

Дороги

выпуск

ПРОЕКТИРОВАНИЕ. СТРОИТЕЛЬСТВО. СОДЕРЖАНИЕ

ВРЕМЯ БЕЗУПРЕЧНЫХ РЕШЕНИЙ!

ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКА СПЕЦТЕХНИКИ СЕРВИС И ЗАПАСНЫЕ ЧАСТИ



ЗАО «КОМИНВЕСТ-АКМТ»
111123, РОССИЯ, МОСКВА, ПЛЕХАНОВА, 4А
ТЕЛ.: 8-495-212-212-2 МОСКВА И МО
8-800-700-212-2 РЕГИОНЫ
(ЗВОНОК БЕСПЛАТНЫЙ)
E-MAIL: INFO@COMINVEST-AKMT.RU
WWW.COMINVEST-AKMT.RU



РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА С ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Одним из широко применяемых вариантов обеспечения устойчивости насыпей, в том числе и на слабых основаниях, является использование геосинтетических армирующих материалов. Однако полноценного метода расчета устойчивости армированного сооружения в нормативных источниках нет.

Учитывая, что причинами разрушения армированного откоса могут служить разрыв геосетки, ее выдергивание при недостаточной длине или большое удлинение, необходимо выполнять проверку всех трех вариантов. Единственным программным продуктом, позволяющим учесть перечисленные критерии, является геотехнический комплекс Plaxis, в котором реализован метод конечных элементов.

Последовательность выполнения следующая: задается определенная прочность геосинтетического материала и, учитывая свойства сырья, его удлинение. В расчет принимают показатель осевой жесткости EA, который определяется отношением разрывной нагрузки к относительному удлинению и учитывает сразу два критических параметра. Выполняют расчет устойчивости и определяют соответствующий коэффициент, при этом учитывается удлинение прослойки и ее влияние на устойчивость откоса. При достаточной величине $K_{уст}$ определяют, какие растягивающие напряжения возникли в прослойке, и сравнивают их с допустимыми. Проверка условий взаимодействия геосетки с грунтом выполняется при определении коэффициента устойчивости с учетом заданного коэффициента снижения трения грунта по прослойке. В случае больших величин деформации прослойки устойчивость может быть недостаточна [1].

Выбор вариантов вычисления коэффициента устойчивости определяется специфическими условиями проектирования инженерных сооружений в разных отраслях строительства. Например, в железнодорожном строительстве традиционно используется методика проф. Г. М. Шахунянца, для автодорожного строительства – методика Маслова-Берера, для гидротехнического строительства – методи-

ка Г. Крея. Есть и универсальные методики, используемые во всех отраслях строительства, – это вариант К. Терцаги, А. Бишопа и др. В практической работе по оценке устойчивости склонов (откосов) для сравнительного анализа результатов оценки всегда желательно использовать несколько методов расчета [6]. Однако ни один из вышеперечисленных авторов не разрабатывал метод расчета устойчивости армированного откоса, а добавление к удерживающим силам прочности геосинтетического материала, как это предлагается отечественными рекомендациями, не самый лучший способ учета геосинтетической прослойки. И в «Пособии по проектированию...» [2], и в ОДМ 218.5.003–2010 [3] формула выглядит следующим образом:

$$K_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + \sum_{i=1}^n C I_i}{\sum_{i=1}^n T_i - R_p} \quad (1)$$

Обращаем внимание, что прочность геосинтетического материала, относящаяся к удерживающим силам, помещена в знаменатель, который учитывает сдвигающие усилия. В то же время в некоторых зарубежных программах по расчету устойчивости наряду с приведенной формулой используется другая, в которой прочность геоматериала учитывается в числителе. Соответствующие варианты расчета называются «активный» и «пассивный», однако в руководстве нет четкого определения, какой же формулой пользоваться.

Существенным недостатком этого подхода является невозможность учесть деформируемость геосинтетических материалов. Геоматериалы из разного сырья имеют различные прочностные и деформационные свойства, которые необходимо учитывать в расчетах.

Е. В. Федоренко, ■
Т. С. Вавринюк, ■
МИАКОМ Инжиниринг

Табл. 1. Результаты сравнительных расчетов.

Осевая жесткость геоматериала, кН/м (EA)	Прочность геоматериала, кН/м	Инженерные методы			МКЭ
		$K_{уст}$ Феллиниус	$K_{уст}$ Бишоп	$K_{уст}$	
900	100	1,03	1,09	1,04	верхняя 57 нижняя 66
1000	110	1,05	1,11	1,05	
1500	165	1,13	1,19	1,13	

Например, сравнительный расчет по формуле (1) из рекомендательных документов [2, 3] для откоса, армированного нетканым геотекстилем (типа «дорнит») с прочностью 40 кН/м или полиэфирной геосеткой с такой же прочностью, покажет одинаковый коэффициент устойчивости. В действительности геотекстиль имеет удлинение 50–90% (и более), что предопределяет разрушение откоса, в отличие от варианта с применением полиэфирной геосетки с удлинением не более 12%. Соответственно, если запас по прочности может показаться большим, то это не означает, что заложен излишне прочный материал. Большая прочность соответствует меньшему удлинению, а значит, принятый к расчету геоматериал позволяет обеспечить устойчивость по критерию удлинения.

Существуют программы, автоматизирующие расчеты устойчивости, в том числе с применением геосинтетических материалов. Например, программа «Устойчивость откоса» (комплекс GEO 5 компании Fine) позволяет задавать армирующие

прослойки двумя параметрами: прочностью и сопротивлением выдергиванию (или коэффициентом взаимодействия). Преимуществом этой программы является автоматизированный расчет, а также оптимизация (поиск) положения поверхности скольжения, в том числе после добавления армирующих прослоек. Однако при использовании этого программного продукта возникают трудности в определении величины сопротивления выдергиванию (в последней версии можно задавать этот параметр прочностными характеристиками). И такой расчет не учитывает критерий разрушения, связанный с излишним удлинением прослойки.

Наиболее успешными, на наш взгляд, являются принципы учета геосинтетических прослоек, реализованные в программном геотехническом комплексе Plaxis. Особенностью подхода является использование в качестве исходных параметров осевой жесткости геосинтетического материала, поэтому используемый программой метод расчета позволяет учесть все три

критерия разрушения. Единственным недостатком такого подхода является отсутствие автоматического учета нелинейности поведения геоматериала под нагрузкой, что на данном этапе развития программного обеспечения решается выполнением серии расчетов [4].

Применение численных методов расчета регламентируется такими документами как СП 16.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения» (актуализированная редакция СНиП 22–02–2003) и ОДМ 218.2.006–2010 «Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог».

Для сравнения выполнены расчеты простого одноуровневого откоса с армированием двумя слоями геосинтетического материала в программе с инженерным методом расчета и в геотехническом комплексе Plaxis. Использование инженерных методов расчета таких конструкций имеет свои нюансы [1]. Как правило, расчеты выполняются не вручную, а с применением соответствующих программ: GGU Stability; GEO5 (SlopeStability); GeoStab; PRUST; GeoStudio (SLOPE/W); MacStARS 2000; Slide; DCGeotex; MRE и др.

Откос высотой 15 м с углом заложения 30° представлен грунтом с характеристиками: удельный вес $\gamma = 18,5$ кН/м³; удельное сцепление $c = 12$ кПа; угол внутреннего трения $\phi = 14^\circ$. Расчеты выполнялись с подбором прочности геоматериала двумя инженерными методами (методы предельного равновесия): Феллиниус и Бишоп, а также с использованием метода конечных элементов (МКЭ) методом снижения прочностных характеристик. Результаты представлены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что для простых инженерно-геологических условий результаты расче-

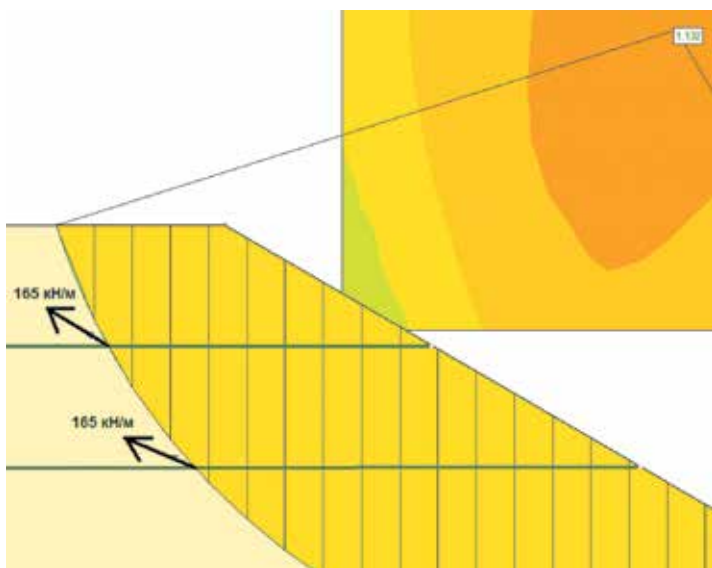


Рис. 1. Учет геоматериала в расчетной схеме: удерживающая сила, равная прочности, направленная под определенным углом.

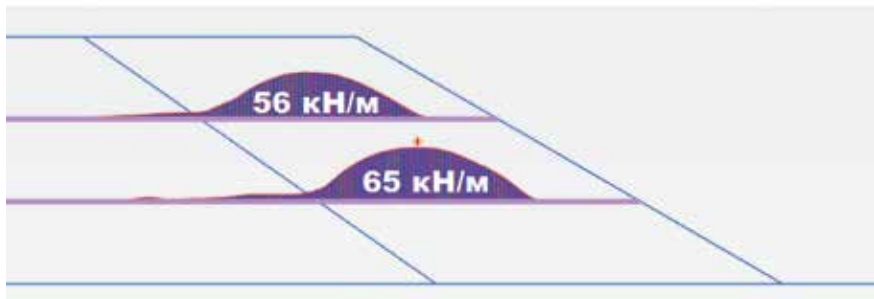


Рис. 2. Эпюры усилий в армирующих прослойках (максимальное значение в верхней – 56 кН/м; в нижней – 65 кН/м) при расчете с осевой жесткостью $EA=1500$ кН/м (прочность $R=165$ кН/м).

тов инженерными методами и МКЭ хорошо согласуются. Принимая за требуемый коэффициент устойчивости значение $K_{уст}=1,1$, по результатам подбора получено, что требуемая прочность геоматериала составляет 165 кН/м (осевая жесткость $EA=1500$ кН/м). Однако между сравниваемыми методами есть существенная разница. Принцип расчета армированных геосинтетическими материалами грунтовых сооружений заключается в определении долговременной прочности [2,3]: расчетные усилия, возникшие в прослойках, увеличиваются на коэффициент, учитывающий ползучесть, повреждения при укладке и влияние окружающей среды. То есть геоматериал с кратковременной (номинальной) прочностью 100 кН/м имеет длительную прочность около 40 кН/м.

Недостатком инженерных методов расчета устойчивости является то, что в расчет включается вся прочность (кратковременная) материала, и нет возможности определить, не превышают ли растягивающие усилия длительную прочность.

Как видно из рис. 1, в расчет принята полная прочность материала, равная 165 кН/м, причем это значение одинаково как для верхнего, так и для нижнего слоя. Согласно результатам расчета, необходимо по полученной прочности 165 кН/м, обеспечивающей устойчивость $K_{уст}=1,13$, определить длительную, которая, в зависимости от условий, может быть в 2–2,5 раза больше. Таким образом, для обеспечения требуемой устойчивости необходимо заложить геоматериал с прочностью $165 \times 2,5 = 412$ кН/м, тогда через 100 лет армирующая прослойка будет иметь прочность не менее требуемых по расчету 165 кН/м.

МКЭ в аналогичном расчете дает значение в верхней прослойке 56 кН/м; в нижней – 65 кН/м (рис. 2),

геоматериал с номинальной прочностью 165 кН/м имеет длительную прочность 66 кН/м (или, обратным расчетом, $65 \text{ кН/м} \times 2,5 = 163,6 \text{ кН/м} < 165 \text{ кН/м}$) и может быть принят в качестве армирующего элемента [5].

Использование инженерных методов расчета устойчивости позволяет выполнять оценку сооружений с учетом армирующих прослоек, но основная проблема заключается в том, что устойчивость определяется методом вычисления сил (моментов) в состоянии предельного равновесия: в расчет включается вся прочность геосинтетического материала, вне зависимости от его положения и деформативности.

МКЭ вычисляет устойчивость по деформациям, снижая прочностные характеристики и определяя состояние откоса, а следовательно, учитывает постепенное растяжение геоматериала и влияние его жесткости на перемещения (устойчивость) грунтового массива. Результаты, полученные по МКЭ, позволяют проверять, какие растягивающие усилия возникли в прослойке, и сравнивать их с длительной прочностью, а также оценивать линейность/нелинейность работы прослойки.

Заключение

Существующие методы расчета устойчивости земляного полотна, регламентированные нормативными источниками, имеют большое количество упрощений и допущений, связанных с невозможностью в большинстве практических случаев учесть сложность инженерно-геологических условий и всех особенностей поведения грунтов [4]. Безусловно, многолетний практика применения инженерных методов свидетельствует об их достоверности, однако это можно отнести только к простым случаям (однородный грунт, отсутствие пластического выдавливания и по-

добные), которые не так часто встречаются в практике индивидуального проектирования. Тем не менее, простые задачи позволяют сопоставить результаты расчетов инженерными методами и численным моделированием и оценить их равнозначность. Однако в более сложных случаях инженерные методы могут давать очевидно некорректные результаты, в отличие от численных.

Еще одним существенным преимуществом численного моделирования является более корректный расчет сооружений с геосинтетическими материалами. Различные принципы расчета, положенные в основу рассматриваемых методов, определяют невозможность для инженерных методик определять усилия в армирующих прослойках и оптимально подобрать геоматериал.

При этом следует учитывать тот факт, что в вузах не производится подготовка специалистов-геотехников, а использование геотехнических программных комплексов требует серьезных знаний механики грунтов. ■

Литература

1. Рекомендации по применению геосинтетических материалов в конструкциях промышленных дорог. СПб. : Миаком, 2013.
2. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. М., 2004.
3. ОДМ 218.5.003–2010 Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. М. : Росавтодор, 2010.
4. Вавринюк Т.С., Федоренко Е.В. Геотехническое обеспечение применения геосинтетических материалов в конструкциях на слабых основаниях. Дорожная держава. 2013. № 45.
5. Федоренко Е. В. Геотехнические расчеты конструкций земляного полотна с применением геосинтетических материалов. X Научно-техническая конференция с международным участием. Чтения, посвященные 109-летию профессора Г.М. Шахуняца. М. : МИИТ, 2013.
6. Горшков Н.И., Краснов М.А. Оценка устойчивости земляного полотна на основе метода конечных элементов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2012. № 1.