

УДК 624.137.2

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ

А.С. КОРОТКИЙ, В.В. ЕРМАЧЕНКО

(Представлено: магистр техн. наук Н.Н. ВИШНЯКОВ; канд. техн. наук, доц. А.П. КРЕМНЁВ)

*Рассматриваются различные методы расчётов коэффициента устойчивости откоса при трёх разных сложениях грунтового склона. Получены и проанализированы результаты расчёта в программных комплексах PLAXIS и FSS-PSU.*

В строительстве постоянно возникает потребность в расчете устойчивости откосов для исключения их обрушения. Более точный расчет откоса на устойчивость позволяет заранее предсказать появление аварий и дает возможность заранее предусмотреть мероприятия по креплению стенок откосов.

Использование программных комплексов позволяет уменьшить трудоемкость расчетов и повысить их точность за счет более сложных расчетных моделей поведения грунта. Однако даже самые современные программные комплексы могут давать результаты, которые не согласуются с фактическими данными полевых испытаний и наблюдений. При этом расхождение между данными испытаний и расчетов иногда могут достигать десятки процентов и больше. Причина расхождения результатов расчета с опытными данными может завесить как от исходных данных, так и принятой расчетной модели грунта. Использование для расчетов программ позволяет значительно уменьшить время этих расчетов и повысить их точность за счет того, что используются сложные расчетные модели поведения грунта.

Широко применяемым способом при расчете устойчивости откосов является графоаналитический метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, реализованный в расчётном комплексе FSS-PSU, разработанном в Полоцком Государственном университете. Программа является объективно-ассоциативной системой, позволяющей организовать хранение и манипулирование сложноструктурированных данных. Позволяет выполнить расчёт устойчивости по методу круглоцилиндрических поверхностей при любых грунтовых основаниях. При этом поиск наиболее опасных поверхностей скольжения выполняется итерационным методом по специальному алгоритму [1].

При принятии круглоцилиндрической поверхности скольжения используется метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Принцип расчета заключается в том, что мы задаем поверхность скольжения с центром в точке О, и для нахождения коэффициента устойчивости определяется сумма моментов удерживающих к сумме моментов сдвигающих (1):

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} \quad (1)$$

Метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения широко известен и применяется как для расчета несущей способности оснований фундаментов, так и для оценки устойчивости откосов. Наибольшую сложность в данном методе вызывает поиск наиболее опасной поверхности скольжения, для которой коэффициент запаса минимальный [2].

Также широкое распространение получили программные комплексы, основанные на методе конечных элементов. Одна из таких программ – PLAXIS, позволяющая выполнять широкий круг расчётов в области задач по механике грунтов. Главным свойством данного комплекса является наличие разных моделей грунта, которые позволяют оценить с различной степенью адекватности работу грунта.

При создании геометрической модели в расчётном комплексе PLAXIS грунтовый массив разбивается на 15-узловые треугольные изопараметрические конечные элементы. Перемещения определяются в 15 узлах, напряжения – в 12 точках. При моделировании работы грунта под нагрузкой используется упругопластическая модель Мора-Кулона, которая включает 5 исходных параметров: модуль деформаций  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , угол внутреннего трения  $\varphi$ , удельное сцепление  $c$ , угол дилатансии  $\psi$  (не учитываем) [3].

При оценке общей устойчивости откоса используется коэффициент общей устойчивости, который может определяться как отношение фактической прочности грунта на сдвиг к прочности на сдвиг в предельном состоянии. Если в качестве условия предельного равновесия принято условие прочности Мора – Кулона, то коэффициент общей устойчивости определяется по формуле (2):

$$\xi = \frac{c + \sigma_n \cdot \tan \varphi}{c_r + \sigma_n \cdot \tan \varphi_r} \quad (2)$$

где  $c$  и  $\varphi$  – прочностные характеристики грунтов в основании;

$\sigma_n$  – фактическое нормальное напряжение;

$c_r$  и  $\varphi_r$  – значения прочностных характеристик грунтов в предельном состоянии.

Для оценки общей устойчивости в PLAXIS реализован метод Phi-c-reduction (последовательно понижаются значения  $\varphi$  и  $c$  до разрушения грунта). Устойчивость при этом определяется коэффициентом  $\Sigma M_{sf}$ (3):

$$\Sigma M_{sf} = \frac{c}{c_r} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} \quad (3)$$

Для сравнения в программных комплексах PLAXIS и FSS-PSU рассмотрен откос высотой 13 м с углом заложения  $\alpha = 60^\circ$ . Были рассмотрены 3 варианта геологического строения откоса:

1 вариант – ленточная глина;

2 вариант – песок мелкий;

3 вариант – в нижней части откоса ленточная глина, сверху песок мелкий.

Для данных типов грунтов были приняты физико-механические характеристики, приведённые в таблице 1.

Таблица 1. – Физико-механические параметры грунтов

Наименование грунта	Удельный вес $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Удельное сцепление $C$ , кПа	Угол внутреннего трения $\varphi_r$ , °	Модуль деформаций $E$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\nu$
Песок мелкий	15	1,5	31	20	0,30
Ленточная глина	20	19,12	7,91	18	0,35

Расчётная конечно-элементная схема откоса в программном комплексе PLAXIS приведена на рисунке 1, на рисунке 2 – расчётная схема откоса из FSS-PSU результаты расчёта представлены в таблице 2.

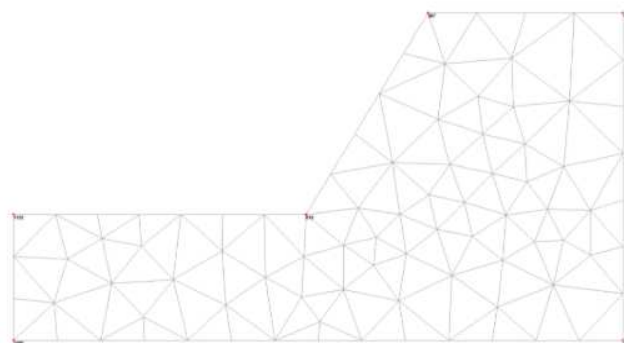


Рисунок 1. – Расчётная модель в PLAXIS

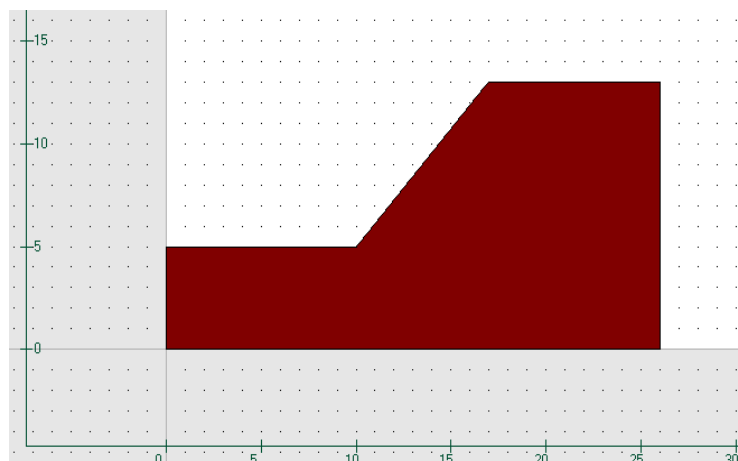


Рисунок 2. – Расчётная модель в FSS-PSU

Результаты определения коэффициента устойчивости откоса приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Значения коэффициентов устойчивости

Варианты сложения откоса	Коэффициент устойчивости в PLAXIS	Коэффициент устойчивости в FSS-PSU	Расхождение в %
1 вариант (ленточная глина)	0,966	0,880	8,9
2 вариант (песок мелкий)	0,797	0,700	12,2
3 вариант (в нижней части откоса ленточная глина, сверху песок мелкий)	0,940	0,870	7,4

Анализируя результаты расчетов, выполненных в программных комплексах, можно увидеть, что максимальное расхождение было получено для откоса, сложенного песками мелкими и составило 12,2%. Различные подходы к оценке устойчивости откосов дали приемлемую разность в результатах расчетов в связи с тем, что грунты более неоднородная среда, нежели железобетон или сталь. Это доказывает возможность использования различных расчётных моделей для оценки устойчивости откосов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов Д.О., Кремнев А.П., Глухова Т.М. Объектно-ассоциативный подход к построению алгоритмов расчета и визуализации пространства цилиндрических поверхностей скольжения в расчетах устойчивости откосов / Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. – №4. – Новополоцк: РИО ПГУ, 2011. – 43–515 с.
2. Кремнев А.П., Глухов Д.О., Вишняков Н.Н. Определение наиболее опасной поверхности скольжения при расчете устойчивости откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения / Вестник Полоцкого государственного университета серия Ф. Прикладные науки. Строительство. – Новополоцк: ПГУ, 2011, 37–41 с.
3. Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика / Г.В. Железняков, Ю.А. Ибад-заде, П.Л. Иванов [и др.]; под ред. В.П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.