

УДК 630*37

В. В. Артемьев, аспирант (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация); **Г. А. Бессараб**, кандидат технических наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация); **А. А. Борозна**, кандидат технических наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Российская Федерация)

РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, АРМИРОВАННЫХ ОБЪЕМНЫМИ ГЕОРЕШЕТКАМИ

Статья посвящена исследованию проблемы учета свойств геосинтетических материалов, а именно объемной георешетки, при армировании дорожной конструкции. Рассмотрена история создания и классификация геосинтетических материалов. Проанализированы существующие российские и зарубежные методики расчета армирования дорожной конструкции объемными георешетками. Наряду с представленными эмпирическими уравнениями предложено решение данной задачи по теории упругости.

The article investigates the problem of taking into account the properties of geosynthetic materials, namely bulk geogrid reinforcement in road construction. Consider the history of the creation and classification of geosynthetic materials. Analyzed, synthesized existing Russian and foreign methods of calculation of the reinforcement to the volume-goat design geogrid. Along with the presented empirical equations skim proposed solution to this problem in the theory of elasticity.

Введение. Дорожная отрасль стала одной из первых, где использование геосинтетических материалов достигло больших объемов, а влияние геосинтетических материалов на физические качества дорожных конструкций изучается до сих пор.

В России история геосинтетических материалов началась с создания в 1977 году первого экземпляра нетканого геосинтетического полотна «Дорнит». В 70–80-х годах была принята Министерством транспорта СССР программа улучшения геосинтетических материалов, что способствовало расширению базы по их изготовлению и повышению качества дорожного строительства.

Геосинтетические материалы, согласно отраслевому дорожному методическому документу (ОДМ) 218.5.005-2010 «Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству», подразделяются на три основные группы:

- геотекстили;
- геопластмассы;
- геокомпозиты.

Основная часть. В настоящее время существует несколько методик расчета конструкции дорожной одежды, армированной георешеткой.

В основе методов расчета нежестких дорожных одежд (например, ААШТО, Института асфальта, Caltrans, Росавтодора и др.) лежат эмпирические данные, собранные в результате крупномасштабных испытаний, а также в ходе наблюдений в процессе эксплуатации дорожных конструкций в различных географических регионах.

Первый метод разработан Росавтодором и отображен в ОДМ 218.5.002-2008 «Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешеток) для усиления слоев

дорожной одежды из зернистых материалов», который является дополнением к отраслевым дорожным нормам (ОДН) 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» и носит рекомендательный характер.

Расчет армированной дорожной одежды сводится к стандартной методике приведения многослойной дорожной конструкции к двухслойной с применением общего модуля упругости.

С позиций критериев расчета на прочность по ОДН 218.046-01 образование композиционного слоя (армирование) оказывает наибольшее влияние на величину активных напряжений сдвига, возникающих в грунтовом слое, расположенном непосредственно под композитным слоем основания.

Второй метод расчета разработан Ассоциацией американских инженеров и основан также на эмпирических зависимостях.

Акцент данной методики направлен на текстурированную поверхность стенок георешетки типа «ГЕОВЕБ®», что улучшает фрикционное взаимодействие между стенками ячеек георешетки и зернистым материалом-заполнителем.

В методику расчета включена переменная – калифорнийское число несущей способности (California Bearing Ratio – CBR), которое является характеристикой сопротивления грунтов в основании. С помощью данного параметра CDR может быть выполнен расчет прочности при сдвиге связанных грунтов, дающий воздействие нагрузки на грунтовое покрытие по отношению к воздействию на стандартный материал. При этом прочность выражается через угол внутреннего трения и сцепление.

В Германии при армировании дорожной одежды геосинтетическими материалами используют

рекомендации ЕВГЕО (Положение о строительстве дорог с применением геосинтетики).

Рекомендации ЕВГЕО учитывают долговечность упругости георешетки в дорожной конструкции. Это связано со свойствами полимеров, из которых изготавливаются георешетки (полиэтилен высокой плотности, полипропилен, полиамид, высокомодульный полиэстер, поливинилалкоголь, арамид и пр.).

Данное положение вводит новый параметр – расчетное растягивающее усилие, безопасно воспринимаемое геосинтетикой $P_{расч}$.

$$P_{расч} = \frac{P_{ult}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma},$$

где P_{ult} – кратковременная прочность на разрыв; A_1 – фактор ползучести, характеризующий снижение прочности при длительном приложении нагрузки; A_2 – фактор повреждаемости, характеризующий снижение прочности после укладки материала в зернистый грунт с последующим уплотнением; A_3 – фактор, учитывающий наличие стыков, швов и т. п.; A_4 – фактор чувствительности к воздействию окружающей среды, например биологическим и химическим воздействиям; γ – коэффициент запаса.

Все вышеперечисленные факторы могут быть определены в российских условиях за исключением фактора ползучести A_1 , так как отсутствуют методики сертифицирования и необходимое оборудование.

Фактор ползучести A_1 для зарубежных производителей георешеток из высокомодульного полиэстера (РЕТ) варьируется от 1,55 до 1,80, а для георешеток из полипропилена (РР) составляет не более 2,5. По европейским правилам материалы, не прошедшие сертифицирования по их технологии и не имеющие подтвержденного значения A_1 , фактор ползучести принимается для РЕТ равным 2,5 и для РР – 5,0. Этим пользуются зарубежные компании, поставляющие в Россию геосинтетические материалы, сертифицированные по европейским стандартам.

Вышеуказанные методы основаны на эмпирических зависимостях, поэтому до сих пор остается потребность найти метод расчета конструкций, армированных прослойками материалов, упругие свойства которых существенно отличаются от характеристик основных слоев.

Обзор методов расчета с геосинтетическими материалами в дорожном строительстве позволил сформулировать задачу дальнейших исследований. Обоснование нашей расчетной модели и уточнение расчетной схемы выполнено в Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете имени С. М. Кирова

на кафедре сухопутного транспорта леса и строительной механики.

Рассмотрено полупространство, составленное из n основных слоев. Нижний слой бесконечно простирается в глубину, остальные имеют постоянную толщину. Материал в пределах каждого слоя однороден, изотропен и подчиняется закону Гука. Слои по плоскостям контакта или неразрывно связаны, или разделены тонкими трансверсально-изотропными упругими армирующими прослойками. Пусть k – число этих прослоек. Связь прослоек с основными слоями принимаем неразрывной. На полупространство действуют поверхностные силы, представленные в виде интегралов Фурье – Бесселя. Расчетная схема приведена на рис. 1.

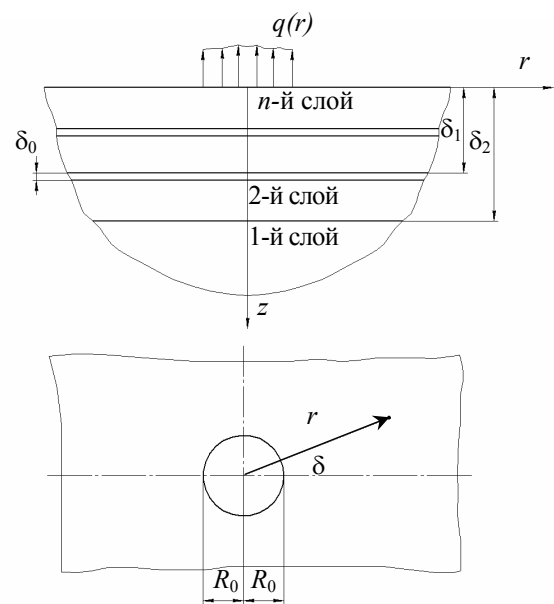


Рис. 1. Расчетная схема

Ввиду малой жесткости армированного слоя в поперечном направлении, предполагаем, что деформации прослоек в поперечном направлении полностью завершились при укладке и уплотнении вышерасположенных слоев. Тогда, перемещения основных слоев можно считать непрерывными на границе, т. е. при $\xi = \delta_{j-1}$:

$$W_j^* = W_{j-1}^{**}; u_{r,j}^* = u_{r,j-1}^{**},$$

где * – обозначает перемещения (W_j и $U_{r,j}$) на нижней границе, а ** – на верхней границе.

Ввиду малости и неопределенности толщины прослойки, нормальные напряжения в ней считаем равномерно распределенными по толщине. В этом случае для равновесия выделенного элемента армирующего слоя (рис. 2) должны выполняться два условия:

$$\xi = \delta_{j-1}; \sigma_{z,j}^* = \sigma_{z,j-1}^{**};$$

$$r_{rz,j}^* - r_{rz,j-1}^{**} = \delta l \left[\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} \right],$$

где * – обозначает напряжения ($\sigma_{z,j}$ и $\tau_{rz,j}$) на нижней границе, а ** – на верхней границе.

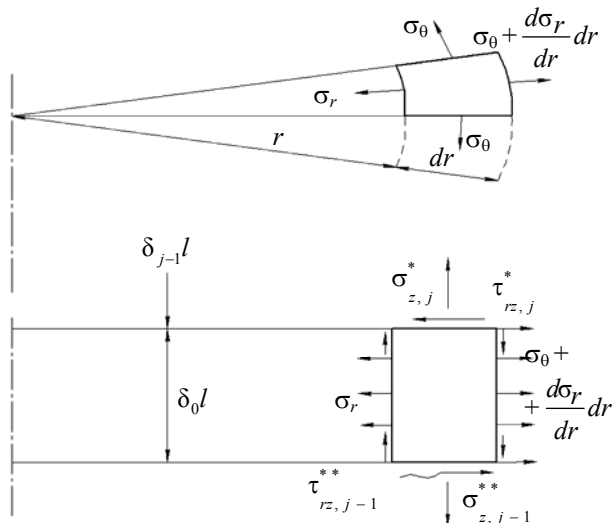


Рис. 2. Схема сил, действующих на элемент армирующего слоя

Закон Гука для материала армирующего слоя с учетом отсутствия продольных удлинений от сжатия в поперечном направлении будет иметь такой же вид, как и при плоском напряженном состоянии (в плоскости изотропии).

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \nu \frac{u_r}{r} \right);$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\nu \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} \right),$$

где E , ν – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала армирующего слоя (в плоскости изотропии).

С учетом данных соотношений условия на плоскостях контакта основных слоев принимают вид:

$$W_j^* = W_{j-1}^{**}; u_{r,j}^* = u_{r,j-1}^{**},$$

$$\xi = \delta_{j-1}; \sigma_{z,j}^* = \sigma_{z,j-1}^{**};$$

$$r_{rz,j}^* - r_{rz,j-1}^{**} = K_{j-1} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{\partial u_{r,j}^*}{\partial r} + \frac{u_{r,j}^{**}}{r} \right],$$

где

$$K_{j-1} = \begin{cases} \frac{E}{1-\nu^2} \delta_0 l \\ 0 \end{cases}.$$

Граничные условия на поверхности полупространства имеют вид:

$$\xi = 0; \sigma_z^{**} = q(r); \tau_{rz,n}^{**} = 0.$$

Таким образом, учет особенностей материалов, используемых в качестве армированных прослоек, позволяет свести в расчетной схеме $(n+k)$ -слойное полупространство к n -слойному со специальными условиями на плоскостях контакта слоев. От классической постановки эти условия отличаются лишь наличием правой части в последнем из условий, что позволяет использовать для построения решения уже известные методы.

Получено решение поставленной задачи. При этом использовано общее решение уравнений теории упругости, в форме предложенной Р. М. Раппопорт, интегральное преобразование Фурье – Ханкеля и метод начальных функций, разработанный В. В. Власовым.

Вывод. Несмотря на многолетний мировой опыт использования геосинтетических материалов при проектировании и строительстве дорожных конструкций, в России нет нормативной документации с достоверной методикой для проектирования дорожных конструкций с использованием георешеток, а имеющиеся методики носят только рекомендательный характер.

Актуальность внедрения новых методов расчета дорожной конструкции с использованием георешеток обусловлена многократным ростом интенсивности движения автомобилей и использования большегрузных тяжелых автопоездов, что требует учета всех критериев, характеризующих работу дорожной одежды.

Поступила 14.03.2012