

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ
ЗАЩИТНО-ДРЕНИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

**THE CALCULATION OF BASIC PARAMETERS
OF PAVEMENT STRUCTURES WITH APPLICATION
OF SYNTHETIC GEOTEXTILE PROTECTIVE-DRAINING MATERIALS**

Р.М. АЛОЯН, А.Б. ПЕТРУХИН, Л.А. ОПАРИНА
R.M. ALOYAN, A.B. PETRUKHIN, L.A. OPARINA

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)
E-mail: l.a.oparina@gmail.com

В статье представлены результаты расчета конструкций дорожной одежды с применением и без применения геосинтетики: на упругий прогиб, сдвигоустойчивость, сопротивление при изгибе. Сформулированы преимущества применения геоматериалов в конструкциях дорожной одежды.

The article presents the results of the calculation of road constructions clothes with application and without the use of geosynthetics: elastic deflection, stability of shear, resistance to bending. Formulated to benefits of geomaterials in the construction of the pavement.

Ключевые слова: геотекстиль, строительство, геоматериалы, дорожная одежда, расчет, прочность на изгиб, упругий прогиб, сдвигоустойчивость.

Keywords: geotextile, construction, geomaterials, travel clothing, calculation, bending strength, elastic prohib, stability of shear.

Несмотря на наличие большого количества публикаций по использованию геосинтетических материалов в современном строительном производстве [1], [2], многие теоретические аспекты и вопросы практического их применения в настоящее время требуют дополнительного исследования.

Для совершенствования организационно-технологических решений применения геоматериалов в строительстве авторами проведен анализ использования тканых геоматериалов при устройстве фундаментов зданий [3], а также в дорожном строительстве. С этой целью выполнен расчет конструкции дорожной одежды, выпол-

ненный с помощью программного средства IndorPavement. Данное ПО позволяет: осуществлять расчеты нежестких дорожных одежд на прочность (по упругому прогибу, по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев, при динамической и статической нагрузках, на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе) с возможностью корректировки результатов при применении геосинтетических материалов, проверку морозоустойчивости конструкции и расчет дренажного слоя. Дренажный слой может рассчитываться с учетом геосинтетических защитно-дрениру-

ющих материалов. В IndorPavement также представлена возможность расчета жестких дорожных одежд: монолитные цементобетонные покрытия, асфальтобетонные покрытия с цементобетонным основанием, сборные покрытия из железобетонных плит [4...6].

Результаты сравнительного расчета конструкций дорожной одежды без геосинтетики и с использованием геосинтетики для наглядности сведены в табл. 1. Расчеты проведены на основе общей методики расчета нежестких дорожных одежд ОДН 218.046–01 и методики расчета с учетом геосинтетики ОДМ 218.5.003–2010.

Т а б л и ц а 1

Без геосинтетики (Вариант 1)	С геосинтетикой (Вариант 2) (между грунтом и основанием)
<u>Расчет на упругий прогиб</u>	
<p><i>Исходные данные:</i> Верхний слой покрытия: 5,0 см Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебеночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-40/60 Средний слой покрытия: 6,0 см Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебеночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНД/БН-40/60 Нижний слой покрытия: 30,0 см Щебень фракционированный 40..80 (80..120) мм трудноуплотняемый с заклинкой фракционированным мелким щебнем Основание: 30,0 см Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 0% Геосинтетическое тканое геополотно ОАО "ИТО" ГТт-160 для армирования грунтов и разделения слоев (предусматривается как дополнительный конструктивный элемент по Варианту 2 дорожной одежды)</p>	
Результаты расчета:	
Вариант 1	Вариант 2
Поверхностный модуль упругости $E_{пов} = 314,2$ МПа Требуемый модуль упругости $E_{тр} = 202,4$ МПа Расчетный коэффициент прочности $K_{расч} = 1,550$ Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 1,020$ Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} \cdot 100\% = 52\%$	Поверхностный модуль упругости $E_{пов} = 320,6$ МПа Требуемый модуль упругости $E_{тр} = 202,4$ МПа Расчетный коэффициент прочности $K_{расч} = 1,580$ Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 1,020$ Коэффициент усиления $\alpha = 0,980$ Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} \cdot 100\% = 55\%$
<u>Расчет на сдвигоустойчивость</u>	
<p><i>Исходные данные для расчета:</i> Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 0% Угол внутреннего трения $\varphi = 30,3^\circ$ Сцепление $c_n = 0,003$ МПа Стат. угол внутреннего трения $\varphi_{ст} = 35,0$ Коэффициент $K_d = 2,0$ <i>Параметры двухслойной модели:</i> Средневзвешенный модуль упругости верхних слоев $E_v = 953,66$ МПа</p>	

Модуль упругости на поверхности расчетного слоя $E_n = 75,22$ МПа Средневзвешенный удельный вес верхних слоев $\gamma = 0,0018$ МПа Глубина расположения расчетного слоя $Z_{оп} = 41,0$ см Удельное активное напряжение сдвига $\tau = 0,02014$ МПа Расчетное активное напряжение сдвига $T = 0,012$ МПа	
Результаты расчета:	
Вариант 1	Вариант 2
Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр} = 0,011$ МПа Расчетный коэффициент прочности $K_{расч} = 0,930$ Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,870$ Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} \cdot 100\% = 7\%$	Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр} = 0,019$ МПа Расчетный коэффициент прочности $K_{расч} = 1,550$ Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,870$ Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} \cdot 100\% = 78\%$
<i>Грунт земляного полотна:</i> Параметры материала: суглинок легкий Угол внутреннего трения $\varphi = 6,0^\circ$ Сцепление $c_n = 0,006$ МПа Стат. угол внутреннего трения $\varphi_{ст} = 17,7^\circ$ Коэффициент $K_d = 1,0$ <i>Параметры двухслойной модели:</i> Средневзвешенный модуль упругости верхних слоев $E_b = 605,63$ МПа Модуль упругости на поверхности расчетного слоя $E_a = 40,36$ МПа Средневзвешенный удельный вес верхних слоев $\gamma = 0,0019$ МПа Глубина расположения расчетного слоя $Z_{оп} = 71,0$ см Удельное активное напряжение сдвига $\tau = 0,01544$ МПа Расчетное активное напряжение сдвига $T = 0,009$ МПа Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр} = 0,010$ МПа Расчетный коэффициент прочности $K_{расч} = 1,110$ Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,870$ Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} \cdot 100\% = 28\%$ Коэффициент работы конструкции на границе $K_d = 1,5$	
<u>Расчет на сопротивление при изгибе</u>	
<i>Параметры материала:</i> Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебеночной (гравийной) смеси типа А, марка битума БНД/БН-40/60 Нормативное сопротивление весной $R_0 = 10,0$ МПа Усталостный показатель степени $m = 6,0$ Коэффициент различия $\alpha = 5,0$ Коэффициент снижения прочности $k_2 = 0,9$ <i>Параметры двухслойной модели:</i> Средневзвешенный модуль упругости монолитных слоев $E_b = 6000,00$ МПа Глубина расположения расчетного слоя $Z_{оп} = 11,0$ см Коэффициент K_b (двубалонное колесо) $= 0,85$ Коэффициент усталостного разрушения $k_1 = 0,58$ Прочность материала при изгибе $R_n = 4,802$ МПа	
Результаты расчета:	
Вариант 1	Вариант 2
Поверхностный модуль упругости нижнего слоя в пакете монолитных слоев $E_{общ} = 165,48$ МПа Наибольшее растягивающее напряжение $\sigma_r = 1,785$ МПа Расчетный коэффициент прочности $K_{расч} = 2,667$ Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,870$ Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} \cdot 100\% = 207\%$	Поверхностный модуль упругости нижнего слоя в пакете монолитных слоев $E_{общ} = 162,17$ МПа Наибольшее растягивающее напряжение $\sigma_r = 1,800$ МПа Расчетный коэффициент прочности $K_{расч} = 2,690$ Требуемый коэффициент прочности $K_{тр} = 0,870$ Коэффициент усиления $\alpha = 0,980$ Запас прочности $(K_{расч} - K_{тр}) / K_{тр} \cdot 100\% = 209\%$

Расчетный коэффициент прочности ($K_{расч} = 1,55$ – без применения геосинтетики, $K_{расч} = 1,58$ – с применением геосинтетики). Коэффициент прочности – это отношение фактического модуля упругости к требуемому. С увеличением срока службы дорожной одежды коэффициент прочности почти не меняется. Но при фиксированном сроке службы дорожной одежды с ухудшением качества исходных материалов и качества производства работ требуется более высокий запас прочности, то есть более высокий коэффициент прочности. Это свидетельствует о том, что неэкономично строить с плохим качеством, то есть без использования геосинтетики.

Коэффициент усиления u дорожной конструкции без геосинтетики отсутствует, с геосинтетикой равен $\alpha = 0,980$, соответственно дорожная одежда с геосинтетикой является усиленной и более прочной.

Запас прочности $((K_{расч}-K_{тр})/K_{тр} \cdot 100\% = 52\%$ – без геосинтетики, 55% – с применением геосинтетики) позволяет сделать вывод о том, что дорожная конструкция с геосинтетикой обладает большим запасом прочности на многократно повторяющиеся действия расчетных автомобильных нагрузок, а соответственно и большей работоспособностью конструкции.

Наибольшее растягивающее напряжение составляет соответственно $\sigma_r = 1,785$ МПа – без геосинтетики; $\sigma_r = 1,800$ МПа – с геосинтетикой.

Таким образом, на основе проведенных расчетов выявлены преимущества применения геоматериалов в дорожном строительстве. При этом по предложенной ранее авторами уточненной классификации синтетических геоматериалов [7] тканые текстильные геоматериалы более предпочтительны в условиях устройства дорожных одежд по сравнению с неткаными текстильными геоматериалами, так как тканое геополотно является более легким материалом и удобным для транспортировки; обладает более высокими прочностными характеристиками; более устойчиво к воздействию ультрафиолета, а также обладает высокой химической и биологической

стойкостью. Применение геоматериалов в строительстве способствует энерго- и ресурсосбережению, что является основным мотивом застройщиков и собственников к достижению зданиями определенного класса энергетической эффективности [8]. На общегосударственном уровне применение геоматериалов в строительстве способствует выполнению жестких требований к повышению уровня энергетической эффективности зданий, которые выражаются в снижении уровня энергопотребления зданиями за период 2007-2020 гг. на 40% [9].

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного сравнительного расчета конструкции дорожной одежды без геосинтетики и с использованием геосинтетики позволяют сделать вывод о том, что дорожная конструкция с геосинтетикой является более прочной и долговечной, о чем свидетельствует ряд показателей, значения которых у данного вида дорожной одежды выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Опарина Л.А., Опарин Р.Ю.* Экономика и организация архитектурного проектирования и строительства. – Иваново: РИО ИГАСУ, 2011.
2. *Петрухин А.Б., Матрохин А.Ю., Карева Т.Ю., Метелева О.В., Гусев Б.Н.* Стратегия научно-методического и технического обеспечения выпуска тканей и изделий из натуральных и синтетических волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 6. С. 30...35.
3. *Петрухин А.Б., Опарина Л.А.* Сравнительный анализ ресурсо- и энергосберегающих характеристик применения геотекстиля в строительстве // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 2.
4. *Неретин А.А., Рукавишников Е.Е.* Сравнительное испытание программного обеспечения для расчета конструкций дорожных одежд // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014, №1 (2). С. 25...30.
5. *Опарина Л.А.* Основы ресурсо- и энергосбережения в строительстве. Иваново: – ПресСто, 2014.
6. *Рукавишников Е.Е., Лубкина К.А., Скворцов А.В.* Проектирование, расчет и контроль дорожных одежд // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2013, №1 (1). С. 33...35.

7. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Классификация синтетических геоматериалов и их применение в современном строительстве // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 1.

8. Петрухин А.Б., Опарина Л.А. Формирование интегрального показателя энергетической эффективности зданий // Изв. вузов. Экономика, финансы и управление производством. – 2011, №03(09). С. 92...95.

9. Петрухин А.Б., Алоян Р.М., Опарина Л.А., Ставрова М.В. Интегральный показатель энергоэффективности как основа организационного механизма строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. – 2012, № 3. С. 46...48.

REFERENCES

1. Oparina L.A., Oparin R.Ju. Jekonomika i organizacija arhitekturnogo proektirovanija i stroitel'stva. – Ivanovo: RIO IGASU, 2011.

2. Petruhin A.B., Matrohin A.Ju., Kareva T.Ju., Meteleva O.V., Gusev B.N. Strategija nauchno-metodicheskogo i tehničeskogo obespečenija vypuska tkanej i izdelij iz natural'nyh i sinteticheskikh volokon // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 6. S. 30...35.

3. Petruhin A.B., Oparina L.A. Sravnitel'nyj analiz resurso- i jenergosberegajushhih harakteristik primenija geotekstilja v stroitel'stve // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, № 2.

4. Neretin A.A., Rukavishnikova E.E. Sravnitel'noe ispytanie programmnoho obespečenija dlja rasčeta konstrukcij dorozhnyh odezhd // SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog. – 2014, №1 (2). S. 25...30.

5. Oparina L.A. Osnovy resurso- i jenergosbereženija v stroitel'stve. Ivanovo: – PresSto, 2014.

6. Rukavishnikova E.E., Lubkina K.A., Skvorcov A.V. Proektirovanie, raschet i kontrol' dorozhnyh odezhd // SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog. – 2013, №1 (1). S. 33...35.

7. Petruhin A.B., Oparina L.A. Klassifikacija sinteticheskikh geomaterialov i ih primenenie v sovremenom stroitel'stve // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, № 1.

8. Petruhin A.B., Oparina L.A. Formirovanie integral'nogo pokazatelja jenergetičeskogo jeffektivnosti zdaniy // Izv. vuzov. Jekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom. – 2011, №03(09). S.92...95.

9. Petruhin A.B., Alojjan R.M., Oparina L.A., Stavrova M.V. Integral'nyj pokazatel' jenergojeffektivnosti kak osnova organizacionnogo mehanizma stroitel'stva i jekspluatacii jenergojeffektivnyh zdaniy // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2012, № 3. S. 46...48.

Рекомендована кафедрой организации производства и городского хозяйства. Поступила 25.03.15.