

УДК 630\*383.4

**Е. И. Бавбель, В. В. Игнатенко, А. И. Науменко**  
Белорусский государственный технологический университет

### **КОНСТРУИРОВАНИЕ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ**

Основная цель разработки методики проектирования цементогрунта – армирование грунтов (дорожно-строительных материалов) с образованием слоя, обладающего улучшенными механическими свойствами (повышенной прочностью, распределяющей способностью). А также создание слоев на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» позволяет повысить эксплуатационную надежность и сроки службы дорожных конструкций или их отдельных элементов, уменьшить расход традиционных дорожно-строительных материалов.

Получаемый в результате эффект зависит от состава цементогрунта, марки георешетки (ее деформативных свойств), толщин слоев дорожной одежды, механических свойств материалов дорожных одежд и грунтов рабочего слоя земляного полотна. Численно эффект выражается в снижении толщин дорожной одежды или увеличении срока службы в соответствии с расчетами.

**Ключевые слова:** цементогрунтовая смесь, рецептурно-технологические условия, параметры структуры, эксплуатационные свойства.

**J. I. Bavbel, V. V. Ignatenko, A. I. Naumenko**  
Belarusian State Technological University

### **THE DESIGN AND METHOD OF CALCULATION OF PAVEMENT OF REINFORCED SOIL**

The main objective of developing the design methodology of the influence of mass products – reinforcement of soils (road construction materials) to form a layer having improved mechanical properties (increased strength, distribution capacity). As well as the creation of layers based on the reinforcement cage «Geocell is the influence of mass products» allows to increase operational reliability and service life of road structures or their individual elements, to reduce the consumption of conventional road construction materials.

The resulting effect depends on the composition of the influence of mass products, the brand of the geogrid (deformation properties) and thicknesses of the pavement layers, mechanical properties of materials, pavements and soils of the working layer of the subgrade. Numerically the effect is expressed in reduction of thickness of pavement or extension of the period of service in accordance with the calculations.

**Key words:** soil-cement mixture, recipe and process conditions, parameters, structures, operational properties.

**Введение.** Транспорт заготовленной древесины является важной частью технологического процесса лесозаготовок. Основное влияние на обеспечение эффективной работы лесовозного транспорта, а значит, непрерывности и ритмичности лесозаготовительного производства оказывают состояние и качество лесотранспортных путей.

Факторами, затрудняющими работу лесовозных автомобилей на вывозке древесины, являются недостаточное количество лесных дорог круглогодочного действия, зачастую несоответствие конструкций этих дорог современным транспортным нагрузкам, увеличение числа лесовозных автопоездов повышенной грузоподъемности, низкая несущая способность используемых при строительстве лесных дорог грунтов и дорожно-строительных материалов, высокая заболоченность отдельных лесосек. Причем только для освоения труднодоступных лесосек требуется в ближайший период построить 540 км путей.

Учет этих факторов при транспортном освоении лесных массивов в связи с необходимостью строительства прочных лесных автомобильных

дорог с использованием укрепленных местных грунтов обеспечит непрерывность и ритмичность лесозаготовительного производства.

**Основная часть.** 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);
- повышенную жесткость (модуль упругости слоя повышается по отношению к модулю упругости заполнителя);
- пониженные температурные деформации при заполнителе, содержащем композиционные вяжущие [2, 3].

Решаемые с помощью данной методики задачи: – снижение толщин слоев дорожной одежды или повышение прочности дорожной конструкции при сохранении толщин слоев, в частности: улучшение динамических характеристик дорожной

конструкции, снижение темпов накопления остаточных деформаций (колеобразования), возникающих за счет деформации самого несущего слоя и нижележащих слоев;

– создание возможности расширенного применения более жестких заполнителей на основе малоцементного композиционного вяжущего при создании несущего слоя основания.

Конструктивные решения для дорожных конструкций из цементогрунта назначают в соответствии с действующими документами ТКП 500-2013 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства», ТКП 45-3.03-112-2008 «Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования».

Назначение конструктивных решений дорожных одежд с применением конструктивного слоя на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» выполняют в соответствии с ТКП 45-3.03-112-2008. При этом указанные конструктивные композитные слои рассматриваются как сплошные квазиоднородные, имеющие повышенные прочность на растяжение при изгибе (за счет прочности и деформативности полос геопластика) и сопротивляемость сдвигу (за счет работы заполнителя в замкнутой ячейке из пластика). В связи с этим расчет такого слоя на растяжение при изгибе и сдвиг не производится, а в качестве его расчетной характеристики при расчете конструкции дорожной одежды используется только модуль упругости.

Расчет армированных нежестких дорожных одежд выполняют с учетом ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112 в такой последовательности:

1) рассчитывается неармированная дорожная одежда;

2) производится ориентировочная оценка снижения толщины несущих слоев основания для дорожных одежд из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»: для капитальных усовершенствованных типов покрытий – 15–20%; для облегченных типов – 30–40%; для переходных и низших – 40–50%;

3) при заданных пониженных толщинах дорожных одежд определяются значения расчетного модуля упругости композитного слоя (арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»);

4) определяются расчетные значения коэффициентов прочности армированной конструкции;

5) производится сравнение расчетных значений коэффициентов прочности армированной конструкции с требуемыми значениями коэффициентов прочности (по ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112). Конструкция принимается, если удовлетворяются условия по прочности по всем рассчитываемым критериям;

6) в случае, если условие по прочности не соблюдается по какому-либо критерию, произво-

дится повторный расчет конструкции, начиная с п. 3 и с измененными исходными данными (увеличение толщины слоев дорожной одежды, улучшение характеристик материалов слоев и т. п.).

Повторный расчет также выполняется, если по решающему критерию расчета получаемые значения коэффициента прочности армированной дорожной одежды превышают требуемые значения более чем на 5% – в этом случае выполняется перерасчет с уменьшением толщин слоев.

В общем виде эта математическая модель выглядит следующим образом:

целевая функция

$$C_{\text{ДК}} = f(h_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}}, h_{\text{АК}}, C_{\text{ПОК}}, C_{\text{ОСН}}, C_{\text{АК}}, C_{\text{ГМ}}) \rightarrow \min,$$

где  $C_{\text{ДК}}$  – общие затраты на устройство дорожной конструкции, млн. руб.;  $h_{\text{ПОК}}$  – расчетная толщина покрытия дорожной конструкции, м;  $h_{\text{ОСН}}$  – расчетная толщина основания дорожной конструкции, м;  $h_{\text{АК}}$  – расчетная толщина арматурного каркаса дорожной конструкции, м;  $C_{\text{ПОК}}$  – стоимость покрытия дорожной конструкции, млн. руб.;  $C_{\text{ОСН}}$  – стоимость основания дорожной конструкции, млн. руб.;  $C_{\text{АК}}$  – стоимость арматурного каркаса дорожной конструкции, млн. руб.;  $C_{\text{ГМ}}$  – стоимость геосинтетического материала, млн. руб.

при следующих ограничениях:

– обеспечение требуемой прочности и надежности по величине упругого прогиба

$$E_{\text{общ}}(h_{\text{ПОК}}, E_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}}, E_{\text{ОСН}}, E_{\text{ГР}}) \geq E_{\text{мин}} \cdot K_{\text{пр}}^{\text{ТР}},$$

$$E_{\text{общ}}^{\text{АК}}(h_{\text{ПОК}}, E_{\text{ПОК}}, h_{\text{АК}}, E_{\text{АК}}, h_{\text{ОСН}}, E_{\text{ОСН}}, E_{\text{ГР}}) \geq E_{\text{мин}}^{\text{АК}} \cdot K_{\text{пр}}^{\text{ТР}},$$

где  $E_{\text{общ}}$ ,  $E_{\text{общ}}^{\text{АК}}$  – общий модуль упругости соответственно неармированной и армированной дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{ПОК}}$  – модуль упругости покрытия дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{ОСН}}$  – модуль упругости основания дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{ГР}}$  – модуль упругости земляного полотна, МПа;  $E_{\text{АК}}$  – модуль упругости арматурного каркаса дорожной конструкции, МПа;  $E_{\text{мин}}$ ,  $E_{\text{мин}}^{\text{АК}}$  – минимальный требуемый модуль упругости соответственно неармированной и армированной дорожной конструкции, МПа;  $K_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$  – требуемый коэффициент прочности дорожной конструкции по критерию упругого прогиба;

– обеспечение минимальной толщины конструктивных слоев:

$$h_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}} \geq 0,05 \text{ м},$$

$$h_{\text{АК}} \geq 0,10 \text{ м},$$

$$C_{\text{ПОК}}, C_{\text{ОСН}}, C_{\text{АК}}, C_{\text{ГМ}}, B, c \geq 0.$$

Управляемыми параметрами являются  $h_{\text{ПОК}}$ ,  $h_{\text{ОСН}}$ ,  $h_{\text{АК}}$ ,  $C_{\text{ПОК}}$ ,  $C_{\text{АК}}$ ,  $C_{\text{ГМ}}$ ,  $B$ ,  $c$ .

В результате получаемый эффект зависит от состава цементогрунта [1, 3], марки георешетки (ее деформативных свойств), толщин слоев дорожной одежды, механических свойств материалов дорожных одежд и грунтов рабочего слоя земляного полотна. Численно эффект выражается в снижении толщин дорожной одежды или увеличении срока службы в соответствии с расчетами.

**Заключение.** Методика проектирования заключается в регулировании толщин и методов укрепления слоев земляного полотна, основания и покрытия дорожной одежды с соблюдением ограничений по требуемому модулю упругости,

технологичности, минимальному возвышению, морозоустойчивости. При этом учитывают особенности, связанные с выбором разновидности георешетки, назначением толщин слоев дорожной одежды и подбором состава смеси из местных грунтов, укрепленных композиционным вяжущим, для заполнения ячеек.

Учет большого числа факторов позволяет при использовании данной методики анализировать и сравнивать различные варианты принимаемых технических решений, связанных с обоснованием дорожной конструкции, применением местных грунтов, укрепленных новыми составами композиционных малоцементных вяжущих и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт».

### Литература

1. Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Состав минерального вяжущего для укрепления дорожных грунтов // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 33–36.
2. Лыщик П. А., Науменко А. И. Механизмы структурообразования дорожных грунтов, укрепленных минеральными вяжущими // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 42–44.
3. Лыщик П. А., Науменко А. И. Новые композиционные материалы для укрепления дорожных грунтов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика / ФГБОУ ВПО ВГЛТА, Воронеж, РФ. 2014. Т. 2. № 3–3 (8–3). С. 200–202.

### References

1. Lyshhik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. The composition of mineral binder for strengthening road soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 33–36 (In Russian).
2. Lyshhik P. A., Naumenko A. I. Mechanisms of structure formation of road soil, fortified astringent mineral. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 42–44 (In Russian).
3. Lyshhik P. A., Naumenko A. I. [New composite materials for strengthening for road soils]. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice], Voronezh, RF, 2014, vol. 2, no. 3–3 (8–3), pp. 200–202 (In Russian).

### Информация об авторах

**Бавбель Евгения Ивановна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jane18@mail.ru.

**Игнатенко Василий Васильевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ihnatsenko@tut.by

**Науменко Андрей Иванович** – кандидат технических наук, ведущий инженер кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Andrei\_Naymenko\_bsty@mail.ru

### Information about the authors

**Bavbel Jane Ivanovna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jane18@mail.ru.

**Ignatenko Vasilij Vasil'evich** – PhD (Physical and Mathematical), Assistant Professor, Assistant Professor the Department of Higher Mathematics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ihnatsenko@tut.by

**Naumenko Andrey Ivanovich** – PhD (Engineering), Leading engineer of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Andrei\_Naymenko\_bsty@mail.ru

Поступила 16.02.2016