

Трёхосное испытание с использованием модели упрочняющегося грунта

Этот пример предназначен для проверки правомерности упругопластической деформации согласно модели Hardening soil (Упрочняющийся грунт) в PLAXIS. В задаче моделируется осевое нагружение в условиях трёхосного испытания.

Используемые версии:

- PLAXIS 2D – версия 2011
- PLAXIS 3D – версия 2012

Ввод: Трёхосное испытание моделируется с геометрией образца, показанной на рис. 1, используя программы PLAXIS 2D и PLAXIS 3D.

В PLAXIS 2D используется модель *Axisymmetric* (Осесимметричная). Граничные условия в геометрической модели назначаются в виде заданных перемещений. В PLAXIS 2D левая граница зафиксирована в горизонтальном направлении, нижняя граница – в вертикальном направлении.

Осевое давление σ_1 представлено распределённой нагрузкой на верхней и нижней плоскостях. Давление σ_2 представлено распределённой нагрузкой на правой плоскости, а давление σ_3 представлено распределённой нагрузкой на фронтальной плоскости.

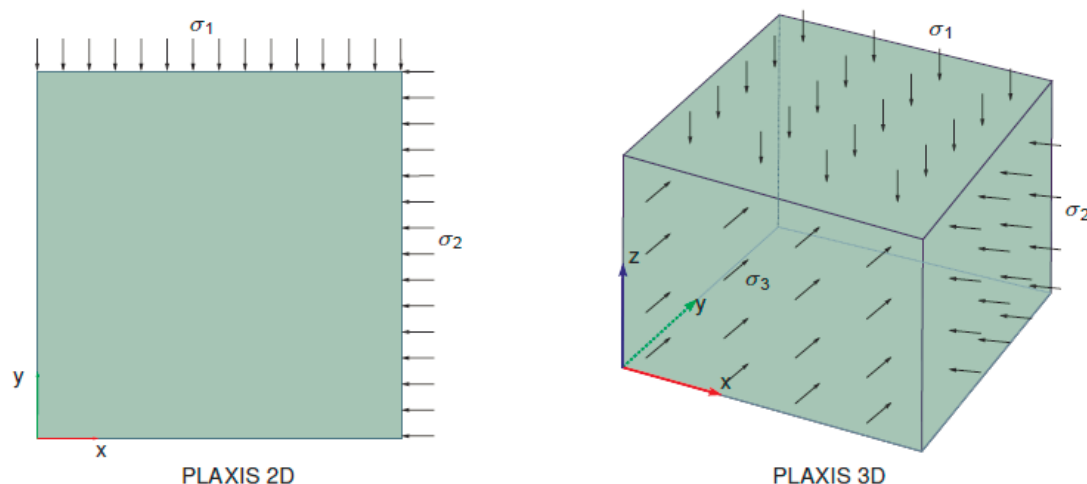


Рис. 1. Трёхосное испытание – условия нагружения

Материал: Поведение грунта моделируется с помощью модели упрочняющегося грунта (Hardening Soil model). Задана нулевая плотность γ и нулевой коэффициент Пуассона ν , остальные параметры грунта:

$$\begin{array}{llll}
 E_{50}^{ref} = 2.0 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^2 & E_{oed} = 2.0 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^2 & E_{ur}^{ref} = 6.0 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^2 & power (m) = 0.5 \\
 c'_{ref} = 1 \text{ кН/м}^2 & \varphi' = 35^\circ & \psi' = 5^\circ & p_{ref} = 100 \text{ кН/м}^2
 \end{array}$$

ПРОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЁТЫ

Сетка: Для создания особенно крупной сетки выбрана опция *Very coarse* в *Global coarseness* (Глобальная крупность) в PLAXIS 2D. Для модели в PLAXIS 3D использованы следующие экспертные настройки сетки:

Относительный размер элемента:	20.00
Угловой допуск в элементе:	30.00
Угловой допуск между поверхностями:	15.00
Допустимая привязка:	$1.00 \cdot 10^{-3}$

Расчёты: На начальной фазе создаются нулевые начальные напряжения, используя процедуру K_0 ($\gamma = 0$). Выполнены три испытания. Образец подвергается следующим нагрузкам:

- Изотропное нагружение до 100 кН/м^2

В PLAXIS 2D закреплены левая и нижняя границы. Активированы нагрузки, приложенные к верхней и правой границам. Граничные условия и условия нагружения для PLAXIS 3D приведены в табл. 1.

Таблица 1. Граничные условия и условия нагружения (фаза 1)

Местоположение	Точки	Disp _x	Disp _y	Disp _z	Load _x	Load _y	Load _z
Спереди	(0; 0; 0) (1; 0; 0) (1; 0; 1) (0; 0; 1)	-	-	-	-	100.0	-
Сзади	(0; 1; 0) (1; 1; 0) (1; 1; 1) (0; 1; 1)	Не закреплено	Закреплено	Не закреплено	-	-	-
Слева	(0; 0; 0) (0; 1; 0) (0; 1; 1) (0; 0; 1)	Закреплено	Не закреплено	Не закреплено	-	-	-
Справа	(1; 0; 0) (1; 1; 0) (1; 1; 1) (1; 0; 1)	-	-	-	-100.0	-	-
Снизу	(0; 0; 0) (1; 0; 0) (1; 1; 0) (0; 1; 0)	Не закреплено	Не закреплено	Закреплено	-	-	-
Сверху	(0; 0; 1) (1; 0; 1) (1; 1; 1) (0; 1; 1)	-	-	-	-	-	-100.0

После изотропного нагружения устанавливается нулевое заданное перемещений для следующих фаз. Обе фазы осевого нагружения стартуют с фазы изотропного нагружения.

- Осевое сжатие до разрушения

В PLAXIS 2D значение вертикальной нагрузки, приложенной к верхней границе, изменяется до -450 кН/м^2 . Граничные условия и условия нагружения для PLAXIS 3D приведены в табл. 2.

Таблица 2. Граничные условия и условия нагружения (фаза 2)

Местоположение	Точки	Disp _x	Disp _y	Disp _z	Load _x	Load _y	Load _z
Спереди	(0; 0; 0) (1; 0; 0) (1; 0; 1) (0; 0; 1)	-	-	-	-	100.0	-
Сзади	(0; 1; 0) (1; 1; 0) (1; 1; 1) (0; 1; 1)	Не закреплено	Закреплено	Не закреплено	-	-	-
Слева	(0; 0; 0) (0; 1; 0) (0; 1; 1) (0; 0; 1)	Закреплено	Не закреплено	Не закреплено	-	-	-
Справа	(1; 0; 0) (1; 1; 0) (1; 1; 1) (1; 0; 1)	-	-	-	-100.0	-	-
Снизу	(0; 0; 0) (1; 0; 0) (1; 1; 0) (0; 1; 0)	Не закреплено	Не закреплено	Закреплено	-	-	-
Сверху	(0; 0; 1) (1; 0; 1) (1; 1; 1) (0; 1; 1)	-	-	-	-	-	-450.0

- Осевое растяжение до разрушения

В PLAXIS 2D значение вертикальной нагрузки, приложенной к верхней границе, изменяется до 100 кН/м². Граничные условия и условия нагружения для PLAXIS 3D приведены в табл. 3.

Таблица 3. Граничные условия и условия нагружения (фаза 3)

Местоположение	Точки	Disp _x	Disp _y	Disp _z	Load _x	Load _y	Load _z
Спереди	(0; 0; 0) (1; 0; 0) (1; 0; 1) (0; 0; 1)	-	-	-	-	100.0	-
Сзади	(0; 1; 0) (1; 1; 0) (1; 1; 1) (0; 1; 1)	Не закреплено	Закреплено	Не закреплено	-	-	-
Слева	(0; 0; 0) (0; 1; 0) (0; 1; 1) (0; 0; 1)	Закреплено	Не закреплено	Не закреплено	-	-	-
Справа	(1; 0; 0) (1; 1; 0) (1; 1; 1) (1; 0; 1)	-	-	-	-100.0	-	-
Снизу	(0; 0; 0) (1; 0; 0) (1; 1; 0) (0; 1; 0)	Не закреплено	Не закреплено	Закреплено	-	-	-
Сверху	(0; 0; 1) (1; 0; 1) (1; 1; 1) (0; 1; 1)	-	-	-	-	-	-

Вывод: Значения разрушающего напряжения даны в табл. 4. Результаты трёхосного испытания на сжатие и растяжение показаны на рис. 2.

Таблица 4. Значения разрушающего напряжения

Программа	Сжатие	Растяжение
PLAXIS 2D	372.85	26.07
PLAXIS 3D	372.57	24.72

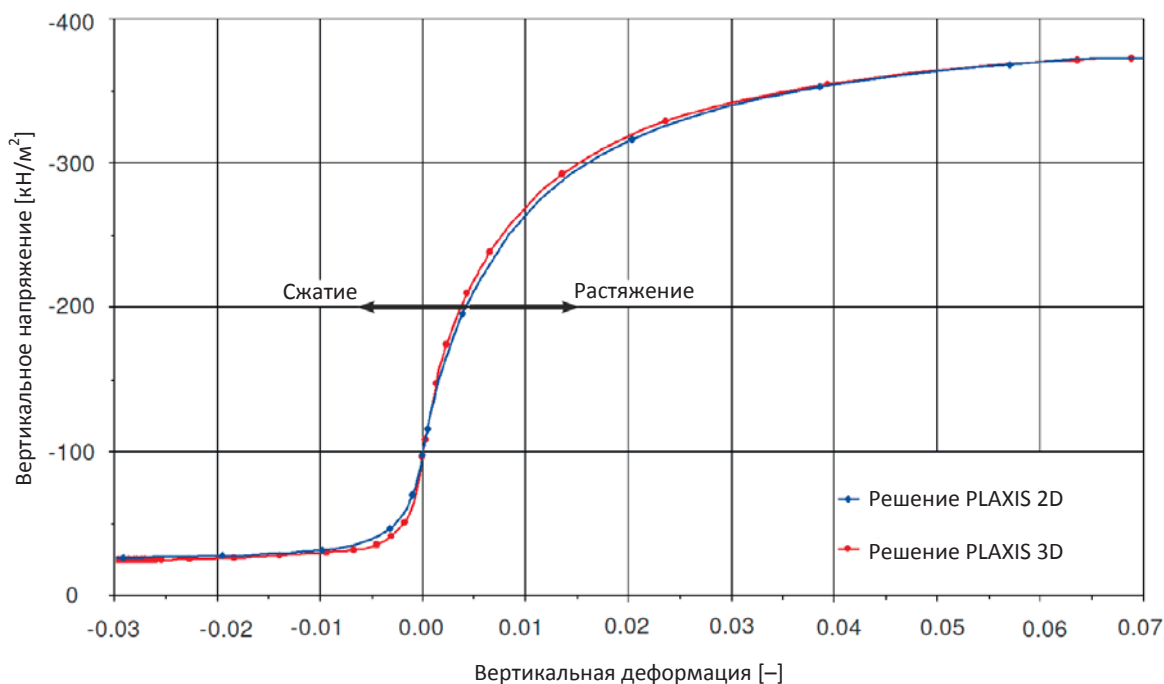


Рис. 2. Результаты трехосного испытания на сжатие и растяжение с использованием модели HS

Проверка: Теоретическое решение для разрушения образца согласно критерию Мора-Кулона:

$$f = \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2} + \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \cdot \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi = 0$$

Разрушение сжатием наступает при напряжении:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} - 2c \cdot \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = -372.86 \text{ кН/м}^2$$

а разрушение растяжением наступает при напряжении:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} + 2c \cdot \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi} = 26.08 \text{ кН/м}^2$$

Результаты вычислений хорошо согласуются с теоретическим решением.