



ООО "ИнжПроектСтрой"
тел. 8 (499) 372-51-65
моб. 8 (495) 211-79-03
www.geo-soft.ru
info@geo-soft.ru

Руководство пользователя



Alterra 2D 2.1.0

Дата редакции: 22.05.2014

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"

© 2014 ООО "ИнжПроектСтрой".
С сохранением всех прав

Содержание

1 Введение	5
2 Модели поведения материалов	6
2.1 Линейно-упругая модель	6
2.2 Линейно-упруго-пластическая модель с критерием Кулона.....	6
2.3 Нелинейно-упруго-пластическая модель с критерием Кулона.....	7
3 Обзор программы	9
3.1 Главное меню	9
3.1.1 Меню "Файл"	10
3.1.2 Меню "Вставка"	10
3.1.3 Меню "Сервис"	11
Настройки	11
3.1.4 Меню "Справка"	12
3.2 Панель инструментов	12
3.3 Лента.....	13
3.3.1 Геометрия.....	14
Точки	14
Линии	15
Области	15
Выбор	15
Объекты	16
3.3.2 Характеристики	16
Материалы	16
Сечения	17
Конструкции	17
3.3.3 Сетка	18
Параметры сетки	18
Сетка	18
3.3.4 Этапы.....	19
Граничные условия	19
Этапы	19
Выбор этапа	19
Решение	20
3.3.5 Результаты.....	20
Перемещения	21
Деформации	21
Напряжения	21
Балки	22
Масштаб	22
Диапазон этапов	23
Шкала	23
4 Базовые операции	24
4.1 Новый проект.....	24
4.2 Открыть проект	24

4.3	Создание координатной сетки	25
4.4	Работа с геометрией	26
4.4.1	Работа с точками	26
	Добавление узловых точек	26
	Удаление узловых точек	27
4.4.2	Работа с линиями	28
	Построение линий	28
	Удаление линий	29
4.4.3	Работа с областями	29
	Создание областей	29
	Удаление областей	31
4.5	Физико механические свойства материалов	31
4.6	Вывод результатов	32
5	Примеры	34
5.1	Пример ограждение котлована с анкером	34
5.1.1	Работа с геометрией	34
	Добавление узловых точек	34
	Построение линий	35
	Создание областей	35
5.1.2	Создание материалов	36
5.1.3	Создание сечений	37
5.1.4	Назначение материалов и сечений	37
5.1.5	Создание анкеров	38
5.1.6	Создание сетки	39
5.1.7	Задание граничных условий	40
5.1.8	Создание этапов	41
5.1.9	Расчёт	43
5.1.10	Вывод результатов	45

Введение

Alterra - программа для геотехнических расчётов, основанная на Методе Конечных Элементов (МКЭ) (О. Зенкевич "Метод").

Программа Alterra предназначена для расчёта напряженно-деформированного состояния системы "грунт - 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, эксплуатацией и реконструкцией строительных объектов.

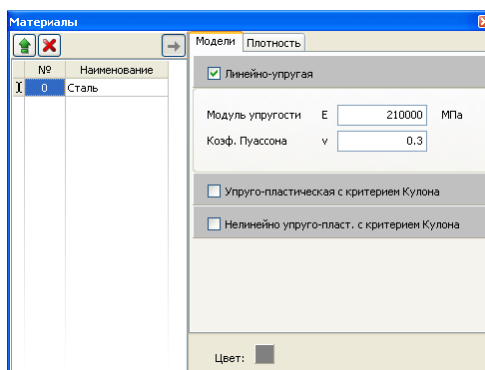
В программе реализованы три различные модели поведения грунта: линейно-упругая, линейно-упруго-пластическая с критерием перехода в пластическое состояние по Кулону, нелинейно-упруго-пластическая с критерием перехода в пластическое состояние по Кулону и нелинейной объемной сжимаемостью.

Возможности программы:

- 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 осадки поверхности при проходке тоннелей
- Расчёт свай по прочности и несущей способности

Модели поведения материалов

1. Линейно-упругая модель



Самая простая и, как следствие, самая распространённая модель поведения материалов с линейной связью между напряжениями и деформациями характеризуется двумя константами:

E - модуль упругости материала [МПа].

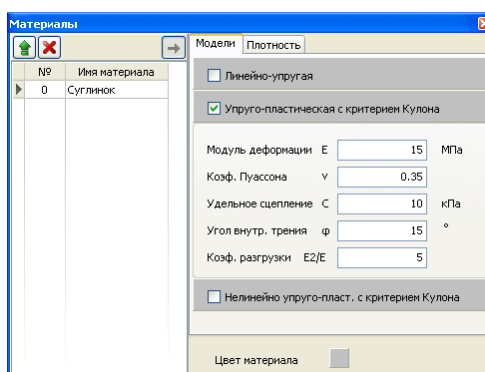
ν - коэффициент Пуассона

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 Основания, фундаменты и подземные сооружения Е.А. Сорочана:

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

2. Линейно-упруго-пластическая модель с критерием Кулона



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

c - сцепление [кПа]

ϕ - угол внутреннего трения [°]

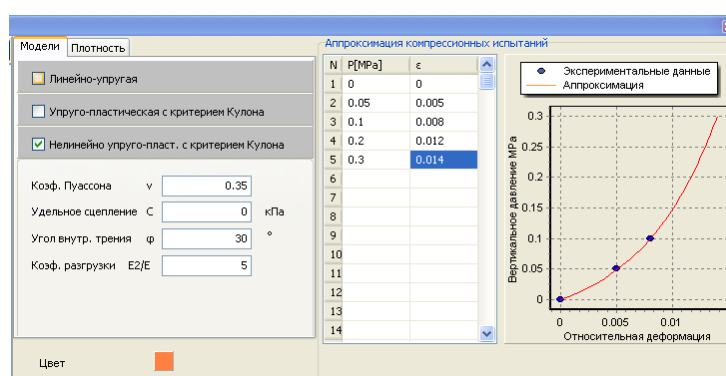
E - модуль общих деформаций [МПа]

ν - 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 значение допускается принимать 5). Допустимый диапазон значений [1..10]

Примечание: c и ϕ необходимо задавать по результатам срезовых испытаний.

3. 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]

ϕ - угол внутреннего трения [°]

ν - 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 значение допускается принимать 5). Допустимый диапазон значений [1..10].

Примечание: прочностные параметры c и ϕ необходимо задавать по результатам срезовых испытаний.

Функция, аппроксимирующая кривую упрочнения по объемной составляющей, имеет

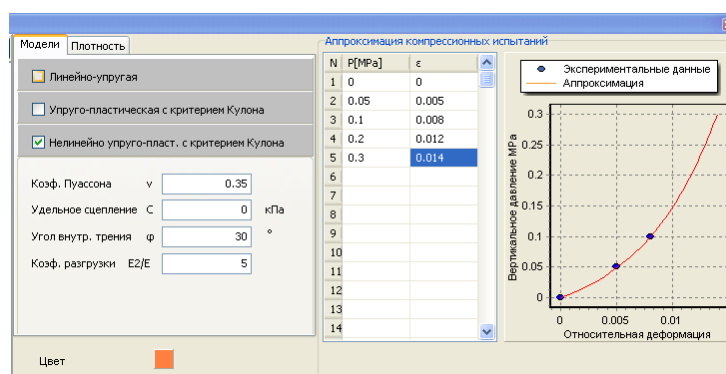
следующий вид:

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

где ε_v - объемная деформация;

σ_v - объемное напряжение.

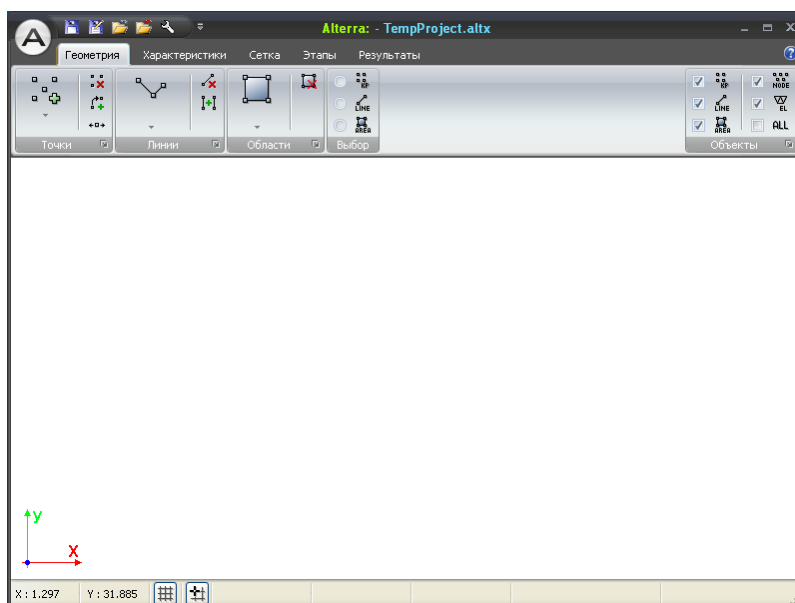
λ , P_0 - параметры аппроксимации компрессионной кривой упрочнения по объемной составляющей



Аппроксимация компрессионных испытаний

Обзор программы

Окно запущенной программы выглядит следующим образом:

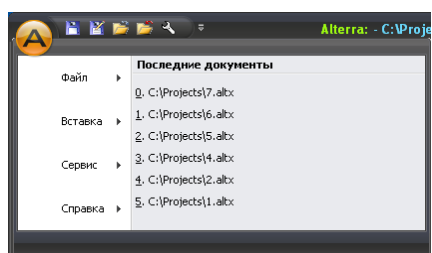


Окно программы состоит из следующих элементов:

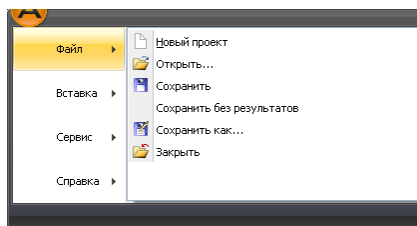
- Главное меню
- Панель инструментов
- Лента
- Графическое поле






1. Главное меню

Верхнее меню состоит из следующих пунктов: «Файл», «Вставка», «Сервис» и «Справка».

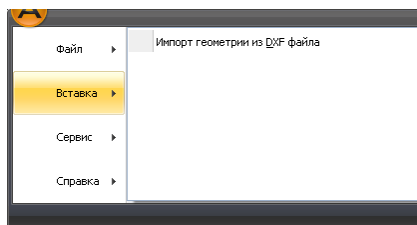


Меню "Файл"



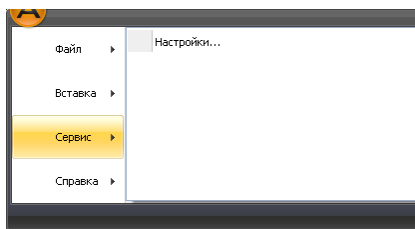
	<i>Новый проект</i>	создаёт новый рабочий проект (сочетание клавиш Ctrl + N).
	<i>Открыть...</i>	открывает диалоговое окно выбора ранее созданного проекта, для продолжения работы над ним (сочетание клавиш Ctrl + O).
	<i>Сохранить</i>	сохраняет текущий проект (сочетание клавиш Ctrl + S).
	<i>Сохранить без результатов</i>	сохраняет геометрию и сетку текущего проекта. Результаты расчетов не сохраняются для экономии места, например при отправке файла электронной почтой.
	<i>Сохранить как...</i>	открывает диалоговое окно сохранения текущего проекта под новым именем и в другой версии формата хранения файлов Alterra.
	<i>Закреть</i>	закрывает текущий проект (программа остается открытой и переходит в режим создания нового проекта).

Меню "Вставка"

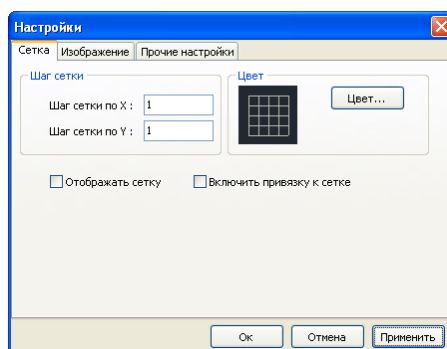


Импорт геометрии из DXF-файла... – позволяет импортировать геометрию из файлов формата DXF. Это удобно, если у Вас подготовлен чертеж в сторонних программах, например в AutoCad. При импорте необходимо, чтобы DXF файл содержал только точки и простые отрезки (без полилиний).

Меню "Сервис"

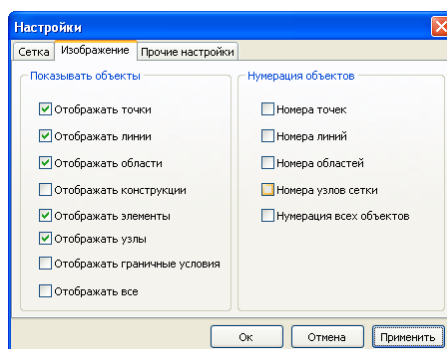


Настройки... - открывает окно настроек программы.



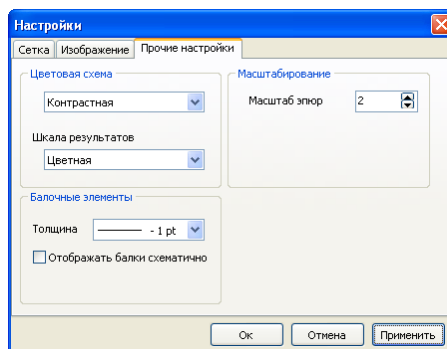
Настройки координатной сетки

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



Настройки отображения объектов в графическом поле

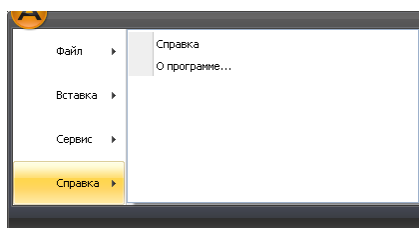
Вкладка позволяет управлять отображением объектов в графическом поле.



Настройки отображения результатов расчета в графическом поле

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

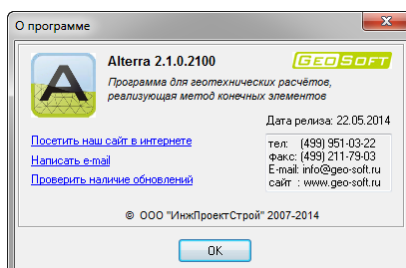
Меню "Справка"



Справка – показывает справку по программе (быстрый вызов - F1).

О программе... – показывает пользователю информацию о версии программы и контактные данные разработчика.

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







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

2. Панель инструментов



Панель инструментов содержит часто употребляемые команды:

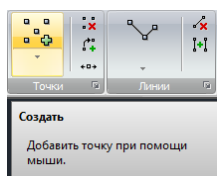
	<i>Сохранить</i>	сохраняет текущий проект (сочетание клавиш Ctrl + S)
--	------------------	--


	<i>Сохранить как...</i>	открывает диалоговое окно сохранения текущего проекта под новым именем и в другой версии формата хранения файлов Alterra.
	<i>Открыть...</i>	открывает диалоговое окно выбора ранее созданного проекта, для продолжения работы над ним (сочетание клавиш Ctrl + O).
	<i>Заккрыть</i>	закрывает текущий проект.
	<i>Настройки...</i>	открывает окно настроек программы. См. описание Главное меню - Меню Сервис - Настройки

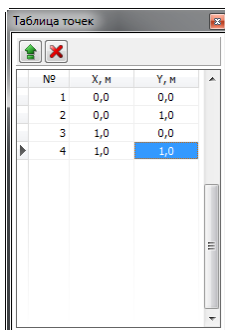
3. Лента

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.

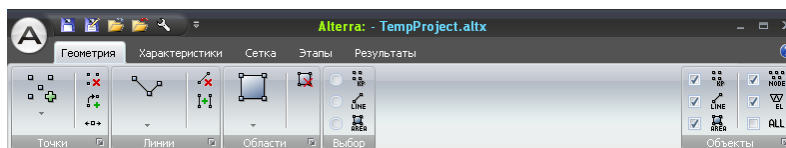


Дополнительные функции, относящиеся к ГРУППЕ доступны из диалоговых окон, которые появляются при нажатии на кнопку . Например, для точек после нажатия на эту кнопку появляется диалоговое окно "Таблица точек" с координатами точек в текущем проекте.

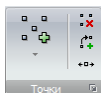


№	X, м	Y, м
1	0,0	0,0
2	0,0	1,0
3	1,0	0,0
4	1,0	1,0

Геометрия

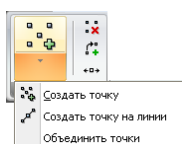


На вкладке представлены группы кнопок:



— *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	15.0
1	0.0	0.0
2	50.0	0.0
3	50.0	15.0
4	30.0	15.0
5	30.0	5.0
6	30.0	10.0
7	30.0	12.0
8	50.0	10.0
9	50.0	12.0
10	30.0	0.0
11	23.75	9.55
12	17.143	6.781

Во вспомогательном окне присутствуют кнопки



- добавить новую точку в конец таблицы точек

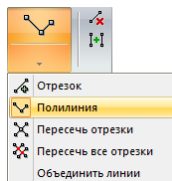


- удалить текущую запись из таблицы



– *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	1	0	9	1		
1	0	4	20	0,2		
2	4	7	7	1	Сталь	Ограждение
3	7	6	5	1	Сталь	Ограждение
4	6	5	11	1	Сталь	Ограждение
5	5	10	11	1		
6	10	2	20	5		
7	2	8	6	1		
8	8	9	2	1		

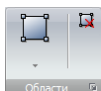
Во вспомогательном окне присутствуют кнопки



- добавить новую точку в конец таблицы точек

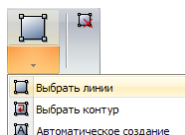


- удалить текущую запись из таблицы



– *Области*, позволяет создавать и удалять области.

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



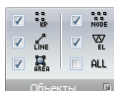
- перейти в режим удаление областей при помощи мыши.



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

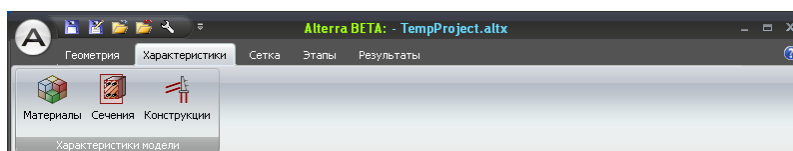
Для выбора доступны варианты - точки, линии, области.

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.



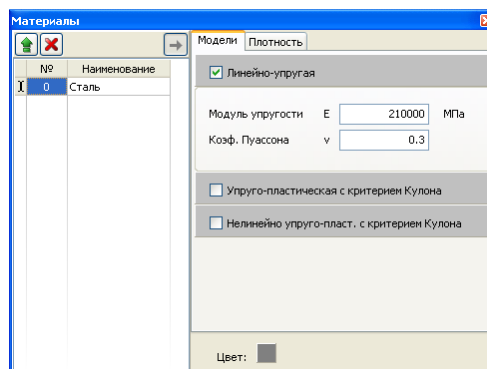
— *Объекты*, позволяет пользователю осуществить быстрый выбор графических объектов, которые будут отображаться в графическом окне. Эта группа располагается по правой стороне экрана на большинстве страниц ленты.

Характеристики



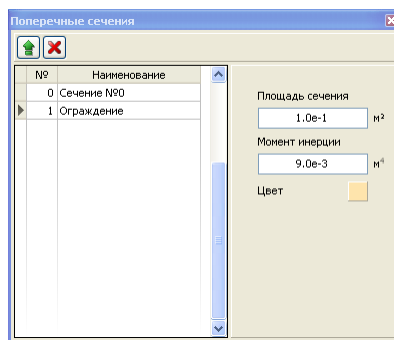
На вкладке представлены группы кнопок:

Кнопка "Материалы" открывает окно задания свойств материалов.



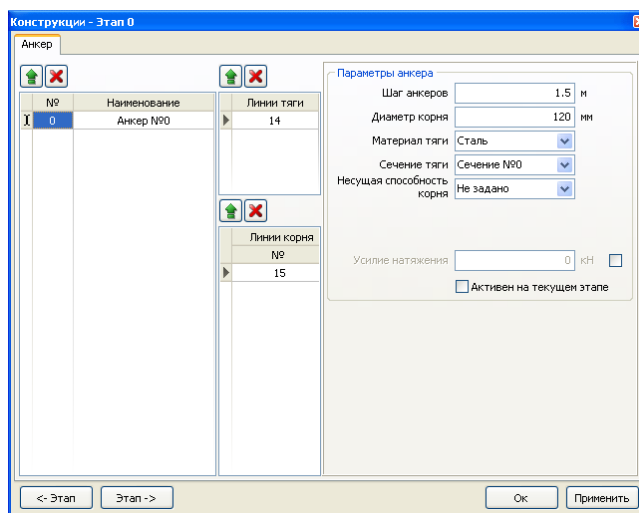
Для получения подробной информации по используемым моделям материалов обратитесь в раздел **Материалы**.

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



Для задания сечения необходимо указать его площадь и момент инерции.

Кнопка "Конструкции" открывает окно задания характеристик взаимосвязанных групп элементов, которые объединяются термином "Конструкция". На текущий момент эта форма позволяет задавать параметры анкеров:



Поле "Несущая способность корня позволяет" определить методику расчета несущей корней анкеров по грунту.

По умолчанию выбран вариант "Не задано". В этом случае прочность контакта корня анкера и грунта полагается бесконечной.

В случае выбора "предела прочности" программа будет контролировать напряжения контакта корня анкера и грунта и ограничивать их введенной пользователем величиной.

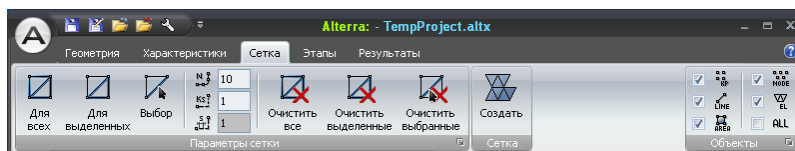
Таким образом появляется возможность учитывать в расчетах возможные пластические деформации анкеров по грунту.

Для расчета анкеров Важно задать этапы, на которых Анкер активен, то есть этапы работы

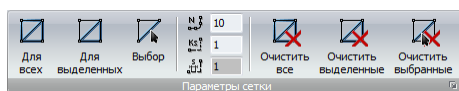
анкера. Для таких этапов необходимо установить флаг "Активен на текущем этапе".

Усилие преднатяжения необходимо задавать на соответствующем этапе.

Сетка



На вкладке представлены группы кнопок:



- *Параметры сетки*, 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 следующий параметры разбивки:

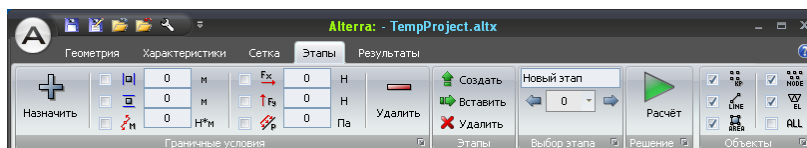
- количество узлов на линии (N) и коэффициент сгущения этих узлов
- фиксированный размер элемента на линии



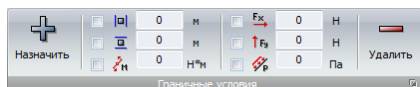
- *Создать сетку*, позволяет выполнить генерацию конечно-элементной сетки на всей модели, или на отдельных областях (полигонах).

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.

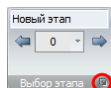


– *Этапы*, позволяет создавать и удалять этапы расчёта.

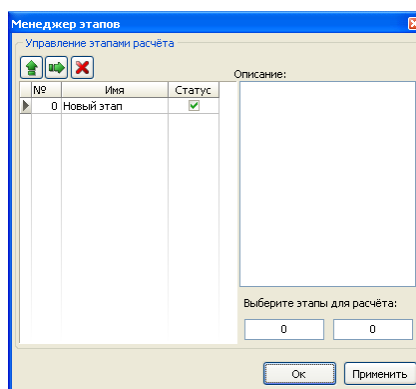
Кнопка "Создать" создаёт новый этап в конце очереди этапов расчёта.

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

Кнопка "Удалить" удаляет текущий этап расчёта.



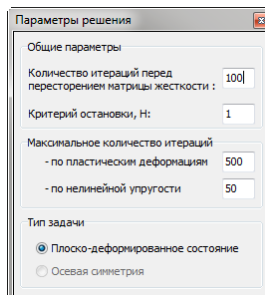
– *Выбор этапа*, предназначен для навигации между созданными этапами расчёта. Позволяет получить доступ к окну дополнительных параметров (на рисунке обведено зеленым кругом).



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.



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

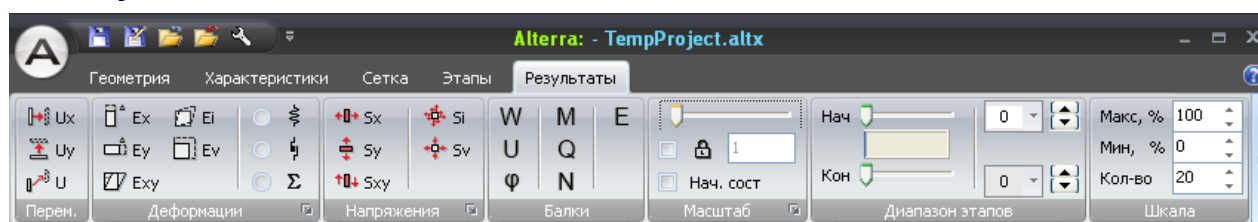
Решение системы уравнений в программе выполняется комбинацией методов переменных жесткостей и начальных напряжений. Метод переменных жесткостей подразумевает перестроение матрицы жесткости, что является достаточно длительной операцией, но позволяет ускорить метод начальных напряжений, то есть позволяет 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.

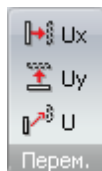
Максимальное количество итераций, задает количество итераций по пластическим деформациям и по нелинейной упругости, при достижении которого будет предложена возможность остановки расчета или его продолжения, в том случае когда критерий остановки не достигнут.

Тип задачи, позволяет выбрать тип решения задачи, плоско-деформированное напряженное состояние или осевая симметрия. В данной версии программы доступен только расчет в условия плоскодеформированного напряженного состояния (недоступен расчет осесимметричных задач).

Результаты

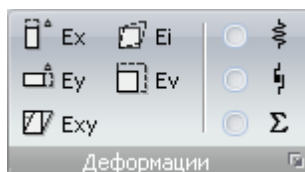


На вкладке представлены группы кнопок:



Группа кнопок позволяет отображать следующие поля:

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

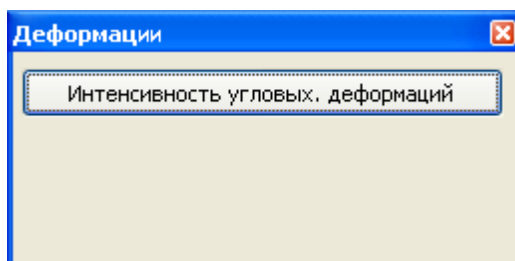


Группа кнопок позволяет отображать следующие поля:

- Деформации вдоль оси X (горизонтальные)
- Деформации вдоль оси Y (вертикальные)
- Касательные (угловые) деформации
- Интенсивности полных деформаций
- Объемные деформации

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

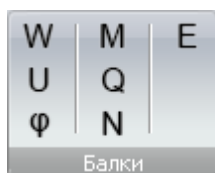
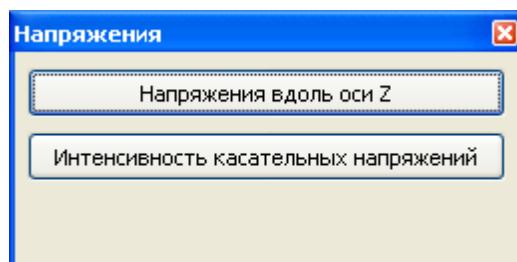
Имеется возможность выводить дополнительные поля деформаций используя соответствующее окно:



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

Имеется возможность выводить дополнительные поля напряжений используя соответствующее окно:



Группа кнопок позволяет отображать следующие эпюры для балочных элементов:

W - Прогибы

U - Продольные перемещения

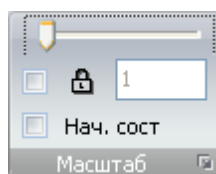
Ф - Углы поворота

M - Игибающие моменты

Q - Перерезывающие усилия

N - Продольные усилия

E - Продольные деформации



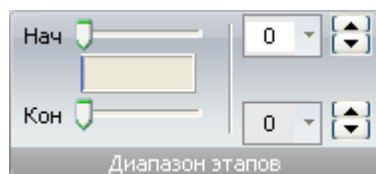
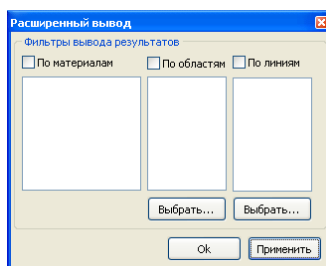
Группа кнопок позволяет управлять масштабом отображения деформированного состояния расчетной схемы после расчета. Программа позволяет задавать либо относительную величину коэффициента масштабирования (через ползунок), либо абсолютное

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

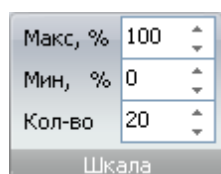
Флажок "начальное состояние" позволяет выводить одновременно с деформированной геометрией ее начальное состояние (недеформированное).

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:



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

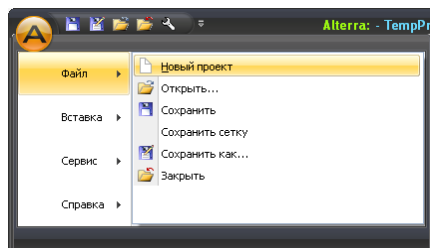


Группа позволяет сокращать диапазон значений отображаемого поля. Эта функция необходима для возможности отображения результатов с учетом концентраторов напряжений.

Базовые операции

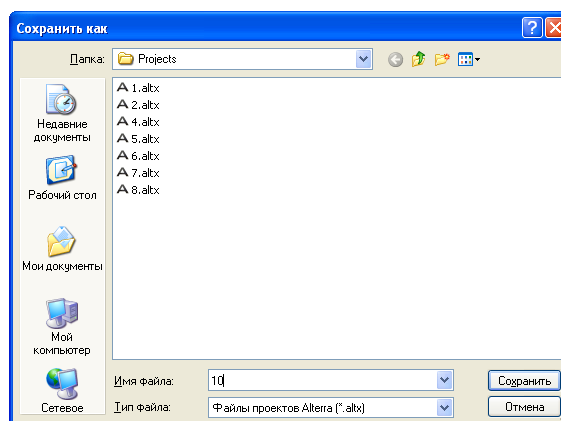
1. Новый проект

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



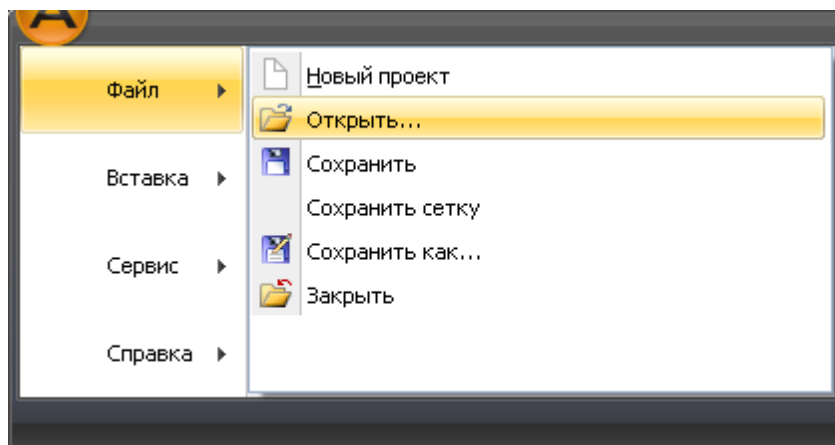
После выполнения этих команд появляется стандартное окно диалога, в котором нужно:

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



2. Открыть проект

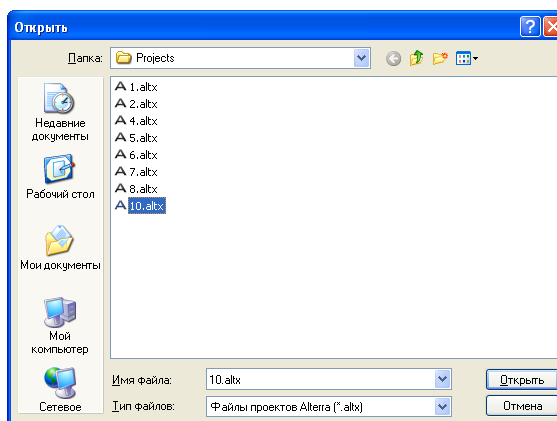
Для продолжения работы в ранее созданном проекте его следует открыть командой меню:



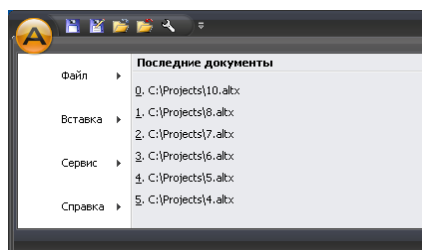
Открыть ранее созданный проект можно нажатием сочетания клавиш Ctrl + O.

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».

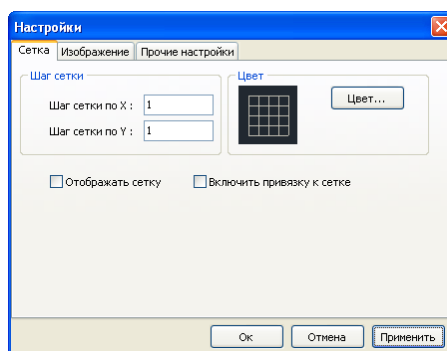


При повторном обращении к программе доступна функция открытия одного из последних проектов:



3. Создание координатной сетки

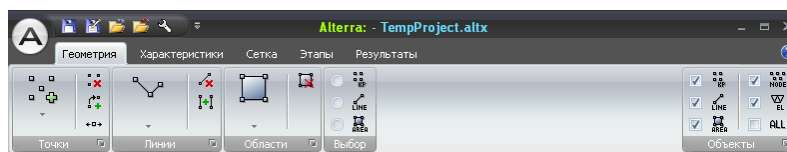
Для удобства задания узловых точек с помощью мышки в программе существует возможность создания вспомогательной равномерной сетки с помощью кнопки  в строке статуса (либо клавиши F9), и привязки курсора мыши к узлам этой сетки с помощью кнопки . Настройки параметров вспомогательной сетки можно сделать, 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.

4. 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"

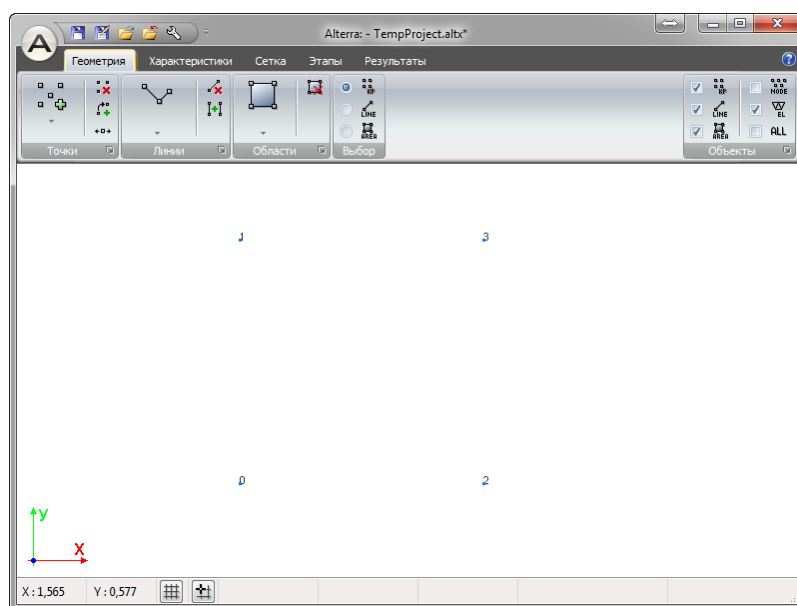


В появившемся окне "Таблица точек" ввести координаты при помощи клавиатуры.


№	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.

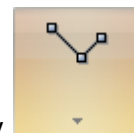


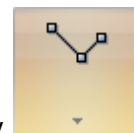
Работа с линиями

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



Линии можно задать двумя способами:



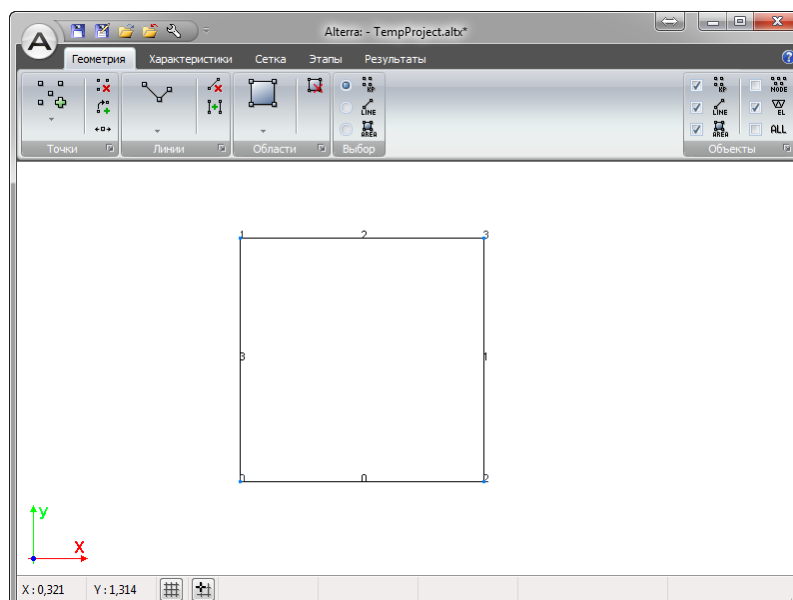
1. В группе "Линии" выбрать режим создания линий "Полилиния" нажав кнопку . Необходимо последовательно соединить точки, нажав на них левой кнопкой мыши. Конец первой линии является началом второй, для завершения задания полилиний нужно нажать




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:



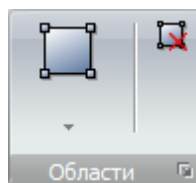
Удалить линии можно двумя способами:

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.



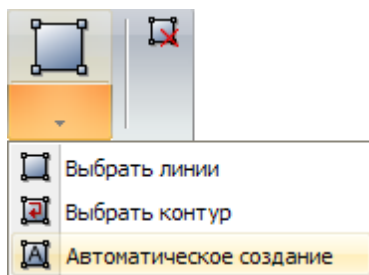
Работа с областями

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



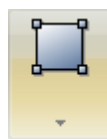
Полигоны можно создать следующими способами:

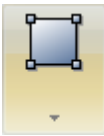
1. В группе "Области" нажать кнопку автоматического создания полигонов, программа автоматически найдет все замкнутые выпуклые непересекающиеся области.



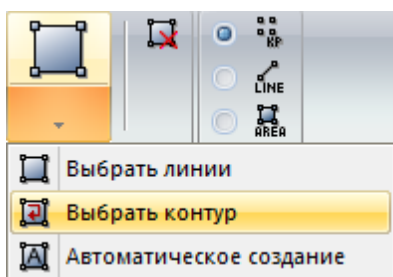
Примечание:

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

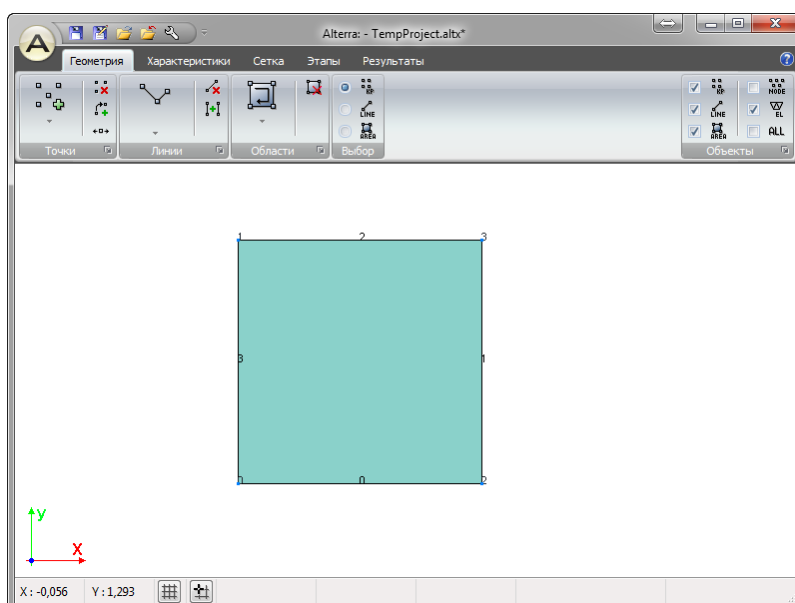


2. В группе "Области" нажать кнопку "Выбор линий" , затем выбрать при помощи левой кнопки мыши линии, образующие замкнутый непересекающийся контур и нажать правую кнопку мыши для создания области.


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:



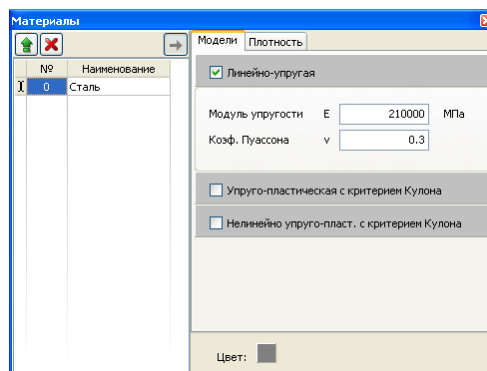
Удалить области можно двумя способами:


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.



5. 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.

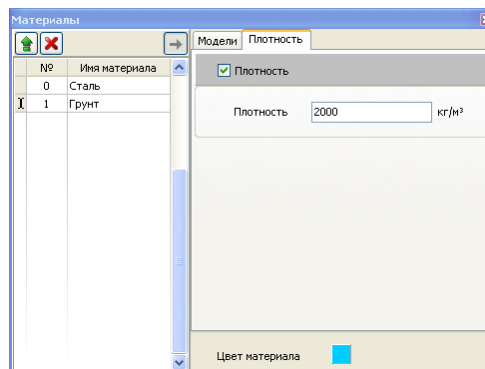
- Нелинейно упруго-пласт. с критерием Кулона - это наиболее сложная модель,

позволяющая учитывать данные компрессионных испытаний при деформировании грунтов.

Для получения подробной информации по используемым моделям материалов обратитесь в раздел Материалы.

Для учета собственного веса материала необходимо перейти на вкладку "плотность" и

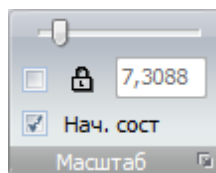
выбрать возможность учета плотности  Плотность, после этого установить ее значение.



6. 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:

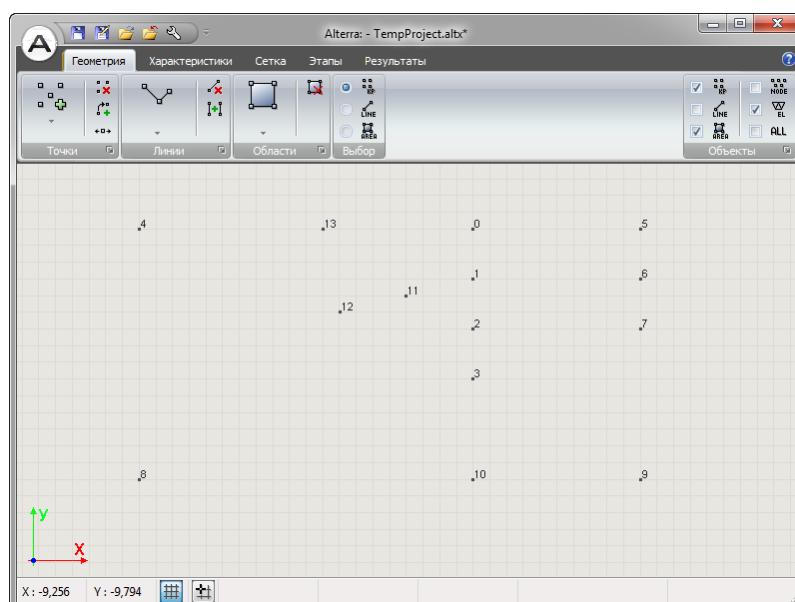


Таблица точек принимает вид.

№	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	-20,0	0,0
5	10,0	0,0
6	10,0	-3,0
7	10,0	-6,0
8	-20,0	-15,0
9	10,0	-15,0
10	0,0	-15,0
11	-4,0	-4,0
12	-8,0	-5,0
13	-9,0	0,0

Для построения линий нужно в группе "Линии" и нужно 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:

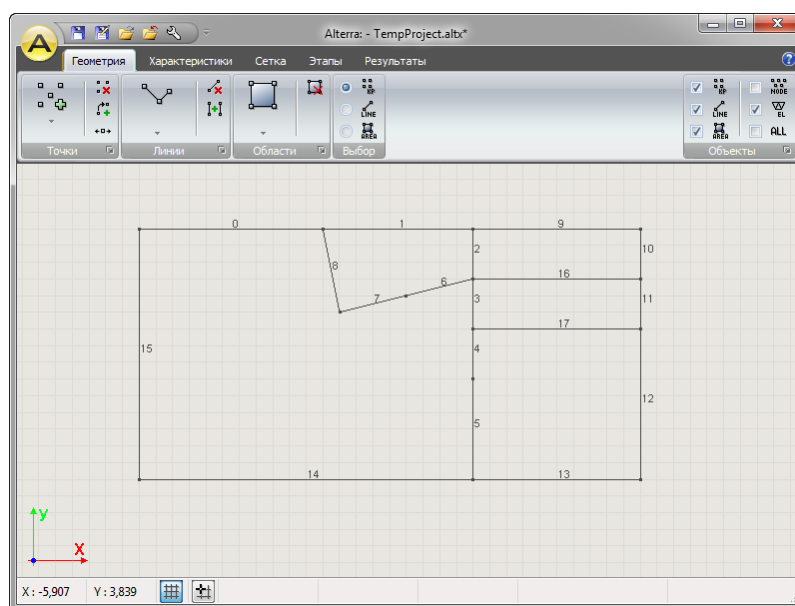
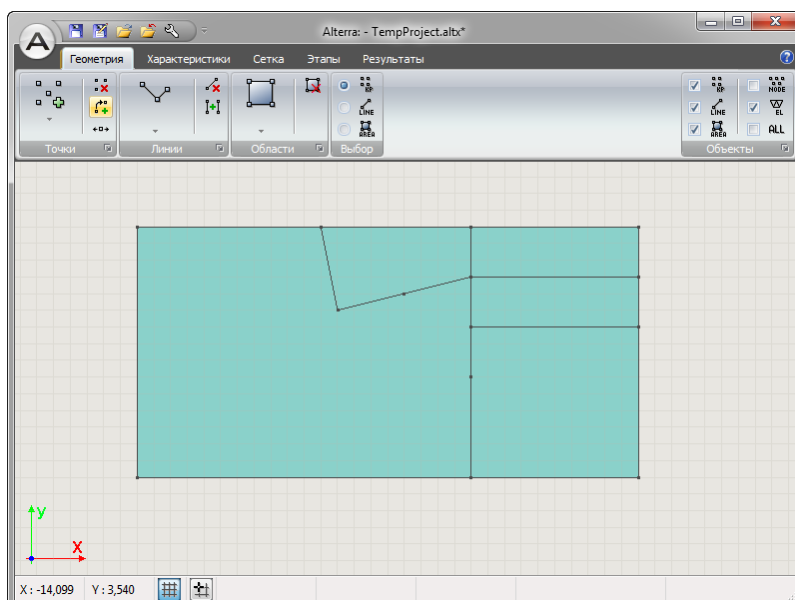


Таблица линий принимает вид:

№	Точка начала	Точка конца	Количество узлов	Концентрация узлов
0	4	13	2	1
1	13	0	2	1
2	0	1	2	1
3	1	2	2	1
4	2	3	2	1
5	3	10	2	1
6	1	11	2	1
7	11	12	2	1
8	12	13	2	1
9	0	5	2	1
10	5	6	2	1
11	6	7	2	1
12	7	9	2	1
13	9	10	2	1
14	10	8	2	1
15	8	4	2	1
16	1	6	2	1
17	2	7	2	1

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:



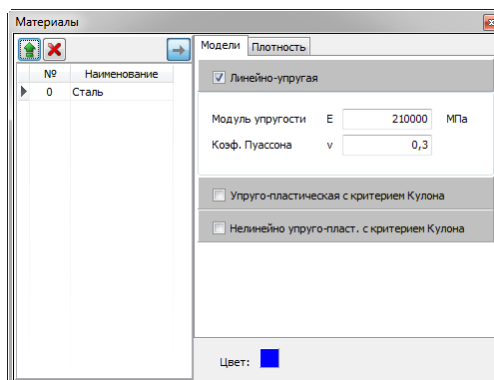
Создание материалов

Добавим два материала: "Сталь" для шпунта и несущего элемента анкера, и "Суглинок" для моделирования грунта.

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

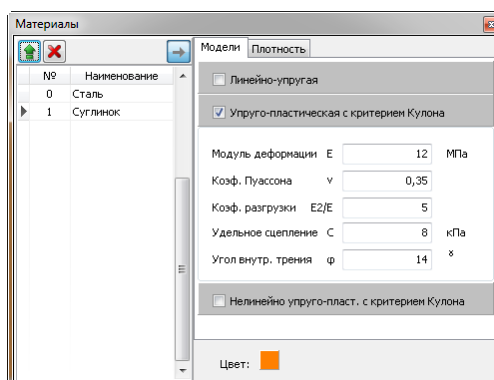
$\nu = 0.35$ - коэффициент Пуассона

$c = 8$ кПа - удельное сцепление грунта

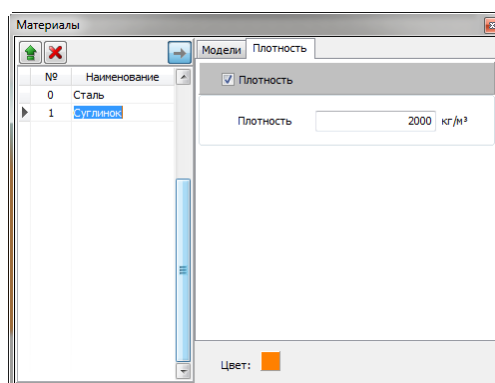
$\phi = 14^\circ$ - угол внутреннего трения грунта

$E2/E = 5$ - коэффициент разгрузки

Также можно выбрать интересующий цвет материала.



Для учета собственного веса грунта необходимо перейти на вкладку "плотность", установить флажок учета плотности и задать ее значение.

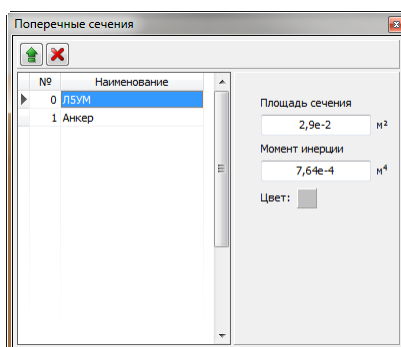


Создание сечений

Зададим параметры сечения шпунта Л5УМ:

$S = 0.0290 \text{ [м}^2\text{]}$ - площадь сечения

$I = 7.64 \cdot 10^{-4} \text{ [м}^4\text{]}$ - момент инерции сечения



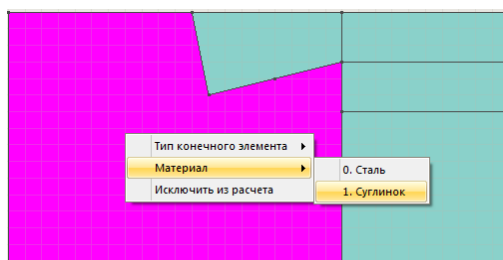
Параметры сечения тяги анкера Атлант 73x11:

$S = 2142 \cdot 10^{-6} \text{ [м}^2\text{]}$ - площадь сечения

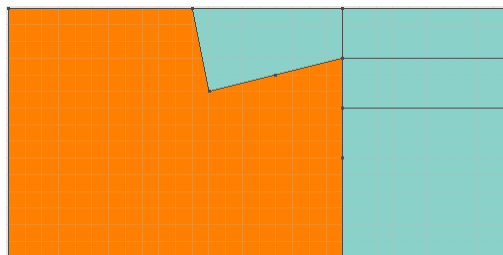
$I = 1.061 \cdot 10^{-6} \text{ [м}^4\text{]}$ - момент инерции сечения

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".

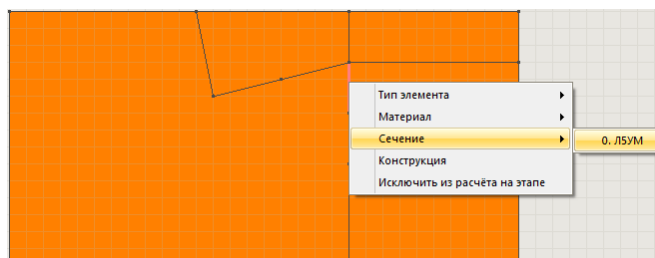


После назначения область приобретёт новый цвет, соответствующий выбранному материалу.



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.

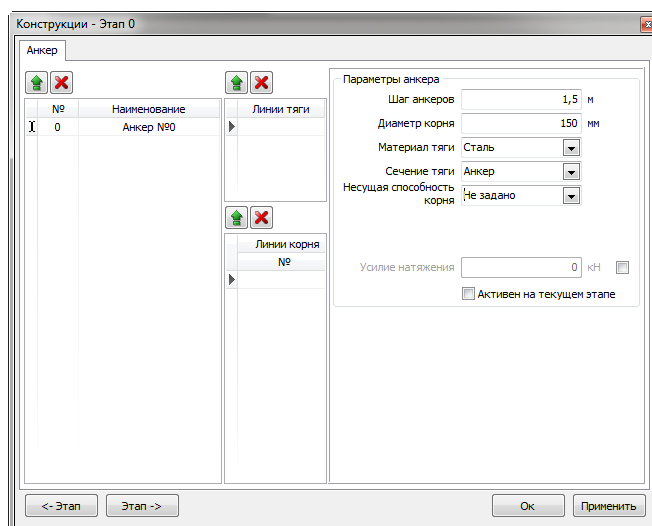


Необходимо назначить на вертикальные линии в центре расчетной схемы сечение Л5УМ, материал сталь, тип конечного элемента - балочный через контекстное меню.

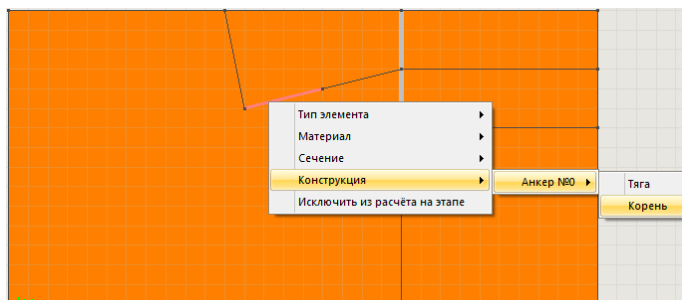
Создание анкеров

Окно конструкции позволяет задать анкер.

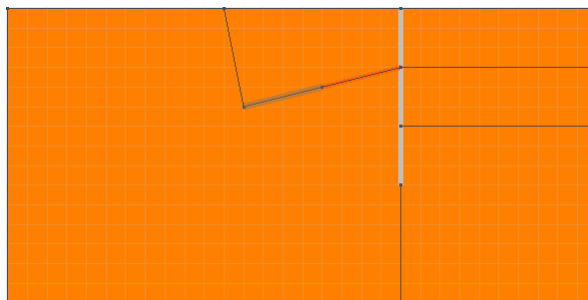
Для создания нового анкера необходимо нажать кнопку  в окне создания конструкций. И задать параметры анкера



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.



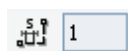
Окончательно расчетная схема примет вид.



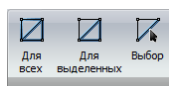
Создание сетки

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

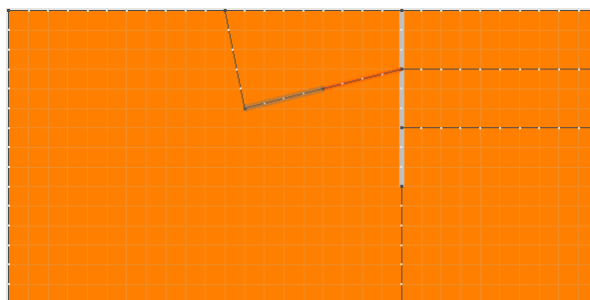
Программа Alterra позволяет создавать как однородные так и не однородные сетки. Рассмотрим создание однородной сетки. Для этого необходимо задать размер элемента



и нажать кнопку "для всех" в группе "параметры сетки" на вкладке "сетка".



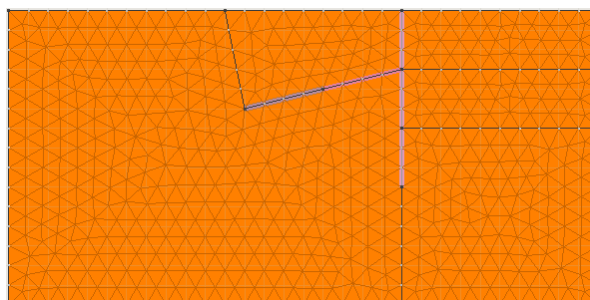
После назначения параметров разбивки, линии будут отображаться пунктиром. Длина отрезка пунктира соответствует размеру элемента.



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

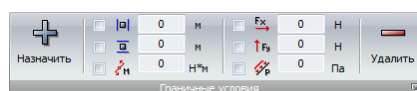



После этого модель будет разбита на конечные элементы, в нашем случае это треугольные шести-узловые элементы моделирующие грунт и балочные элементы моделирующие ограждающую конструкцию из шпунта.

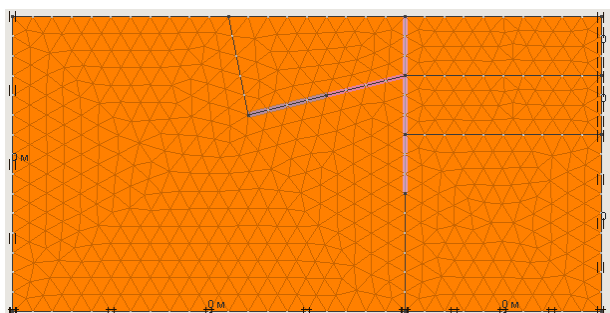


Задание граничных условий

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

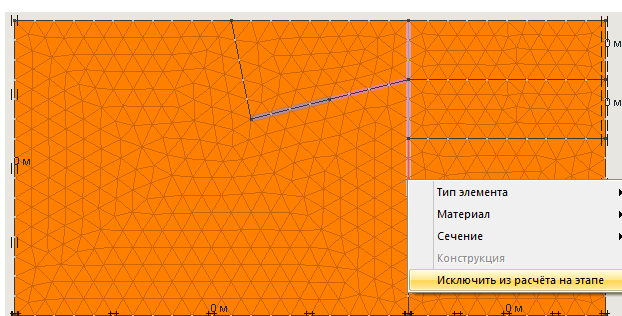
При расчете любых геотехнических задач необходимо учитывать действующие напряжения в грунтовом массиве с учетом уже существующих конструкций и воздействий, находящихся в непосредственной близости от проектируемого (рассчитываемого) объекта, то есть учитывать историю нагружения грунтового массива. Для 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.

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

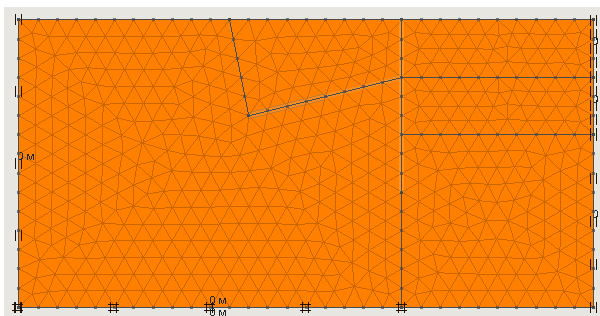
- 0 - деформация грунта под собственным весом, ограждение отсутствует;
- 1 - установка ограждения и откопка котлована до отметки первого этапа;
- 2 - включение анкера в расчет и откопка котлована до отметки второго этапа;

Этап 0


Для того чтобы исключить ограждение из расчета необходимо выполнить двойной клик левой кнопки "мыши" на соответствующей линии, после этого нажать правую кнопку "мыши" 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.

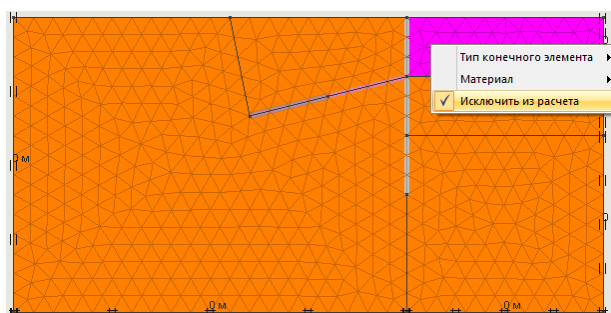




Этап 1

Создание 1-го этапа выполняется при нажатии кнопки "создать"  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.



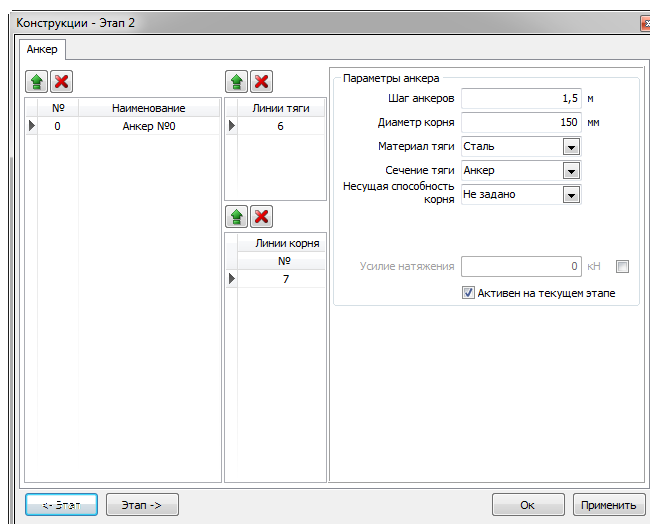
Для переключения между этапами следует использовать кнопки  и 

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

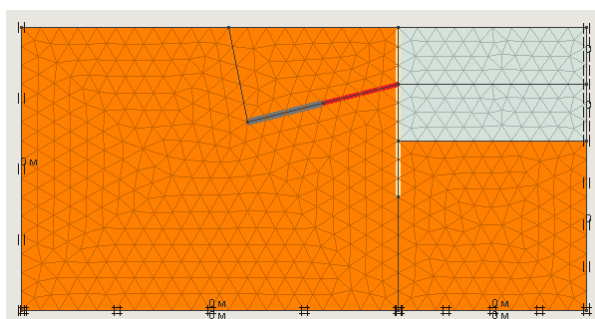
Этап 2

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".



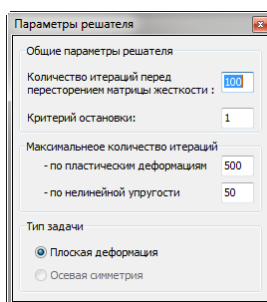
Также на этом этапе выполняется откопка котлована до второй отметки, для того чтобы смоделировать это в программе исключим из расчета соответствующую область. После описанных действий расчетная схема примет следующий вид:



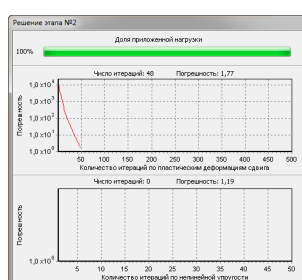
Расчёт

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.

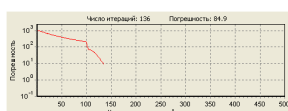


После того как нажата кнопка "расчет" происходят проверки расчетной схемы и выполняется процесс решения. Когда происходит решение на экране отображается окно с информацией об итерационном процессе решения текущего этапа. На рисунках ниже приведено изображения окна с информацией о процессе расчета для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

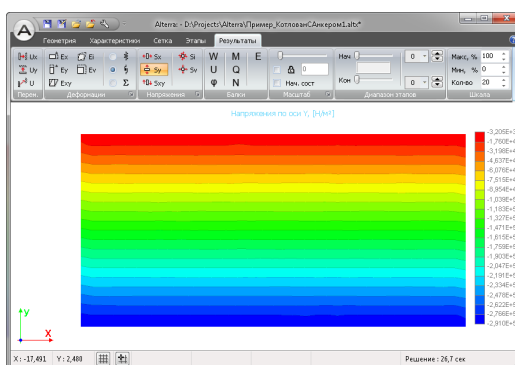


Вывод результатов

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.




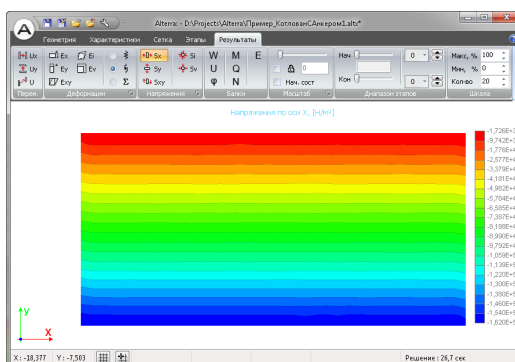
Величина вертикальных напряжений (по модулю) линейно увеличивается с глубиной, ее максимальное значение составляет 0.291 МПа.

Значение максимального 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.

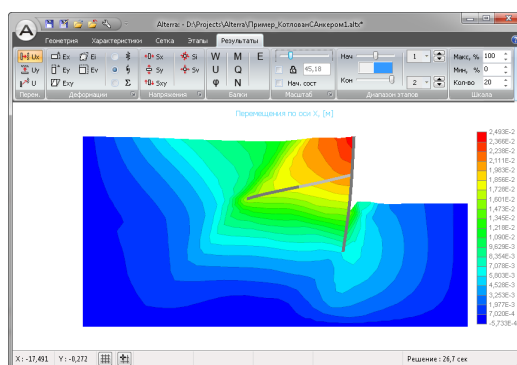
Значение максимального горизонтального напряжения в данном случае можно вычислить аналитически:

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

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.

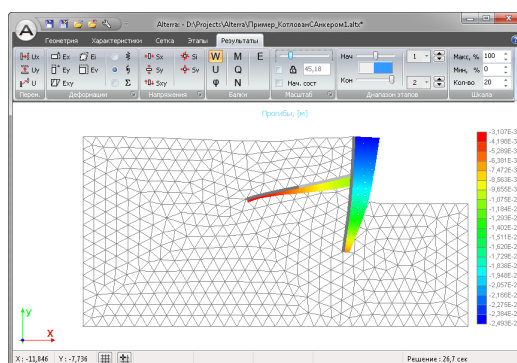
Этап 2

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



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"

