

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 630*383+630*37

М. Т. Насковец, М. Н. Дини, И. Ф. Кузьмицкий
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПРОСЛОЕК

Материалы статьи содержат сведения о видах воздействия колесной нагрузки на покрытие дороги и закономерностях ее распределения в слоях дорожной одежды. Для стабилизации работы последней и снижения величины возникающих в ней напряжений предложен способ ее устройства, основанный на введении в конструкцию покрытия или основания прослоек, состоящих из сочетания горизонтальных полотен и вертикальных полос геосинтетического материала.

Посредством лабораторных исследований на грунтовом канале Белорусского государственного технологического университета (БГТУ) проведена комплексная сравнительная оценка работоспособности ряда конструктивных решений, содержащих и не содержащих стабилизирующие прослойки. На основании экспериментальных исследований получен ряд эмпирических зависимостей распределения напряжений по глубине дорожной конструкции, показывающих ее напряженно-деформационное состояние. Приведена методика и разработан алгоритм определения модуля упругости конструктивных слоев дорожной одежды, содержащих геосинтетические прослойки.

Ключевые слова: дорожная одежда, колесная нагрузка, прочностные характеристики, геосинтетические прослойки, экспериментальные исследования.

M. T. Naskovets, M. N. Dini, I. F. Kuz'mitskiy
Belarusian State Technological University

INVESTIGATION FUNCTIONALITY OF ROAD PAVEMENT WITH THE USE OF STABILIZING GEOSYNTHETIC INTERLAMINAR LAYER

The materials of the article contain information about the types of impact of wheel load on the road surface and the patterns of its distribution in the layers of pavement. To stabilize the work of the latter and reduce the magnitude of the stresses arising in it, a method for its construction is proposed, based on the introduction into the construction of pavement or base of interlayers consisting of a combination of horizontal sheets and vertical strips of geosynthetic material.

By means of laboratory studies on the ground channel of the Belarusian State Technological University (BSTU), a complex comparative evaluation of the performance of a number of design solutions containing and not containing stabilizing layers was carried out. On the basis of experimental studies, a number of empirical dependences of stress distribution over the depth of the road structure have been obtained, showing its stress-strain state. The technique and algorithm for determining the modulus of elasticity of constructive layers of pavement containing geosynthetic membrane is developed.

Key words: road pavement, wheel load, strength characteristics, geosynthetic membrane, experimental studies.

Введение. В процессе воздействия на дорожные покрытия нагрузка от колес автотранспорта по-разному передается в конструктивных

слоях дорожных одежд. Повысить работоспособность дорог в данном случае можно посредством введения в их конструктивные слои

геосинтетических прослоек [1]. Однако, в настоящее время вопрос применения различного вида прослоек, стабилизирующих работу дорожных конструкций, не достаточно изучен, что является сдерживающим фактором их широкого внедрения в практику дорожного строительства. В частности, необходимо провести исследования, которые бы позволили оценить степень влияния прослоек на изменение величины напряжений, возникающих по глубине, и получить возможность определять значение модуля упругости слоев, содержащих прослойки.

Основная часть. Подвижной состав лесовозных автопоездов, как правило, включает в себя тяговую и прицепную единицы [2]. Такие транспортные средства могут иметь различное сочетание колесного исполнения, что приводит к разнообразию воздействия нагрузки на дорожное полотно [3]. От количества воздействующих колес и размерных параметров шин, а соответственно, величины удельного давления, возникающего на поверхности дороги [4], зависит природа передачи нагрузки каждым слоем дорожной конструкции [5–7] (рис. 1).

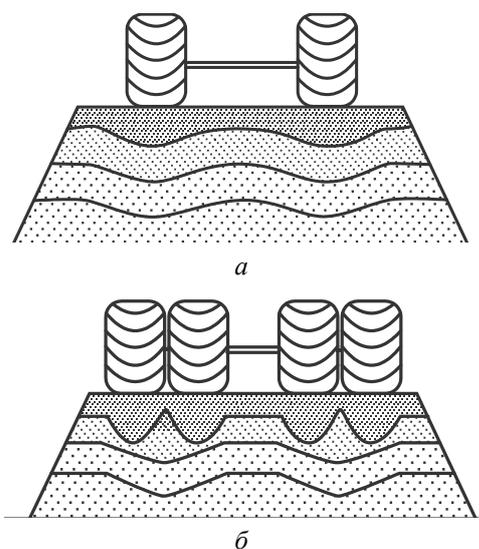


Рис. 1. Варианты передачи нагрузки и распределения напряжений в дорожной конструкции при воздействии:
а – односкатного профиля колес;
б – двускатного профиля колес

Дать оценку того, как происходит перераспределение напряжений по глубине дороги в зависимости от действия различного вида колесной нагрузки и присутствия стабилизирующих прослоек, можно посредством закладки специальных регистрирующих датчиков [8]. С этой целью в лабораторных условиях на грунтовом канале БГТУ были устроены опыт-

ные участки, характеризующиеся наличием либо отсутствием прослоек [9], в конструкциях которых на разных глубинах были заложены датчики давления – месдозы (рис. 2).

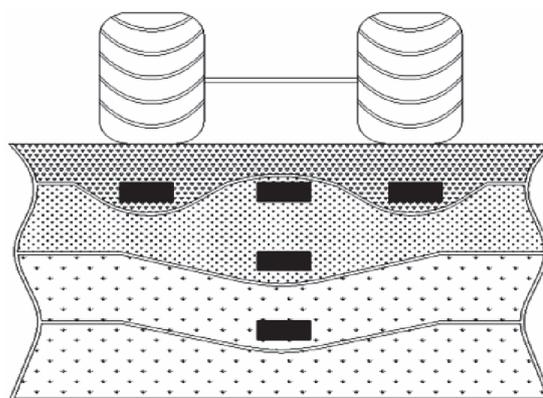


Рис. 2. Схема закладки месдоз по глубине дорожной конструкции

Испытания проводили при воздействии подвижной нагрузки спаренных колес экспериментального стенда [10–12]. Построение графиков и получение аналитических зависимостей производили с применением метода наименьших квадратов, который используется при обработке экспериментальных данных для аппроксимации (приближения) полученных значений с целью описания их в виде определенной формулы [13, 14].

Результаты измерений даны в табл. 1 и на рис. 3–6.

Таблица 1

Изменение величины напряжений по глубине

Наличие прослойки	Величина напряжения, МПа		
	между колесами	под колесами	
Без прослойки	0,056	0,43	
Горизонтальная	0,048	0,41	
Горизонтальная и вертикальные размер, см:			
	5×5	0,035	0,41
	10×10	0,035	0,37

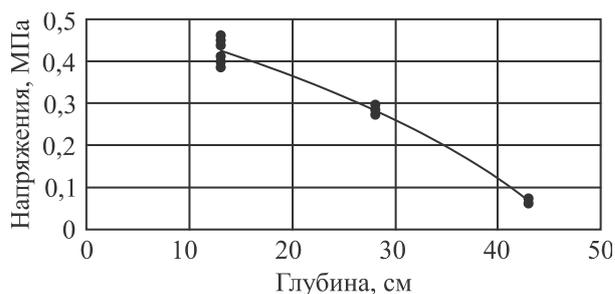


Рис. 3. График изменения напряжений по глубине конструкции без прослойки

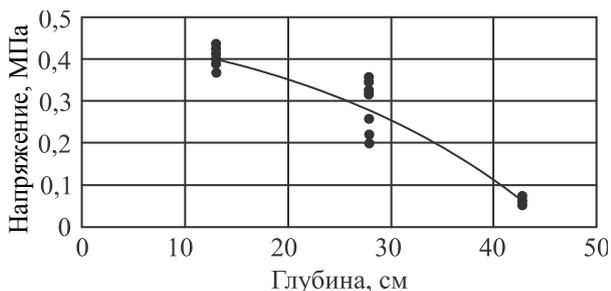


Рис. 4. График изменения напряжений по глубине конструкции с прослойкой

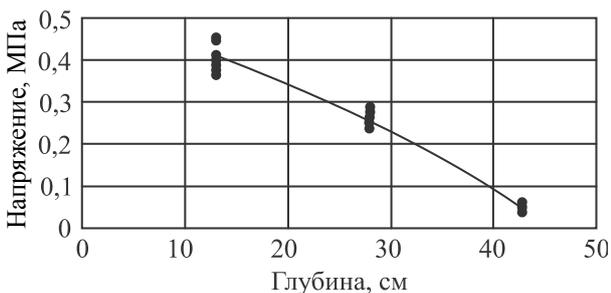


Рис. 5. График изменения напряжений по глубине конструкции с горизонтальными и вертикальными прослойками 10×10 см

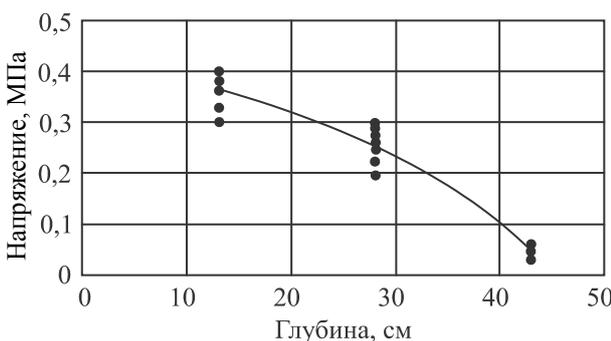


Рис. 6. График изменения напряжений по глубине конструкции с горизонтальными и вертикальными прослойками 5×5 см

Таблица 2

Аналитические зависимости изменения напряжений на опытных участках

Наличие прослойки	Вид аналитической формулы
Без прослойки	$y = -0,0002x^2 - 0,0022x + 0,4831$
Горизонтальная	$y = -0,0002x^2 + 0,0004x + 0,4367$
Горизонтальная и вертикальные размером, см:	
5×5	$y = -0,0002x^2 + 0,0012x + 0,3864$
10×10	$y = -0,0001x^2 - 0,0057x + 0,5001$

Первоначально на опытных участках прогибометром измеряли величину упругого прогиба (рис. 7) при наезде на покрытие спаренных колес экспериментального стенда.



Рис. 7. Измерение величины упругого прогиба

Далее находили расчетное значение общего модуля упругости на поверхности покрытия в соответствии с формулой [2]:

$$E_y = \frac{P_0 \cdot D}{l_y},$$

где $P_0 = \frac{4P}{\pi \cdot D^2}$ – удельное давление колеса на дорогу, МПа; D – диаметр круга, равновеликого площади отпечатка следа колеса (0,34 м); l_y – величина упругого прогиба, м.

Нагрузку P_0 , передаваемую спаренными колесами экспериментальной тележки стенда, измеряли посредством наезда колес на предварительно тарированную весовую платформу [8].

После этого использовали стандартную расчетную номограмму определения общего модуля упругости [15]. Согласно методике, следующим этапом являлось нахождение отношения известных величин (горизонтальная ось номограммы) толщины слоя покрытия h к диаметру отпечатка следа колеса D . Через полученное численное значение вышеуказанного соотношения на номограмме проводили вертикальную линию. Затем, используя графический метод решения нелинейных функций и экспериментальные значения, получали график (рис. 8) для определения модуля упругости слоя, содержащего прослойку.

Результаты измерений значений общего модуля упругости на поверхности покрытий опытных участков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Модули упругости расчетных слоев, МПа

Наличие прослойки	На поверхности покрытия	Покрытия слоя
Без прослойки	95,5	119,6
Горизонтальная	111,3	128,4
Горизонтальная и вертикальные размером, см:		
5×5	144,3	225,6
10×10	127,9	154

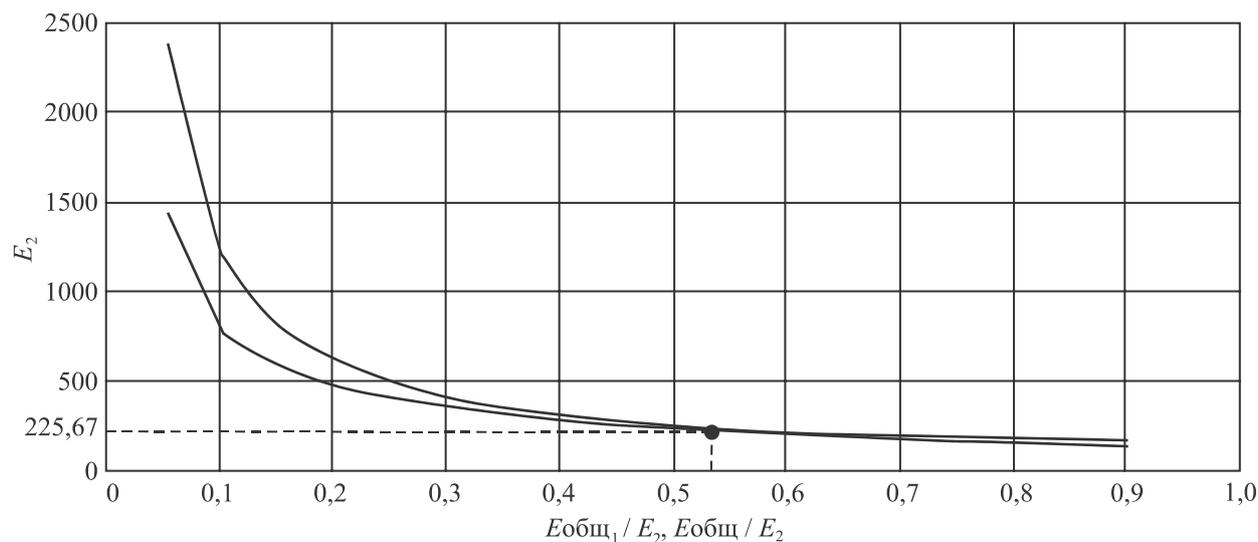


Рис. 8. Пример построения графика для определения модуля упругости слоя, содержащего прослойки

Заключение. Анализ полученных результатов исследований показал эффективность применения различного типа вертикальных прослоек за счет стабилизации ими работы минеральных частиц, слагающих слои дорожной одежды. В частности, напряжения, возникающие непосредственно под колесами тележки экспериментального стенда, на 20% выше в конструкциях, не содержащих вертикальные прослойки, а между колесами при их наличии

снижаются в 1,5 раза, что, в свою очередь, подтверждается полученными аналитическими зависимостями. Также зависимости свидетельствуют и о снижении напряжений по глубине устраиваемых конструкций в 1,1–1,3 раза.

Введение в конструктивные слои вертикальных стабилизирующих прослоек также позволяет увеличить модуль упругости на поверхности покрытия в 1,2–1,5 раза и самого покрытия в среднем на 30%.

Литература

1. Тюрин В. И. Вопросы применения геосинтетических материалов в дорожных конструкциях при проектировании автомобильных дорог // Дороги. Инновации в строительстве. 2011. № 7. С. 22–27.
2. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
3. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: Выш. шк., 1987. 437 с.
4. Насковец М. Т., Дини М. Н. Подвижной состав и автомобильные дороги для вывозки древесины. Основы взаимодействия // Труды БГТУ. 2015, № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 94–98.
5. Насковец М. Т., Жарков Н. И., Дини М. Н. Учет воздействия колесной нагрузки при конструировании лесных автомобильных дорог: материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 14–15 апр. 2016 г. Могилев, 2016. С. 222–223.
6. Насковец М. Т., Драчиловский А. И., Дини М. Н. Взаимодействие насыпей лесных автомобильных дорог, содержащих упрочняющие прослойки с торфяными основаниями // Вестник СибАДИ. Вып. 6 (46), 2015. С. 71–75.
7. Способ устройства многослойной дорожной конструкции: пат. Респ. Беларусь, МПК E01 C,3/00 / М. Т. Насковец, А. А. Камейша; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № а 20100210; заявл. 12.02.10; опубл. 30.10.2011. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2011. № 5. С. 28.
8. Насковец М. Т., Драчиловский А. И., Дини М. Н. Разработка методики сравнительной оценки работоспособности дорожных конструкций под воздействием колесной нагрузки // Труды БГТУ. 2016, № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 83–86.
9. Способ возведения дорожного покрытия и устройство для его осуществления: пат. СССР, SU 1791508 A1, E01C21/00 / Н. П. Вырко, М. Т. Насковец, Л. Г. Громыко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № 4932001/33; заявл. 30.04.91; бюл № 4. 30.01.1993. С. 103.

10. Способ устройства дорожного покрытия: заявка на патент., Респ. Беларусь / М. Т. Насковец, М. Н. Дини; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № 20160341; заявл. 16.09.16.

11. Дини М. Н., Жарков Н. И. Применение горизонтальных и вертикальных упрочняющих геосинтетических прослоек в конструкциях лесных дорог: материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Лесозаготовительное производство: проблемы и решения», 26–27 апр. 2017 г. Минск, 2017. С. 187–190.

12. Насковец М. Т., Дини М. Н. Комбинированные геосинтетические прослойки для устройства лесных дорог. Конструкции и результаты лабораторных испытаний // Труды БГТУ. 2017, № 1: Лесное хоз-во. С. 109–114.

13. Пижурич А. А. Основы научных исследований в деревообработке: учеб. для вузов. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.

14. Жарский И. М., Коледин Б. А., Кузьмицкий И. Ф. Планирование и организация эксперимента. Минск: БГТУ, 2003. 182 с.

15. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112-2008(02250). Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь. Минск, 2009.

References

1. Tyurin V. I. Questions of application of geosynthetic materials in road constructions in the design of roads. *Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve* [Road. Innovations in construction], 2011, no. 7, pp. 22–27 (In Russian).

2. Naskovets M. T. *Transportnoye osvoyeniye lesov Belarusi i komponenty lesotransporta* [Transport Belarus development of forests and forest transport components]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 178 p.

3. Vyrko N. P. *Sukhoputnyy transport lesa* [Over land transport timber]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1987. 437p.

4. Naskovets M. T., Dini M. N. Rolling stock and roads for wood removals based on interaction. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 94–98 (In Russian).

5. Naskovets M. T., Zharkov N. I., Dini M. N. [Accounting wheel impact load in the construction of forest roads]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. («Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii»)* [Materials of the International scientific and technical conference (“Materials, equipment and resource saving technologist”)]. Mogilev, 2016, pp. 222–223 (In Russian).

6. Naskovets M. T., Drachilovskiy A. I., Dini M. N. Development of a technique of comparative performance Working methods of comparative performance evaluation of road construction under the influence of wheel load. *Vestnik SibADI* [Bulletin of SibADI], 2015, vol. 6 (46), pp. 83–86 (In Russian).

7. Naskovets M. T., Camus A. A. *Sposob ustroystva mnogosloynoy dorozhnoy konstruktсии* [The method of the multilayer structure of the construction road]. Patent BY, no. 20100210, 2011.

8. Naskovets M. T., Drachilovskiy A. I., Dini M. N. Development of a technique of comparative performance Working methods of comparative performance evaluation of road construction under the influence of wheel load. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 83–86 (In Russian).

9. Vyrko N. P., Naskovets M. T., Gromyko L. G. *Sposob vozvedeniya dorozhnogo pokrytiya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of construction of the road surface and a device for its implementation]. Patent BY, no. 4932001/33, 1993.

10. Naskovets M. T., Dini M. N. *Sposob ustroystva dorozhnogo pokrytiya* [The method of road pavements]. Patent BY, no. 20160341, 2016.

11. Dini M. N., Zharkov N. I. [Application of horizontal and vertical reinforcing geosynthetic interlayers in forest road constructions]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. («Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya»)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (“Forestry production: problems and solutions”)]. Minsk, 2017, pp. 187–190 (In Russian).

12. Naskovets M. T., Dini M. N. Combined geosynthetic Interlayers for building forest roads. Constructions and results of laboratory tests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 1: Forestry, pp. 109–114 (In Russian).

13. Pizhurin A. A. *Osnovy nauchnykh isledovaniy v derevoobrabotke* [Basics of scientific research in woodworking]. Moscow, MGUL Publ., 2005. 305 p.

14. Zharskiy I. M., Koledin B. A., Kuz'mitskiy I. F. *Planirovaniye i organizatsiya eksperimenta* [Planning and organization of experiment]. Minsk, BGTU Publ., 2003. 182 p.

15. TCP 45-3.03-112-2008 (02250) Highways. Non-rigid road clothes. Design rules. Minsk, Min-vo arkhitkтуры i stroitel'stva Resp. Belarus', 2009 (In Russian).

Информация об авторах

Насковец Михаил Трофимович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

Дини Мортеза Носрат – аспирант кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: morteza.dini65@gmail.com

Кузьмицкий Иосиф Фелицианович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: i.kuzmicki@belstu.by

Information about the authors

Naskovets Michael Trofimovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Dini Morteza Nosrat – PhD student, the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: morteza.dini65@gmail.com

Kuz'mitskiy Iosif Felitsianovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: i.kuzmicki@belstu.by

Поступила 15.04.2017