



PLAXIS – инструмент инженера-геотехника

Примеры расчетов

Предваряя вопрос о том, как согласуются расчеты в PLAXIS и в СНиП, мы провели сравнительное тестирование. Первый из предлагаемых ниже примеров – это один из тестов, позволивший убедиться, что российские и зарубежные правила, которые используются для расчетов геотехнических конструкций, не противоречат друг другу.

Второй и третий примеры отражают более широкий спектр характерных для PLAXIS задач.

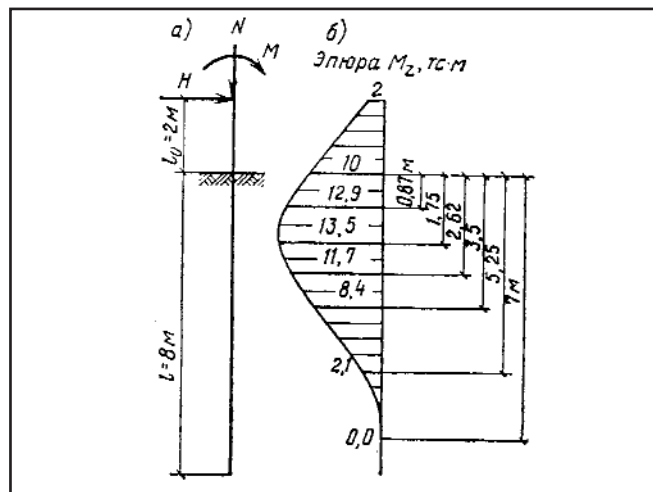
Пример 1

Сравнение результатов расчета сваи по приложению к СНиП 2.02.03-85 с расчетом, полученным с помощью программы PLAXIS.

Задача. Требуется определить расчетные значения наибольшего изгибающего момента и продольной силы.

Исходные данные. Свая железобетонная круглая полая с наружным диаметром $d=0,4$ и внутренним $d_0=0,3$. Голова сваи расположена на высоте $l_0=2$ от поверхности грунта. Свая погружена в мелкий песок на глубину $l=8$. Начальный модуль упругости бетона $E_0=2,9 \cdot 10^6$ тс/м². К голове сваи приложены внешние нагрузки в виде вертикальной силы N , горизонтальной силы H и момен-

В статье "PLAXIS – геотехнические расчеты" (CADmaster, №1'2002) отражены основные функциональные возможности программы, но не затрагивались вопросы практического применения. Учитывая, что специалистов в области геотехнической инженерии интересует прежде всего практика, рассмотрим примеры расчетов для реальных конструкций.



♦ Рис. 1. а) Схема сваи; б) Эпюра изгибающих моментов

та M , нормативные значения которых соответственно равны 30 тс, 4 тс и 2 тс·м.

Характеристики грунта: $\varphi=32^\circ$, $c=0,2 \text{ т/м}^2$, $E=3000 \text{ т/м}^2$.

Значения изгибающих моментов M_z , рассчитанные по СНиП, сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Z, м	M_z , тс·м
0,87	12,9
1,75	13,5
2,62	11,7
3,50	8,4
5,25	2,1
7,00	0

Программа PLAXIS поддерживает различные модели, воспроизводящие поведение грунта и других материалов. В данном примере используется упругопластическая модель Мора-Кулона.

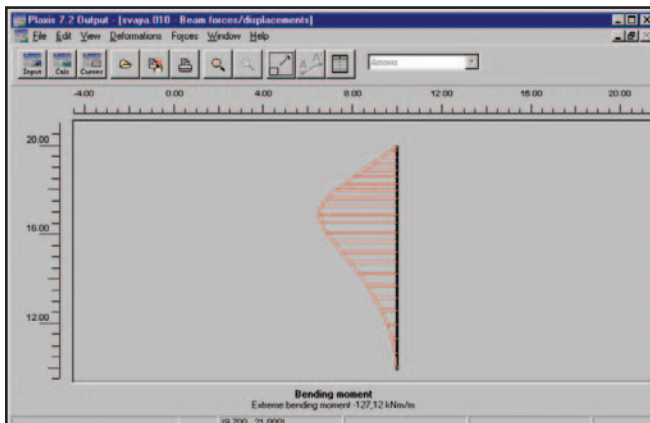


Рис. 2. Эпюра изгибающих моментов (PLAXIS)

Взаимодействие свай с грунтом учитывается с помощью интерфейса (контактной зоны). Прочностные свойства интерфейсов связаны с прочностными свойствами грунта через коэффициент понижения прочности $R_{интер}$ (в нашем случае $R_{интер}=0,65$).

$$c_{интер} = R_{интер} c_{гр} \quad \tan \varphi_{интер} = R_{интер} \tan \varphi_{гр}$$

Если перевести результаты расчетов в одну систему единиц измерений, можно видеть, что численные ре-

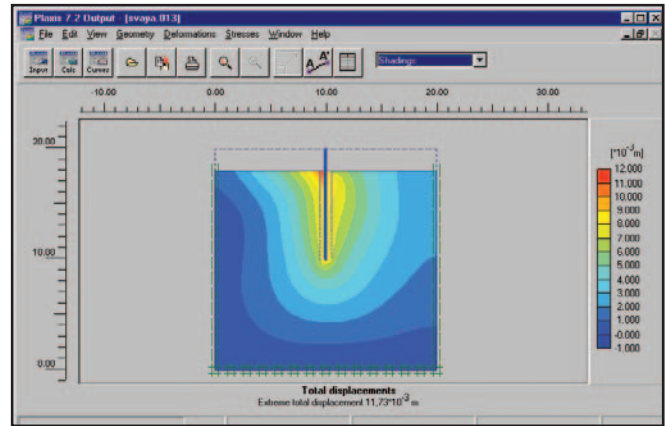


Рис. 3. Полные перемещения

зультаты (табл. 2) прекрасно согласуются с аналитическим решением (табл. 1). Небольшие расхождения могут быть связаны с описанным выше интерфейсом, так как в примере СНиП использовался другой метод учета взаимодействия грунта и свай.

Пример 2

Задача. Расчет напряженно-деформированного состояния плотины с экраном, фильтрационный расчет, консолидация, расчет коэффициента надежности. Расчет ведется на мгновенное возведение плотины от отметки основания плотины до отметки гребня.

Исходные данные. Высота плотины 17 м, ширина плотины по гребню 27 м, по основанию плотины – 142 м, экран плотины представлен супесью, в теле плотины предусмотрена дренажная галерея, напор с верхнего бьефа 12 м. На рис. 4 представлена геометрическая модель плотины с изображением грунтов.

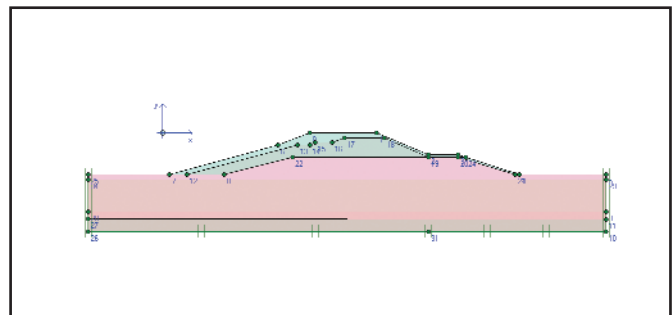


Рис. 4. Геометрическая модель плотины

Значения усилий в узлах свай

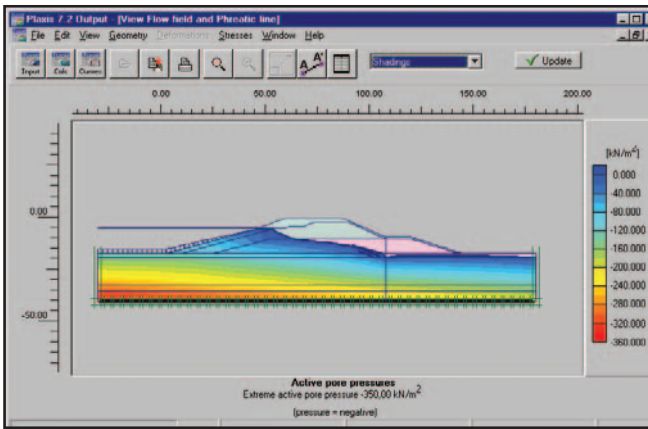
Таблица 2

Beam	Element	Node	X [m]	Y [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kNm/m]
1	23	1066	10	0,9	-283,9	-2,3	-126,0
	23	983	10	1,7	-271,3	25,6	-115,0
	23	876	10	2,6	-262,9	33,5	-87,7
	23	864	10	3,5	-260,1	28,8	-57,4
	23	695	10	5,1	-267,4	16,2	-21,4
	23	624	10	7	-231,0	4,6	-1,8

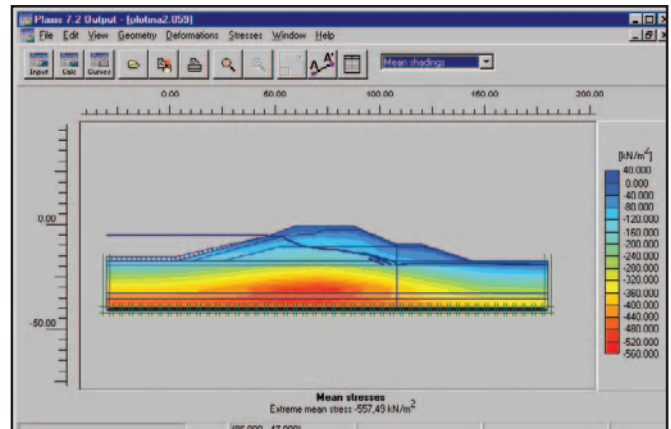
Свойства материалов

Номер	Идентификация	$\gamma_{сат}$ [кН/м ³]	E_s [кПа]	ν_s [м/м]	α [1/1]	β [кН/м ²]	β_0
1	экран плотины	19,0	0,2500	0,2500	0,30	20000,0	
2	грунт	19,0	11,0000	0,0700	11,00	20000,0	
3	грунт	20,3	0,0500	0,0700	0,20	14000,0	
4	грунт	21,5	11,0000	0,0700	11,00	20000,0	

Рис. 5. Набор данных по материалам

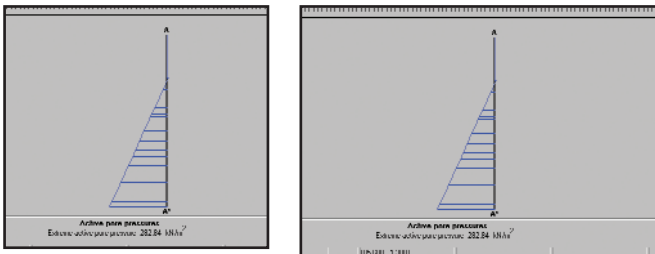


▲ Рис. 6. Распределение активного порового давления в теле плотины



▲ Рис. 9. Полные напряжения в теле плотины

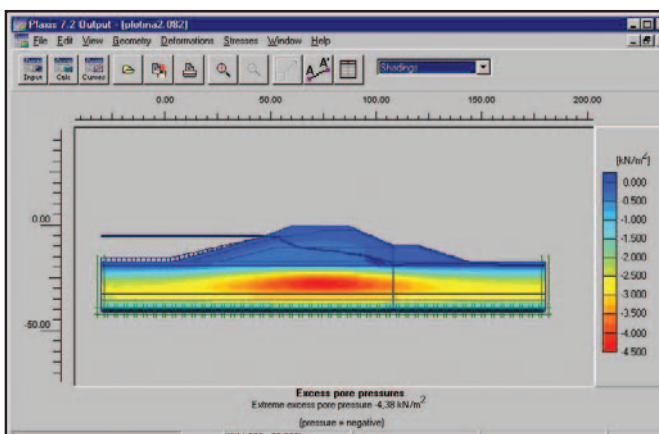
Генерация давления путем расчета потока грунтовых вод основана на расчете методом конечных элементов с использованием проницаемости кластеров грунта, пост-



▲ a) Рис. 7. а) Распределение активного порового давления и б) тотального напряжения (разрез по центру плотины)

роенной сетки и граничных условий, заданных в режиме гидравлических условий. Сгенерированные давления воды могут использоваться в качестве входных данных для расчета деформаций.

Программа PLAXIS позволяет просмотреть распределение скоростей, активного давления воды, тотальных и эффективных напряжений в произвольном разрезе.



▲ Рис. 8. Избыточные поровые давления при $|P\text{-stop}| = 6 \text{ kN/m}^2$.

Автоматически рассчитывается суммарный расход воды.

Расчет консолидации основания плотины ведется до достижения минимального порового давления. Вычисления прекращаются, когда максимальное абсолютное избыточное поровое давление оказывается ниже заданной величины $|P\text{-stop}|$.

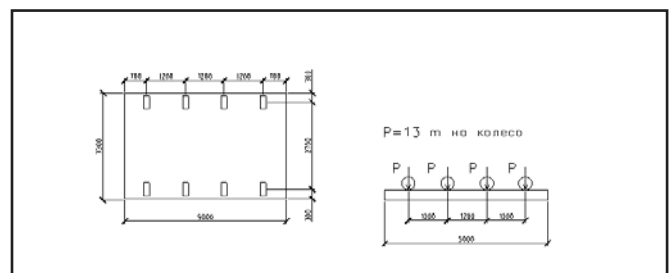
В PLAXIS существует и другая опция для расчета на консолидацию: *Консолидация до достижения предельного времени*, позволяющая закончить вычисления в момент достижения заданного времени.

В решаемой задаче представляет интерес и расчет коэффициента надежности. Для таких расчетов в программе предусмотрена опция *Снижение ϕ , c* . При использовании алгоритма *Phi-c reduction* (Снижение ϕ , c) параметры прочности грунта $\tan\phi$ и c последовательно уменьшаются до тех пор, пока не произойдет разрушение. Этот способ напоминает метод расчета коэффициентов надежности, принятый при расчетах по круглоцилиндрическим поверхностям.

Полученный коэффициент надежности $\Sigma Msf = 1,63$ на низовом откосе согласуется с коэффициентом, рассчитанным аналитическим методом.

Пример 3

В некоторых случаях для оценки напряженно-деформированного состояния бывает недостаточно решить плоскую задачу. Рассмотрим пример упругопластического расчета плиты для трамвайных путей в объемной модели программы PLAXIS 3D Tunnel. Схема загрузки показана на рис. 10.



▲ Рис. 10. Схема загрузки

Присвоение свойств материалов производится так же, как в программе PLAXIS (см. рис. 11 и 12).

При генерации 3D-сетки вводятся дополнительные планы на заданных расстояниях в z-направлении — для последующей активации элементов и нагрузок в процессе расчета. На рис. 13 представлена деформированная 3D-сетка.

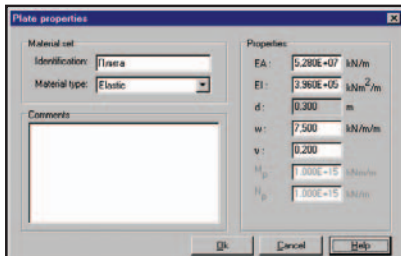


Рис. 11. Свойства плиты

По сравнению с плоской моделью время расчета в программе PLAXIS 3D Tunnel увеличивается за счет использования по умолчанию 15-узловых элементов.

ID	Name	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [°]
1	petok(z)	19,0	21,0	0,18	40000,0	0,2	38,0
2	gravyl(z)	18,0	20,0	0,16	80000,0	0,0	40,0
3	super(z)	20,4	23,0	0,25	7000,0	0,6	12,0
4	super py(5)	21,7	23,0	0,25	10000,0	1,1	13,0

Рис. 12. Набор данных по материалам

На рис. 14 показаны полные (тотальные) напряжения в плане С. Хорошо видна концентрация напряжений под краем плиты — это соответствует случаю, когда жесткость плиты в несколько раз превосходит жесткость грунта.

Поскольку имеется равномерное нагружение плиты высокой жесткости, картина полных перемещений выглядит правдоподобно. Как видно на рис. 15, получена примерно одинаковая осадка плиты.

Программа PLAXIS 3D Tunnel предоставляет дополнительные возможности для более сложного проектирования тоннелей с учетом особенностей проходки, а также решает большинство задач, рассматриваемых в программе PLAXIS, в объемной модели. В PLAXIS 3D Tunnel существует только расчет пластического состояния — расчет упругопластических деформаций без учета эффекта больших деформаций.

Несмотря на справочную лаконичность сказанного, надеемся, что эта статья предоставит специалистам необходимую информацию о некоторых задачах, решаемых при помощи инженерного геотехнического инструментария программы PLAXIS.

Ольга Патронова
 "НИИП-Информатика"
 Санкт-Петербург
 Тел.: (812) 370-1825
 E-mail: OlgaP@nipinfor.spb.su

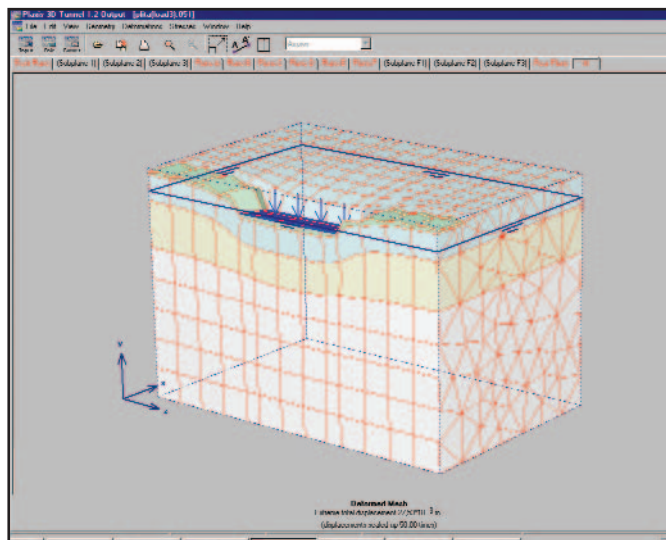


Рис. 13. Деформированная сетка

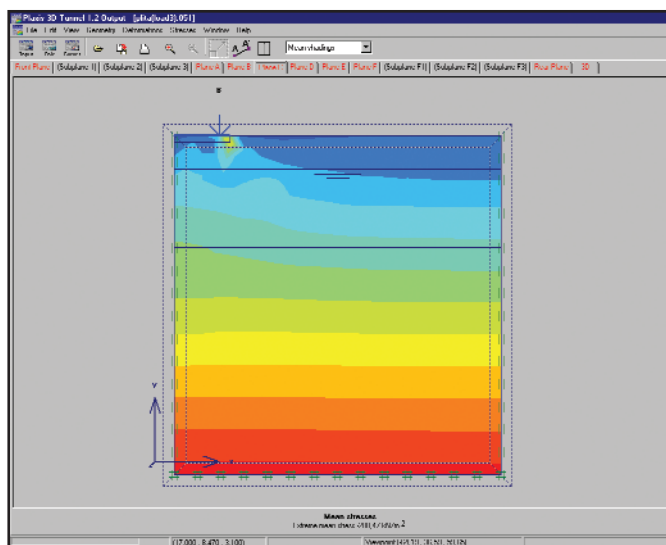


Рис. 14. Полные напряжения

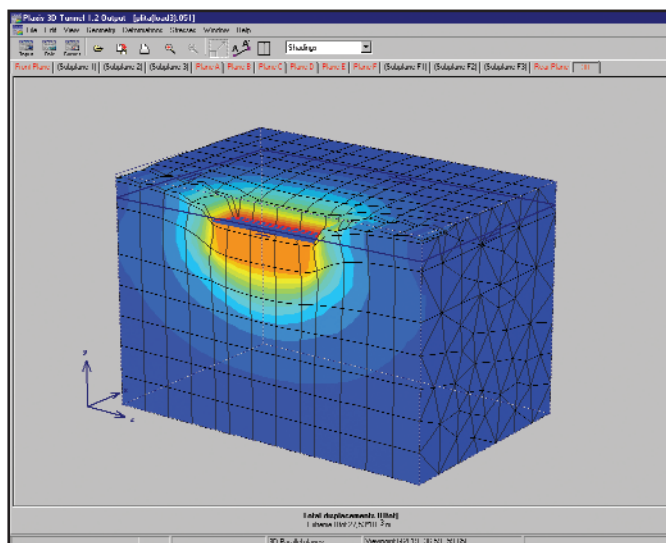


Рис. 15. Полные деформации