

# ВЛИЯНИЕ ПЛОСКИХ ГЕОРЕШЕТОК НА СДВИГОУСТОЙЧИВОСТЬ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

В нашей стране уже несколько лет достаточно широко применяются геосинтетические материалы, в том числе и в дорожных одеждах. Одним из преимуществ применения таких материалов является повышение сдвигоустойчивости, однако какого-либо обоснованного объяснения механизма этого процесса по большому счету нет.

В нормативных документах приводится методика определения сдвигоустойчивости в зависимости от регрессионных коэффициентов, однако, как показывает анализ [4] такой подход не совсем обоснован. В других методиках расчета коэффициенты, учитывающие присутствие геосинтетических материалов, никаким образом не зависят от характеристик этих материалов, либо имеют конкретную привязку к определенным маркам. ОДН 218.046–01 в расчетах сдвигоустойчивости оставляет большую свободу действиям, поскольку коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции (в том числе и при наличии геосинтетических материалов), не имеет четко обозначенных, соответствующих значений.

Если обратиться к теоретическим основам механики грунтов, то, в общем случае, сдвигоустойчивость определяется действующими в расчетной точке напряжениями и прочностью грунта. В общем случае критерий прочности выражает требование, чтобы активное сдвигающее напряжение  $\tau$  в данной точке было не больше сопротивления материала дорожной одежды или земляного полотна сдвигу и имеет вид:

$$\tau \leq c + \sigma \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$$

где  $c$  – удельное сцепление грунта;

$\varphi$  – угол трения;

$\sigma$  – нормальное напряжение на данной элементарной площадке.

Используя круг Мора в условиях напряженного состояния (плоская

задача) зависимость (1) можно представить в виде (форма Соколовского В.В.):

$$(\sigma_1 - \sigma_2)/2 \leq c \cdot \cos(\varphi) + (\sigma_1 + \sigma_2) \cdot \sin(\varphi)/2$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – главные напряжения от внешней нагрузки.

Наличие арматуры влияет на свойства грунта, в частности, при условии, что размер ячейки  $D \leq 2.0A$  (по другим источникам  $D < 2.2A$ ), где  $D$  – наибольший размер зерен;  $A$  – средний размер ячеек, то есть, имеет место явление псевдосцепления в армированном грунте за счет заклинивания частиц в ячейках арматуры.

При расположении арматуры в направлении главных растягивающих напряжений и соблюдении указанного условия, деформации растяжения существенно ограничены по величине, в зависимости от относительной растяжимости арматуры. Такую особенность можно проиллюстрировать кадрами из видеоролика с сайта <http://retainingwallexpert.com> (рис. 1). Наглядно видно, что куб армированного щебня представляет собой связный грунт, при этом способный выдерживать прикладываемые к нему нагрузки.

Таким образом, послойно помещенные в грунт горизонтальные армирующие элементы будут препятствовать боковой деформации благодаря возникновению сил трения между армирующими элементами и грунтом, что соответствует состоянию всестороннего сжатия. Разрушение может произойти только в случае разрыва армоэлементов [2].

**Е.В. Федоренко,** ■  
к.г.-м.н., геотехник,  
гл. инженер  
«МИАКОМ Инжиниринг»



Рис. 1.  
Эффект армирования дисперсных несвязных грунтов георешетками

Эффект блокировки (бокового сдерживания) заключается в ограничении горизонтальных перемещений несвязных частиц грунта. По своей сути это похоже на явление дилатансии в сыпучих грунтах, то есть за счет заклинивания частиц, сдвиговые деформации сопровождаются пиковым возрастанием сопротивления сдвигу. Это объясняется появлением дополнительных сил, препятствующих выходу зерен, слагающих породу, из своих гнезд, где они находились при исходном состоянии грунта. На рисунке 2 (справа) показана зависимость деформаций сдвига ( $\lambda$ ) и сдвигающих напряжений ( $\tau$ ), где линия, обозначенная цифрой 2, соответствует характеру деформаций армированного грунта. В левой части сопоставлена зависимость сопротивления сдвигу от нор-

мальных напряжений. Очевидно, что наличие армирующей прослойки приведет к образованию зацепления зерен, что по существу можно отнести к возникновению псевдосцепления сарм.

Исходя из теории предельного равновесия, эффект армирования (рис. 1) объясняется следующим образом: помещенные в грунт прочные горизонтальные армирующие элементы препятствуют боковой деформации, при этом поведение грунта будет таким же, как и в случае одноосного сжатия, то есть при отсутствии бокового давления. На диаграмме Мора этот случай будет соответствовать касанию кругом начала координат (рис. 3).

Вертикальное напряжение  $\sigma_1 = \sigma_{арм}$ , соответствующее моменту разрушения армированного грунта будет возникать в

случае, когда растягивающие напряжения превысят прочность армирующих прослоек. Предельное состояние сыпучей среды по прочности возникает в точке при соотношении главных нормальных напряжений:

$$\sigma_2 / \sigma_1 = \operatorname{tg} 2(45^\circ - \varphi/2) = \zeta$$

где  $\zeta$  – коэффициент активно-бокового давления.

Исходя из условия невозможности превышения растягивающими напряжениями прочности арматуры, можно получить величину вертикальных напряжений, соответствующих моменту разрушения:

$$\sigma_{разр} = R / \zeta$$

Где  $R$  – прочность геоматериала. Повышение сопротивления сдвигу армированного грунта по

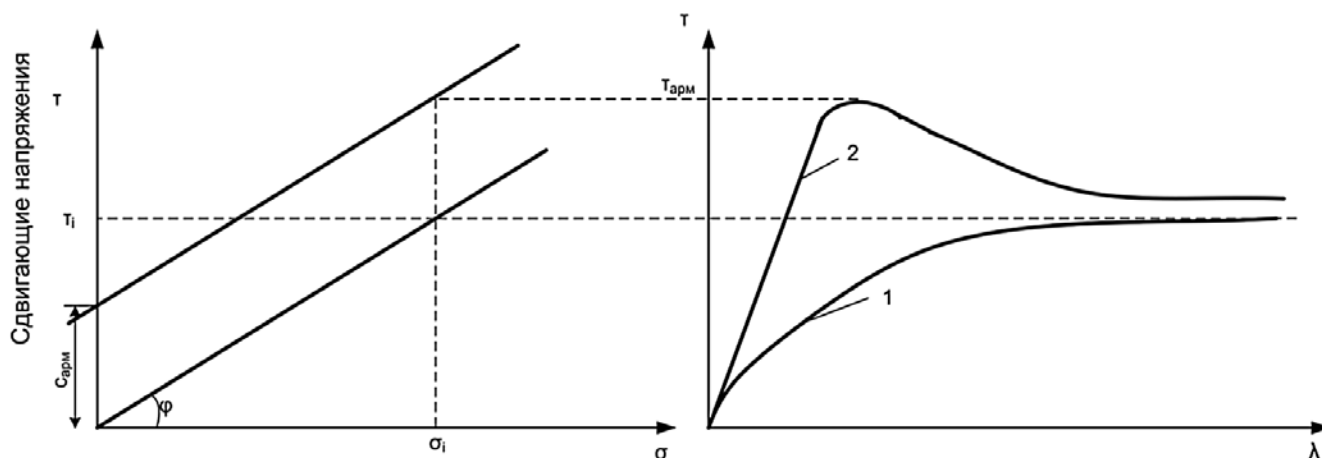


Рис. 2. Предельные прямые и характер деформаций сдвига армированного и неармированного грунта

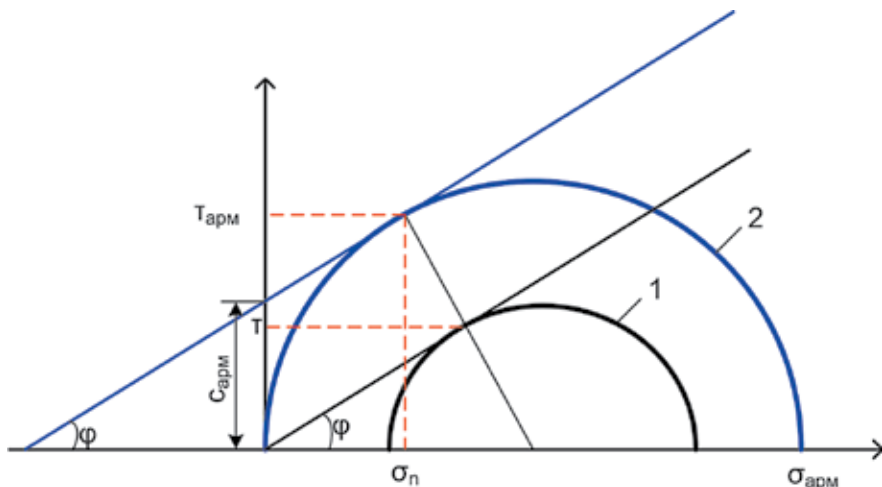


Рис. 3. Круги Мора для определения псевдосцепления в армированном грунте:  
1 - неармированный несвязный грунт;  
2 - армированный грунт

отношению к неармированному будет происходить на величину, соответствующую псевдосцеплению  $c_a$  (рис. 3), то есть предельную прямую можно перенести параллельным переносом до совпадения с касательной для соответствующего круга. Тогда сопротивление сдвигу после преобразований будет определяться по формуле:

$$c_a = R \cdot (\cos(2\varphi) - \sin(\varphi)) / (2 \zeta)$$

А тангенциальные и нормальные напряжения, в плоскости разрушения, будут связаны следующим соотношением:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + R \cdot A \cdot (\cos(2\varphi) - \sin(\varphi)) / (2 \zeta)$$

Экспериментальные исследования, проведенные в хабаровском Университете путей сообщения (при участии НВП «ДВ-Геосинтетика», свидетельствуют о том, что наличие георешетки в слое дорожной одежды кроме снижения величины осадки за счет распределения напряжений (мембранный эффект), значительно повышает сдвигоустойчивость (эффект блокировки). На рисунке 4 представлены результаты эксперимента: видно, что при увеличении вертикальной нагрузки, горизонтальные напряжения (синяя линия, маркер в виде перекрестия), начиная с 3–4 ступени, начинают снижаться, что объясняется превышением касательных напряжений прочностных характеристик грунта и смещением датчика. В конструкции с армированием (линия обозначена квадратным маркером) горизонтальные напряжения и после 3–4 шага приложения нагрузки продолжают увеличиваться, что свидетельствует о том, что датчик, расположенный в непосредственной близости у полотна георешетки, остается на месте.

Для определения достоверности предложенного метода определения сдвигоустойчивости дорожных одежд, армированных геосинтетическими материалами, проведено численное моделирование описанного эксперимента. На рисунке 5 приведена расчетная схема лотковых испытаний: опыт проводился для двух состояний армированного и неармированного. Положение датчика

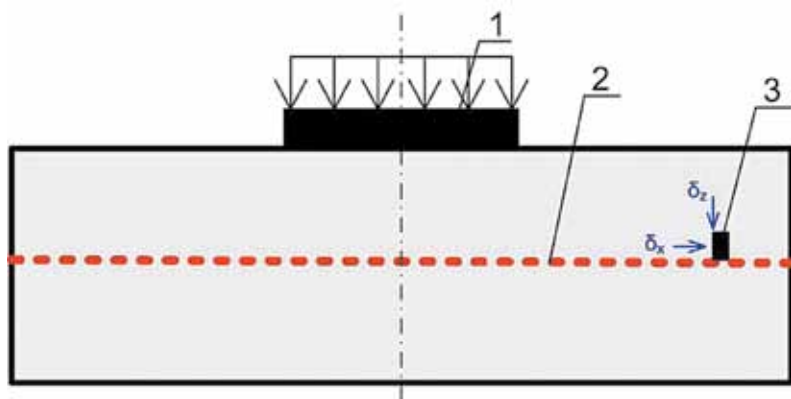


Рис. 5. Расчетная схема:  
1 - штамп (нагрузка);  
2 - георешетка;  
3 - датчик горизонтальных напряжений (месдоза)

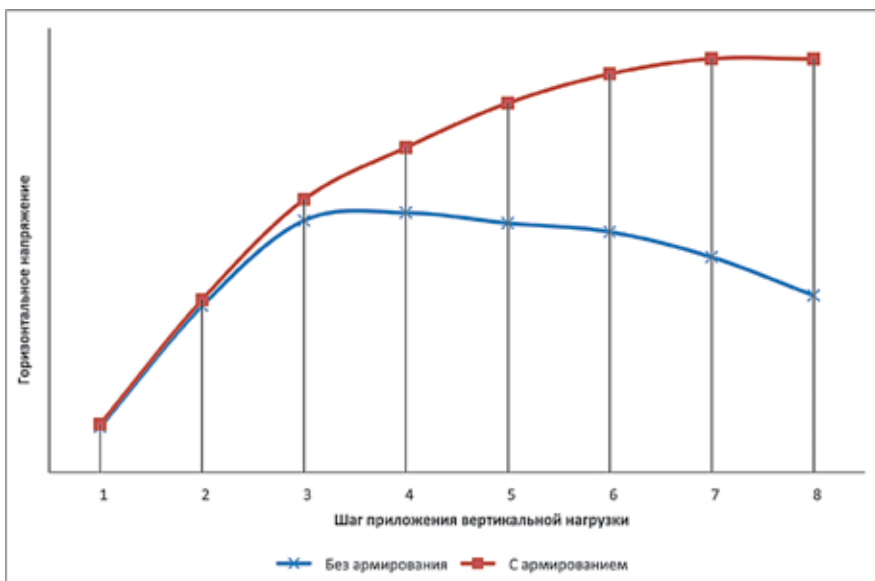


Рис. 4. Горизонтальные напряжения в армированной и неармированной конструкции

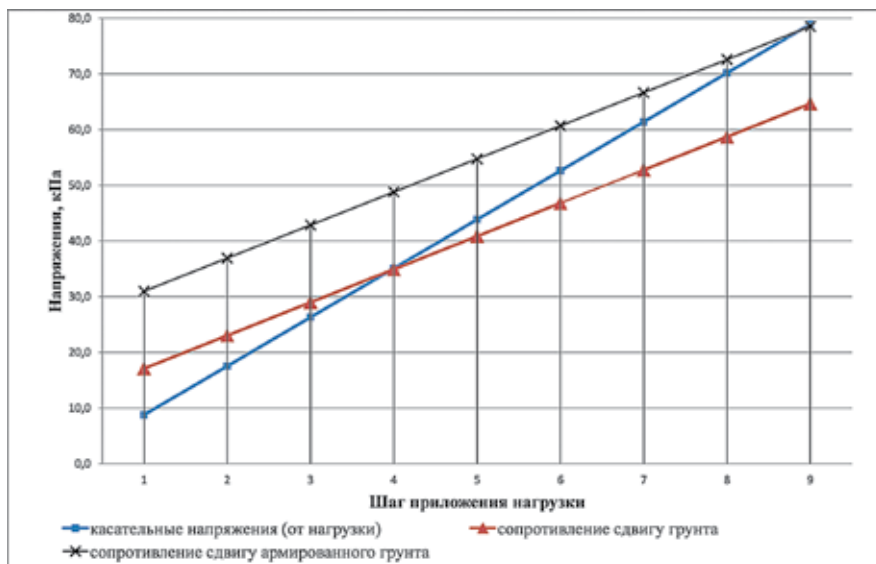


Рис.б. Напряженно-деформированное состояние

для измерения горизонтальных напряжений было одинаковым, и в случае наличия георешетки он размещался непосредственно у ее поверхности.

Результаты расчетов показывают близкую сходимость экспериментальных и теоретических данных. Как видно из рис. 6, сопротивление грунта сдвигу ис-

черпывается на четвертом шаге нагружения, в то время как армированный грунт выдерживает все восемь ступеней и по теоретическим расчетам сдвиг происходит после того, как будет приложена девятая ступень.

Предложенный подход к определению сдвигоустойчивости можно считать первым приближением к

решению проблемы с учетом механизма работы геоматериала в зернистой среде в соответствии с положениями механики грунтов и прочностных параметров геосинтетического материала.

Безусловно, необходимо дальнейшее совершенствование расчетных методов, учет типа геоматериала (геосетка или георешетка), соотношение размера минеральных зерен и ячеек и других уточняющих параметров, а также проведение соответствующих экспериментов. ■

### Литература:

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. I. М.: Транспорт, 1979, 367 с.
2. Добров Э.М. Механика грунтов. М.: Академия, 2008. – 272 с.
3. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов: учебник для вузов. – М.: Высш. Школа, 1982. – 511 с.
4. Федоренко Е.В. О методах расчета дорожных одежд с применением геосинтетических материалов. Транспортное строительство №1, 2011 с. 18–21