

## Двухосное испытание с использованием линейно-упругой модели

Этот пример предназначен для проверки правомерности упругой деформации согласно закону Гука в PLAXIS. В задаче моделируется осевое нагружение в условиях двухосного испытания.

Используемые версии:

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

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

В PLAXIS 2D граничные условия модели задаются в виде закреплений, доступных в меню *Loads (Нагрузки)*. Левая граница закреплена в горизонтальном направлении, нижняя граница закреплена в вертикальном направлении.

В PLAXIS 3D граничные условия модели определяются в виде заданных перемещений, назначенных на сторонах объёма. Действующие заданные перемещения и нагрузки для каждой фазы испытания даны в табл. 1, 2, 3.

Боковое давление  $\sigma_2$  представлено распределённой нагрузкой на правой стороне. Осевое давление  $\sigma_1$  представлено распределённой нагрузкой на верху образца.

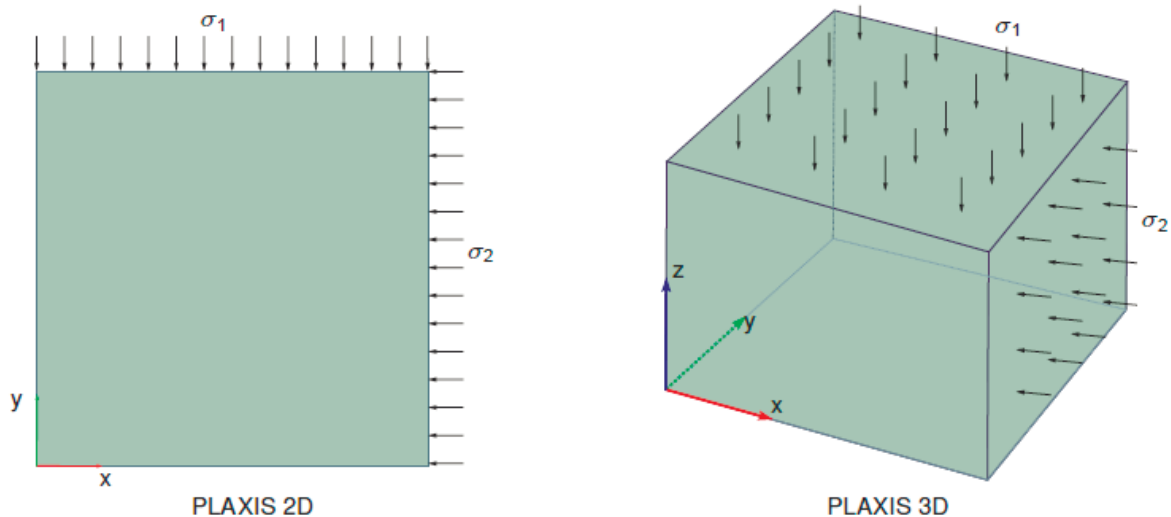


Рис. 1. Двухосное испытание – условия нагружения

**Материал:** Задана нулевая плотность  $\gamma$  и следующие свойства грунта:

Линейно-упругая модель  $E' = 1000 \text{ кН/м}^2$   $\nu = 0.25$

**Сетка:** Для создания особенно крупной сетки выбрана опция *Very coarse* 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:

- Боковое нагружение  $\sigma_2 = -1 \text{ кН/м}^2$

Активирована горизонтальная нагрузка, приложенная к правой границе. Граничные условия и условия нагружения для PLAXIS 3D приведены в табл. 1.

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

Местоположение	Точки	Disp <sub>x</sub>	Disp <sub>y</sub>	Disp <sub>z</sub>	Load <sub>x</sub>	Load <sub>y</sub>	Load <sub>z</sub>
Спереди	(0; 0; 0) (1; 0; 0)	Не	Закреплено	Не	-	-	-
	(1; 0; 1) (0; 0; 1)	закреплено		закреплено			
Сзади	(0; 1; 0) (1; 1; 0)	Не	Закреплено	Не	-	-	-
	(1; 1; 1) (0; 1; 1)	закреплено		закреплено			
Слева	(0; 0; 0) (0; 1; 0)	Закреплено	Закреплено	Не	-	-	-
	(0; 1; 1) (0; 0; 1)			закреплено			
Справа	(1; 0; 0) (1; 1; 0)	-	Закреплено	-	-1.0	-	-
	(1; 1; 1) (1; 0; 1)						
Снизу	(0; 0; 0) (1; 0; 0)	Не	Закреплено	Закреплено	-	-	-
	(1; 1; 0) (0; 1; 0)	закреплено					
Сверху	(0; 0; 1) (1; 0; 1)	-	Закреплено	-	-	-	0.00
	(1; 1; 1) (0; 1; 1)						

- Осевое нагружение  $\sigma_1 = -1 \text{ кН/м}^2$

Активирована вертикальная нагрузка, приложенная к верхней границе. Граничные условия и условия нагружения для PLAXIS 3D приведены в табл. 2.

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

Местоположение	Точки	Disp <sub>x</sub>	Disp <sub>y</sub>	Disp <sub>z</sub>	Load <sub>x</sub>	Load <sub>y</sub>	Load <sub>z</sub>
Спереди	(0; 0; 0) (1; 0; 0)	Не	Закреплено	Не	-	-	-
	(1; 0; 1) (0; 0; 1)	закреплено		закреплено			
Сзади	(0; 1; 0) (1; 1; 0)	Не	Закреплено	Не	-	-	-
	(1; 1; 1) (0; 1; 1)	закреплено		закреплено			
Слева	(0; 0; 0) (0; 1; 0)	Закреплено	Закреплено	Не	-	-	-
	(0; 1; 1) (0; 0; 1)			закреплено			
Справа	(1; 0; 0) (1; 1; 0)	-	Закреплено	-	0.00	-	-
	(1; 1; 1) (1; 0; 1)						
Снизу	(0; 0; 0) (1; 0; 0)	Не	Закреплено	Закреплено	-	-	-
	(1; 1; 0) (0; 1; 0)	закреплено					
Сверху	(0; 0; 1) (1; 0; 1)	-	Закреплено	-	-	-	-1.0
	(1; 1; 1) (0; 1; 1)						

- Двухосное нагружение  $\sigma_1 = \sigma_2 = -1 \text{ кН/м}^2$

Активированы нагрузки, приложенные к верхней и правой границе. Граничные условия и условия нагружения для PLAXIS 3D приведены в табл. 3.

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

Местоположение	Точки	Disp <sub>x</sub>	Disp <sub>y</sub>	Disp <sub>z</sub>	Load <sub>x</sub>	Load <sub>y</sub>	Load <sub>z</sub>
Спереди	(0; 0; 0) (1; 0; 0)	Не	Закреплено	Не	-	-	-
	(1; 0; 1) (0; 0; 1)	закреплено		закреплено			
Сзади	(0; 1; 0) (1; 1; 0)	Не	Закреплено	Не	-	-	-
	(1; 1; 1) (0; 1; 1)	закреплено		закреплено			
Слева	(0; 0; 0) (0; 1; 0)	Закреплено	Закреплено	Не	-	-	-
	(0; 1; 1) (0; 0; 1)			закреплено			
Справа	(1; 0; 0) (1; 1; 0)	-	Закреплено	-	-1.0	-	-
	(1; 1; 1) (1; 0; 1)						
Снизу	(0; 0; 0) (1; 0; 0)	Не	Закреплено	Закреплено	-	-	-
	(1; 1; 0) (0; 1; 0)	закреплено					
Сверху	(0; 0; 1) (1; 0; 1)	-	Закреплено	-	-	-	-1.0
	(1; 1; 1) (0; 1; 1)						

В PLAXIS 3D заданные по умолчанию граничные условия удалены в каждой фазе, используя команду `_sps Phase_1 "DefaultDeformationBCs" False`. Все фазы стартуют с начальной фазы. *Tolerated error (Допустимая погрешность)* задан как 0.001.

**Вывод:** Полученные значения перемещений:

PLAXIS 2D:

Фаза 1:  $u_x = -0.9381$  мм,  $u_y = 0.3119$  мм

Фаза 2:  $u_x = 0.3119$  мм,  $u_y = -0.9381$  мм

Фаза 3:  $u_x = u_y = -0.626$  мм

PLAXIS 3D:

Фаза 1:  $u_x = -0.9375$  мм,  $u_y = 0$  мм,  $u_z = 0.3125$  мм

Фаза 2:  $u_x = 0.3125$  мм,  $u_y = 0$  мм,  $u_z = -0.9375$  мм

Фаза 3:  $u_x = u_z = -0.625$  мм,  $u_y = 0$  мм

Поскольку рассмотрен образец единичной длины, значения этих компонент перемещения равны деформациям в соответствующих направлениях.

**Проверка:** Теоретическое решение для деформаций даёт:

$$\epsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})}{E}$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{zz})}{E} = 0 \leftarrow \sigma_{zz} = \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})$$

$$\epsilon_{zz} = \frac{\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})}{E}$$

Приложенные напряжения и полученные теоретические значения деформаций для каждой фазы представлены в табл. 4:

Таблица 4. Результаты теоретического решения

Тест 1:	$\sigma_{xx} = -1 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{xx} = -0.9375 \cdot 10^{-3}$	$\sigma_{yy} = -0.25 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{yy} = 0$	$\sigma_{zz} = 0 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{zz} = 0.3125 \cdot 10^{-3}$
Тест 2:	$\sigma_{xx} = 0 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{xx} = 0.3125 \cdot 10^{-3}$	$\sigma_{yy} = -0.25 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{yy} = 0$	$\sigma_{zz} = -1 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{zz} = -0.9375 \cdot 10^{-3}$
Тест 3:	$\sigma_{xx} = -1 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{xx} = -0.6250 \cdot 10^{-3}$	$\sigma_{yy} = -0.25 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{yy} = 0$	$\sigma_{zz} = -1 \text{ кН/м}^2$ $\epsilon_{zz} = -0.6250 \cdot 10^{-3}$

Теоретические и вычисленные значения схожи.