



PROROCK 0.1

Руководство пользователя

апрель 2018

Содержание

1 Общие сведения	3
1.1 Назначение сервиса	3
1.2 Как это работает?	3
1.3 Условия применения	4
2 Основные функции.....	6
2.1 Вход.....	6
2.2 Импорт	7
2.3 Навигация	9
2.4 Задание параметров модели	10
2.4.1 Задание свойств пород	11
2.4.2 Задание свойств трещин	15
2.4.3 Задание настроек вычислений	16
2.5 Выполнение вычислений	18
2.6 Просмотр результатов.....	19
3. Возможные проблемы.....	22
3.1 Проблемы с подключением	22
3.2 Проблемы с вычислениями	24
4. Источники дополнительной информации	28

1 Общие сведения

1.1 Назначение сервиса

Сервис Prorock предназначен для моделирования различных задач геомеханики. Мощный математический аппарат сервиса позволяет моделировать деформационные процессы с любыми величинами деформаций, как упругие, так и происходящие с разрывами сплошности, фрагментацией и последующим смещением фрагментированных масс.

Программно-аппаратный комплекс Prorock является инструментом, специализированным на моделировании геомеханических процессов, для чего в его процессоре реализован алгоритм принудительной стабилизации, при расчетах учитываются предельное деформирование с критерием прочности Кулона, дилатансия, изменчивость прочностных характеристик, тектонические нарушения и анизотропия прочностных свойств, пластическое деформирование конечных элементов и пр.

1.2 Как это работает?

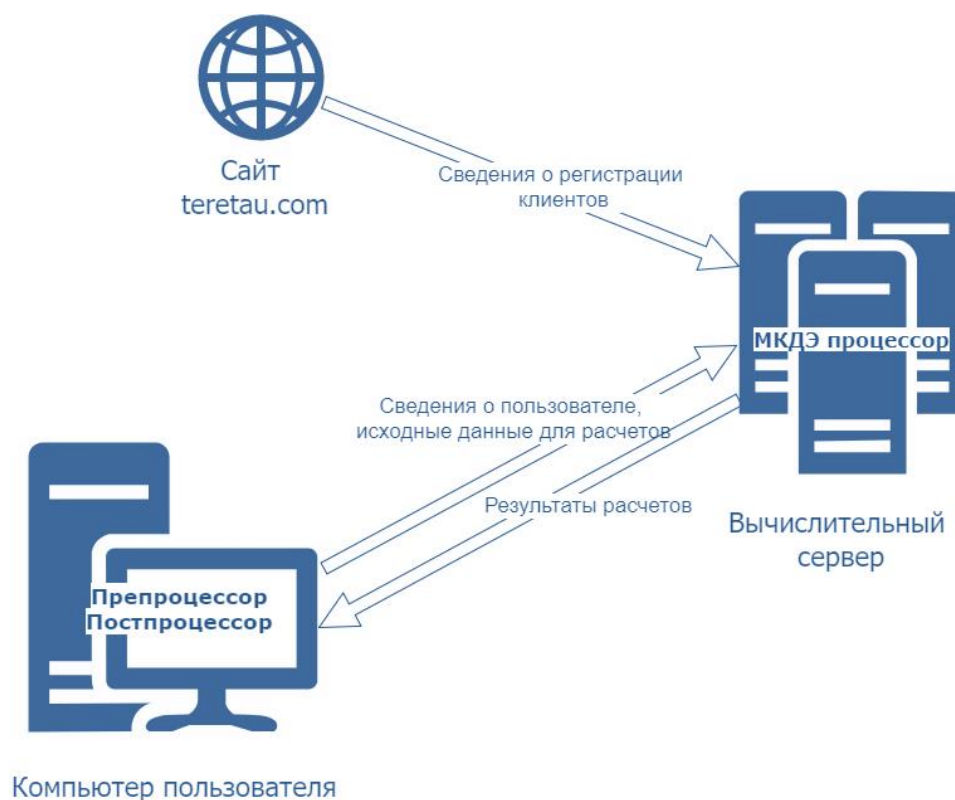
Prorock представляет собой систему, состоящую из нескольких модулей.

Клиент работает с пре/постпроцессором Prorock, в котором выполняется построение модели, запуск расчётов на сервере, получение и просмотр результатов вычислений.

На сервере находится программа, обрабатывающая запросы клиентов и процессор Prorock, выполняющий геомеханические расчеты.

На сервере установлены высокопроизводительные графические процессоры общего назначения, на которых с высокой скоростью выполняются вычисления.

В целом работу системы можно описать следующей картинкой*.



* в Prorock версии 0.1 регистрация пользователей на сайте не реализована

1.3 Условия применения

Prorock применим для решения практически любых задач геомеханики.

Prorock ограниченно применим при решении задач, которые невозможно свести к двумерной постановке, например, для расчёта деформаций выработок, криволинейных в плане. Следует заметить, что это ограничение справедливо для всех программ, считающих только плоские задачи.

У текущей (v.0.1.0) версии сервиса имеются ограничения по типам решаемых задач. Единственной опцией является выполнение вычислений в следующем порядке.

1. Выполняется принудительная стабилизация системы.
2. Включается допущение разрушений.

Моделирование различных механизмов экскавации, моделирование со снижением прочностных свойств (strength reduction analysis), добавление анизотропии прочностных свойств, выключение принудительной стабилизации и прочие опции будут добавляться с версии 0.1.1 и в более поздних версиях.

2 Основные функции

Основная часть вычислений в сервисе Prorock выполняется на сервере, доступ к которому имеют только зарегистрированные пользователи, оплатившие подписку или получившие пробный/научный бесплатный доступ от Teretau.

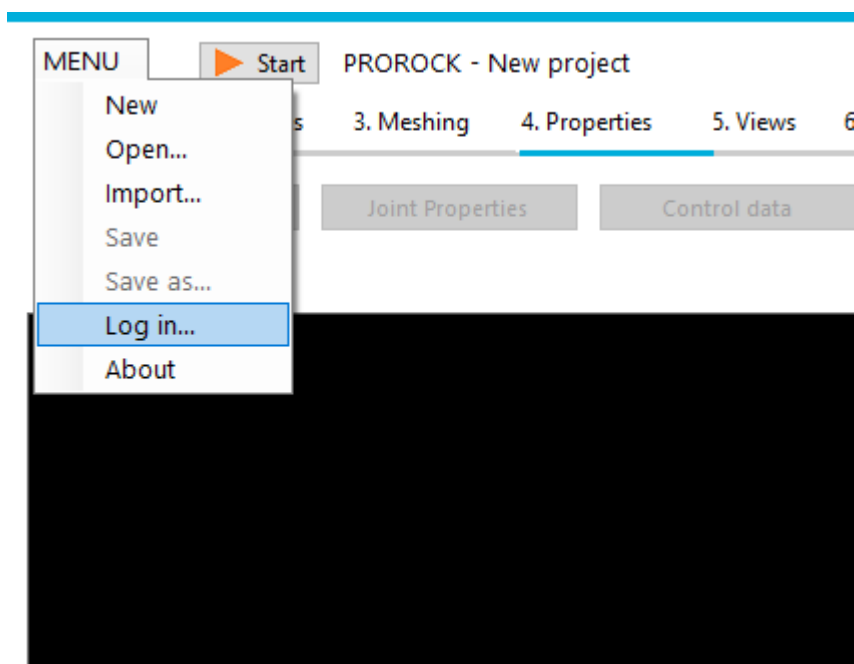
То есть вы можете, не будучи зарегистрированным пользователем просматривать, создавать, открывать и редактировать проекты, просматривать результаты ранее выполненных расчётов, но при этом невозможно выполнять новые вычисления на сервере.

В Prorock версии 0.1 для регистрации необходимо подать заявку, написав письмо с произвольным содержанием на info@teretau.com.

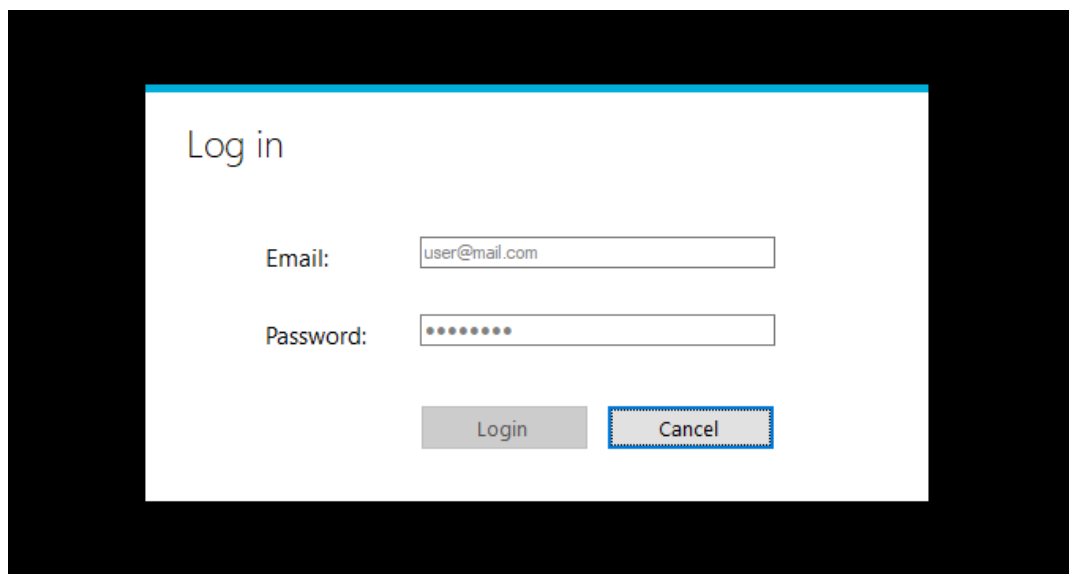
После регистрации вы получите данные для входа: Логин и Пароль.

2.1 Вход

Откройте окно входа, нажав на кнопки MENU -> Log in... в левом верхнем углу приложения.



После этого появится окно входа Log in, в котором необходимо ввести полученные Логин и Пароль в поля Email и Password.



После этого нажмите кнопку Login, и, если данные введены верно, окно Log in скроется, а ваши данные сохранятся в приложении.

2.2 Импорт

В текущей версии (0.1) построение модели возможно только посредством импорта проекта Rocscience Phase2 в виде *.fea файла.

Из проекта Phase2 импортируются следующие данные:

- сетка треугольных конечных элементов;
- трещины;
- ограничения модели: ролик, шарнир, распределенная равномерная и неравномерная нагрузка;
- свойства пород с характеристиками прочности по Кулону;
- свойства трещин с характеристиками прочности по Кулону.

При импорте проектов с любыми дополнительными данными не из приведенного списка могут возникать ошибки.

Для выполнения импорта следует нажать на кнопки MENU -> Import..., после чего появится окно выбора файла, в котором необходимо выбрать файл и нажать кнопку Открыть.

После этого откроется следующее окно с опциями импорта.

Create an area for calculations:

Mesh is fully discrete (with joint elements between all finite elements). The entire mesh allows for fracturing.

Mesh is partially discrete (joint elements only in restricted area). Fracturing is possible only in rectangular area, bounded with these corner points.

Choose the LEFT DOWN corner of area: X1: Y1:

Choose the RIGHT UP corner of area: X2: Y2:

Выбор первого варианта приведёт к тому, что между всеми конечными элементами будут внедрены четырехугольные соединяющие элементы, то есть разрушения будут возможны на всей площади модели.

При выборе второго варианта область с допущением разрушений будет ограничена прямоугольником, координаты левого нижнего и правого верхнего углов которого необходимо ввести в полях X1,Y1 и X2,Y2 соответственно.

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ на то, что при импорте имеются следующие ограничения к элементной сетке, обусловленные особенностями базового численного метода.

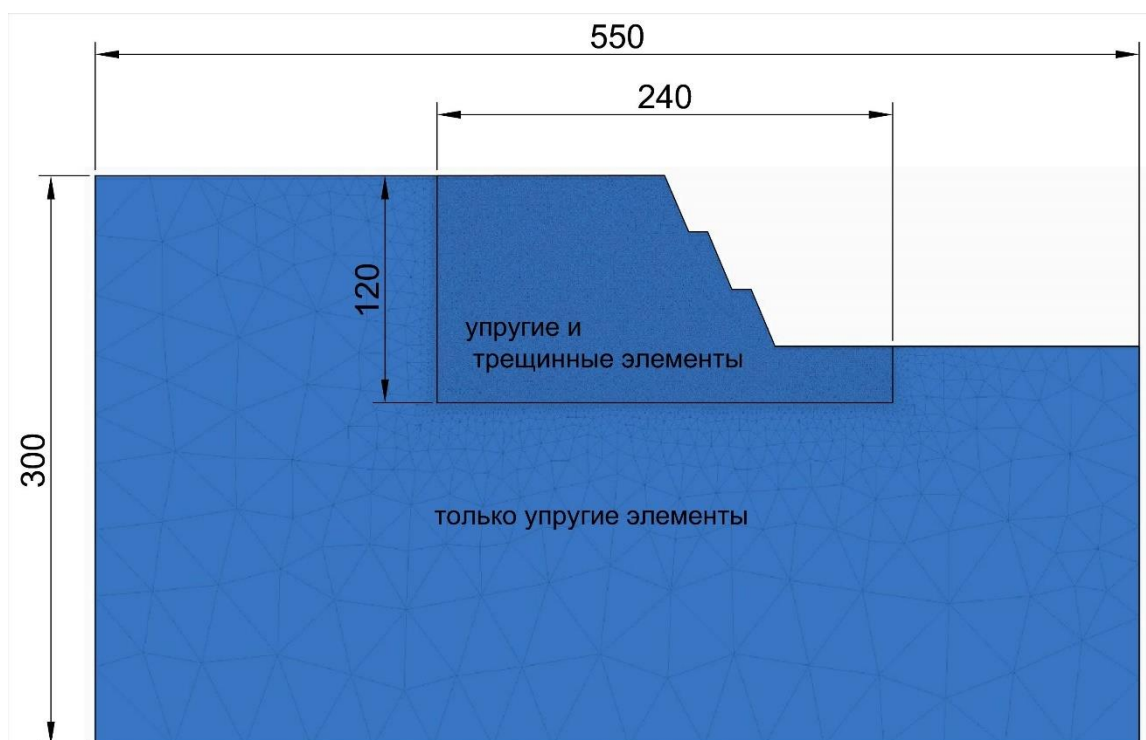
1. Элементы должны быть близки (отклонение не более ~200 %) по площади внутри области с допущением разрушений. Это

ограничение необходимо для достижения более высокой скорости вычислений.

2. В элементах не должно быть углов меньше 18° . Данное ограничение необходимо для обеспечения стабильности вычислений.

Рекомендуется использовать вторую опцию, которая позволяет получить более мелкую дискретизацию в области интереса и более крупную сетку вне её. При этом границы следует расположить на расстоянии минимум двух-трех длин области интереса. Это позволит выполнить вычисления, оптимальные по точности и длительности выполнения.

На рисунке ниже приведён пример модели, построенной с параметрами, близкими к рекомендованным.



2.3 Навигация

Панорамирование и зумирование в области просмотра модели осуществляется посредством мышки и клавиатуры.

Команды для навигации мышкой сходны с принятыми в AutoCAD.

Для зумирования/масштабирования необходимо вращать колесико мыши, при этом указатель мыши должен находиться в области просмотра модели.

Иным способом зумирования является использование кнопок клавиатуры. Нажатие кнопки «+» приводит к приближению модели, нажатие кнопки «-» – к отдалению модели.

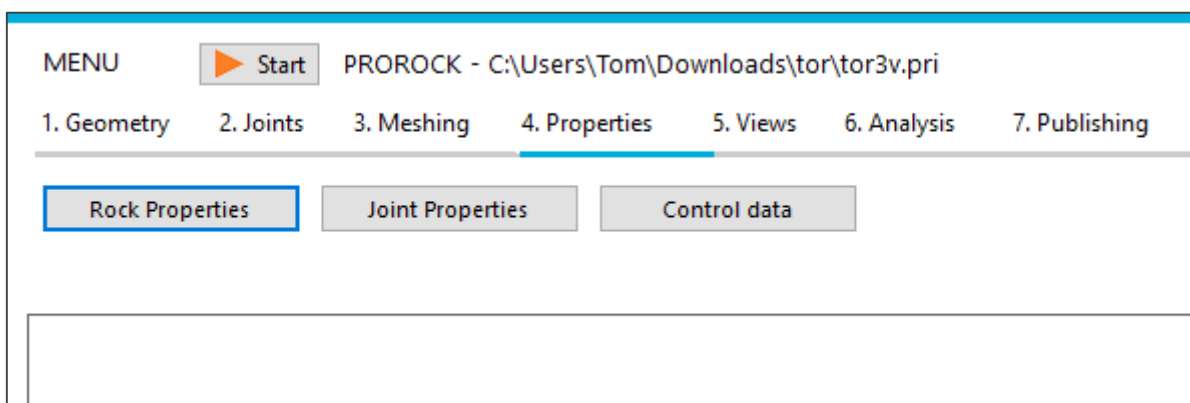
Панорамирование, по-другому, перемещение вверх/вниз по области просмотра выполняется посредством нажатия колесика мыши и перемещения мышки.

Другим способом панорамирования является использование кнопок клавиатуры «←», «↑», «→», «↓».

2.4 Задание параметров модели

Все свойства материалов, имеющиеся в Phase2, импортируются в Prorock. Характеристики, которые игнорируются при расчетах методом конечных элементов, но учитываются в методе конечно-дискретных элементов (в Prorock), рассчитываются автоматически на основе различных зависимостей.

Все свойства можно редактировать, пользуясь инструментами вкладки Properties, изображенной на рисунке ниже.



Для задания характеристик пород, характеристик трещин и настроек модели необходимо нажать, соответственно, кнопки Rock Properties, Joint Properties и Control Data.

Данные кнопки неактивны до тех пор, пока не открыт какой-либо проект, либо пока не выполнен импорт проекта Phase2.

2.4.1 Задание свойств пород

Нажатие кнопки Rock Properties вызовет появление окна, изображенного на рисунке ниже.

The screenshot shows a window titled "RockProperties" with a sidebar on the left containing buttons for "Rock 1", "Rock 2", "Rock 3", "Rock 4", and "Rock 5". The "Rock 1" button is selected. The main area is titled "Rock1" and contains the following fields:

- Name: Color:
- Density (kg/m³):
- Elastic Properties**
 - Young's Modulus (GPa): Poisson's Ratio:
- Shear Strength Parameters**
 - Cohesion (MPa): Friction Angle (°):
 - Residual Friction Angle (°): Relative Peak Sliding Sp/h:
 - Relative Beakdown Sliding Sr/Sp:
- Tensile Strength Parameters**
 - Tensile Strength (MPa): Relative Peak Opening Op/h:
 - Relative Breakdown Opening Or/Op:
- Viscous Damping: Penalty Parameter (GPa):

At the bottom right, there are "Cancel" and "OK" buttons.

В окне можно редактировать название набора свойств (породы) в форме Name.

В поле Density вводится Объемный вес в кг/м³.

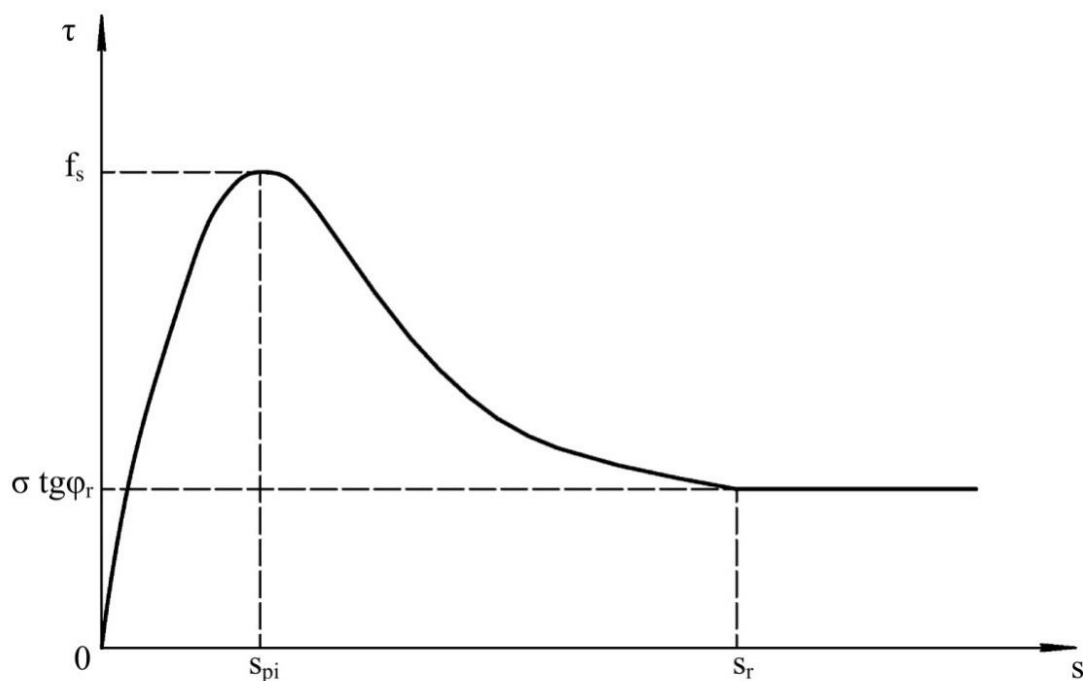
Упругие характеристики представлены Модулем деформации и Коэффициентом Пуассона, которые записываются, соответственно, в полях Young's Modulus (в ГПа) и Poisson Ratio.

Прочность на сдвиг определяется пятью параметрами. Первые два, Сцепление и Угол внутреннего трения, заполняются, соответственно, в полях Cohesion в МПа и Friction Angle в градусах. Не рекомендуется принимать Сцепление равным нулю для несвязных пород, вместо этого можно принять некоторое достаточно малое значение, например, 1 Па.

СЛЕДУЕТ ЗАМЕТИТЬ, что в методе конечно-дискретных элементов при расчётах прочностные свойства следует задавать с учётом эффекта масштаба именно для участка породы размером со средний соединяющий (трещинный) элемент. Иначе говоря, необходимо принимать прочностные свойства, характерные для участка массива размером с элемент, а не для всего массива (как при расчётах методом предельного равновесия) и не для лабораторного образца (если средний элемент не соразмерен образцу).

На рисунке ниже приведена диаграмма деформирования, используемая в Prorock, на которой отображены все параметры сдвиговой прочности.

Некоторые пояснения к рисунку: символом τ обозначено касательное напряжение, s – касательное (тангенциальное) смещение, $f_s = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi$ – прочность на сдвиг.



Остаточный угол внутреннего трения, обозначенный на рисунке как φ_r , заполняется в поле Residual Friction Angle в градусах. Эта величина показывает, под каким углом трения происходит взаимодействие двух контактирующих элементов, не связанных между собой трещинным (соединяющим) элементом. Также эта величина влияет на форму диаграммы деформирования в предельной области в соединяющих (трещинных) элементах.

Относительное предельное смещение (Relative Peak Sliding) это отношение величины предельного смещения к длине разрушаемого объекта, будь то трещины или участка породы (s_p/h). Иначе можно сказать, что это величина предельного смещения для трещины или участка породы метровой длины. Предельным смещением (на рисунке обозначено как s_{pi}) называют величину смещения, при которой происходит максимальная мобилизация прочности.

Относительное разъединяющее смещение (Relative Breakdown Sliding) – это отношение смещения, при котором происходит разрушение соединяющего (трещинного) элемента, исключение его из расчётов, к предельному смещению (s_r/s_p). После

превышения разъединяющего смещения касательное напряжение считается только исходя из остаточной прочности контакта.

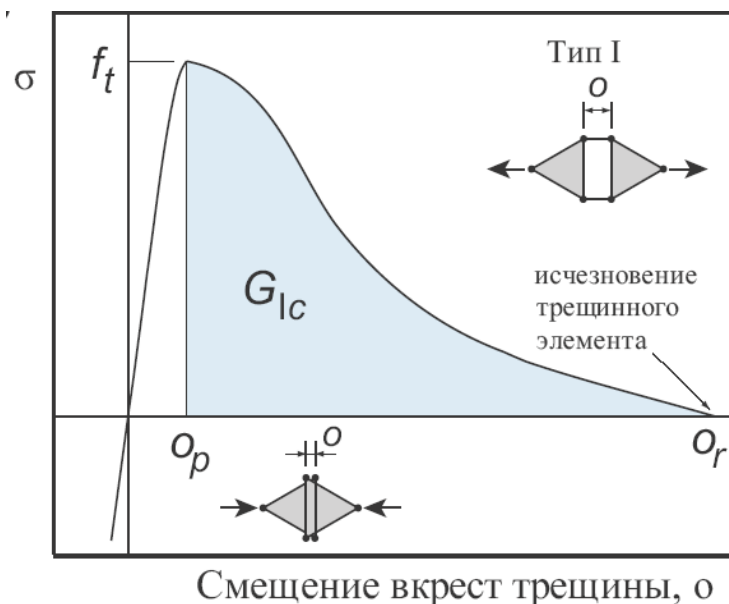
Данные величины рассчитываются автоматически препроцессором на основе зависимостей Ника Бартона.

Поведение материалов при растяжении определяется аналогичными параметрами.

Прочность на растяжение записывается в МПа в поле Tensile Strength.

Относительное предельное смещение и относительное разъединяющее смещение представляют собой параметры, аналогичные описанным ранее.

На рисунке ниже представлена диаграмма деформирования, используемая при расчете напряжений, возникающих при растяжении.



Обозначения: f_t – прочность на разрыв, o – раскрытие трещины, σ_p – предельное раскрытие трещины, σ_r – разъединяющее раскрытие трещины, σ – нормальное напряжение.

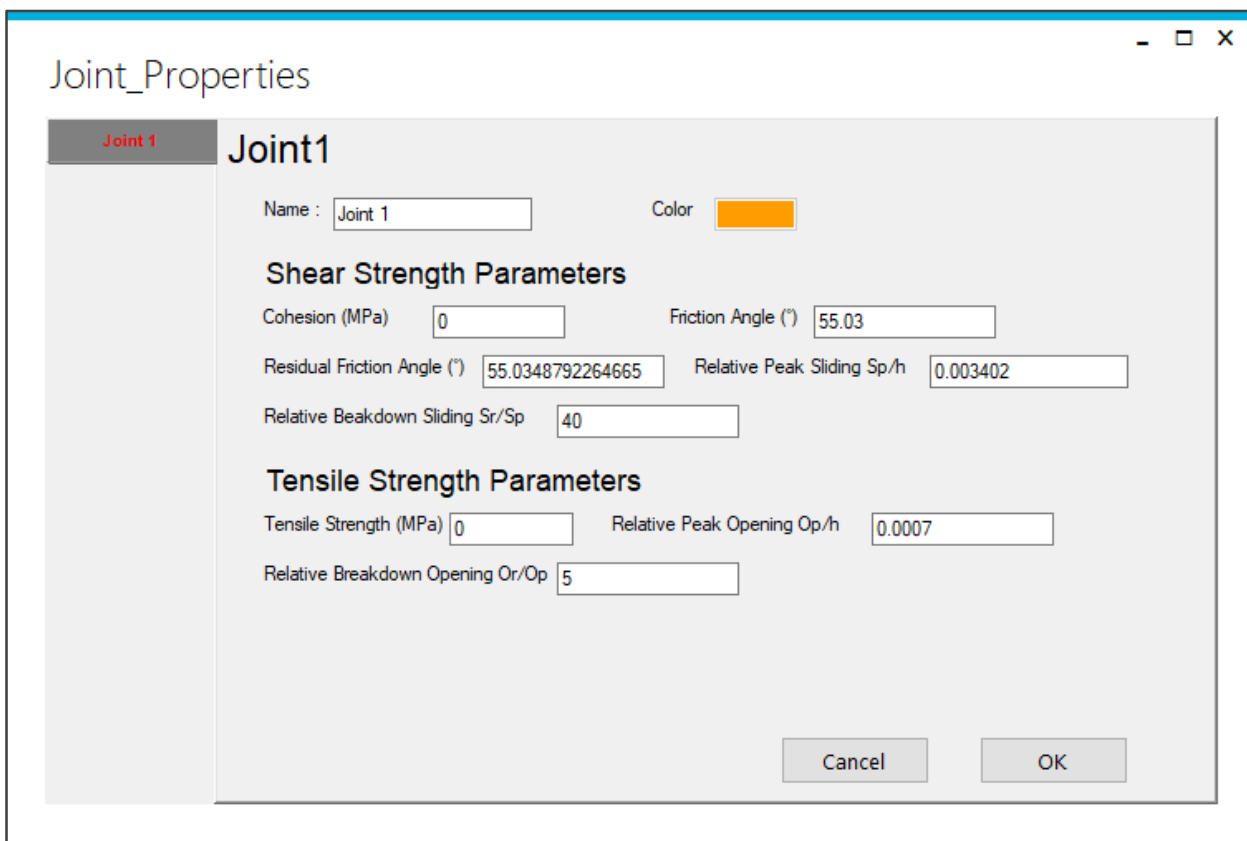
Относительные смещения рассчитываются автоматически препроцессором на основе эмпирических данных Бажанта.

Вязкостное демпфирование (Viscous Damping) рассчитывается автоматически алгоритмом, специально разработанным нами. Данная величина имеет важное значение для получения корректных результатов расчётов. Дополнительно о выборе величины вязкостного демпфирования при возникновении проблем при расчётах написано в параграфе «Возможные проблемы».

Параметр штрафа (Penalty Parameter) рассчитывается автоматически при импорте в зависимости от модуля упругости. Рекомендуемая нами величина для данного параметра – $10.0 * E$, где E – величина модуля упругости. Для грунтов и других пород с низким модулем упругости можно и иногда даже нужно пробовать принять величину $100.0 * E$ и даже более.

2.4.2 Задание свойств трещин

При нажатии кнопки Joint Properties происходит вызов окна, изображенного на рисунке ниже.



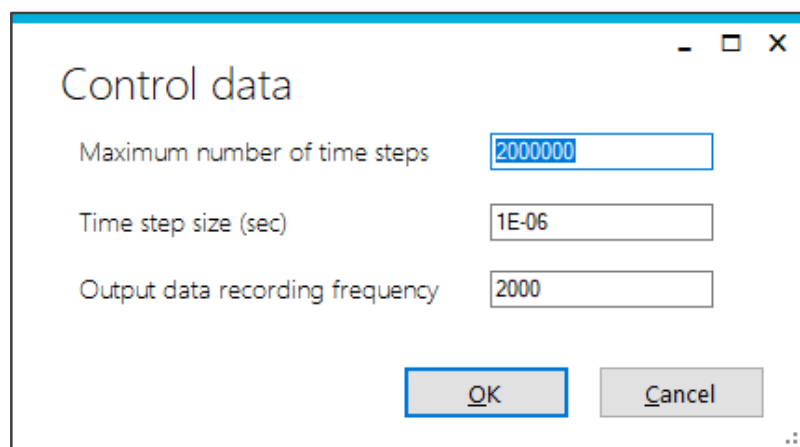
Из рисунка видно, что для трещин задаются только прочностные параметры, такие же что и для пород. Рекомендации по принятию величин те же. Сцепление не рекомендуется принимать равным нулю.

Отсутствующие при расчетах МКЭ параметры для трещин также рассчитываются автоматически с применением указанных зависимостей.

2.4.3 Задание настроек вычислений

Окно настроек вычислений Control Data вызывается нажатием кнопки Control Data.

Окно Control Data выглядит следующим образом.



Максимальное количество временных шагов (шагов расчёта) выбирается исходя из предполагаемой необходимой длительности вычислений, записывается в поле Maximum number of time steps.

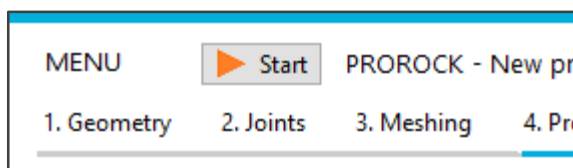
В поле Time step size размер временного шага в секундах определяет приращение времени в каждом последующем шаге расчёта. Величина шага рассчитывается автоматически в зависимости от максимального размера элемента в области с допущением разрушений. От размера временного шага сильно зависит стабильность динамической системы, дополнительные рекомендации по выбору приведены в параграфе «Возможные проблемы».

Частота вывода результатов расчёта записывается в поле Output data recording frequency. Данная величина характеризует через какое количество шагов расчёта будет выполняться запись очередного файла с текущим состоянием элементной сетки. В рамках текущей версии Prorock данному параметру может быть задано максимальное значение 5000.

Частота вывода результатов и Максимальное количество временных шагов связаны между собой так, чтобы количество выходных файлов не превышало 1000 и исправляются препроцессором при превышении.

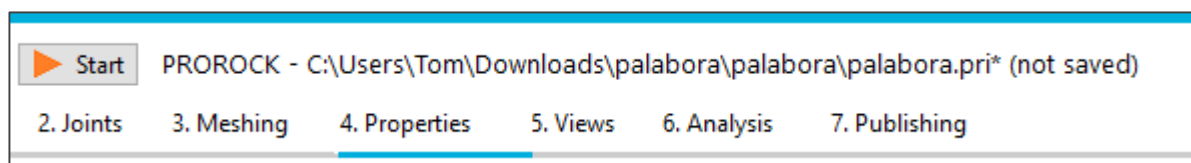
2.5 Выполнение вычислений

Запуск расчётов осуществляется нажатием кнопки Start, изображенной на следующем рисунке.



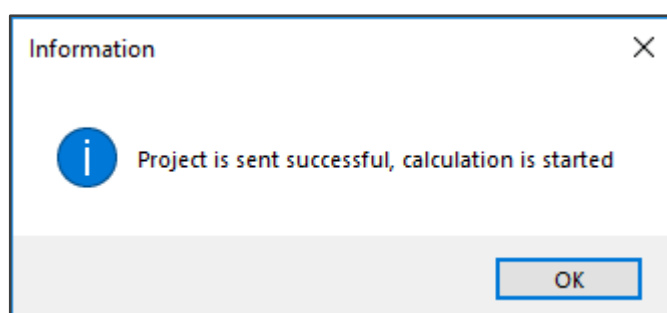
С нажатием кнопки Start происходит отправка данных проекта на сервер, на котором выполняются вычисления.

Запуск вычислений возможен только при условии, что в открытом проекте не сделано никаких несохранённых изменений. То есть после выполнения импорта или изменения свойств пород необходимо сохранить проект, после чего станет возможен запуск расчётов. При наличии несохраненных изменений в проекте в шапке программы к названию проекта добавляется надпись * (not saved) как на рисунке ниже.

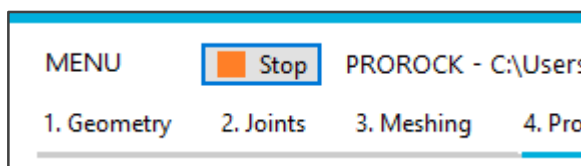


ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ на то, что при сохранении измененных проектов со старым именем происходит удаление полученных ранее в рамках проекта результатов вычислений. Это сделано для постоянного сохранения адекватности результатов расчётов входным данным.

После удачного запуска вычислений появляется модальное окно.



Вид кнопки меняется на следующий, нажатие кнопки Stop приведет к остановке вычислений на сервере и остановке передачи файлов результатов расчётов.

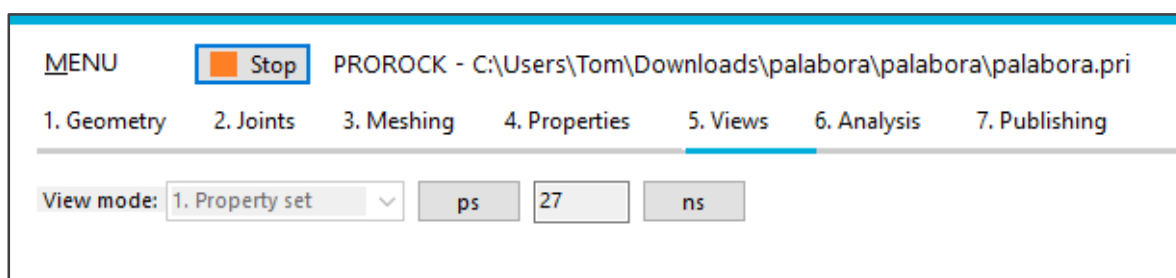


Программа начинает в фоновом режиме скачивать результаты расчётов и сохраняет их в папке название_проекта.result, которая создаётся при сохранении проекта.

После запуска становятся активными кнопки вкладки Views, в которой хранятся инструменты для просмотра результатов расчётов.

2.6 Просмотр результатов

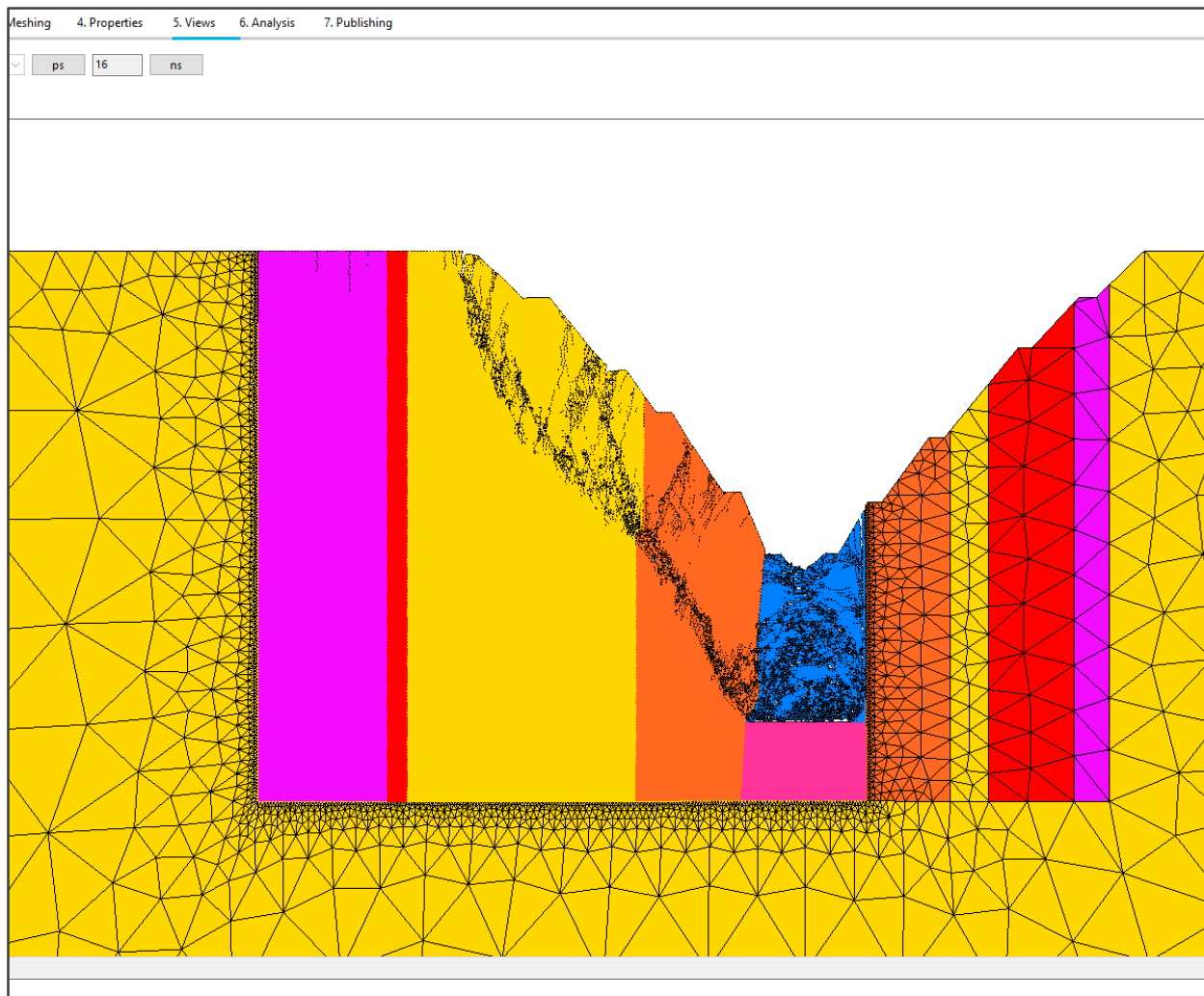
На вкладке Views имеются кнопки ps, ns, что означает Previous State и Next State, или предыдущее состояние и следующее состояние.



Эти кнопки позволяют переключаться между сохраненными состояниями модели, хранящимися в файлах результатов расчетов.

В поле между кнопками ps и ns хранится номер текущего открытого файла – результата расчета.

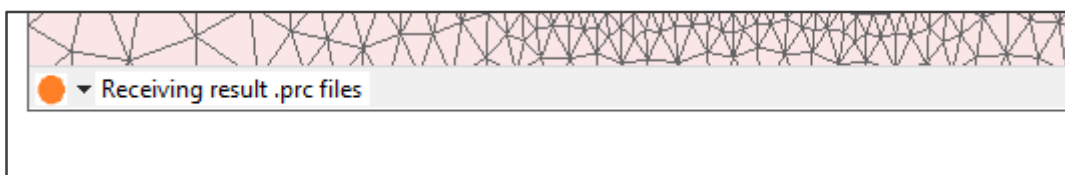
Падающее меню View mode отвечает за отображение модели*. При выбранной опции Property set элементы окрашиваются в цвет, выбранный для каждого набора свойств, как показано на рисунке ниже.



* в Prorock версии 0.1 переключение между вариантами отображения не предусмотрено

Номер открытого состояния не может быть меньше нуля и больше номера последнего принятого файла.

В строке состояния внизу экрана вы можете наблюдать информацию об активном процессе получения результатов, а также, опционально, номер принимаемого файла.



При закрытии программы при запущенном расчёте выполнение вычислений на сервере продолжится. Файлы с результатами расчётов дозагрузятся при следующем запуске программы. Также расчеты продолжатся при открытии другого проекта или при изменении и сохранении текущего под новым именем.

Поэтому НАСТОЯТЕЛЬНО РЕКОМЕНДУЕМ ОСТАНАВЛИВАТЬ РАСЧЁТЫ ПЕРЕД ЗАКРЫТИЕМ ПРОГРАММЫ, если вы не заинтересованы в получении результатов запущенных вычислений.

3. Возможные проблемы

Метод конечно-дискретных элементов имеет ряд конструктивных особенностей, из-за которых не при любых параметрах может быть получено корректное решение задачи. Кроме того, математический аппарат процессора Prorock оптимизирован так, чтобы достигать максимальной скорости вычислений, местами с допущением ухудшения стабильности вычислений.

В Prorock имеется множество встроенных проверок, которые контролируют вводимые параметры для избежания некорректных решений, однако всё равно возможны ситуации, когда задача решается некорректно.

Второй источник возможных проблем при работе с Prorock – это взаимодействие с сервером посредством сети.

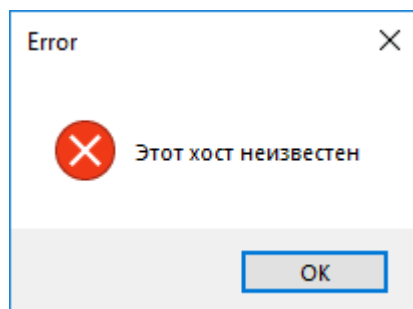
В данном параграфе рассмотрены типичные проблемы, возникающие при работе, и описаны действия по их устранению.

3.1 Проблемы с подключением

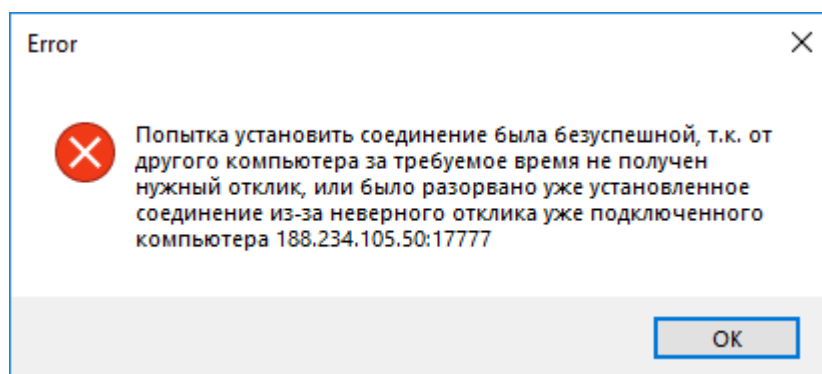
При работе с Prorock программа (пре/постпроцессор) часто передает и получает сообщения с сервера, например, при входе, запуске вычислений и в процессе получения результатов вычислений. Поэтому для работы всех функций программы требуется соединение с сервером по сети Интернет. Ошибки, связанные с подключением могут возникать по нескольким причинам.

Первая. На компьютере имеются проблемы с подключением к Интернету. В данном случае необходимо проверить соединение и обратить внимание на текст всплывающего сообщения об ошибке. Если ошибка вызвана отсутствием подключения к Интернету – текст ошибки будет иметь примерно следующее содержание.

Такая же ошибка может возникать при блокировании доступа к сети для программы со стороны файрвола (брандмауэра).



Вторая возможная причина связана также с работой файрвола на компьютере или в рабочей/домашней подсети. Программа Prorock использует для работы порт 17777, и файрволом может быть закрыт данный порт. Текст сообщения об ошибке в данном случае может быть примерно следующего содержания.



При возникновении подобной ошибки проверьте, открыт ли порт 17777 на вашем компьютере, после чего обратитесь к администратору вашей рабочей сети.

Аналогичная ошибка может возникать при отсутствии подключения к Интернету на сервере.

Если описанные действия не помогли – попробуйте запустить вычисления ещё раз через 10-15 минут и при сохранении данной ошибки напишите на info@teretau.com письмо с приложенными скриншотами ошибки. Мы решим проблему в течение нескольких часов.

3.2 Проблемы с вычислениями

Метод конечно-дискретных элементов является методом, очень восприимчивым к входным данным, поэтому при выполнении вычислений, особенно неопытными пользователями, могут возникать ошибки, связанные с нестабильностью динамической системы. Подобные ошибки могут быть обусловлены различными причинами. Возможные проявления ошибок вычислений могут быть следующие.

1. Вы запускаете вычисления, получаете подтверждение успешного запуска, но не получаете первого файла с результатами в течение долгого времени, например, больше 5 минут.

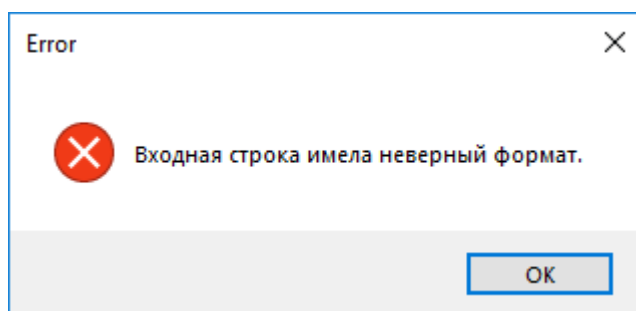
У данной проблемы может быть несколько причин. Общая рекомендация при возникновении такой проблемы – попробуйте в 10 раз уменьшить частоту вывода результатов расчёта в окне Control Data. Остановите расчеты и запустите их снова с новой частотой. Если не получится – попробуйте снова уменьшить частоту вывода в 10 раз. Уменьшайте величину Частоты вплоть до 1, до тех пор, пока не получите данные.

После получения результатов расчёта просмотрите их в области просмотра модели.

Если результаты успешно открываются и не происходит нереалистичного поведения модели – проблема была только в выборе слишком большого значения Частоты вывода результатов расчета. Для ускорения вычислений можно также попробовать увеличить Размер временного шага.

Если же наблюдается нереалистичное поведение модели или файл не открывается вовсе, причины, вероятно, связаны с ошибками вычислений.

2. Файл может не открываться с появлением следующего модального окна.



Наиболее вероятно, что возникновение данной ошибки связано с нестабильностью системы и дальнейшим превышением допустимых значений при вычислениях. Для определения причины этой проблемы необходимо посмотреть более ранние состояния модели. Если такая ошибка сопровождает открытие первого полученного файла – следует уменьшить Частоту вывода в 10 раз и посмотреть результаты снова. Уменьшать Частоту необходимо до тех пор, пока не будут получены файлы результатов вычислений.

Некоторые ошибки могут также возникать не сразу после запуска расчётов, а в ходе вычислений, изначально протекавших успешно.

В зависимости от того, какой параметр приводит к возникновению ошибки, проявление её может быть различным.

3. В модели начинают появляться нереалистичные трещины и разрушения. Ошибка происходит не сразу после запуска.

Возникновение подобной ошибки может быть связано с прочностными параметрами или вязкостным демпфированием. Если перед разрушением наблюдаются необъяснимые локальные концентрации напряжений в массиве, охватывающие несколько элементов, образующиеся трещины не вытянуты, а концентрируются вокруг одной точки, то причина, вероятно в низком значении Вязкостного демпфирования. Попробуйте

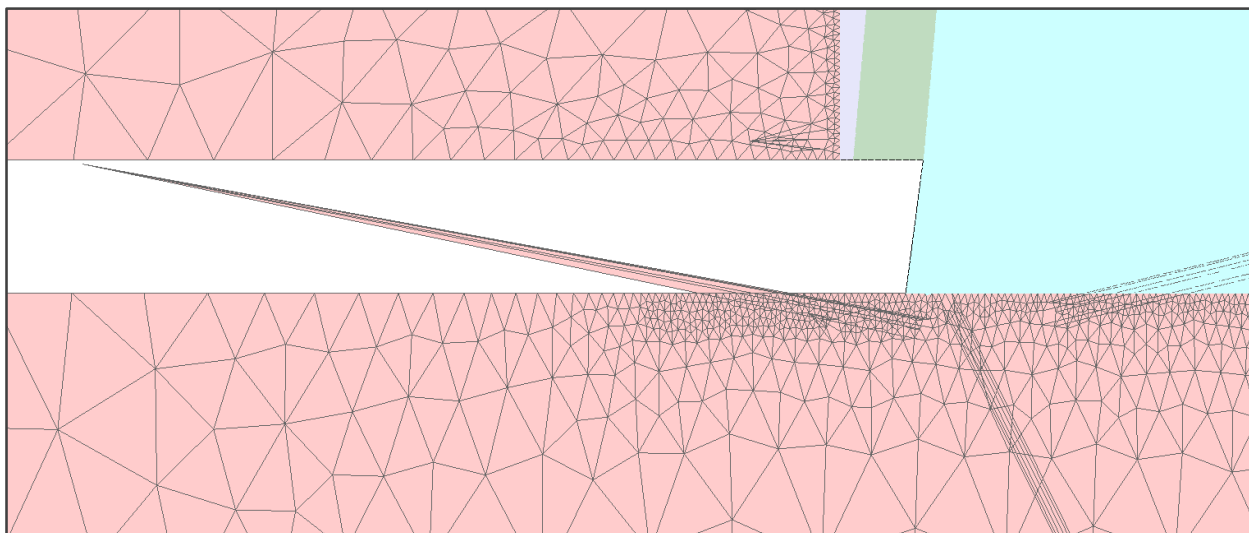
увеличить величину этого параметра в 10 раз и перезапустите вычисления.

В случае, если образующиеся трещины вытянуты, образуется несколько параллельных трещин и разрушения затрагивают большую часть модели, вероятно, это вызвано нулевыми значениями прочностных параметров.

Также это может быть вызвано ненулевыми, но чересчур низкими, неадекватными значениями прочностных свойств, при которых происходит взрывное разрушение массива. При некоторых условиях, например, при наличии элементов с углами менее 20° или при низких упругих характеристиках, подобное разрушение может приводить к критическим ошибкам.

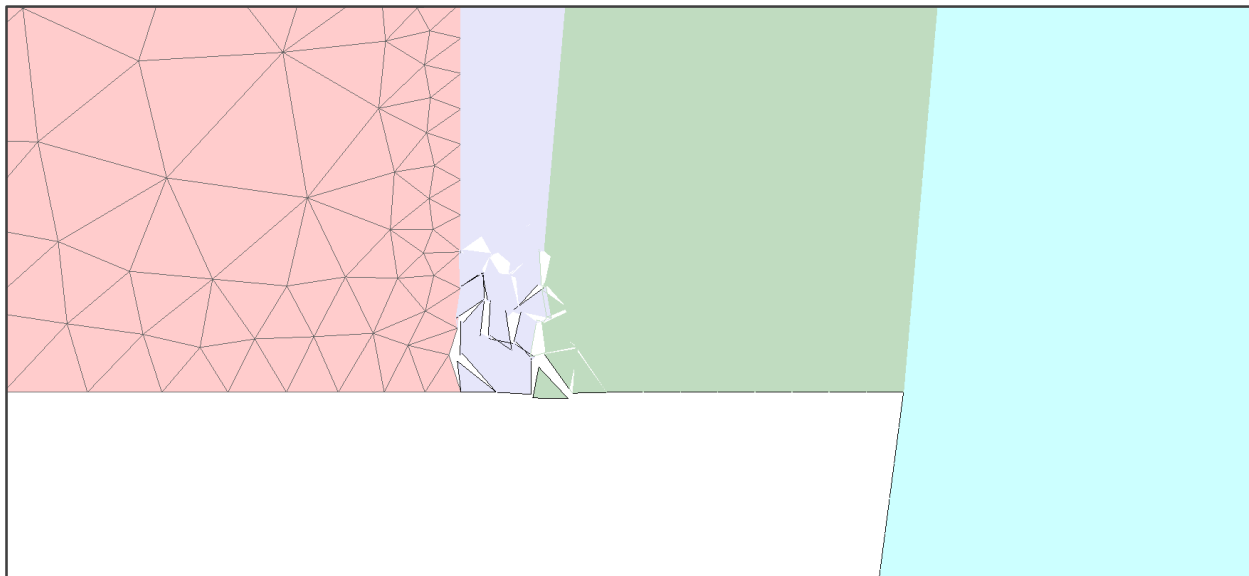
4. Происходит очень быстрое необъяснимое смещение отдельных вершин элементов сразу после запуска расчетов.

На рисунке показан пример подобной ошибки.



С большой степенью вероятности причиной ошибки является слишком высокое значение Вязкостного демпфирования. Чтобы устранить ошибку – уменьшите для всех наборов свойств Вязкостное демпфирование до величины в 10 раз меньшей от максимальной на момент возникновения ошибки.

Если даже при уменьшении Вязкостного демпфирования данная ошибка продолжает возникать, значит проблема в завышенном Размёре временного шага. На рисунке показан пример того, как проявляется данная ошибка.



В таком случае следует вернуть исходное значение Вязкостного демпфирования, после чего уменьшайте Размёр временного шага на 10 % до устранения ошибки. Если после уменьшения возникает ошибка номер 3 (первый вариант) – увеличьте Вязкостное демпфирование в 10 раз.

5. Модель просто перестаёт рассчитываться. Ошибка происходит не сразу после запуска. Уменьшение Частоты вывода результатов ничего не даёт.

Наиболее вероятной причиной данной ошибки является обособление конечных элементов с углами менее 20° , а также образование подобных элементов из-за высоких напряжений и низких упругих свойств. Перестройте границы модели или сетку.

Если наблюдаемая вами ситуация не рассмотрена в данном руководстве – пишите об этом на info@teretau.com и мы поможем вам разобраться с вашей проблемой.

4. Источники дополнительной информации

Если вы не нашли в данном руководстве необходимые вам сведения или вы желаете более глубоко изучить метод конечно-дискретных элементов, вы можете воспользоваться следующим материалом.

1. Основы метода конечно-дискретных элементов: монография многоуважаемого А. Munjiza “The combined finite-discrete element method”, 2004.
2. Рекомендации по выбору прочностных параметров для моделирования: дисс. к.т.н. Ильясова Б.Т. «Исследование кинетики деформаций массива горных пород методом конечно-дискретных элементов».
3. О текущем функционале сервиса (v. 0.1) и планах по его развитию: статья в блоге <http://teretau.com/versionsmvp/>.
4. Применения Prorock для решения различных задач в статьях:
 - a. Ilyasov B., Makarov A., Biryuchiov I. Prediction of rock movements using a finite-discrete element method;
 - b. Розанов И., Ильясов Б. Интерпретация результатов инструментальных наблюдений за устойчивостью бортов карьера рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» (готовится к печати);
 - c. Ильясов Б.Т. Прогнозирование деформаций массивов горных пород с применением ПК «PROROCK»
<https://trud.igduran.ru/edition/16;>
 - d. Пиленков Ю.Ю., Ильясов Б.Т., Аксёнов А.А. Изучение устойчивости горных выработок в тектоническом поле напряжений (готовится к печати).

Если вам нужны приведенные материалы либо остались иные вопросы – пишите на info@teretau.com.