

Краткое сообщение

УДК 630.383

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.56>

EDN: DIWXCD

Оценка напряжённно-деформированного состояния дорожной одежды лесных дорог, усиленной геосинтетическими оболочками

О. Н. Бурмистрова¹, И. Н. Кручинин², В. И. Клевеко³✉

¹ Ухтинский государственный технический университет,
Российская Федерация, 169300, Ухта, ул Первомайская, 13

² Уральский государственный лесотехнический университет,
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

³ Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Российская Федерация, 614000, Пермь, Комсомольский пр., 29
vlivkl@mail.ru ✉

Аннотация. *Введение.* Лесные дороги играют важную роль в развитии лесного хозяйства. Они предоставляют доступ к лесным массивам, что позволяет проводить лесозаготовительные работы, вывозить древесину, осуществлять контроль над состоянием лесов и проводить исследования. Поэтому актуальной проблемой лесного комплекса является уменьшение затрат на вывозку древесины. Одним из путей снижения стоимости строительства является применение колеинового типа покрытия. Одним из вариантов устройства такого типа покрытия является использование оболочек из геосинтетического материала. Однако работа таких конструкций изучена недостаточно хорошо. *Цель* исследования – изучение напряжённно-деформированного состояния геосинтетических оболочек в составе дорожной одежды с помощью численного метода. *Объекты и методы.* Объектами исследования являются геосинтетические оболочки, предназначенные для усиления основания дорожной одежды. Для исследования их работы был применён метод конечных элементов. *Результаты.* В статье приведены результаты численного моделирования конструкции дорожной одежды переходного типа с усиливающими геосинтетическими оболочками. Выполненные исследования показали, что применение геосинтетических оболочек позволяет уменьшить вертикальные деформации. При толщине оболочек 0,2 м вертикальные перемещения уменьшаются на 20–48 % в зависимости от ширины оболочки, а при толщине оболочек 0,4 м. – до 59 %. *Выводы.* Предложенные конструкции дорожных одежд с геосинтетическими оболочками позволяют существенно снизить вертикальные деформации дорожной одежды лесных дорог. Эффективность применения геосинтетических оболочек в конструкциях дорожных одежд переходного типа лесных дорог зависит от геометрических параметров оболочек.

Ключевые слова: лесозаготовки; лесное хозяйство; дорожная одежда; вертикальная деформация; метод конечных элементов

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Бурмистрова О. Н., Кручинин И. Н., Клевеко В. И. Оценка напряжённно-деформированного состояния дорожной одежды лесных дорог, усиленной геосинтетическими оболочками // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 2 (62). С. 56–63. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.56>; EDN: DIWXCD

Введение

Лесная промышленность является одной из важных отраслей экономики многолесных регионов, поскольку лесохозяйственный комплекс имеет для него большое значение. Лесные ресурсы здесь используются для производства древесины, целлюлозы, бумаги, пиломатериалов, а также для добычи древесной биомассы. Эти продукты используются как на мест-

ном уровне, так и для экспорта. Лесная промышленность способствует развитию экономики регионов, созданию рабочих мест и обеспечению местного населения древесными материалами, топливом и другими продуктами лесопереработки. Кроме того, леса играют важную роль в поддержании экологического баланса, сохранении биоразнообразия и оказании благоприятного воздействия на климат.

© Бурмистрова О. Н., Кручинин И. Н., Клевеко В. И., 2024

Также важно учитывать, что лесная промышленность не только создаёт рабочие места, но и участвует в обеспечении местного населения древесными материалами, топливом и другими продуктами лесопереработки, что имеет большое значение для социально-экономического развития, например, Пермского края. Поэтому лесные дороги играют важную роль в развитии лесного хозяйства, обеспечивая доступ к лесным ресурсам, облегчая проведение лесозаготовительных работ и обеспечивая защиту лесов от различных угроз.

Лесные дороги имеют ряд существенных отличий от автомобильных дорог общей сети. Так для лесных дорог, особенно для лесовозных, характерны относительно небольшая интенсивность движения и повышенная нагрузка от колеса автомобиля. В составе транспортного потока лесовозных дорог преобладают специализированные автопоезда, предназначенные для перевозки лесоматериалов. Нагрузки от колёс современных автопоездов могут превышать значения нормативных нагрузок по СП 288. 1325800.2016 «Дороги лесные. Правила проектирования и строительства».

Для уменьшения затрат на вывозку древесины необходимо снижать стоимость строительства и эксплуатации лесных дорог, но при этом нельзя допускать ухудшения их транспортно-эксплуатационных характеристик. Одним из путей снижения стоимости строительства является применение колеяного типа покрытия [1]. Применение такого типа покрытия особенно актуально для временных лесовозных дорог (усы, подъезды), срок службы которых составляет от одного до пяти лет. Одним из способов устройства колеяного типа покрытия является использование оболочек из геосинтетического материала. Это позволяет уменьшить объёмы земляных работ до 40 % и снизить использование кондиционных дорожно-строительных материалов [2].

Изучение возможности применения и особенностей работы геосинтетических оболочек в строительстве рассмотрено в целом ряде исследований, как в зарубежных странах [2–6], так и в нашей стране [7–11]. Однако особенности напряжённо-деформированного состояния таких конструкций изучены ещё недостаточно хорошо.

Цель работы – изучение напряжённо-деформированного состояния геосинтетических оболочек с помощью численного метода, реализованного в программе PraxiS 2D.

В задачи входило исследование влияния толщины и ширины геосинтетических оболочек на вертикальную осадку покрытия под колесом расчётного автомобиля и на максимальные растягивающие напряжения в геосинтетических оболочках.

Результаты

Объектами исследования являются геосинтетические оболочки, предназначенные для усиления основания дорожной одежды. Для исследования их работы был применён метод конечных элементов.

На рис. 1 представлена конструкция дорожной одежды с геосинтетическими оболочками.

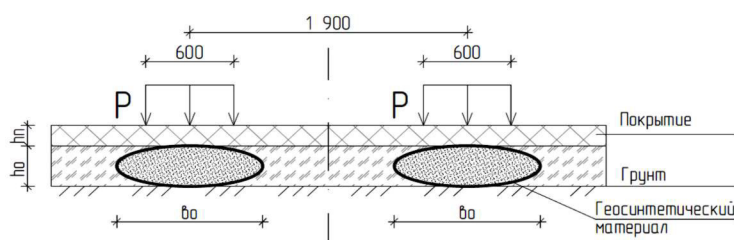


Рис. 1. Конструкция дорожной одежды с геосинтетическими оболочками
Fig. 1. Construction of pavement reinforced with geosynthetic shells

В качестве исходных данных была принята следующая конструкция дорожной одежды:

- покрытие дорожной одежды – щебень фракционированный, толщиной $h_{\text{п}} = 0,15$ м с модулем деформации, $E_1 = 450$ МПа;
- засыпка оболочки – песок с модулем упругости, $E_2 = 130$ МПа;
- грунт земляного полотна – суглинок с удельным сцеплением $c = 5$ кПа, углом внутреннего трения $\phi = 5$ град, и модулем упругости, $E_3 = 29$ МПа;
- линейная жёсткость на растяжение геосинтетической оболочки, 500 кН.

Нагрузка от колеса расчётного автомобиля была принята 65 кН.

Были выполнены две серии расчётов для оболочек толщиной 0,2 и 0,4 м. Для выявления зависимости напряжённо-деформированного состояния оболочек от их ши-

рины в каждой серии расчётов были назначены три варианта ширины оболочки – минимальная, максимальная и промежуточная. Минимальная ширина оболочки была принята исходя из расчётной ширины колеса автомобиля с учётом распределяющей способности покрытия. Максимальная ширина оболочки назначена по геометрическим параметрам возможности её размещения по колее расчётного автомобиля.

Результаты расчёта конструкции дорожной одежды представлены в таблице. Для оценки эффективности применения геосинтетических оболочек в конструкциях дорожных одежд были выполнены расчёты аналогичной дорожной одежды без армирования.

В качестве примера на рис. 2–5 представлены результаты расчёта дорожной одежды с геосинтетическими прослойками толщиной 0,2 м и шириной 1,2 м.

Результаты расчёта дорожной одежды

Results of road pavement calculations

Ширина оболочки, м	Высота оболочки, м	Растягивающее усилие в оболочке, кН	Вертикальное перемещение, мм
Без оболочки	0,2	–	6,92
0,8	0,2	1,25	9,76
1,2	0,2	1,27	5,51
1,6	0,2	1,30	3,59
Без оболочки	0,4	–	3,82
1,0	0,4	1,0	7,62
1,2	0,4	0,59	4,63
1,6	0,4	0,55	1,57

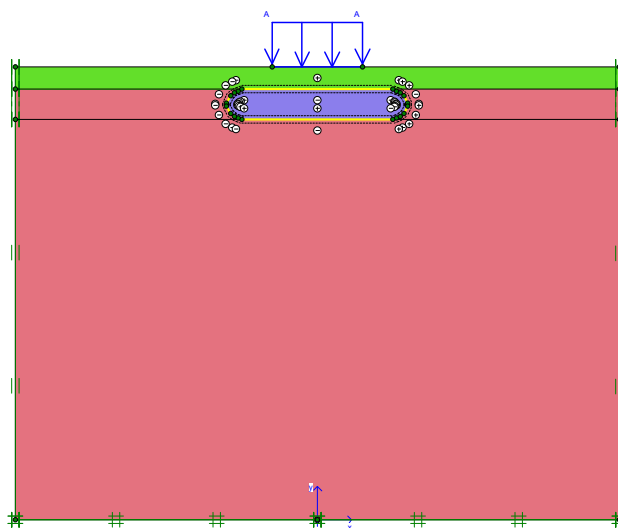


Рис. 2. Расчётная схема для оболочки толщиной 0,2 м и шириной 1,2 м
Fig. 2. Design diagram for a shell with a thickness of 0.2 m and a width of 1.2 m

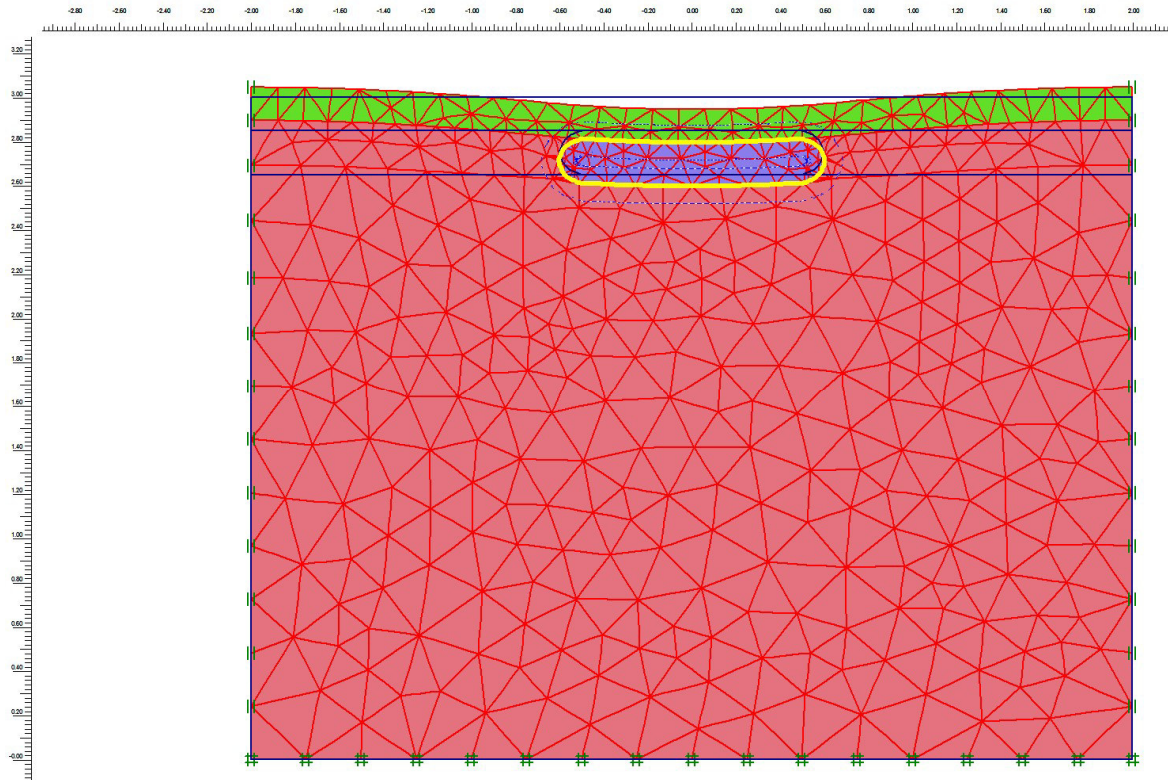


Рис. 3. Деформированная схема для оболочки толщиной 0,2 м и шириной 1,2 м
 Fig. 3. Deformed diagram for a shell with a thickness of 0.2 m and a width of 1.2 m

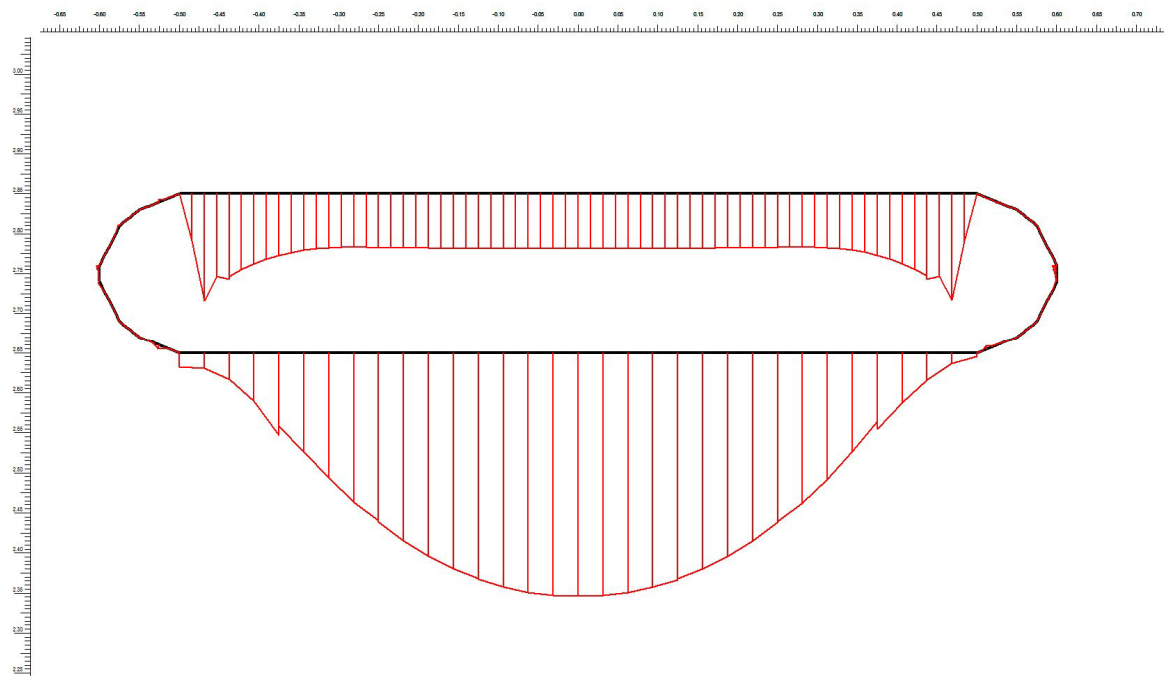


Рис. 4. Эпюра распределения растягивающих напряжений в геосинтетической оболочке
 толщиной 0,2 м и шириной 1,2 м
 Fig. 4. Diagram of the distribution of tensile stresses in a geosynthetic shell with a thickness of 0.2 m
 and a width of 1.2 m

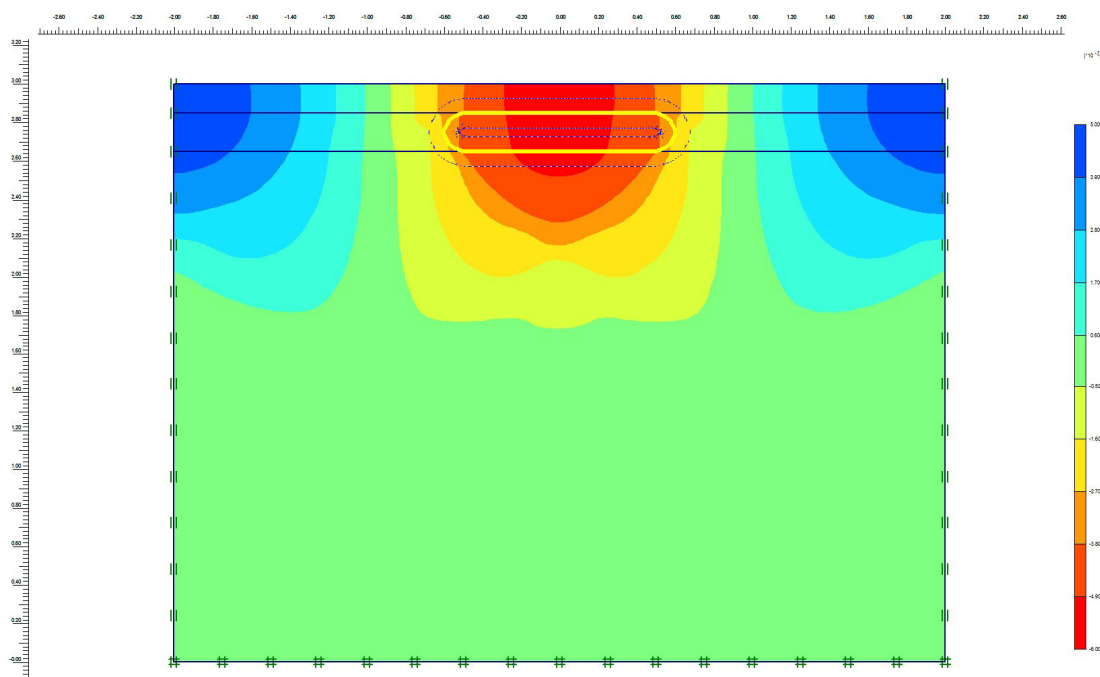


Рис. 5. Распределение вертикальных перемещений для конструкции дорожной одежды с геосинтетической оболочкой толщиной 0,2 м и шириной 1,2 м

Fig. 5. Vertical displacement distribution for a pavement structure reinforced with a geosynthetic shell with a thickness of 0.2 m and a width of 1.2 m

Выводы

Анализ результатов выполненного численного моделирования работы дорожной одежды с усиливающими элементами в виде геосинтетических оболочек позволяет сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Напряжённо-деформированное состояние геосинтетических оболочек в составе дорожной одежды лесных дорог существенно зависит от геометрических соотношений толщины и ширины оболочки.

2. Для отношений b_0/h_0 менее 4 применение геосинтетических оболочек не эффективно. Значения вертикальных перемещений верха дорожной одежды под колесом расчётного автомобиля для неармированного основания меньше, чем для армированного.

3. Наиболее рационально использование геосинтетических оболочек с соотношением b_0/h_0 от 6 до 8.

4. Проведённые исследования хорошо согласуются с результатами экспериментальных модельных исследований, приведённых в работе [7].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Использование армогрунта в конструкции устоев деревянного моста лесовозной автомобильной дороги / А. М. Бургонутдинов, О. Н. Бурмирова, В. И. Клевко и др. // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 3 (393). С. 113–125. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-113-125; EDN: MIAEZI
2. Усиление лесных дорог геосинтетическими материалами по методу грунт в оболочке / И. И. Тумашик, Н. П. Вырко, А. П. Лашенко и др. // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2007. № 18. С. 60–63. EDN: TZQKQX

3. Xu Y. F., Huang J. Case Study on Earth Reinforcement Using Soilbags // Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering. Geosynthetics Asia 2008: Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, June 17–20, 2008, Shanghai, China. Springer Berlin, Heidelberg, 2009. Pp. 597–602. DOI: 10.1007/978-3-540-69313-0_111
4. A New Structure of Geotextile Called Soil Nets for Reinforcement / B. Xiong, B. Tian., X. Lu et al. // Advances in Materials Science and Engineering. 2017. No 1. Art. 518593. DOI: 10.1155/2017/9518593

5. Matsuoka H., Liu S. New Earth Reinforcement Method by Soilbags ("Donow") // Soils and foundations. 2003. Vol. 43, iss. 6. Pp. 173–188. DOI: 10.3208/sandf.43.6_173
6. Earth reinforcement using soilbags / Y. Xu, J. Huang, Y. Du et al. // Geotextiles and Geomembranes. 2008. Vol. 26, iss. 3. Pp. 279–289. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2007.10.003
7. Семёнов Д. А., Клевеко В. И. Экспериментальные исследования усиления оснований геосинтетическими оболочками различной пространственной конфигурации // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: материалы 11-й Всероссийской конференции аспирантов, молодых учёных и студентов, Пермь, 27-29 марта 2019 г. Пермь: ПНИПУ, 2019. Т. 1. С. 39–43. EDN: FUCDZH
8. Семёнов Д. А., Клевеко В. И. Использование геосинтетических оболочек в строительстве // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9, № 2. С. 78–87. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.2.07; EDN: XRSRCP
9. Пишеничникова Е. С. Геотекстильные конструкции в строительстве земляных сооружений // Гидротехника. 2013. № 3 (32). С. 29–32.
10. Тумашик И. И., Гарабажу А. А., Леонов Е. А. Прочность несвязных грунтов лесных дорог при ограниченных объёмных деформациях // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 121–125. EDN: YSBYVN
11. Алексеев В. В., Волокитин И. И., Синюшкин А. Д. Повышение сдвигоустойчивости грунтовых технологических карьерных автодорог на слабосвязанных основаниях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 3 (46). С. 452–460. DOI: 10.21285/2227-2917-2023-3-452-460; EDN: BBKPLZ

Статья поступила в редакцию 12.02.2024; одобрена после рецензирования 27.03.2024;
принята к публикации 15.05.2024

Информация об авторах

БУРМИСТРОВА Ольга Николаевна – доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетики, метрологии и лесопромышленных технологий, Ухтинский государственный технический университет. Область научных интересов – повышение надёжности и эффективности лесовозных автомобильных дорог. Автор 309 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>; SPIN-код: 1301-0911

КРУЧИНИН Игорь Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – разработка и исследования устойчивости функционирования транспортно-производственных систем, повышение структурной прочности дорожных конструкций из малопрочных каменных материалов, совершенствование инструментального контроля при строительстве и содержании автомобильных дорог. Автор 250 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2027-9742>; SPIN-код: 6484-3424

КЛЕВЕКО Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства и геотехники, Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Область научных интересов – исследование напряжённо-деформированного состояния армированных оснований. Автор 192 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7251-9598>; SPIN-код: 5310-4141

Вклад авторов:

Бурмистрова О. Н. – концепция, постановка цели и задач, подготовка и редактирование статьи.

Кручинин И. Н. – разработка программы, методики.

Клевеко В. И. – программное обеспечение, проверка данных, подготовка и редактирование статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Brief message
UDC 630.383
<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.56>
EDN: DIWXCD

Assessment of the Stress-Strain State of the Forest Road Pavement Reinforced with Geosynthetic Shells

O. N. Burmistrova¹, I. N. Kruchinin², V. I. Kleveko^{3✉}

¹Ukhta State Technical University,
13, Pervomayskaya St., Ukhta, 169300, Russian Federation
²Ural State Forest Engineering University,
37, Siberian Tract, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
³Perm National Research Polytechnic University,
29, Komsomolsky Prospekt, Perm, 614990, Russian Federation
vlivkl@mail.ru✉

Abstract. *Introduction.* Forest roads play an important role in the development of forestry. They provide access to forest expanses, which enables logging operations, timber removal, forest monitoring and research. Reduction of wood removal costs is a pressing issue for the forest sector, which can be tackled, inter alia, by cutting expenditures on the construction and operation of forest roads through the use of tread pavement. One of the options for constructing this type of road pavement is to utilize shells made of geosynthetic materials. However, the functioning of such structures has not been sufficiently investigated. *The purpose* of the research is to study the stress-strain state of the geosynthetic shells as a component of road pavement by applying the numerical method. *Objects and methods.* The objects of the research are geosynthetic shells designed to reinforce the road pavement base. To study their functioning, the finite element method was employed. *Results.* The article presents the results of the numerical modeling of the design of a transition-type road pavement reinforced with geosynthetic shells. The studies undertaken have shown that the use of geosynthetic shells makes it possible to reduce the vertical deformation. With a shell thickness of 0.2 m, vertical movements decrease by 20–48% depending on the width of the shell, and with a shell thickness of 0.4 m - up to 59%. *Conclusion.* The proposed designs of road pavements reinforced with geosynthetic shells allow for a significant reduction in the vertical deformation of the forest road pavement. The efficiency of using geosynthetic shells in transition-type pavement structures of forest roads depends on the geometric parameters of the shells.

Keywords: forest roads; forestry; geosynthetic materials; shells; finite element method

Funding: this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Burmistrova O. N., Kruchinin I. N., Kleveko V. I. Assessment of the Stress-Strain State of the Forest Road Pavement Reinforced with Geosynthetic Shells. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(2):56–63. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.2.56>; EDN: DIWXCD

REFERENCES

1. Burgonutdinov A. M., Burmistrova O. N., Kleveko V. I. et al. Application of reinforced soil foundations in the construction of wooden bridge abutments along logging road. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2023;(3(393)):113–125. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-113-125; EDN: MIAEZI (In Russ.).
2. Tumashik I. I., Vyrko N. P., Lashchenko A. P. et al. Reinforcement of forest roads with geosynthetic materials using the soil-in-shell method. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2007;(18):60–63. EDN: TZQKQX (In Russ.).
3. Xu Y. F., Huang J. Case study on Earth reinforcement using soilbags. In: *Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering – Proceedings of the 4th Asian Regional Conference in Geosynthetics*. June 17–20, 2008, Shanghai, China. Berlin, Heidelberg: Springer; 2009:597–602. DOI: 10.1007/978-3-540-69313-0_111
4. Xiong B., Tian B., Lu X. et al. A new structure of geotextile called soil nets for reinforcement. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2017;(1):9518593. DOI: 10.1155/2017/9518593

5. Matsuoka H., Liu S. New earth reinforcement method by soilbags ("donow"). *Soils and Foundations*. 2003;43(6):173–188. DOI: 10.3208/sandf.43.6_173
6. Xu Y., Huang J., Du Y. Earth reinforcement using soilbags. *Geotextiles and Geomembranes*. 2008;26(3):279–289. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2007.10.003
7. Semenov D. A., Kleveko V. I. Experimental studies of road bases reinforced with geosynthetic shells of various spatial configurations. In: *Modern technologies in construction. Theory and practice. Proceedings of the 11th All-Russian Conference of Postgraduate students, Young Researchers and Students, 27-29 March 2019. Vol. 1*. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2019:39–43. EDN: FUCDZH (In Russ.).
8. Semenov D. A., Kleveko V. I. Use of geosynthetic shells in construction. *Perm National Research Polytechnic University Construction and Architecture Bulletin*. 2018;9(2):78–87. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.2.07; EDN: XRSRCP (In Russ.).
9. Pshenichnikova E. S. Geotextile carcasses for construction of earthworks. *The Hydrotechnika*. 2013;(3(32)):29–32. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.2.07; EDN: XRSRCP (In Russ.).
10. Tumashik I. I., Garabazhiu A. A., Leonov E. A. Strength of non-advanced grounds of forest roads with limited volume deformations. *Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice*. 2018;6(4(40)):121–125. EDN: YSBYVN (In Russ.).
11. Alekseenko V. V., Volokitin I. I., Sinyushkin A. D. Improving the shear resistance of ground technological quarry roads on loosely-bound subgrades. *Izvestiia vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2023;13(3(46)):452–460. DOI: 10.21285/2227-2917-2023-3-452-460; EDN: BBKPLZ (In Russ.).

The article was submitted 12.02.2024; approved after reviewing 27.03.2024;
accepted for publication 15.05.2024

Information about the authors

Olga N. Burmistrova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Electric Power Engineering, Metrology and Forestry Technologies, Ukhta State Technical University. Research interests – increasing the reliability and efficiency of logging roads. Author of more than 300 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>; SPIN: 1301-0911

Igor N. Kruchinin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Highways, Bridges and Tunnels, Ural State Forestry Engineering University. Research interests – research and development of the sustainability of the functioning of transport and production systems; increasing the structural strength of road structures made of low-strength stone materials; improving the instrumental control in highway construction and maintenance. Author of 250 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2027-9742>; SPIN: 6484-3424

Vladimir I. Kleveko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Operations and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University. Research interests – the study of the stress-strain state of reinforced foundations. Author of 192 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7251-9598>; SPIN: 5310-4141

Contribution of the authors:

Burmistrova O. N. – research concept, setting goals and objectives, preparation and editing of the article.

Kruchinin I. N. – software development, methodology.

Kleveko V. I. – software, data verification, preparation and editing of the article.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.