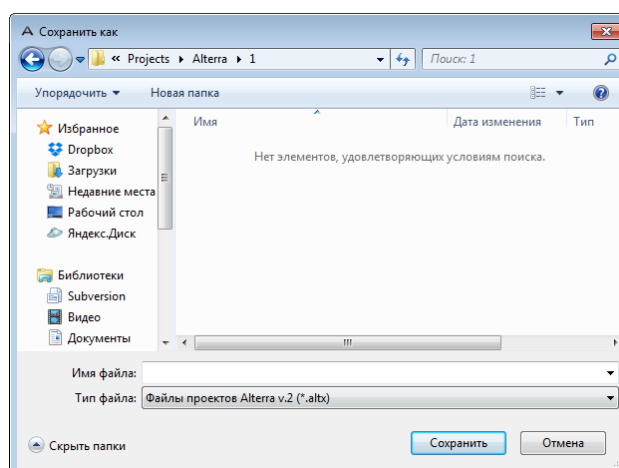


После выполнения этих команд программа создаст временный новый проект.

### 2. Сохранить проект

Рекомендуется сразу сохранить проект, нажав на кнопку "Сохранить" Главного меню. Эта команда открывает диалоговое окно сохранения проекта, в котором вам необходимо:

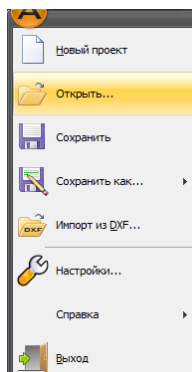
- выбрать папку для хранения файлов проекта;
- задать имя проекта;
- Нажать кнопку «Сохранить».



### 3. Открыть проект

Для продолжения работы в ранее созданном проекте его следует открыть командой меню:

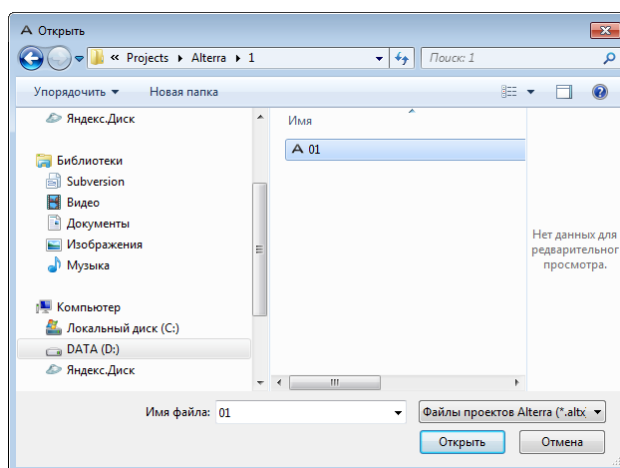




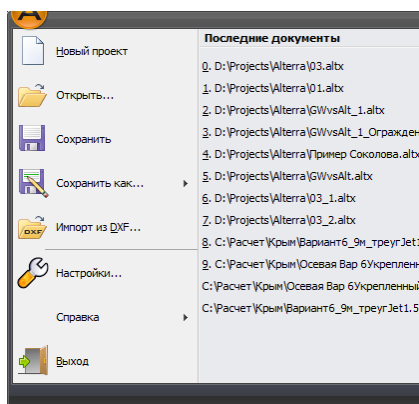
Открыть ранее созданный проект можно нажатием сочетания клавиш Ctrl + O.

После выполнения этих команды появляется стандартное окно диалога, в котором нужно:



- выбрать папку, в которой находятся ранее созданный проект;
- выделить мышью файл проекта;
- выполнить команду «Открыть».

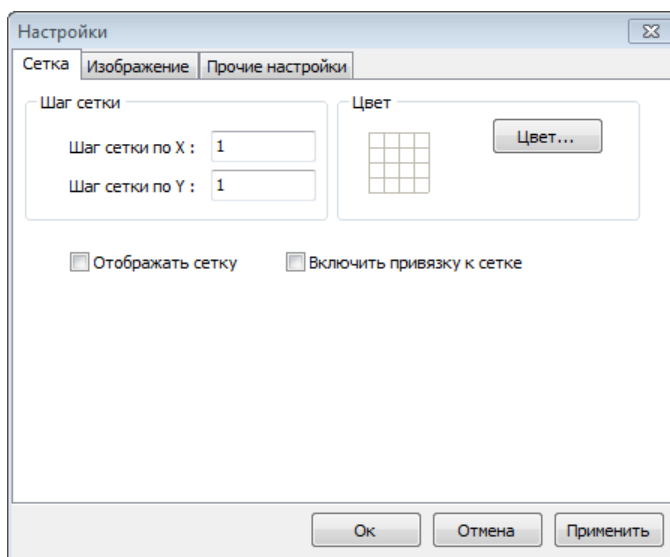


При повторном обращении к программе доступна функция открытия одного из последних проектов:



## 4. Создание координатной сетки

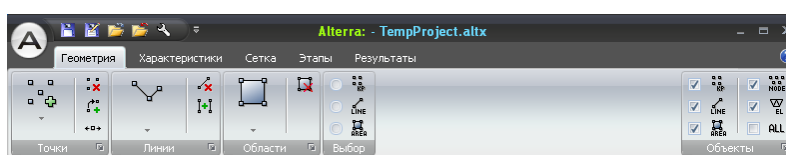
Для удобства задания узловых точек с помощью мышки в программе существует возможность создания вспомогательной равномерной сетки с помощью кнопки  в строке статуса(либо клавиши F9), и привязки курсора мыши к узлам этой сетки с помощью кнопки  . Настройки параметров вспомогательной сетки можно сделать, выбрав пункт "Сервис" -> "Настройки" в верхнем меню, затем в окне настроек (см. рисунок) перейти на вкладку "Сетка".



В диалоговом окне Настройки на вкладке "Прочие настройки" имеется возможность выбрать цветовую схему отображения объектов в графическом поле. Для работы некоторые пользователи предпочитают Констрастную схему, аналогично различным CAD редакторам для уменьшения утомляемости глаз. Для целей создания Скриншотов больше подходит Классическая схема, так как в этой схеме имеется белый фон, на печать которого не расходуются чернила принтера. В данном примере скриншоты будут выполнены с Классической цветовой схемой.

## 5. Работа с геометрией

Инструменты для создания и модификации геометрии расчетной схемы сосредоточены на закладке "Геометрия".




В программе все геометрические размеры задаются и измеряются в метрах.

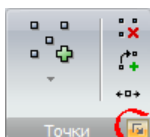
## Работа с точками

Инструменты для создания и модификации точек расположены в группе "Точки".



Добавить узловые точки можно тремя способами:

1. В группе "Точки" нажать кнопку , и при помощи мыши разместить на графическом поле узловые точки.
2. В группе "Точки" нажать на кнопку "Дополнительно"

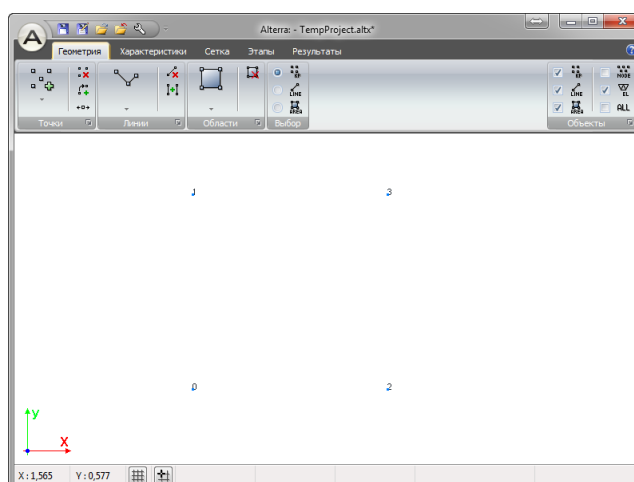


В появившемся окне "Таблица точек" ввести координаты при помощи клавиатуры.



№	X, м	Y, м
1	0,0	0,0
2	0,0	1,0
3	1,0	0,0
4	1,0	1,0

3. Экспортировать геометрию из файла DXF. Файл должен содержать только точки и простые отрезки без полилиний (меню «Вставка» - «Импорт из DXF-файла...»).

В результате добавления узловых точек графическое окно имеет вид:



Удалить точку можно тремя способами:

1. В группе "Точки" нажать кнопку , затем переместить курсор на точку и нажать левую кнопку мыши.
2. В окне "Таблица точек" установить курсор в соответствующую строку и нажать кнопку .
3. В группе "Выбор" отметить пункт выбора точек, затем зажав левую кнопку мыши выделить одну или несколько точек рамкой и нажать на клавиатуре клавишу Delete.





### Работа с линиями

Инструменты для создания и модификации линий расположены в группе "Линии".

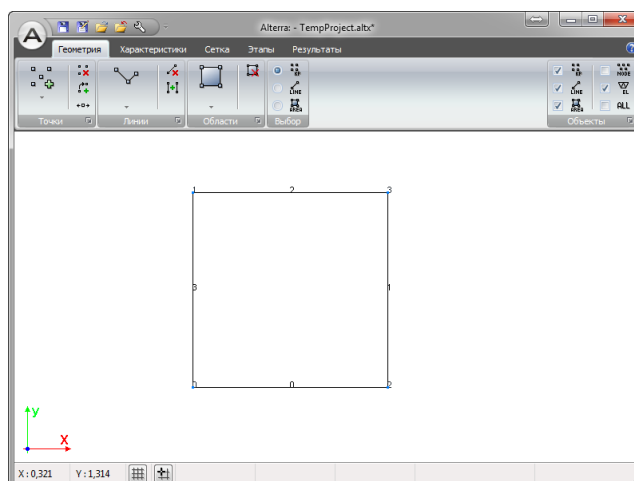


Линии можно задать двумя способами:


1. В группе "Линии" выбрать режим создания линий "Полилиния" нажав кнопку . Необходимо последовательно соединить точки, нажав на них левой кнопкой мыши. Конец первой линии является началом второй, для завершения задания полилиний нужно нажать правую кнопку мыши или отжать кнопку .

2. В группе "Линии" выбрать режим создания линий "Отрезок". Для создания отрезка необходимо выполнить щелчок левой кнопкой мыши (ЛКМ) на первой точке отрезка в графическом окне, затем переместить курсор мыши на вторую точку и выполнить щелчок ЛКМ на второй точке. Для создания следующего отрезка Вам необходимо будет произвести два щелчка мыши, указывая начало и конец очередного отрезка.

В результате добавления линий графическое окно имеет вид:



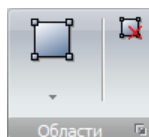
Удалить линии можно двумя способами:

1. Нажать на закладке "Геометрия" в группе "Линии" кнопку , затем переместить курсор на линию и нажать левую кнопку мыши.
2. В группе "Выбор" отметить пункт выбора линий, затем зажав левую кнопку мыши выделить одну или несколько линий рамкой и нажать на клавиатуре клавишу Delete.



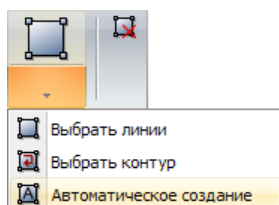
### Работа с областями

Инструменты для создания и модификации областей расположены в группе "Области".




Полигоны можно создать следующими способами:

1. В группе "Области" нажать кнопку автоматического создания полигонов, программа автоматически найдет все замкнутые выпуклые непересекающиеся области.

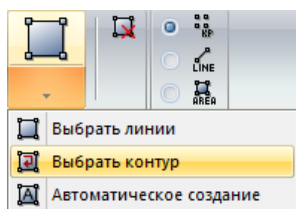


Примечание:

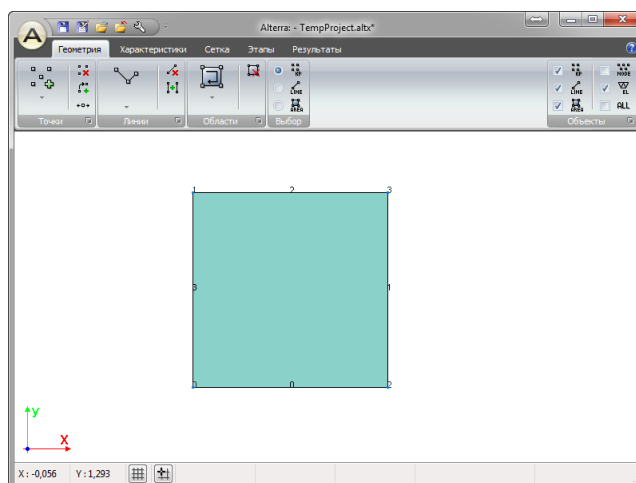
Автоматическое создание областей может не создать некоторые области, если это произошло, нужно создать недостающие области в ручном режиме.

2. В группе "Области" нажать кнопку "Выбор линий" , затем выбрать при помощи левой кнопки мыши линии, образующие замкнутый непересекающийся контур и нажать правую кнопку мыши для создания области.


3. В группе "Области" нажать кнопку "Выбрать контур" и нажать левой клавишей мыши на линию из границы создаваемой области. Программа в полуавтоматическом режиме совершит обход линий до появления точки, в которой исходят 3 и более линий.



В результате добавления областей графическое окно имеет вид:



Удалить области можно двумя способами:

1. В группе "Области" нажать кнопку , затем переместить указатель мыши на область и нажать левую кнопку мыши.

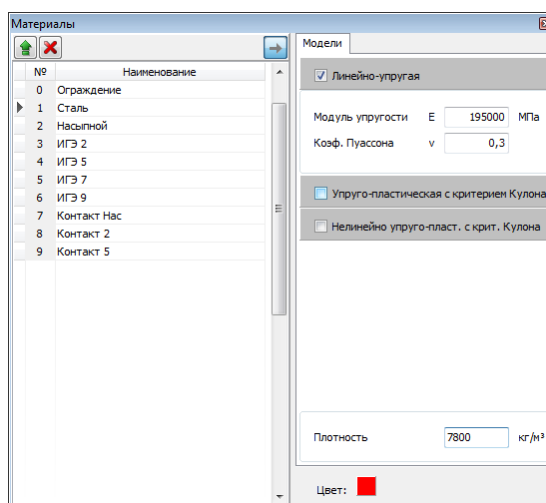
2. В группе "Выбор" отметить пункт выбора областей, затем зажав левую кнопку мыши выделить одну или несколько областей рамкой и нажать на клавиатуре клавишу Delete.




## 6. Характеристики

## Физико механические свойства материалов

Кнопка "Материалы" открывает окно задания свойств материалов.



Для создания нового материала необходимо нажать кнопку .

Для удаления строки материала – .

После этого необходимо выбрать модель материала, то есть выбрать закон, которым описывается поведение материала в процессе деформирования.

- Линейно-упругая - в основном для моделирования объектов, в которых Вас не интересует пластическое деформирование материала, или Вы проводите оценочные расчеты грунтов. Железобетонные и стальные конструкции в программе Alterre часто рассчитываются с применением именно этой модели. Расчет с применением этой модели занимает наименьшее количество времени, в сравнении с другими моделями.

- Упруго-пластическая с критерием Кулона - стандартная модель для описания поведения грунтов. Кроме стандартных параметров в модель добавлена возможность задания коэффициента разгрузки, которых определяется отношением модуля деформации на вторичной ветви нагружения к модулю деформации на первичной ветви нагружения.

- Нелинейно упруго-пласт. с критерием Кулона - это наиболее сложная модель, позволяющая учитывать данные компрессионных испытаний при деформировании грунтов.

Для получения подробной информации по используемым моделям материалов обратитесь в раздел [Материалы](#).

Для учета собственного веса материалов, необходимо задать плотность материалов в поле "Плотность".

## 7. Работа с этапами

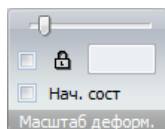
При расчете любых геотехнических задач необходимо учитывать действующие напряжения в грунтовом массиве с учетом уже существующих конструкций и воздействий, находящихся в непосредственной близости от проектируемого (рассчитываемого) объекта, то есть учитывать историю нагружения грунтового массива. Для этого можно использовать несколько предварительных расчетных этапов перед непосредственным расчетом проектируемого сооружения. Как правило на нулевом этапе осуществляют решение которое позволяет получить напряженное состояние от собственного веса грунта.



## Вывод результатов

Программа позволяет после расчета просматривать широкий спектр результатов: поля перемещений, напряжений, деформаций для плоских элементов и эпюры перемещений, деформаций и внутренних усилий для балочных элементов.

Работа с отображением результатов расчета ведется на вкладке "Результаты".



Для отображения начального состояния расчетной схемы (недеформированной геометрии) необходимо выбрать опцию "Нач. сост" в группе "Масштаб". Также Вы можете управлять масштабом отображения деформированной сетки изменяя положение ползунка в Группе Масштаб. В этой же группе отображается значение текущего масштаба, соответствующее положению ползунка. Если Вам необходимо ввести конкретное значение масштабного фактора, то необходимо установить флажок напротив поля с замком. Таким образом, например, Вы можете задать масштаб 1, чтобы увидеть перемещения в реальном масштабе (1:1).

Величину увеличения перемещений, для отображения деформированной сетки определяет параметр "масштаб". Значение этого параметра следует интерпретировать следующим образом: если масштаб равен 10 то это значит что максимальное перемещение в конструкции будет увеличено до значения 10% от максимального габарита расчетной схемы.

Для наглядного отображения процесса деформирования удобно рассматривать деформирование расчетной схемы с различными масштабами перемещений, в этом случае можно добиться эффекта анимации.

## Примеры

### 1. Пример ограждение котлована с анкером

Рассмотрим расчет шпунтовое ограждение котлована с одним ярусом крепления анкерами Атлант 73х11. Глубина котлована 6м, Шпунт Ларсена Л5УМ - длина 9 м. Отметка установки анкера -3м.

#### Работа с геометрией

Добавим узловые точки в расчетную схемы при помощи мыши :

В результате добавления узловых точек графическое окно имеет вид:

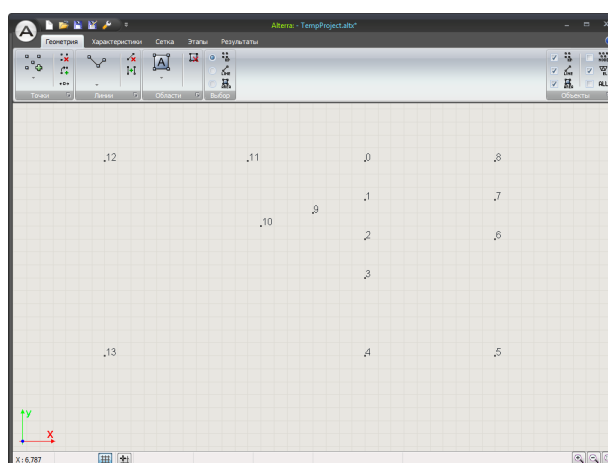


Таблица точек принимает вид.

№	X, м	Y, м
0	0,0	0,0
1	0,0	-3,0
2	0,0	-6,0
3	0,0	-9,0
4	0,0	-15,0
5	10,0	-15,0
6	10,0	-6,0
7	10,0	-3,0
8	10,0	0,0
9	-4,0	-4,0
10	-8,0	-5,0
11	-9,0	0,0
12	-20,0	0,0

Для построения линий нужно в группе "Линии" нажать кнопку "Полилиния", затем последовательно соединить точки, нажав на них левой кнопкой мыши. Конец первой линии является началом второй, для завершения задания полилиний нужно нажать правую кнопку мыши или отжать кнопку "Полилиния".

Если Вы хотите начать создание новой полилинии, не там где заканчивается предыдущий отрезок, то после создания отрезка необходимо произвести двойной клик ЛКМ в пустой области графического поля.

В результате добавления линий графическое окно имеет вид:

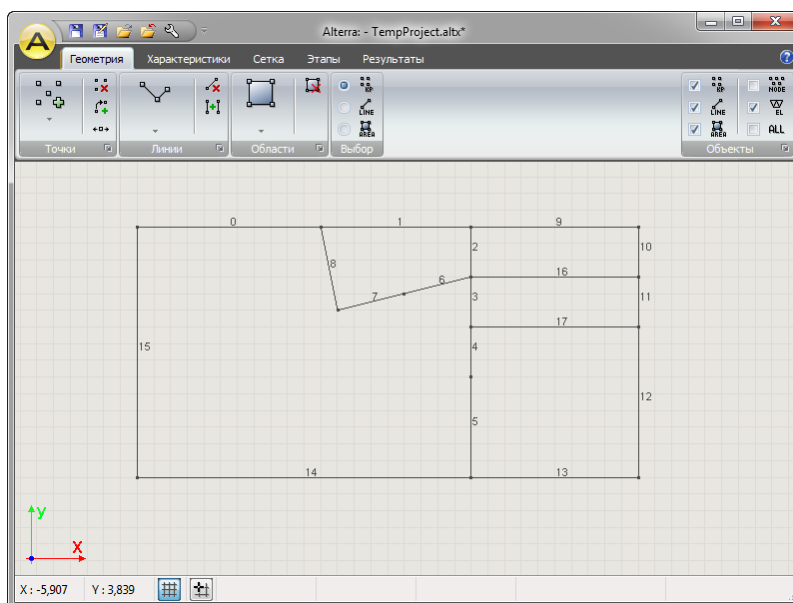
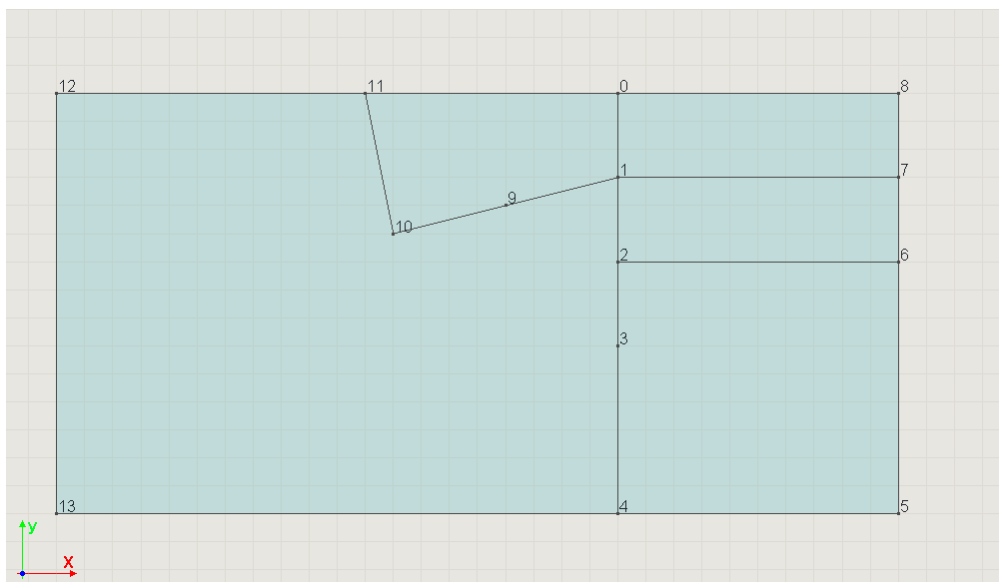


Таблица линий принимает вид:

№	Точка начала	Точка конца	Количество узлов	Концентрация узлов
0	12	13	2	1,00
1	13	4	2	1,00
2	4	5	2	1,00
3	5	6	2	1,00
4	6	2	2	1,00
5	2	1	2	1,00
6	1	7	2	1,00
7	7	6	2	1,00
8	7	8	2	1,00
9	8	0	2	1,00
10	0	1	2	1,00

Для создания областей необходимо нажать кнопку автоматического создания областей, программа автоматически найдет все замкнутые выпуклые непересекающиеся области.

В результате добавления областей графическое окно имеет вид:



Для сохранения проекта следует воспользоваться командой Главного меню "Сохранить" или командой "Сохранить" с панели инструментов.

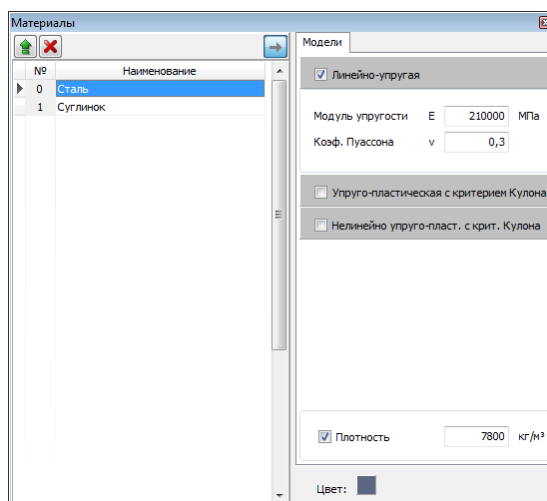
### Создание материалов

Добавим два материала: "Сталь" для шпунта и несущего элемента анкера, и "Суглинок" для моделирования грунта. Для этого на вкладке Характеристики в группе Характеристики модели выберем команду Материалы.

Для стали выберем линейно-упругую модель, материал характеризуется следующими параметрами:

$E = 210$  ГПа - модуль упругости стали

$\nu = 0.3$  - коэффициент Пуассона



Для Суглинка выберем упруго-пластическую модель с критерием перехода в пластическое состояние по Кулону, материал характеризуется следующими параметрами:

$E = 12$  МПа - модуль деформации грунта

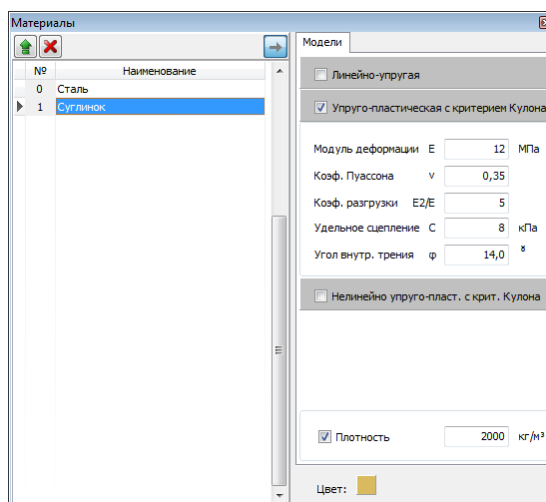
$\nu = 0.35$  - коэффициент Пуассона

$c = 8$  кПа - удельное сцепление грунта

$\phi = 14^\circ$  - угол внутреннего трения грунта

$E2/E = 5$  - коэффициент разгрузки

Также можно выбрать интересующий цвет материала.



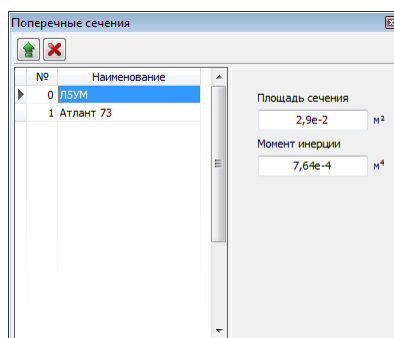
Для учета собственного веса грунта необходимо задать ее значение в поле "плотность".

### Создание сечений

Зададим параметры сечения шпунта Л5УМ:

$S = 0.0290$  [м<sup>2</sup>] - площадь сечения

$I = 7.64 \cdot 10^{-4}$  [м<sup>4</sup>] - момент инерции сечения



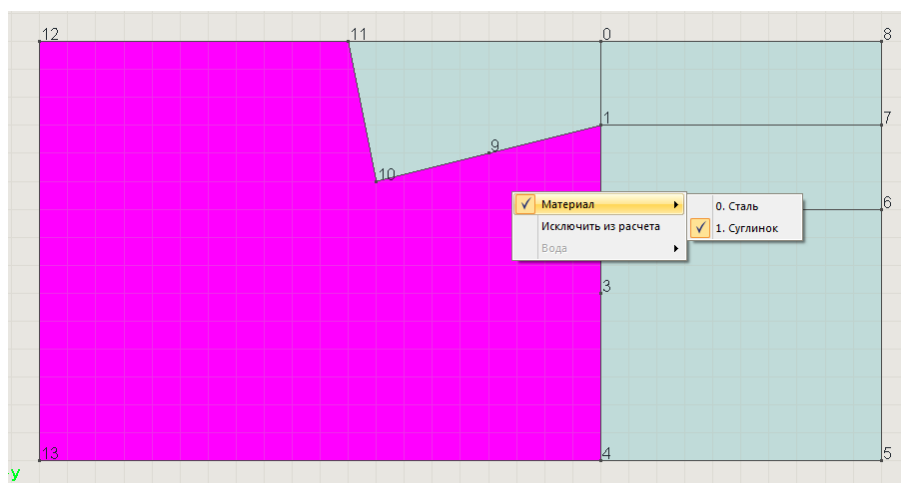
Параметра сечения тяги анкера Атлант 73x11:

$S = 2142 \cdot 10^{-6}$  [м<sup>2</sup>] - площадь сечения

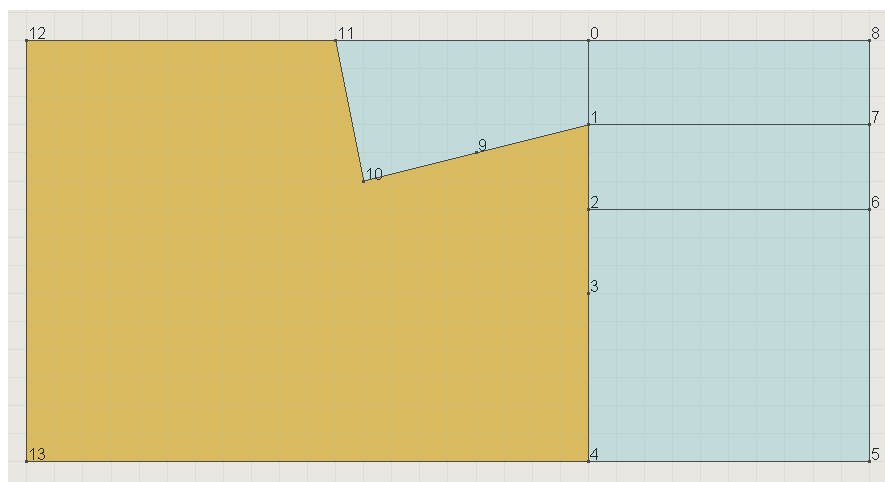
$I = 1.061 \cdot 10^{-6}$  [м<sup>4</sup>] - момент инерции сечения

### Назначение материалов и сечений

Для того, чтобы назначить материал на область, нужно выделить область при помощи двойного клика мыши (область изменит свой цвет), затем нажать правую кнопку мыши и в появившемся меню выбрать пункты "Материал" -> "Суглинок".

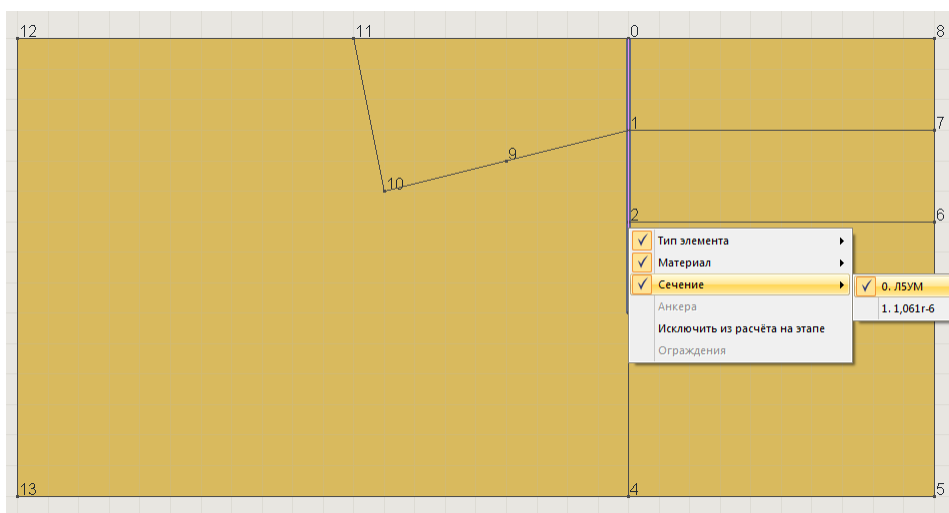


После назначения область приобретёт новый цвет, соответствующий выбранному материалу.



Аналогично назначается материал на остальные области.


Назначение материалов и сечений на линии выполняется аналогично тому как это сделано для областей, отличие заключается в том, что двойной клик следует выполнять по линии. Всплывающее меню для линии будет содержать дополнительный пункт сечение.

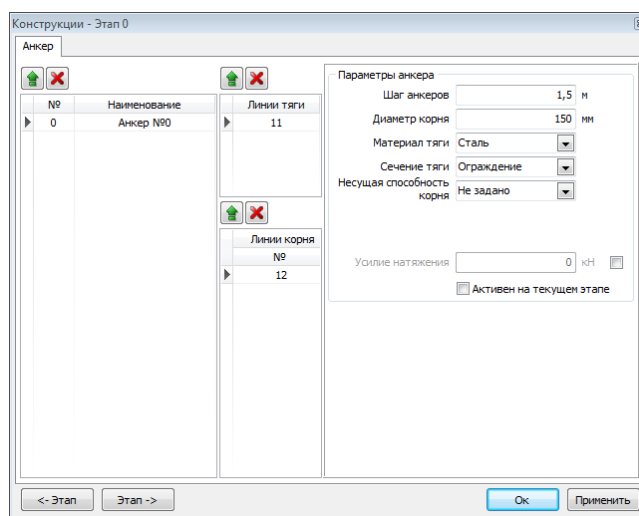


Необходимо назначить на вертикальные линии в центре расчетной схемы сечение Л5УМ, материал сталь, тип конечного элемента - балочный через контекстное меню.

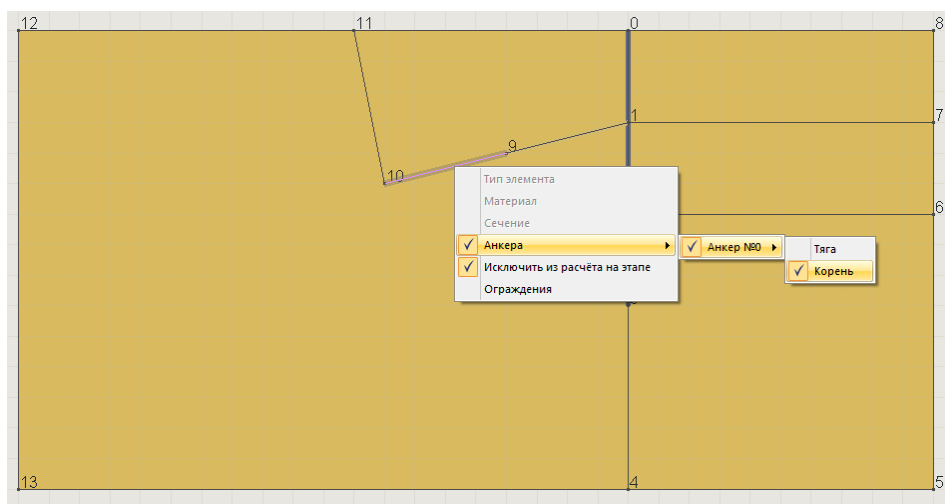
### Создание анкеров

Окно конструкции позволяет задать анкер.

Для создания нового анкера необходимо нажать кнопку  в окне создания конструкций. И задать параметры анкера



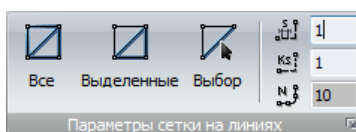
После задания параметров анкера необходимо назначить анкер на линии. Для этого необходимо выделить линию двойным щелчком мыши и в контекстном меню назначить корень и тягу анкера на соответствующие линии.



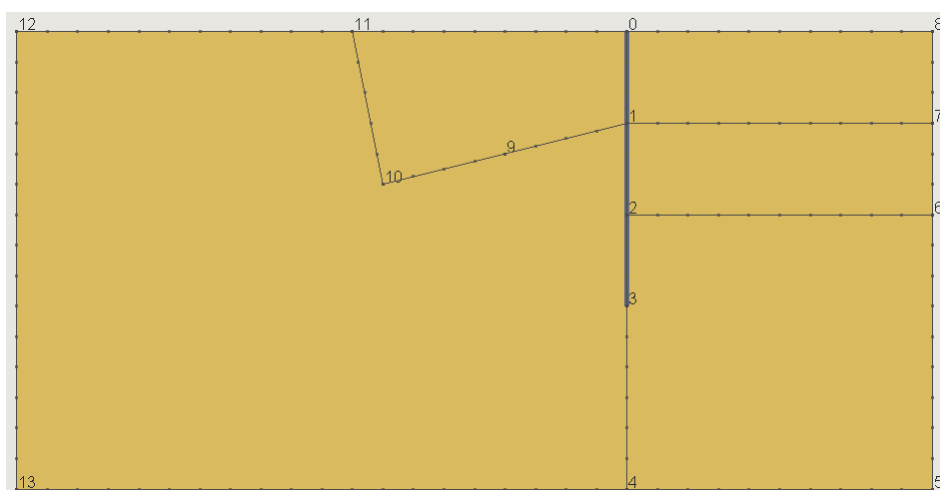
### Создание сетки

Перед созданием конечно элементной сетки необходимо назначить параметры разбиения на линии.

Программа Alterra позволяет создавать как равномерные так и неравномерные сетки. Рассмотрим создание равномерной сетки. Для этого необходимо задать размер элемента и нажать кнопку "Все" в группе "Параметры сетки" на вкладке "Сетка".



После назначения параметров разбивки, линии будут отображаться пунктиром. Длина отрезка пунктира соответствует размеру элемента.

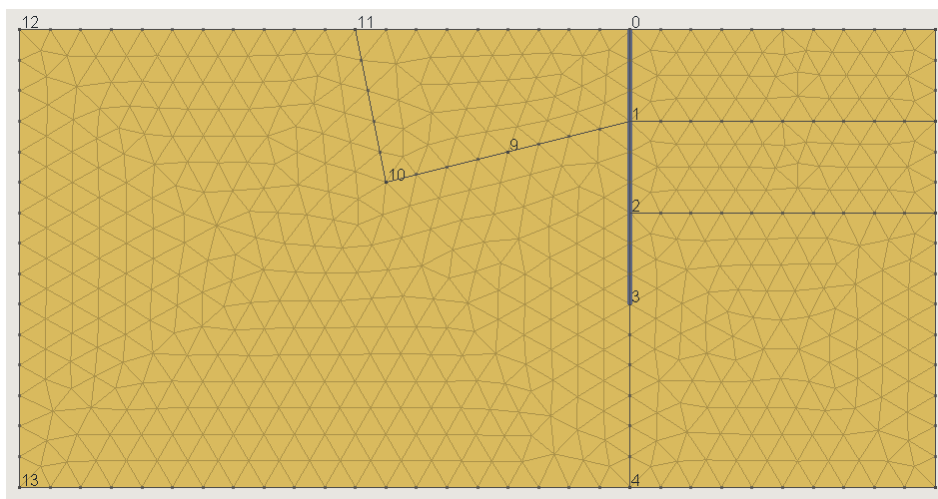


Для создания конечных элементов всей модели следует нажать кнопку "Для всей модели" в группе "Сетка" на закладке "Сетка":



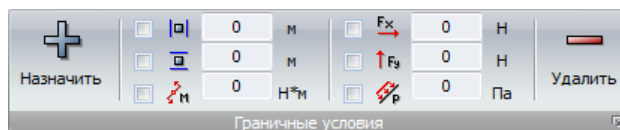



После этого модель будет разбита на конечные элементы, в нашем случае это треугольные шести-узловые элементы моделирующие грунт и двухузловые балочные элементы моделирующие ограждающую конструкцию из шпунта.



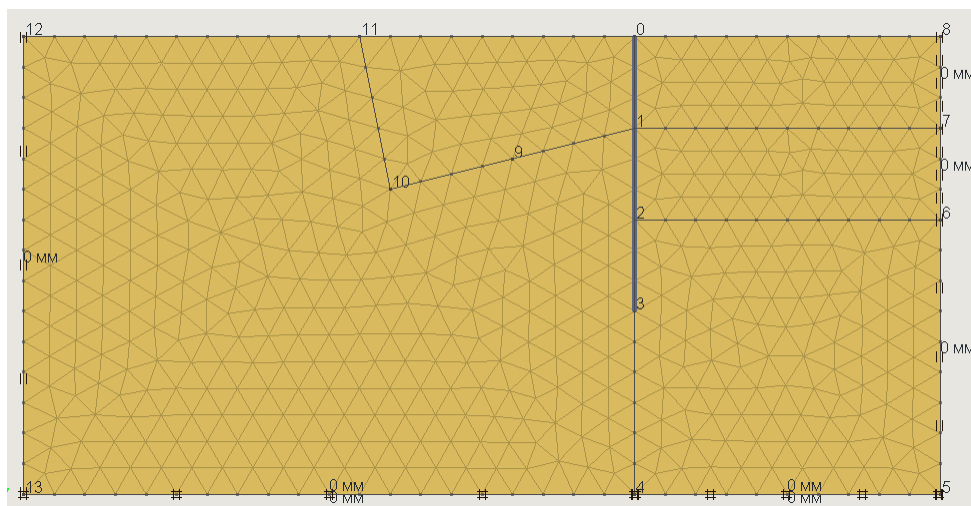
### Задание граничных условий

Программа позволяет задавать граничные условия в виде сил и перемещений. В группе "Граничные условия" на закладке "Этапы" размещены основные типы граничных условий.



Для задания одного или нескольких граничных условий (ГУ) на линию необходимо осуществить их выбор - нажать левую кнопку "мыши" в области соответствующего ГУ . После этого, нажать на кнопку "назначить" и одним кликом левой кнопки "мыши" установить ГУ на соответствующую линию.

При моделировании ограждения котлована, граничные условия для грунта обычно принимаются такими, как показано на следующем рисунке.



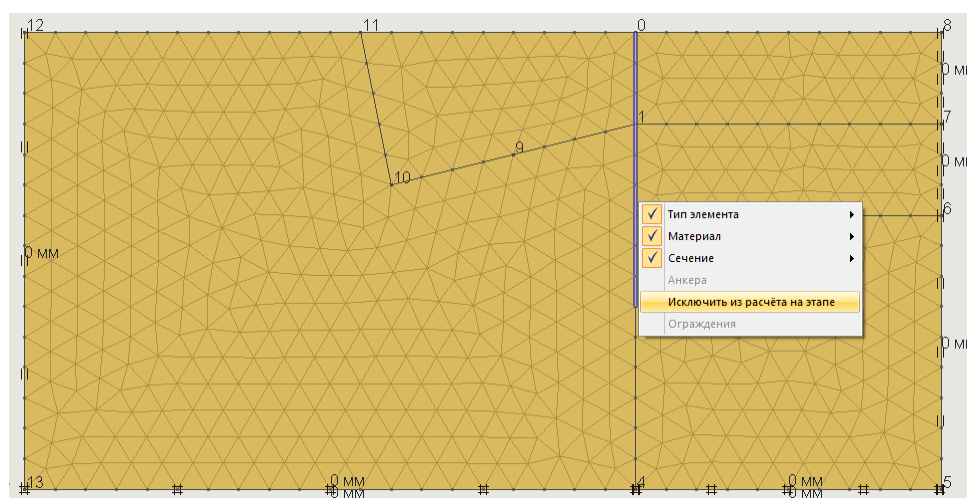
Для удаления граничных условий необходимо нажать кнопку "удалить" и, нажимая левую кнопку "мыши" на соответствующих линиях, выбранные граничные условия будут удалены.

### Создание этапов

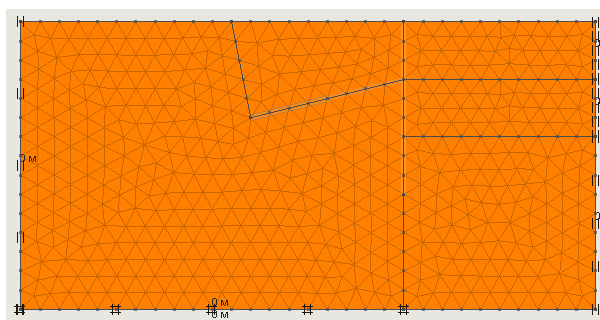
В настоящем примере моделируется процесс откопки котлована, выполним его в 4 этапа:


- 0 - деформация грунта под собственным весом, ограждение отсутствует;
- 1 - установка ограждения и откопка котлована до отметки первого этапа;
- 2 - включение анкера в расчет и откопка котлована до отметки второго этапа;

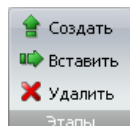
Для того чтобы исключить ограждение из расчета необходимо выполнить двойной клик ЛКМ на соответствующей линии, после этого нажать ПКМ в результате появится всплывающее окно свойств линии в котором следует выбрать пункт "Исключить из расчета на этапе".



После того как линия исключена из расчета на этапе ее отображение выполняется серым цветом. Результат исключения из расчета всех линий принадлежащих ограждению представлен на следующем рисунке.

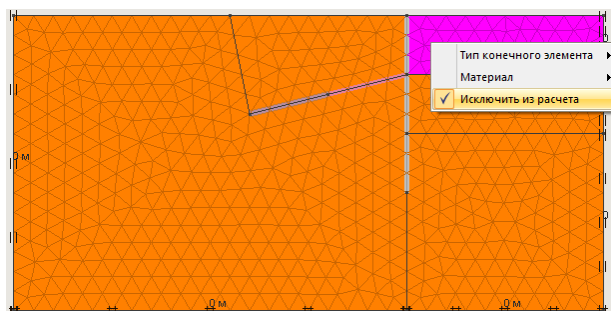




Создание 1-го этапа выполняется при нажатии кнопки "создать" , которая

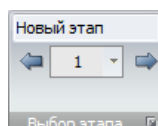


находится в группе "этапы" на вкладке "этапы". В этом случае создается новый этап у которого все свойства аналогичны тому этапу который был активен в момент создания. В результате создан этап ? 1, на этом этапе ограждение исключено из расчета. Для включения ограждения в расчет, необходимо проделать действия, аналогичные исключению линии из расчета. Повторное нажатие на пункте "исключить из расчета на этапе" приведет к включению в расчет линии.

На первом этапе выполняется откопка котлована до первой отметки, для того чтобы смоделировать это в программе исключим из расчета верхнюю правую область. Процесс исключения области аналогичен исключению линии. В результате расчетная область на первом этапе примет следующий вид.



Для переключения между этапами следует использовать кнопки  и 

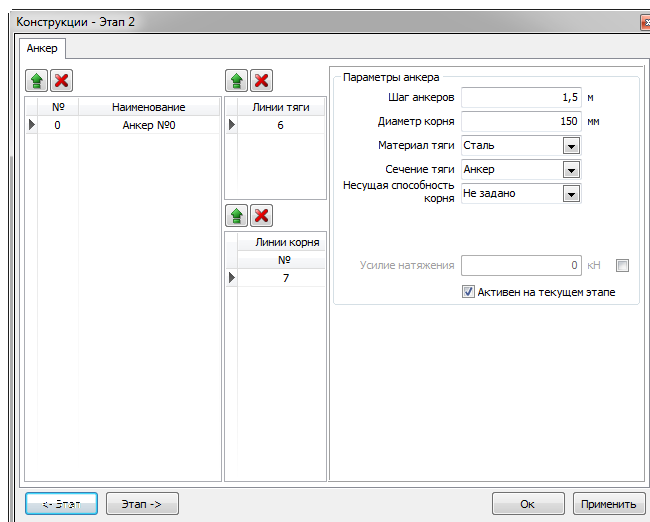


расположенные в группе "выбор этапа" на вкладке "этапы".

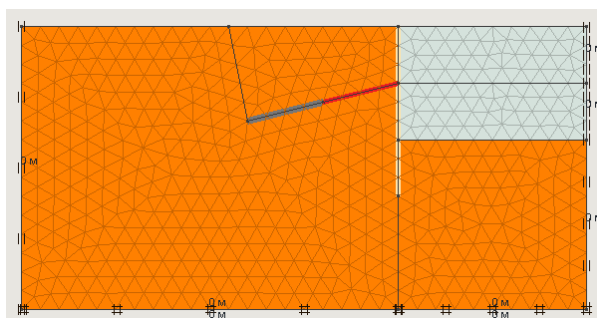
Создание второго этапа следует выполнять в том случае когда активен этап ? 1. Для создания этапа нажимаем кнопку "создать этап". В результате создан Этап 2 аналогичный Этапу 1.

На втором этапе выполняется "включение анкера в расчет". Для этого необходимо

перейти на форму "Конструкции" и отметить флажок "Активен на текущем этапе".




Также на этом этапе выполняется откопка котлована до второй отметки, для того чтобы смоделировать это в программе исключим из расчета соответствующую область. После описанных действий расчетная схема примет следующий вид:

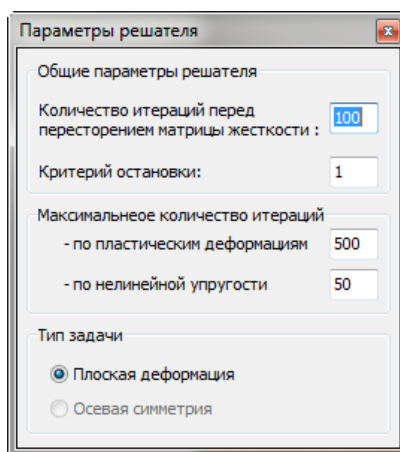


## Расчёт

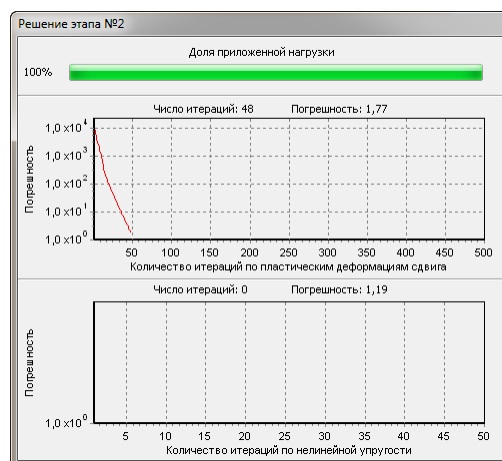


Для того чтобы выполнить расчет достаточно нажать на кнопку "расчет" находящуюся в группе "Решение" на вкладке "Этапы". В том случае если параметры решателя установленные по умолчанию не оптимально подходят к расчетной схеме, то их можно изменить. Для редактирования параметров решателя необходимо нажать на кнопку  в группе "решение", в результате появится окно настроек.

**Внимание, Если Вы не уверены в своих действиях, то не меняйте параметры решателя.**



После того как нажата кнопка "расчет" происходят проверки расчетной схемы и выполняется процесс решения. Когда происходит решение на экране отображается окно с информацией об итерационном процессе решения текущего этапа. На рисунках ниже приведено изображения окна с информацией о процессе расчета для 2-го этапа.



Для качественного анализа поведения конструкции важным является график погрешности по пластическим деформациям сдвига. Здесь и далее, под "погрешностью по пластическим деформациям сдвига" понимается максимальная неуравновешенная сила, вычисляемая из дополнительных напряжений, необходимых для приведения текущих напряжений на предельную поверхность.

Примеры возможных ситуаций по сходимости: при решении этапа, после перестроения матрицы жесткости на 100 итерациях, итерационный процесс стал стремительно сходиться что говорит об устойчивом поведении конструкции. График погрешности представлен ниже.



В том случае, когда погрешность убывает медленно, это говорит о том, что конструкция находится в предпредельном состоянии.




Если график погрешности не убывает или возрастает, то это говорит о неустойчивом поведении конструкции.

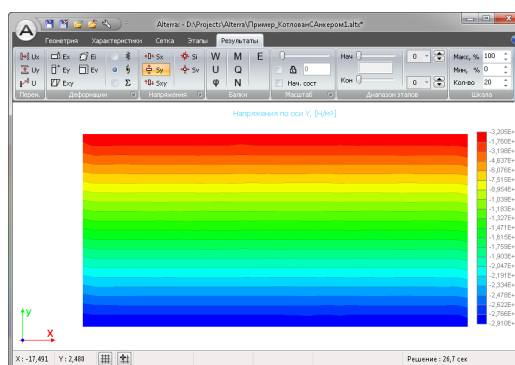


### Вывод результатов

Работа с отображением результатов расчета ведется на вкладке "Результаты". Приведем основные результаты расчетов для каждого из этапов.

#### Этап 0

Отображение вертикальных напряжений осуществляется нажатием на кнопку "Напряжения Y"  в Группе "Напряжения" на ленте.




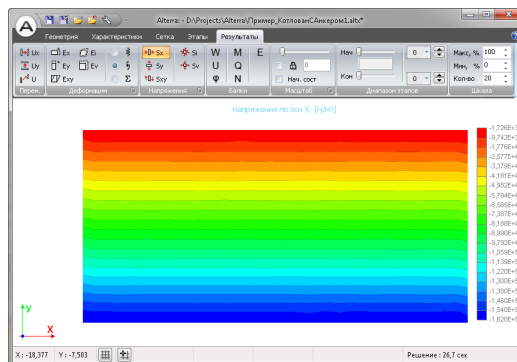
Величина вертикальных напряжений (по модулю) линейно увеличивается с глубиной, ее максимальное значение составляет 0.291 МПа.

Значение масимального вертикального напряжения в данном случае можно вычислить аналитически:

$$\sigma_y^{max} = \rho \cdot g \cdot h = 2000 \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \cdot 9.81 \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right] \cdot 15 [\text{м}] = 0,294 [\text{МПа}]$$

Сравнивая вертикальные напряжения полученные аналитически и программой, убеждаемся в правильности результатов вычисленных программой. Относительная погрешность составляет 1%. Она обусловлена осреднением результатов при отображении и дискретизацией сетки. Погрешность будет стремиться к нулю при измельчении сетки.

Отображение горизонтальных напряжений осуществляется нажатием на кнопку "Напряжения X"  в группе "Напряжения".




Максимальное (по модулю) значение горизонтального напряжения составляет 0.162 МПа.

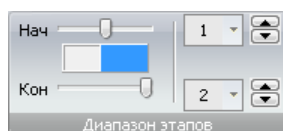
Значение максимального горизонтального напряжения в данном случае можно вычислить аналитически:

$$\sigma_x^{max} = \rho \cdot g \cdot h \cdot \frac{\nu}{1 - \nu} = 2000 \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \cdot 9.81 \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right] \cdot 15 [\text{м}] \cdot \frac{0,35}{1 - 0,35} = 0,158 [\text{МПа}]$$

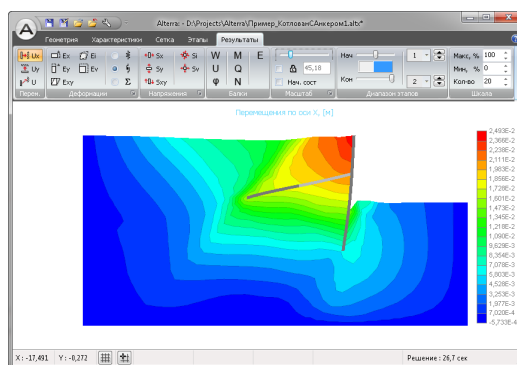
Относительная погрешность численного решения от аналитического составляет 2%. Это обусловлено осреднением результатов при отображении и дискретизацией сетки. Погрешность будет стремиться к нулю при измельчении сетки.

## Этап 2

Для отображения величины горизонтальных перемещений грунта на последней стадии откопки котлована необходимо нажать кнопку "Перемещения X"  в группе "Перемещения". Кроме того, необходимо указать следующий диапазон этапов: Нулевой этап = 1, конечный этап = 2, чтобы отобразить приращение перемещений в процессе откопки

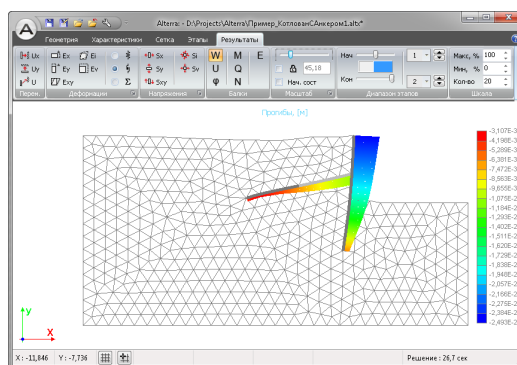


котлована.



Вы можете управлять степенью искривления деформированной сетки изменяя положение ползунка в Группе Масштаб.

Для отображения горизонтальных перемещений ограждения, необходимо нажать кнопку "Прогиб" в группе "Балки"



Для отображения интенсивности пластических деформаций грунта необходимо нажать кнопку "Интенс. деф." и выбрать режим отображения "Пластические" в группе "Деформации"

