

УДК 678.074:625.7

*В.М. КОМОВ, д-р техн. наук, В.А. КАДУШКИН (v.a.kadushkin@gmail.com), инженер,
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет*

Расчет дорожных одежд сельскохозяйственного назначения, армированных синтетическими решетками с помощью программного моделирования

Рассмотрено программное моделирование дорожных одежд автомобильных дорог низших категорий. Получено интегральное уравнение, которое позволяет моделировать трехслойные конструкции дорожных одежд под геологические характеристики площадки. Приведено сравнение дорожных одежд, армированных и не армированных синтетическими решетками под нагрузкой.

Ключевые слова: дорожные одежды, синтетическая решетка, программное моделирование, вертикальное смещение.

Увеличение интенсивности движения, повышение осевых нагрузок и сокращение бюджета на плановые ремонты автомобильных дорог и проездов Санкт-Петербурга и Ленинградской области в совокупности представляют трудоемкую задачу для создания экономически эффективных конструкций дорожных одежд для автодорог III–V категорий.

Традиционный способ решения этих проблем – постоянное увеличение толщины дорожной одежды, толщины дорожного покрытия (как правило, из асфальтобетона), при этом из-за глубокого колееобразования теряется большая часть минерального материала и дорожная одежда проседает. При этом стоимость самих инертных материалов постоянно увеличивается, а их разработка наносит существенный вред окружающей среде.

Одним из наиболее эффективных путей повышения прочности и долговечности дорожных одежд может служить армирование несущего слоя основания из щебня высокопрочными синтетическими георешетками, а также устройство между подстилающими слоями геотекстильных тканых материалов. Эти способы успешно используются за рубежом уже более двадцати лет.

Исходя из этого в рамках научно-исследовательской работы «Расчет дорожных одежд в строительстве на объектах сельскохозяйственного назначения» на подъездной автомобильной дороге к строительной площадке учебно-лабораторного корпуса ФГБОУ ВПО СПбГАУ в 2011 г. был проведен натурный эксперимент по использованию синтетических решеток в качестве армирующего материала дорожной одежды, покрытием которой являются инертные материалы (песок, щебень, песчано-гравийная смесь). Результаты эксперимента показали, что использование синтетических решеток в дорожных одеждах сельскохозяйственного назначения увеличивает эффективность работы дорожной одежды по сравнению с участком автодороги, не армированной решеткой, и позволяет использовать дорожную одежду с покрытием из инертного материала без сни-

жения ее прочностных характеристик. Кроме того, уменьшение толщин слоев дорожной одежды соответственно уменьшает ее стоимость [1].

Одной из задач, решаемых в составе научно-исследовательской работы, является реализация математической модели, которая позволяет подобрать оптимальные конструкции дорожных одежд в зависимости от толщин слоев дорожной одежды и применяемых инертных материалов.

В ходе математического моделирования решены следующие задачи: рассмотрено упругое трехслойное полупространство, нагруженное на внешней поверхности нормальной осесимметрической нагрузкой с цилиндрической системой координат r, θ, z (рис. 1), в которой первый слой толщины h_1 ограничен плоскостями $z=0, z=h_1$. Граница между первым и вторым слоями содержит упругую армированную прослойку из синтетической плоской решетки.

Второй слой располагается между плоскостями $z=h_1$ и $z=h_2$ и, следовательно, имеет толщину, равную разности h_2-h_1 . Третий слой ограничен сверху плоскостью $z=h_2$ и является бесконечным. Каждый из трех слоев характеризуется модулем упругости E_i и коэффициентом Пуассона ν_i , ($i=1, 2, 3$). Нагрузка, действовавшая на верхний слой,

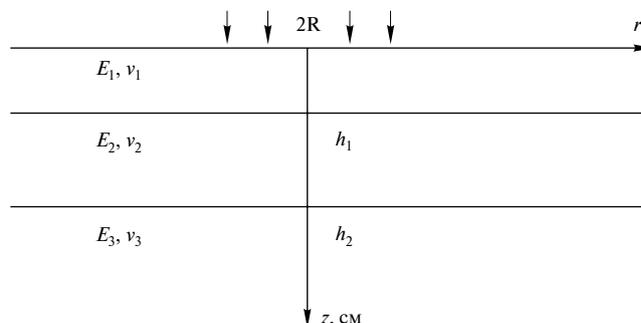


Рис. 1. Упругое трехслойное пространство

Таблица 1

Значения вертикального смещения W на оси штампа при армировании конструкции						
$W(0)$, см	$W(0,1)$, см	$W(0,2)$, см	$W(0,3)$, см	$W(0,4)$, см	$W(0,5)$, см	$W(0,1)$, см
-0.245781	-0.236799	-0.178114	-0.147554	-0.127788	-0.114461	-0.0780317

Таблица 2

Значения вертикального смещения W на оси штампа без армирования конструкции						
$W(0)$, см	$W(0,1)$, см	$W(0,2)$, см	$W(0,3)$, см	$W(0,4)$, см	$W(0,5)$, см	$W(0,1)$, см
-0.289424	-0.278972	-0.264907	-0.238963	-0.22231	-0.209352	-0.130538

равномерно распределена по площади круга радиуса R с центром в начале координат. Из соображений симметрии следует, что все рассматриваемые ниже величины должны зависеть только от двух координат r, z .

Предполагаются выполненными следующие граничные условия.

На поверхности $z=0$:

$$\sigma_{z1}(r, 0) = \begin{cases} p, & r \leq r_0; \\ 0, & r > r_0 \end{cases}; \quad (1.1)$$

$$\tau_{rz1}(r, 0) = 0. \quad (1.2)$$

На границе $z=h_1$:

$$\sigma_{z1}(r, h_1) = \sigma_{z2}(r, h_1); \quad (1.3)$$

$$W_1(r, h_1) = W_2(r, h_1); \quad (1.4)$$

$$\tau_{rz1}(r, h_1) = \tau_{rz2}(r, h_1) =$$

$$k_1 \left(\frac{\partial^2 U_2(r, h_1)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_2(r, h_1)}{\partial r} - \frac{1}{r^2} U_2(r, h_1) \right). \quad (1.5)$$

На границе $z=h_2$:

$$\sigma_{z2}(r, h_2) = \sigma_{z3}(r, h_2); \quad (1.6)$$

$$\tau_{rz2}(r, h_2) = \tau_{rz3}(r, h_2);$$

$$U_2(r, h_2) = U_3(r, h_2); \quad (1.7)$$

$$W_2(r, h_2) = W_3(r, h_2).$$

С математической точки зрения влияние армированной прослойки описывает условие (1.5). В соотношении (1.5) символом k_1 обозначена жесткость на растяжение прослойки, равная $k_1 = E_2 A_p / (1 - \nu_2^2)$, где A_p – площадь сечения решетки; E_2 – модуль упругости; ν_2 – коэффициент Пуассона армирующего слоя [2].

Решение задачи представляется интегралами, подынтегральные выражения которых формируются с использованием следующих величин:

$$m_1 = \frac{-E_2 + E_3 + E_3 \nu_2 - E_2 \nu_3}{4 E_3 (-1 + \nu_2^2)}; \quad (1.8)$$

$$m_2 = \frac{2(-E_2 + E_3 + E_3 \nu_2 - E_2 \nu_3^2)}{4 E_3 (-1 + \nu_2)}; \quad (1.9)$$

$$m_3 = \frac{-E_2 + E_3 + E_3 \nu_2 - E_2 \nu_3}{4 E_3 (-1 + \nu_2^2)}; \quad (2.0)$$

$$m_4 = \frac{-E_2 - E_3 + E_3 \nu_2 + 2 E_3 \nu_2^2 - E_2 \nu_3 - 2 E_2 \nu_3^2}{4 E_3 (-1 + \nu_2^2)}. \quad (2.1)$$

Полученное интегральное уравнение (2.1) позволяет смоделировать трехслойные конструкции дорожных одежд под геологические характеристики площадки.

С использованием расчетной программы Mathematica 8.0, произведен расчет армированной дорожной одежды для следующих исходных данных: модули Юнга (кН/м^2) слоев: $E_1 = 450000$; $E_2 = 120000$; $E_3 = 28000$; коэффициенты Пуассона слоев: $\nu_1 = 0,3$; $\nu_2 = 0,3$; $\nu_3 = 0,35$; толщина 1-го слоя $d_1 = 0,2$ м; толщина 2-го слоя $d_2 = 0,3$ м; интенсивность внешней нагрузки $p = 100$ кН/м^2 ; радиус штампа $r_0 = 0,18$ м; коэффициент армирующей прослойки $k = 30000$; графики нормального напряжения σ_z в зависимости от расстояния r от центра штампа на горизонтах $z=10$; $Z=20$; $Z=50$; $Z=100$.

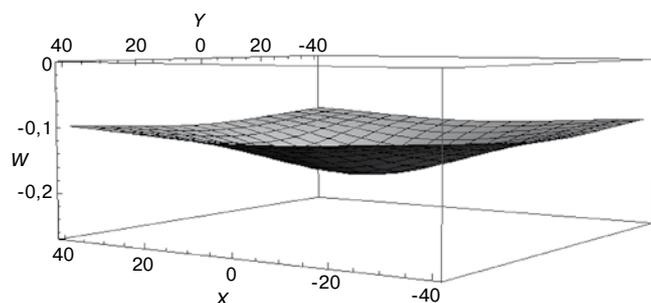


Рис. 2. График вертикального смещения W на оси штампа при армировании конструкции

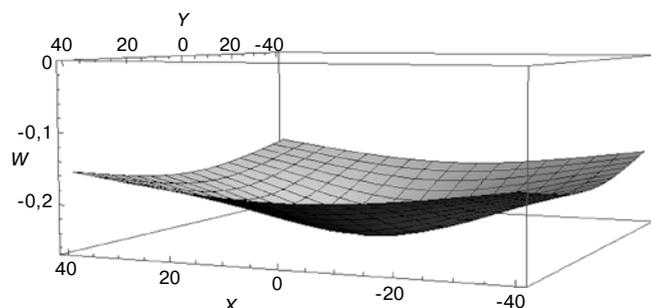


Рис. 3. График вертикального смещения W на оси штампа без армирования конструкции

В результате расчета построен график поверхности вертикального смещения W (в скобках указана величина перемещения по оси относительно центра штампа) на горизонте $z=20$ (рис. 2). В табл. 1 приведены значения вертикального смещения W на оси штампа при армировании конструкции.

При расчете дорожной одежды без армирующей прослойки с использованием тех же исходных величин получен график поверхности вертикального смещения W на горизонте $z=20$ (рис. 3). В табл. 2 даны значения вертикального смещения W (в скобках указана величина перемещения относительно центра штампа) на оси штампа без армирования по оси конструкции

При сравнении значений вертикальных смещений W становится очевидным значительное снижение вертикальных смещений на оси штампа в конструкции дорожной одежды, армированной плоской синтетической решеткой, что значительно повышает устойчивость конструкции к внешним воздействиям и тем самым увеличивает долговечность конструкции.

Список литературы

1. Корочкин А.В. Износ жестких дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием // Строительные материалы. 2012. № 3. С. 66–67.
2. Кокодеева Н.Н., Москалев О.Ю. Расчет срока службы дорожной одежды переходного типа, армированной геоячейками (на основе теории риска) // Строительные материалы. 2012. № 1. С. 58–59.

Организатор:
1 Первое
Выставочное
Объединение
www.pvo74.ru

24-27 АПРЕЛЯ
ВЫСТАВКА



IZBUSHKA!
КОТТЕДЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Выставка охватывает весь спектр товаров и услуг, необходимых для возведения, отделки, обустройства, благоустройства и продвижения домов индивидуальной застройки

Челябинск, ДС "Юность", Свердловский пр., 51
Тел.: (351) 215-88-77, 231-37-41
www.pvo74.ru

Тема
выставки:
**Зеленый
дом**



Организаторы:


(3852) 65-88-44

XVIII Специализированная выставка-ярмарка
**Строительство
Благоустройство
Интерьер**

15-17
мая 2013 г.
г. Барнаул
Дворец зрелищ и спорта

Ваш электронный пригласительный билет – на сайте **www.altfair.ru**