

## Упругие области (области без пластичности)

Программа: МКЭ

Файл: Demo\_manual\_34.gmk

### Введение

Величина напряжений, развивающихся в грунте при нагружении, может превысить напряжение текучести, что приведет к возникновению необратимых деформаций, сохраняющихся после разгрузки грунта. Такие необратимые деформации иначе называются пластическими деформациями, а их развитие может быть описано с помощью стандартных моделей, таких как Mohr-Coulomb или Drucker-Prager, или более сложных, таких как Cam clay.

Как описано далее, в некоторых областях на некоторых этапах расчета может возникнуть необходимость исключить развитие таких деформаций. Это реализуется с помощью функции «Упругие области».

### Когда использовать упругие области

Необходимость исключить развитие пластических деформаций может возникать в случаях, когда:

- Избыточные пластические деформации, развивающиеся в отдельной, достаточно небольшой области и не влияющие на поведение рассчитываемого сооружения, приводят к ухудшению сходимости численного расчета.
- Упрощения, принятые в расчетной модели, приводят к возникновению и развитию невероятных пластических деформаций. Такая ситуация может возникать, например, у пяты подпорной стенки или в узле, связанном с корнем анкера.
- Есть необходимость оценки влияния пластических деформаций на полные перемещения и напряжения путем сравнения результатов упруго-пластического расчета с идеально упругим решением.

### Какие модели материалов поддерживают упругие области

Функция «Упругие области» может использоваться в сочетании со следующими моделями:

- Mohr-Coulomb;
- Modified Mohr-Coulomb;
- Drucker-Prager.

Поведение этих моделей не зависит от активации упругих областей.

## Свойства грунтов в упругих областях

Элементы в упругих областях сохраняют свои свойства, определяющие упругую жесткость материала, т.е. модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль сдвига. Тем не менее, параметры прочности грунта, т.е. удельное сцепление и угол внутреннего трения, принимают такие значения, что напряжения никогда не могут достичь поверхности текучести, и, как следствие, пластические деформации не развиваются.

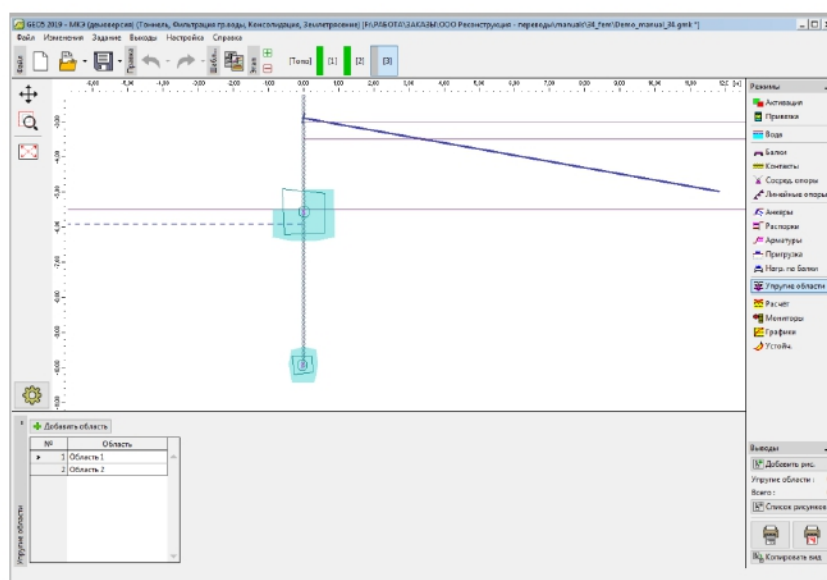
Принудительно упругое поведение реализуется только на этапе, на котором задана упругая область. Внутри одного этапа расчета в элементах упругой области не будет развиваться пластическая деформация, однако текущие (ранее достигнутые) значения будут сохранены.

## О чем следует помнить при использовании упругих областей

При использовании упругих областей следует помнить, что для выбранных элементов условие текучести никогда не может быть превышено. Это означает, что общая поверхность скольжения, которая может привести к потере общей устойчивости, не может проходить через данную область.

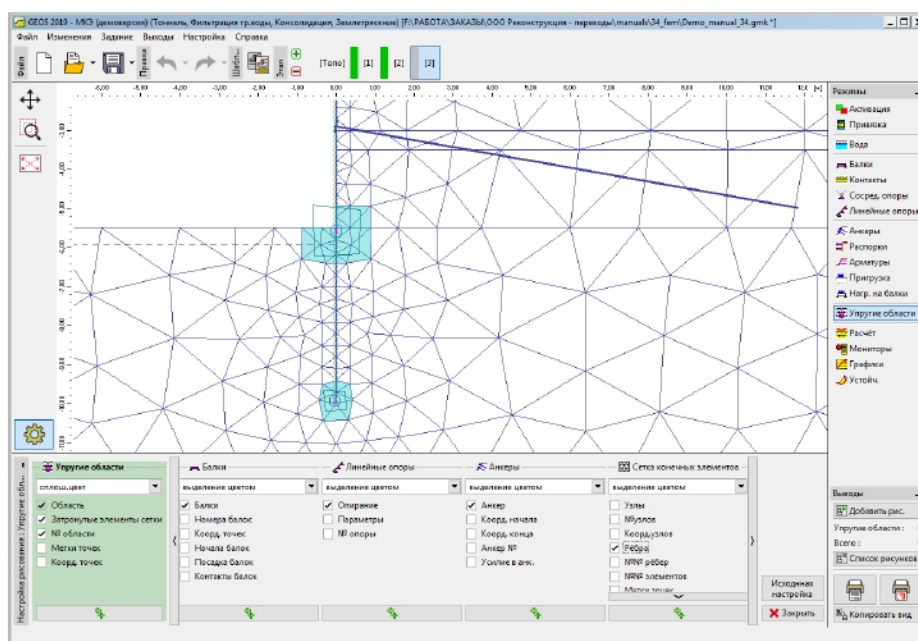
## Каким образом задаются упругие области

Упругие области определяются на выбранном этапе расчета как полигональные области по точкам, введенным графически на экране. Все элементы, которые хотя бы частично попадают в эту область, подсвечиваются.



### Определение упругих областей

*Примечание: при определении упругих областей может оказаться удобным отображение сетки КЭ (Настройки -> Сетка конечных элементов -> Края, см. рисунок).*



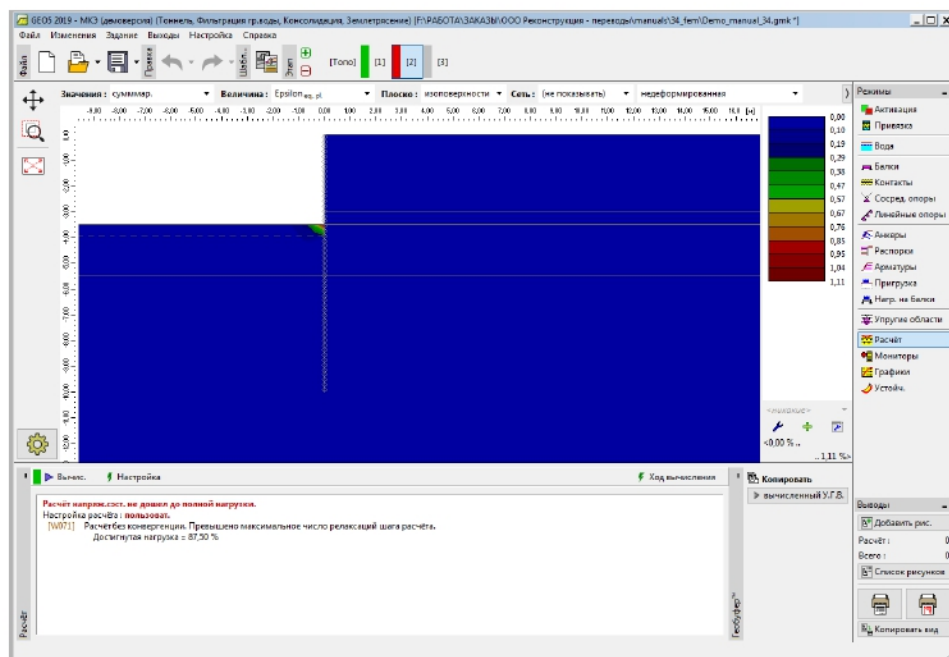
### *Включение визуализации сетки КЭ*

Упругие области остаются активными так же на последующих этапах, но могут быть отключены. Удаление упругой области на последующем этапе расчета приведет к развитию пластических деформаций в соответствующих элементах. Это означает, что удаление упругой области приводит к перераспределению напряжений и соответствующему увеличению пластических деформаций даже без дополнительного нагружения.

### Пример применения упругих областей

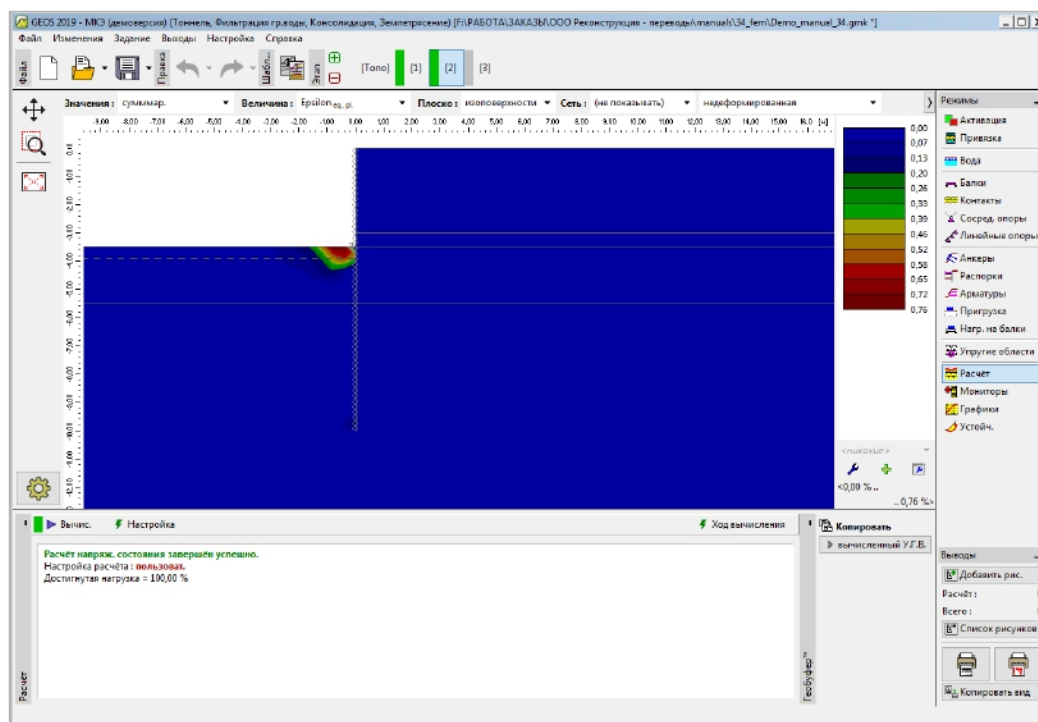
Применение упругих областей может быть проиллюстрировано расчетом подпорной стенки с анкерным креплением. Геометрия, геологический разрез и этапы проектирования задаются в соответствии с файлом Demo\_manual\_34.gmk. Первый этап необходим для определения геостатического давления. На втором этапе вводится балочный элемент с контактными элементами и выполняется разработка грунта в котловане путем отключения соответствующих элементов до уровня анкеров. Анкеры задаются на третьем этапе проектирования, одновременно с разработкой грунта до окончательной отметки дна котлована.

В случае если никакие меры не принимаются, расчет второго этапа прерывается при достижении 87,5% полной нагрузки – максимальной нагрузки, при которой достигается равновесие. Тем не менее, следует обратить внимание, что пластические деформации развиваются только в одном элементе и не распространяются, см. рисунок.



### *Расхождение расчета второго этапа проектирования*

В связи с тем, что в модели не происходит развития общей поверхности скольжения, можно предположить, что данный результат вызван численной, а не конструктивной неустойчивостью. В качестве решения используем функцию «Упругие области». Данный элемент определяется как упругая область, и расчет выполняется заново. В этом случае удалось приложить полную нагрузку, чему сопутствовало перераспределение пластических деформаций на соседние элементы, см. рисунок.

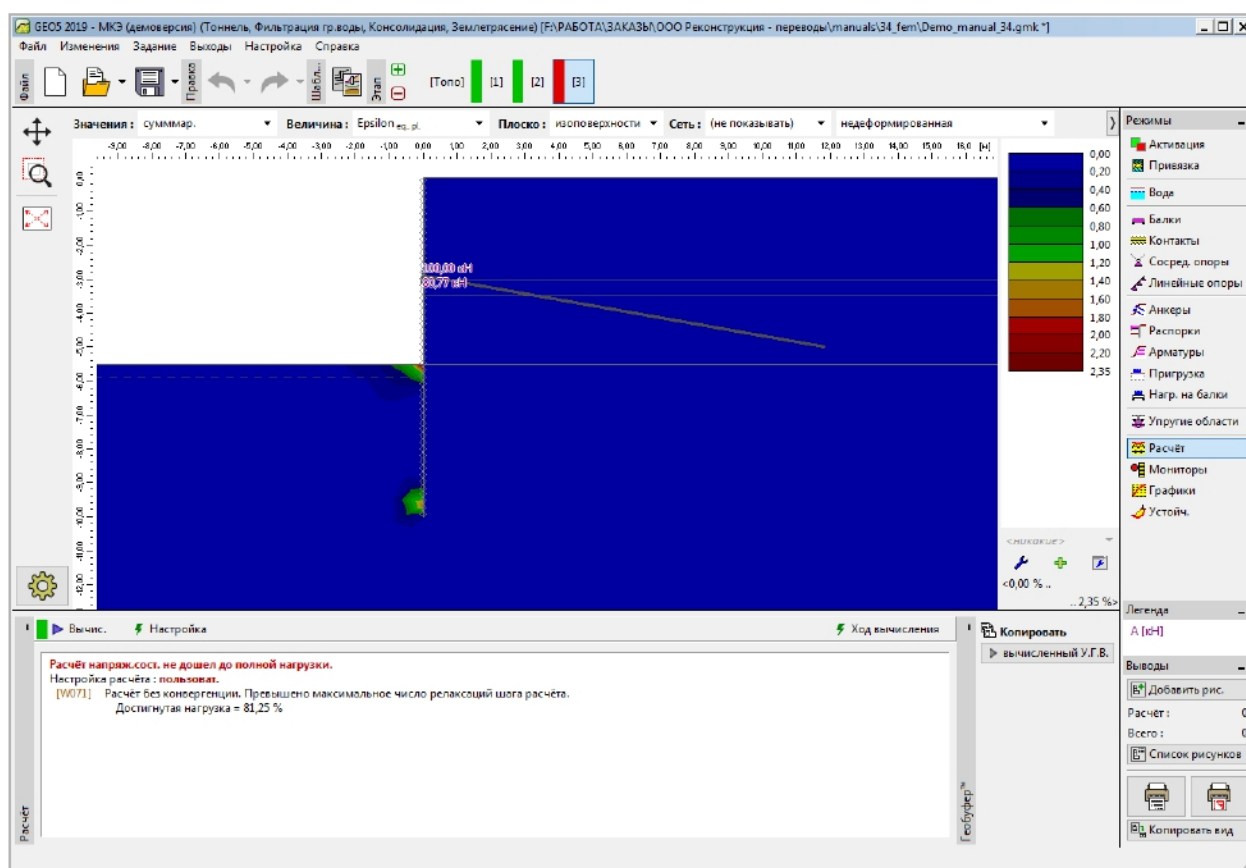


### *Достижение равновесия с использованием упругой области, содержащей один элемент*

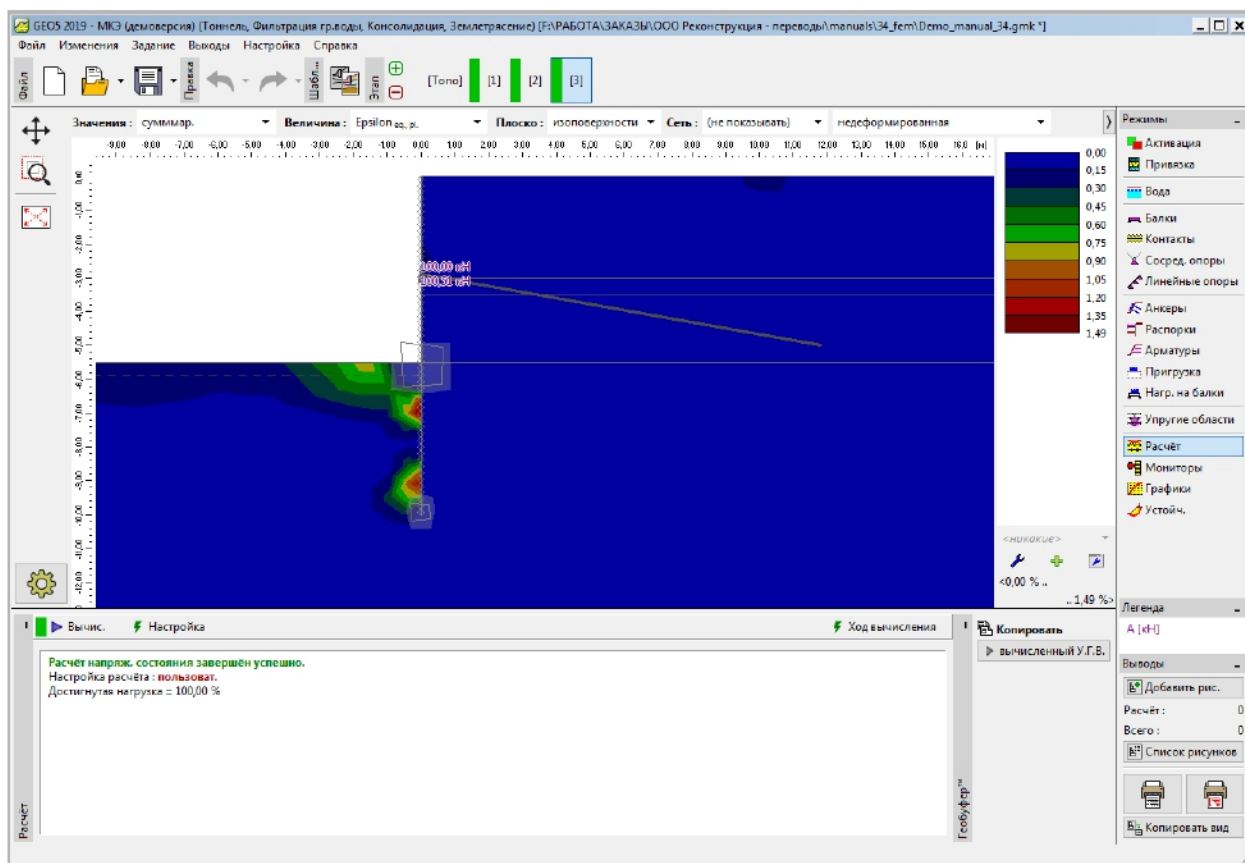


*Примечание: проблемный элемент нагружен в горизонтальном направлении (он воспринимает горизонтальную реакцию подпорной стенки, вызванную активным давлением грунта справа за стеной). С другой стороны, в вертикальном направлении элемент разгружен. Значительная разница между вертикальным и горизонтальным напряжением приводит к увеличению девиаторного напряжения и, как следствие, развитию пластических деформаций.*

На третьем этапе проектирования получен похожий результат – устойчивое решение для полной нагрузки не получено в связи с пластическими деформациями в единственном элементе у дна котлована. Этого можно избежать включением данного элемента в упругую область.



*Равновесие для полной нагрузки на третьем этапе проектирования не достигнуто – не происходит перераспределения пластических деформаций, расчет расходится*



*Устойчивое решение для третьего этапа проектирования, полученное с использованием упругой области*

## Заключение

Функция «Упругие области» позволяет ввести принудительное упругое поведение грунта в выбранных элементах, и таким образом исключить развитие в них пластических деформаций. Такой частный подход позволяет получить решение в случаях, когда для заданной нагрузки не достигается сходимости. Однако данный подход следует использовать только в случаях, когда потеря сходимости или неустойчивость расчета связаны с численными причинами, то есть локальные пластические деформации не предполагают полной потери устойчивости сооружения.