

УДК 630*383.4

П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко

Белорусский государственный технологический университет

**СТЕНДОВЫЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ
ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО
МАЛОЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО**

В статье приведены результаты стендовых испытаний в лабораторных условиях разработанных дорожных конструкций с использованием грунтов, укрепленных композиционными малоцементными вяжущими. Определены основные эксплуатационные характеристики дорожных покрытий.

Установлено, что одним из перспективных методов получения прочного монолитного конструктивного слоя дорожной конструкции, способного воспринимать значительные нагрузки от лесотранспортных систем, является укрепление местных грунтов новым композиционным малоцементным вяжущим, произведенным из отходов промышленных производств и цемента.

Осуществлено опытно-промышленное строительство участков лесных автомобильных дорог II и IV л категорий в «Негорельском учебно-опытном лесхозе» и ГЛХУ «Лидский лесхоз» соответственно с использованием разработанных дорожных конструкций на основе укрепленных местных грунтов.

Проведенные опытно-промышленные испытания заложенных участков лесотранспортных путей показали положительные результаты под воздействием лесовозного автотранспорта. В Негорельском учебно-опытном лесхозе глубина колеи на опытном участке составила 2,3 см, в то время как на контрольном – 5,9 см, что на 61% больше. При испытании дорожного покрытия из цементогрунта на прочность модуль упругости на опытном участке в среднем составил 129,7 МПа, что выше на 21,4%, чем на участке с использованием чистого портландцемента при укреплении.

Ключевые слова: дорожная конструкция, производственные испытания, строительство лесных дорог.

Для цитирования: Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Стендовые и производственные испытания дорожных конструкций на основе композиционного малоцементного вяжущего // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 122–128.

P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko

Belarusian State Technological University

**BENCH AND PRODUCTION TESTS OF ROAD STRUCTURES BASED
ON COMPOSITE LOW-CEMENT BINDER**

The article presents bench tests in laboratory conditions of developed road structures using soils reinforced with composite low-cement binders. The main operational characteristics of road surfaces are determined.

It has been established that one of the promising methods for obtaining a solid monolithic structural layer of a road structure capable of taking significant loads from forest transport systems is to strengthen local soils with a new composite low-cement binder made from industrial waste and cement.

Pilot-industrial construction of sections of forest automobile roads of II-I and IV-I categories in the «Negorelsky educational and experimental forestry» and GLHU «Lida Forestry», respectively, was carried out using developed road structures based on fortified local soils.

Pilot-industrial tests of the laid-down sections of forest transport lines have been carried out and have shown good performance under the influence of logging vehicles. Thus, in the «Negorelsky educational and experimental forestry», the track depth in the experimental section was 2.3 cm, while in the control section it was 5.9 cm, which is 61% more. When testing the cement-based pavement for strength, the modulus of elasticity on the test site averaged 129.7 MPa, which is 21.4% higher than on the site using pure portland cement for reinforcement.

Key words: road construction, production tests, construction of forest roads.

For citation: Lyshchik P. A., Bavbel E. I., Naumenko A. I. Bench and production tests of road structures based on composite low-cement binder *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 1 (252), pp. 122–128 (In Russian).

Введение. Дорожные конструкции воспринимают различные виды внешних воздействий, основными из которых являются воздействия от автомобильной нагрузки и погоднo-климатических факторов. Кроме внешних воздействий, дорожные конструкции должны воспринимать нагрузки (иногда значительные) от собственной массы. Основные элементы дорожной конструкции – дорожная одежда и земляное полотно. Дорожную одежду считают достаточно прочной, если под воздействием всех нагрузок она сохраняет в течение заданного срока сплошность и требуемую ровность покрытия. Земляное полотно считают устойчивым, если изменение его несущей способности, высотных и геометрических параметров не выходит за расчетные пределы в течение срока службы [1–4].

В последние годы, с появлением большегрузных автомобильных поездов, значительно возросла колесная автомобильная нагрузка, которая вызывает предельные вертикальные и горизонтальные напряжения и деформации в конструктивных слоях дорожной одежды и верхних слоях земляного полотна [5–6]. Это влечет за собой необходимость строить все более мощные и дорогостоящие конструкции.

Для оценки эффективности практического использования разработанных дорожных конструкций [7, 8] и методики проектирования цементогрунтовых смесей для устройства конструктивных слоев в производственных условиях были построены и прошли опытно-промышленную проверку участки лесных автомобильных дорог с использованием местных грунтов, укрепленных композиционными малоцементными вяжущими [9].

Целью работы является проверка теоретических предпосылок и результатов лабораторных экспериментов по определению прочностных и деформационных свойств цементогрунтов, полученных на основе укрепления местных грунтов композиционными малоцементными вяжущими, а также транспортно-эксплуатационных характеристик разработанных дорожных конструкций лесных автомобильных дорог [10].

Цель применения конструктивного слоя из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» – создание усиленного слоя

дорожной одежды, имеющего улучшенные характеристики по отношению к слою из заполнителя:

- повышенную прочность (повышенную сопротивляемость возникающим напряжениям сдвига) [11–13];

- повышенную жесткость (модуль упругости слоя повышается по отношению к модулю упругости заполнителя) [14, 15];

- пониженные температурные деформации при заполнителе, содержащем композиционные вяжущие.

Основные конструктивные решения – устройство слоя покрытия, несущего или дополнительного слоя основания дорожной конструкции представлены на рис. 1.

Основная часть. Для определения модуля упругости дорожных конструкций из цементогрунта (IV тип) и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» (III^{AK} тип) на грунтовом канале было заложено три модельных участка длиной 1,5 м, шириной 1,0 м и глубиной 0,5 м, при этом третий участок – контрольный, грунтовое покрытие.

Первый участок представлял собой дорожную конструкцию (IV тип) из послойно уложенного и уплотненного грунта, доведенного до максимальной плотности при оптимальной влажности [12]. Верхний слой первого участка толщиной 0,15 м был получен путем укрепления грунта композиционным малоцементным вяжущим № 1, состоящим из портландцемента и микрозаполнителей – гранитоидного отсева и молотых отходов асбестоцементного производства.

Принцип закладки второго участка такой же, как и на первом участке, причем основание дорожной конструкции (III^{AK} тип) состояло из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт», полученного путем засыпки георешетки ячеистой конструкции марки «Белгеосот» цементогрунтовой смесью. Смесью состояла из грунта, укрепленного композиционным малоцементным вяжущим № 1, состоящим из портландцемента, гранитоидного отсева и молотых отходов асбестоцементного производства.

Третий участок контрольный, и укрепление по всей глубине не проводилось. Модельный участок представлял собой грунт, уплотненный послойно при оптимальной влажности.

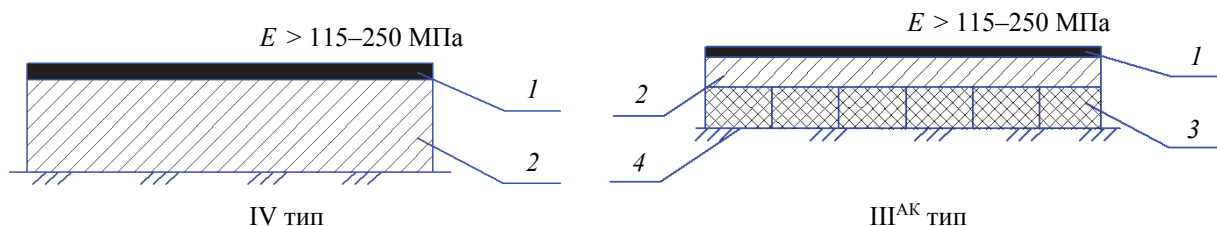


Рис. 1. Дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – грунт земляного полотна

Во всех случаях устраивался слой износа толщиной до 5 см.

На рис. 2 представлены модельные участки заложенных конструкций в грунтовом канале.

Исследования включали два этапа:

1) измерение максимальных вертикальных сжимающих напряжений в различных зонах тела конструкции при проходе тележки;

2) измерение глубины колеи.

Испытания показали, что на первом участке с дорожной конструкцией IV типа модуль упругости (108 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия (65 МПа) на 39,8%. На участке с дорожной конструкцией III^{AK} типа модуль упругости (214 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия в 3,29 раза.

В ходе испытаний после определенного числа проходов тележки замерялась глубина колеи, фиксировался характер образования остаточных деформаций. На участке с дорожными конструкциями IV и III^{AK} типа глубина колеи составила доли миллиметра, т. е. при 40 проходах тележки образование колеи практически не происходило. На участке с грунтовым покрытием наиболее интенсивно колея образовалась при первых 17 проходах, стабилизировалась после 23 проходов, в конечном итоге ее глубина составила 3,7 см.

Таким образом, результаты стендовых испытаний показали хорошую согласованность с результатами теоретических исследований и подтвердили влияние конструктивного слоя из цементогрунта и арматурного каркаса на прочность и эксплуатационное состояние лесотранспортных путей.

Для подтверждения теоретических и стендовых испытаний в грунтовом канале в производственных условиях ГЛХУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» (Минская область) и ГЛХУ «Лидский лесхоз» (Гродненская область) осуществлено строительство дорожных конструкций лесотранспортных путей. Опытно-производственные участки лесных автомобильных дорог

с разработанными дорожными конструкциями были заложены в НУОЛХ «Негорельский учебно-опытный лесхоз», в ГЛХУ «Лидский лесхоз». Работы по устройству дорожных конструкций осуществлялись силами лесхозов. На участки дороги были завезены необходимые материалы в соответствии с предварительно произведенными расчетами. Согласно нормам проектирования и строительства лесохозяйственных дорог ТКП 500-2016, участки дорог и их параметры соответствуют лесным автомобильным дорогам категории III и IVл соответственно. В качестве исходных данных были приняты следующие параметры для подсчета расхода составляющих: длина участков – 200 м; ширина земляного полотна – 5,0 м для IIIл и 4,5 м для IVл; ширина проезжей части – 3,5 м; обочины – 0,75 м для IIIл и 0,5 м для IVл; толщина дорожной одежды – 0,2 м для IIIл и 0,15 м для IVл; поперечный уклон – 30‰.

Общий объем цементогрунтовой смеси в первом и втором случаях составил 140 м³ и 105 м³ соответственно. При средней плотности цементогрунта 1800 кг/м³ масса укрепленного грунта составляет 252 000 кг и 189 000 кг соответственно.

Строительство участка лесной автомобильной дороги в НУОЛХ «Негорельский учебно-опытный лесхоз». Лесная автомобильная дорога состоит из трех участков № 1, 2, 3, протяженность которых равно 75 м, 100 м и 25 м соответственно. Дорожная одежда представляет собой конструкцию из грунта толщиной 0,2 м, укрепленного новым композиционным вяжущим [7].

Участок лесной автомобильной дороги был представлен земляным полотном, расположенным на местности второго типа увлажнения с высотой насыпи от 0 до 0,2 м, шириной 5,0 м, грунт земляного полотна – супесь легкая пылеватая. Дорога являлась труднопроезжаемой, особенно в весенне-осенний период (при распутице). В период строительства участки имели хорошее состояние, земляное полотно было предварительно спроектировано и уплотнено.



а



б

Рис. 2. Модельные участки дорожных конструкций в грунтовом канале: а – дорожная конструкция IV типа; б – дорожная конструкция III^{AK} типа



а



б

Рис. 3. Опытный участок в НУОЛХ «Негорельский учебно-опытный лесхоз»: а – первоначальное состояние дороги; б – готовый участок лесной автомобильной дороги из местного грунта, укрепленного композиционным вяжущим

Модуль упругости грунта земляного полотна на участках составил: № 1 – 37 МПа, № 2 – 40 МПа, № 3 – 42 МПа.

Участок № 1 представляет собой дорожную конструкцию, полученную путем укрепления местного грунта портландцементом марки ПЦ 500-Д0 в количестве 8% от массы грунта.

Участок № 2 представляет собой дорожную конструкцию IV типа (рис. 1), включающую покрытие 2 из цементогрунта со слоем поверхностной обработки 1, которое укладывается на основание 3 из местного грунта.

На рис. 3 представлены первоначальное состояние участка лесной автомобильной дороги и его окончательный вид.

Участок № 3 лесной автомобильной дороги был определен как контрольный, и укрепление на всем протяжении не проводилось.

Высота насыпи составила 0,2 м, грунт земляного полотна и покрытия – супесь легкая пылеватая, состояние удовлетворительное.

Выполнение работ по устройству данного участка лесной автомобильной дороги в НУОЛХ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» показало, что технология проведения работ вполне вписывается в имеющийся машинно-тракторный и дорожно-строительный парк рядовых дорожно-строительных управлений.

Строительство участка лесной автомобильной дороги в ГЛХУ «Лидский лесхоз». Участок лесной автомобильной дороги в ГЛХУ «Лидский лесхоз» был представлен земляным полотном с ярко выраженными ямами и колеями, затрудняющими проезд для лесовозного автотранспорта.

Расположен участок на местности второго типа по увлажнению с высотой насыпи от 0,5 до 1,0 м, шириной 4,5 м, грунт земляного полотна – супесь легкая. На лесной автомобильной дороге были устроены два участка № 1 и № 2, протяженность каждого равна 50 м. Участок № 1 построен с использованием конструкции III^{AK} типа из арматурного каркаса георешетка-цементогрунт,

№ 2 – контрольный, без применения разработанных конструкций.

Участок № 1 представляет собой дорожную конструкцию из арматурного каркаса георешетка-цементогрунт [8], включающая покрытие 2 из местного грунта, укрепленного композиционным вяжущим № 1, со слоем износа 1 и основание 3 из арматурного каркаса георешетка-цементогрунт, выполненного из георешетки ячеистой конструкции и заполненной местным грунтом, укрепленным композиционным вяжущим № 1 (рис. 1).

В разработанной дорожной одежде использовалась георешетка «Белгеосот» ячеистой конструкции высотой 0,1 м. Заполнение георешетки проводилось цементогрунтовой смесью из местного грунта и композиционного малоцементного вяжущего № 1 на основе портландцемента и микронаполнителей. В качестве микронаполнителей использовались молотые отходы асбестоцементного производства и гранитоидный отсев от дробления щебня на Микашевичском месторождении.

Технология выполнения работ по строительству участка лесной автомобильной дороги проводилась в следующем порядке:

- 1) выравнивание и профилирование поверхности земляного полотна;
- 2) устройство корыта для закладки георешетки ячеистой конструкции;
- 3) укладка и закрепление по концам деревянными колышками георешетки ячеистой конструкции (рис. 4);
- 4) формирование бурта грунта перед смешением его с композиционным вяжущим;
- 5) смешение грунта с композиционным малоцементным вяжущим и засыпка цементогрунтовой смесью ячеек георешетки;
- 6) уплотнение цементогрунтовой смеси катком на пневмоходу;
- 7) заключительное профилирование цементогрунтовой смеси;
- 8) окончательное уплотнение грунтовой смеси с коэффициентом уплотнения 0,98.



Рис. 4. Укладка в корыто и отсыпка георешетки

При проведении проверки выяснилось, что по сравнению с участком № 1 (без арматурного каркаса) на участке № 2:

- глубина колеи меньше на 60%, что подтверждает влияние арматурного каркаса георешетка-цементогрунт на сдигостойчивость цементогрунта в продольном направлении;

- скорость движения автопоезда (10,13 км/ч), что свидетельствует о более высокой степени ровности покрытия за счет применения арматурного каркаса георешетка-цементогрунт.

Оценка работоспособности опытного участка показала, что проезжая часть находится в хорошем состоянии, повреждений и деформаций материала покрытия нет.

Заключение. Проведены стендовые испытания в лабораторных условиях разработанных дорожных конструкций с использованием грунтов, укрепленных композиционными малоцементными вяжущими. Определены основные эксплуатационные характеристики дорожных покрытий.

Осуществлено опытно-промышленное строительство участков лесных автомобильных дорог III и IVл категорий в Негорельском учебно-опытном лесхозе и ГЛХУ «Лидский лесхоз» соответственно с использованием разработанных

дорожных конструкций на основе укрепленных местных грунтов.

Опытно-промышленные испытания заложенных участков лесотранспортных путей показали положительные результаты под воздействием лесовозного автотранспорта. Так, в Негорельском учебно-опытном лесхозе глубина колеи на опытном участке составила 2,3 см, в то время как на контрольном – 5,9 см, а это на 61% больше. При испытании дорожного покрытия из цементогрунта на прочность модуль упругости на опытном участке в среднем составил 129,7 МПа, что выше на 21,4%, чем на участке с использованием чистого портландцемента при укреплении.

При испытании дорожной конструкции в ГЛХУ «Лидский лесхоз» с использованием арматурного каркаса георешетка-цементогрунт и из местного грунта, укрепленного композиционным малоцементным вяжущим, также подтвердилось положительное влияние данных конструктивных слоев на эксплуатационное состояние дорожных конструкций. При этом модуль упругости на участке дорожной конструкции с использованием цементогрунта составил 277 МПа, а на участке с арматурным каркасом георешетка-цементогрунт – 322 МПа.

Список литературы

1. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Формирование опорной сети лесотранспортных путей в условиях Республики Беларусь // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. Вып. 183. С. 81–89.
2. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Обоснование размещения лесотранспортных сетей // Известия вузов. Лесной журнал. 2009. Вып. 4. С. 82–88.
3. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group // Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications. Bulgaria: Info Invest. 2007. Vol. 1. P. 49–59.
4. Лесохозяйственные дороги. Нормы и правила устройства: ТКП 500-2016 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2016. 91 с.
5. Правила рубок леса Республики Беларусь: ТКП 143-2008 (02080). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2018. – 96 с.
6. Бавбель Е. И., Лыщик П. А., Науменко А. И. Создание опорной сети лесных дорог на основе ГИС-технологий // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2017. С. 140–144.

7. Лыщик П. А., Науменко А. И., Синяк С. А. Конструкции лесных автомобильных дорог на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 79–82.
8. Дорожная конструкция из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт». ВУу20150100 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко. Заявл. 19.03.2015.
9. Композиционный цемент: пат. ВУ19465 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Науменко. Опубл. 30.05.2015.
10. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Проектирование лесных дорог на основе ТКП 500 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: материалы Междунар. науч.-техн. конф. в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес – Наука – Инновации – 2018). Минск, 2018. С. 16–20.
11. Лыщик П. А., Бавбель Е. И. Инновационные технологии в проектировании лесных дорог // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика / ФГБОУ ВПО ВГЛТА, Воронеж, РФ. 2014. Т. 2. № 3–3 (8–3). С. 196–198.
12. Бавбель Е. И., Игнатенко В. В., Науменко А. И. Конструирование и методика расчета дорожных одежд из укрепленных грунтов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 58–60.
13. Oburger E., Jager A., Pasch A., Dellantonio A., Stampfer K., Wenzel W. W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study // Science of The Total Environment. 2016. P. 711–721.
14. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads // Croatian Journal of Forest Engineering. 2014. P. 81–89.
15. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization // Biomass bioengineering. 2013. P. 294–302.

References

1. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Formation of a supporting network of forest transport routes in the conditions of the Republic of Belarus. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg forestry Academy], 2008, no. 183, pp. 81–89 (In Russian).
2. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Justification of placement of forest transport networks. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest journal], 2009, no. 4, pp. 82–88 (In Russian).
3. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group. *Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications*. Bulgaria, 2007, vol. 1, pp. 49–59.
4. ТКП 500-2016 (33090). Wood highways. Norms and device rules. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus Publ., 2016. 91 p. (In Russian).
5. ТКП 143-2008 (02080). Rules of fellings in the Republic of Belarus. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus Publ., 2018. 96 p. (In Russian).
6. Bavbel, J. I., Lyshchik P. A., Naumenko A. I. The creation of a support network of forest roads on the basis of GIS-technologies. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging production: problems and solutions: proceedings of the international scientific and technical conference]. Minsk, 2017, pp. 140–144 (In Russian).
7. Lyshchik P. A., Naumenko A. I., Syniak S. A. Construction forest highways based on the reinforcement cage «Geocell-cementero». *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).
8. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Kraskovskiy S. V., Naumenko A. I. Road design from reinforcing cage “geogrid-tsementogrunт”. ВУу20150100. Declared 2015 (In Russian).
9. Lyshchik P. A., Plyshevskiy S. V., Naumenko A. I. Composite cement. Patent BY, 19465, 2015 (In Russian).
10. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Design of forest roads on the basis of the ТКП 500, “Forest road. Design rules and device rules”. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranakh SNG: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii v ramkakh Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma po lesopromyshlennomu obrazovaniyu (Les – Nauka – Innovacii – 2018)* [State and prospects of development of the forest complex in the CIS countries: materials of the International scientific and technical conference within the framework of the International youth forum on forestry education (Forest – Science – Innovation – 2018)]. Minsk, 2018, pp. 16–20 (In Russian).
11. Lyshchik P. A., Bavbel, J. I. Innovative technologies in the design of forest roads. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice], Voronezh, 2014, vol. 2, no. 3–3 (8–3), pp. 196–198 (In Russian).

12. Bavbel J. I., Ignatenko V. V., Naumenko A. I. The design and method of calculation of pavement of reinforced soil. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 58–60 (In Russian).

13. Oburger E., Jager A., Pasch A., Dellantonio. A., Stampfer K., Wenzel W. W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study. *Science of the Total Environment*, 2016, pp. 711–721.

14. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2014, pp. 81–89.

15. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization. *Biomass bioengineering*, 2013, pp. 294–302.

Информация об авторах

Лыщик Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lyshchik@belstu.by

Бавбель Евгения Ивановна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Науменко Андрей Иванович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

Information about the authors

Lyshchik Petr Alekseevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lyshchik @belstu.by

Bavbel Jane Ivanovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Naumenko Andrey Ivanovich – PhD (Engineering), Assistant Lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 15.10.2021