

9. Setinc, Marko; Gradisar, Mirko; Tomat, Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. Optimization, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.

10. Burdett R.; Kozan E.; Kenley R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. Engineering optimization, 2015, Vol. 47, Issue 3, pp. 347-369.

11. Janssen, Thomas Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. Janssen Thomasstahlbau, 2015, Vol. 84, Issue 3, pp. 182-194.

12. Yushkov B.S., Sergeev A.S. *Dvizhenie konstrukcii dorozhnoj odezhdy avtomobil'nyh dorog po sklonu i obrazovaniye treshhin* [The movement of the pavement structure of road along the slope, and the formation of cracks] *Sbornik Estestvennye i tehnicheckie nauki* [Collection of Natural and Technical Sciences]. Moscow, 2015, no. 8, pp. 112. (In Russian).

13. Yushkov B.S., Sergeev A.S. *Tri jeksperimental'nyh laboratornyh issledovanij svyazannyh s obrazovaniem pope-rechnykh treshhin na sklonah avtomobil'nyh dorog* [Three laboratory experimental studies associated with the formation of transverse cracks on the slopes of roads] *Sbornik Nauchno-tehnicheckij Vestnik Povolzh'ja* [Collection of Scientific and Technical Bulletin of the Volga] Kazan, 2015, no. 4, pp. 163. (In Russian).

### Сведения об авторах

*Сушков Сергей Иванович* – заведующий кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: S.I.Sushkov@mail.ru.

*Сергеев Андрей Сергеевич* – аспирант кафедры автомобильных дорог и мостов ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Российская Федерация; e-mail: Zzverdvd@mail.ru.

### Information about authors

*Sushkov Sergey Ivanovich* – Head of the Department of Industrial Transport, Civil Engineering and Geodesy, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: SISushkov@mail.ru.

*Sergeev Andrey Sergeevich* – post-graduate student of department of roads and bridges, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Perm National Research Polytechnic University», Perm, Russian Federation; e-mail: Zzverdvd@mail.ru.

DOI: 12737/25203

УДК 624.131.137

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ ДВУХ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОРЕШЕТОК, УСТРАИВАЕМЫХ НА СКЛОНАХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ, В ОСНОВАНИИ КОТОРЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫЙ ГЛИНИСТЫЙ ГРУНТ

доктор технических наук, профессор **С. И. Сушков**<sup>1</sup>

**А. С. Сергеев**<sup>2</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
г. Пермь, Российская Федерация

В статье изложены практические экспериментальные исследования двух конструкций дорожных одежд, в которых применялись геосинтетические решетки «Славрос ГР» и в виде сот. Подробно описаны и графически показаны используемые материалы и оборудование для проведения экспериментального исследования. Проведен патентный

поиск различных конструкций геосинтетических решеток, используемых в строительстве автомобильных дорог. Подробно описываются материалы используемых для изготовления полимерных лент. Показаны положительные и отрицательные стороны используемых в экспериментальном исследовании геосинтетических решеток. Имеется интересное предложение по расположению геосинтетических решеток на глубине 30 см от поверхности основания земляного полотна и геотекстильного материала. Благодаря расположению на глубине 30 см от поверхности основания земляного полотна геосинтетической решетки и геотекстильного материала уменьшается накопление влаги и водонасыщение глинистого грунта на стыке с песком, тем самым исключается воздействие морозного пучения на конструкцию дорожной одежды. Авторами разработана и предложена новая геосинтетическая решетка с ячеистой структурой в виде сот, содержащая семь узлов с выходящими из них полимерными лентами с образованием шести треугольников, которыми, в свою очередь, сформирован шестиугольник с шестью угловыми узлами и одним центральным узлом. В растянутом рабочем положении уложенная на место решетка представляет собой структуру в виде сот с внутренними треугольными ячейками, направленными в центр, которая заполняется грунтом или каменными сыпучими материалами. Выполнение лент таким способом будет повышать в целом опорную площадь ячеистой структуры, что позволит увеличить ее несущую способность. Ячеистая структура в виде сот повышает на 30-40 % устойчивость конструкции дорожной одежды к процессам криосолифлюкции грунта на склоне, а ввод в состав материала полимерной ленты каучука повышает на 35-55 % устойчивость к действию водной эрозии.

**Ключевые слова:** морозное пучение, миграция воды, исследования, песок, глинистый грунт, датчики, влажность, температура, циклы, лоток, смещение, дорожная одежда.

### EXPERIMENTAL COMPARISON OF TWO DESIGNS OF ROAD CLOTHES WITH APPLICATION OF GEOGRID ARRANGED ON THE SLOPES OF LOGGING ROADS WITH WATER-SATURATED CLAY SOIL

DSc in Engineering, Professor **S. I. Sushkov**<sup>1</sup>

**A. S. Sergeev**<sup>2</sup>

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

2 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Perm National Research Polytechnic University», Perm, Russian Federation

#### Abstract

The article describes the practical experimental study of two road structures, which used geosynthetic grid “Slavros GR” and in the form of honeycomb. Used materials and equipment for experimental research are described in details and graphically shown. A patent search of various designs of geosynthetic grids, used in road construction, is conducted. Materials used for the manufacture of polymer tapes are described in details. Positive and negative sides of geosynthetic grids used in the experimental study are shown. There is an interesting offer for the location of the geosynthetic grids at a depth of 30 cm from the surface of the subgrade and geotextile material. Due to its location in the depth of 30 cm from the base surface of subgrade of geosynthetic grids and geotextile material the accumulation of moisture and water-saturated clay soil at the junction with the sand reduces, thereby eliminating the influence of frost penetration into the road structure. The authors have developed and proposed a new geosynthetic grid with honeycomb structure, containing seven nodes, with polymeric tapes and with the formation of six triangles which are in its turn are formed by a hexagon with six corner nodes and one central node. In an extended working position grid, stowed in place, represents the structure of a honeycomb with internal triangular cells directed to the center, which is filled with soil or stone bulk materials. The implementation of tapes in this way will increase the overall bearing surface of cell structure that will allow increasing its carrying capacity. The cellular structure of the honeycomb increases the resistance of pavement structures to the processes of cryotolerance soil on the slope by 30-40 %, and presence of the polymeric material of the rubber tape in the composition increases resistance to water erosion by 35-55 %.

**Keywords:** frost heave, migration, water, research, sand, clay soil, sensors, humidity, temperature, cycles, pan, offset, road pavement.

Существуют геосинтетические решетки с ячеистой структурой, содержащие множество круглых узлов, с выходящими из них одинаковыми полосками, расположенными вокруг этих узлов с образованием множества треугольников, которыми, в свою очередь, сформировано множество правильных шестиугольников с шестью угловыми узлами и одним центральным узлом. При этом все элементы ячеистой структуры выполнены одинаковой толщины. Из такой ячеистой структуры изготавливают сетки, решетки, применяемые при укреплении грунтов в дорожном строительстве и при возведении оснований и фундаментов различных сооружений (см. патент US №3386876, кл.В29С 55/04, В29С 55/12, В29D 28/00, D04Н 13/00, 1968 г; см. патент RU №2303677, МПК E02D 17/20, E01C 3/04, 2007 г.; см. патент RU № 119750, кл. E02D 17/20, E01C 3/04, 2012 г.).

Однако существенным их недостатком является недостаточная гибкость ячеистой структуры, что ограничивает способность скручивания готового изделия из ячеистой структуры в компактный рулон.

Поэтому при попытке уменьшения начального диаметра такого скручивания начинают быстро перегибаться по середине с остаточной деформацией те узкие полоски ячеистой структуры, которые находятся в направлении скручивания. Причем вместо цилиндрической поверхности получается граненая поверхность рулона. Поэтому в одном рулоне помещается малое количество готового изделия мерной длины. Кроме, того после раскручивания такого рулона деформированные ранее узкие полоски повторно деформируются, разгибаясь и оставляя видимые места перегибов, что отрицательно сказывается в целом на их прочности при эксплуатации готового изделия их ячеистой структуры.

Другими недостатками является то, что при возникновении в процессе эксплуатации изделия из ячеистой структуры неблагоприятных внешних факторов, которые вызывают усиление несущей нагрузки на нее с концентрацией ударных воздействий зернистого материала с острыми кромками (щебень), возможен разрыв узких полосок, который в случае такого повреждения, повлечет за собой

резкое ослабление несущей способности решетки и строительной конструкции в целом.

Существуют решетки с ячеистой структурой для укрепления грунтовой поверхности. Изготовленная из гибких полимерных полос, установленных на ребра и соединенных между собой в шахматном порядке сварными швами. Образуя в растянутом, рабочем положении ячеистую структуру, (см. патент США №4797026, кл.Е 02 D 17/20, 1989 г. и см. патент RU №2136817, кл.Е 02 D 17/20, 1999 г.). Ещё существует разработка Российских учёных Львовича Ю.М., Аливера Ю.А., Кима А.И., которая наиболее близка к решетке в виде сот по своей сущности и достигаемому результату описывается в нормативной литературе (Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве : обзорная информация // Автомобильные дороги, Информавтодор. – 1998. – № 5. – С. 11-13, 34-37).

Однако известные решетки с ячеистой структурой обладают недостаточной удерживающей способностью грунта откосов автомобильных и железных дорог, береговых линий, грунтовых поверхностей аэродромов, конусов мостов, крепления зернистого материала ячейками решетки к действию ветровой и водной эрозии, устойчивости конструкции дорожной одежды к процессам криосолифлюкции грунта на склоне.

Геосинтетическая решетка в форме сот состоит из внутренних треугольных ячеек направленных в центр образуя правильный шестиугольник и изготовлена из полимерных лент установленных на ребра соединенных между собой сварными швами (рис. 1).



Рис. 1. Решетка с ячеистой структурой в виде сот

Полимерные ленты выполнены из композиции на основе полиамида с 5-38 мас. % полиэтилене-

на, полисульфона или композиции на основе полиэтилена высокой плотности с 10-90 мас. % полиэтилена низкой плотности. Возможна перфорация полимерной ленты в виде круглой, овальной, квадратной или прямоугольной формы. Шаг перфорации составляет в продольном и поперечном направлениях от 15 до 70 мм, а размеры перфорации выбраны от 3 до 16 мм. Размеры ячейки решетки в рабочем положении составляет в продольном и поперечном направлениях от 20 до 600 мм при толщине полимерной ленты от 0,7 до 1,6 мм. Длина решетки в рабочем положении составляет от 5 до 14 м, ширина от 0,7 до 4 м, а высота от 800 до 2200 мм. Возможен ввод в состав материала полимерной ленты углерода и/или каучука и/или красителей для повышения на 35-55 % устойчивости решетки к действию ветровой и водной эрозии, на 30-40 % устойчивости конструкции дорожной одежды к процессам криосолифлюкции грунта на склоне. Элементарная ячейка решетки имеет размеры в поперечном и продольном направлениях 50-600 мм.

Ячеистая структура в виде сот, содержащая семь узлов с выходящими из них полимерных лент с образованием шести треугольников, которыми в свою очередь, сформирован шестиугольник с шестью угловыми узлами и одним центральным узлом. В растянутом рабочем положении уложенная на место решетка представляет собой структуру в виде сот с внутренними треугольными ячейками, направленными в центр, которая заполняется грунтом или каменными сыпучими материалами.

Выполнение лент таким способом будет повышать в целом опорную площадь ячеистой структуры, что позволит увеличить ее несущую способность.

Упомянутое деление геометрическими нормами на практически равные части внутри шестиугольников ячеистой структуры треугольников, основания которых образованы лентами, направлено на увеличение в целом ее прочности на разрыв при приложении к ней максимальных по величине усилий в направлении параллельном или под углом. Т. е. устраняется эффект «домино» разрушения одинаково расположенных элементов ячеистых структур.

Выполнение в виде Х-образных узлов в решетке в виде сот легче достичь в технологическом процессе изготовления ячеистой структуры путем растяжения в двух направлениях заготовки, чем круглую и овальную форму. Х-образная форма узлов получается естественным образом, ее не нужно специально доводить в отличие от круглой и овальной формы. Х-образная форма дополнительно способствует упрочнению конструкции ячеистой структуры при приложении к ней одновременных нагрузок по перекрестным диагоналям. Кроме того, ориентация всех пар ленты в утолщенных узлах происходит в направлении по контуру их Х-образной формы, что способствует повышению сопротивляемости на разрыв для мест выхода полосок из этих узлов, в отличие от концентрации такой сопротивляемости вокруг овальной формы узлов, где имеются «лишние» зоны ориентации не в местах выхода лент, с ослаблением этими «лишними» зонами прочностных свойств мест выхода лент из узлов.

Повышенная устойчивость заполняющего решетку грунта к действию ветровой и водной эрозии обусловлена дополнительным выполнением полимерных лент решетки перфорированными отверстиями различного вида. Через эти отверстия и происходит естественное прорастание корней травяного покрова, что в свою очередь способствует дополнительному закреплению грунта в ячейке решетки. Использование для изготовления решетки предложенных полимерных материалов позволило достичь повышения долговечности.

Ячеистой структурой в виде сот формируется непрерывное полотно, которое обрезается на готовые изделия в виде сеток или решеток, в зависимости от размеров шестиугольников.

Задельвание решетки в зернистый материал позволит повысить эффективность способа укрепления и эксплуатационные качества зернистого материала, а также эксплуатационные качества строительных конструкций, в период их интенсивного использования с приложением значительных в различных направлениях нагрузок.

Для получения закономерностей, отражающих качественную сторону работы дорожной одежды на водонасыщенных глинистых

грунтах с использованием стандартной пространственной решетки «Славрос ГР 10.22.230.635» и новой решетки с ячеистой структурой в виде сот были произведены полевые экспериментальные исследования в испытательном лотке. Основной задачей исследований с разными геосинтетическими решетками являлось сравнение несущих способностей и смещений слоев дорожной одежды вниз по склону.

Для натуральных экспериментальных исследований была собрана холодильная камера 5,0x2,6x1,7 м, теплоизолированная плитами из экструзионного пенополистирола толщиной 25 мм в три слоя (рис. 2). Для охлаждения использовалась холодильная установка: компрессор с радиатором и вентилятором, и система из медных трубок со сжиженным газом (рис. 3). Для контроля и поддержания заданной температуры использовалась система мониторинга Ситис «Спрут» (рис. 4), датчики располагались через каждые 10 см по высоте.

Научно-исследовательские испытания проводились в экспериментальном лотке с размерами 3,0x1,6x1,5 м (металлическая рама из квадратной трубы 40 x 40 мм со стенками из фанеры толщиной



Рис. 2. Плиты из экструзионного пенополистирола



Рис. 3. Холодильная установка



Рис. 4. Датчики для измерения температуры системы Ситис «Спрут»

15 мм), в котором была имитирована конструкция сопряжения дорожной одежды и основания из водонасыщенного глинистого грунта (рис. 5).



Рис. 5. Экспериментальный лоток

Лоток был установлен в центре холодильной камеры. Для гидроизоляции дно лотка застелили изнутри двойным слоем полиэтиленовой пленки. На дно лотка было уложено  $h=70$  см глинистого грунта.

Водонасыщение глинистого грунта в лотке осуществлялось посредством специальной установки увлажнения: две пятидесятилитровые пластиковые ёмкости, находящиеся снаружи холодильной камеры, трубки с отверстиями, проложенные по дну экспериментального лотка, погружной насос. Из первой емкости во вторую емкость жидкость шла самотеком, поступая в глинистый грунт через отверстия в трубках. Для предотвращения засора отверстий трубок частицами глинистого грунта, их обернули марлевым материалом. Чтобы закольцевать систему увлажнения, использовали погружной

насос, который перегонял жидкость из второй емкости обратно в первую (рис. 7, 8). Для контроля и поддержания заданной влажности использовалась система из датчиков DFRobot (рис. 6).



Рис. 6. Датчики влажности "DFRobot"

Для имитации максимального уклона автомобильной дороги IV технической категории – 60 %, что соответствует СП 34.13330.2012, экспериментальный лоток поднимали от горизонтальной поверхности промышленным гидравлическим домкратом ДУ50 П50, (рис. 7). Общий вид экспериментальной конструкции представлен на рис. 8.



Рис. 7. Домкрат универсальный ДУ 50 П 50

Перед устройством конструкции дорожной на расстоянии 15 см от его стенки установили временную перегородку, для последующих наблюдений и измерений линейных смещений конструкций дорожной одежды.

Уплотнение слоев конструкции дорожной одежды производилось электрической виброплитой «Красный маяк ВУ-11-75» (рис. 9).

Уплотнение слоев дорожной одежды производилось в соответствии с СП 78.13330.2012:  
– грунт рабочего слоя: глина – коэффициент

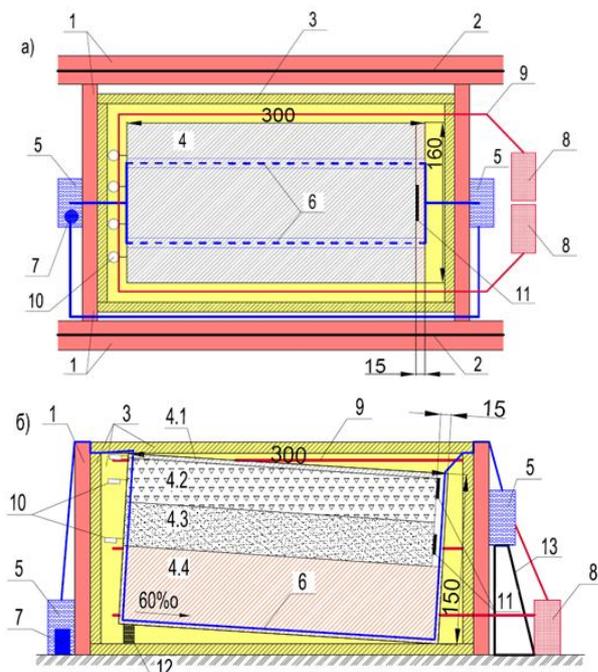


Рис. 8. Экспериментальная конструкция: а) вид сверху; б) в разрезе: 1 – бетонные стены холодильной камеры; 2 – рельс; 3 – плиты из экструзионного пенополистирола; 4 – лоток с материалами дорожной одежды: 4.1 – асфальтобетон, 4.2 – щебень, 4.3 – песок, 4.4 – глинистый грунт; 5 – пятидесятилитровая емкость воды; 6 – трубки с отверстиями, обернутые марлей; 7 – погружной насос; 8 – компрессор с радиатором; 9 – медные трубки со сжиженным газом; 10 – индикатор часового типа ИЧ 100; 11 – струнные датчики давления «Спрут»; 12 – промышленный домкрат; 13 – металлическая стойка



Рис. 9. Электрическая виброплита «Красный маяк ВУ-11-75»

уплотнения 0,98;

– устройство песка – коэффициент уплотнения 1,35;

- уплотнение до отсутствия заметной на глаз осадки щебня;
- пористого асфальтобетона – коэффициент уплотнения 0,98;
- плотного асфальтобетона – коэффициент уплотнения 0,99.

Устройство пространственной георешетки выполняли в продольном направлении, устанавливали по одной стороне временные монтажные анкеры (рис. 10).

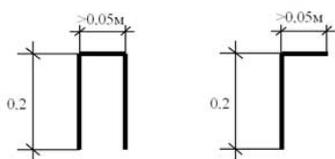


Рис. 10. Анкеры для крепления георешеток

Для укладки георешетки ее крайние ячейки надевали на анкера, растягивали георешетку в направлении *A* (рис. 11) и закрепляли на противоположной стороне ремешками монтажным и анкерами. Заполнение ячеек георешетки выполняли в два этапа:

- на первом этапе крайние ячейки секции заполняли вручную;
- на втором этапе остальные ячейки заполняли по способу «от себя», перемещая песок распределительной установкой на каталке, которая перемещалась по рельсам (рис. 12). Заполнения ячеек производили с избытком – более 5 см над георешеткой, для создания защитного слоя. Уплотнение песка выполняли также виброплитой. Укладку последующих слоев дорожной одежды выполняли по традиционной технологии.

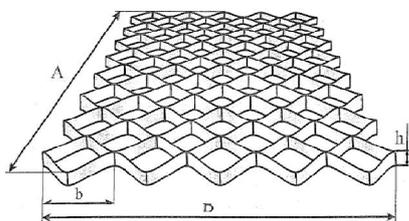


Рис. 11. Пространственная георешетка в рабочем (растянутом) состоянии: *A* – длина решетки; *B* – ширина решетки; *h* – высота решетки; *b* – ширина ячейки



Рис. 12. Распределительное устройство на каталке

Испытания производились на конструкциях дорожной одежды, выполненных из материалов, используемых в строительстве лесовозных автомобильных дорог и полностью удовлетворяющих требованиям ГОСТов и ТУ.

Асфальтобетон, используемый в качестве материала покрытия, отвечал требованиям ГОСТ 9128-09; щебень, используемый в качестве материала несущего слоя основания дорожной одежды, отвечал требованиям ГОСТ 8267-93, песок – ГОСТ 8736-93, геотекстильный материал марки «Геоспан ТС 90» – ТУ СТО 18603495.002-2010 Д, георешетка дорожная марки «Славрос СД-40» – ТУ СТО 218.3.003-2006, пространственная георешетка «Славрос ГР 10.22.230.635» – ТУ СТО 64794150.004-2015.

На глубину 30 см от поверхности основания земляного полотна в водонасыщенный глинистый грунт были уложены две разные геосинтетические решетки и геотекстильный материал «Геоспан ТС 90».

Расположение геосинтетических материалов на глубине 30 см в глинистом грунте обусловлено «уравнением равновесия», разработанным Г.Б. Кульчицким совместно с К.А. Хамидуллиным под руководством П.А. Коновалова. Суть теории заключается в том, что в процессе промерзания грунта изменение его физико-механических свойств происходит лишь на глубине  $h_1 = 0,6 \cdot h_{\text{промерз.}}$ , где  $h_{\text{промерз.}}$  – глубина промерзания грунта для данного региона. Тогда  $h_{\text{промерз.}}$  для Пермского края составляет 1,8 м,  $h_1 = 0,6 \cdot 1,8 = 1,08$  м, высота дорожной одежды из опыта № 5 составляет 1,13 м. Промерзание грунта 1,08 м и укладка геосинтетической решетки на глубине 30

см не будет сказываться на морозном пучении.

Опыт № 1. Конструкция дорожной одежды: асфальтобетонные слои ( $h = 9\text{ см}$ ), щебень ( $h = 24\text{ см}$ ), песок ( $h = 50\text{ см}$ ), глинистый грунт  $30\text{ см}$ , пространственная геосинтетическая решетка «Славрос ГР 10.22.230.635», геотекстильный материал «Геоспан ТС 90» (рис. 13).

Опыт № 2. Конструкция дорожной одежды: асфальтобетонные слои ( $h = 9\text{ см}$ ), щебень ( $h = 24\text{ см}$ ), песок ( $h = 50\text{ см}$ ), глинистый грунт  $30\text{ см}$ , пространственная геосинтетическая решетка с ячеистой структурой в виде сот, геотекстильный материал «Геоспан ТС 90» (рис. 13).

Экспериментальные испытания каждого варианта конструкции дорожной одежды проводились в 20 этапов промораживания-оттаивания. Один этап промораживания-оттаивания включал в себя 4 цикла температурных перепадов, циклы приведены в табл. 1.

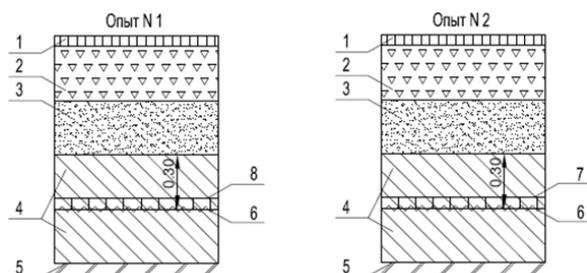


Рис. 13. Конструкции экспериментальных дорожных одежд: 1 – асфальтобетон; 2 – щебень; 3 – песок; 4 – глинистый грунт; 5 – дно лабораторного лотка; 6 – геотекстильный материал «Геоспан ТС 90»; 7 – геосинтетическая решетка с ячеистой структурой в виде сот; 8 – пространственная георешетка «Славрос ГР 10.22.230.635»

После каждого цикла температурного перепада открывались верхние теплоизоляционные панели холодильной камеры и воспроизводилась вертикальная нагрузка на экспериментальный лоток с помощью специального устройства (рис. 14).

В устройство входили:

- электрическая каталка, имеющая 3 передачи, которая двигалась по рельсам, устроенным на стенках холодильной камеры;



Рис. 14. Устройство для создания динамической нагрузки

- для передачи динамической нагрузки на дорожную одежду была воспроизведена подвеска легкового автомобиля ВАЗ 2110 с утяжелителями (250 кг);

- для усиления вибрации на подвеску был установлен вибродвигатель (ИБ-99Е) (рис. 15).



Рис. 15. Вибродвигатель (ИБ-99Е)

Количество проходов колеса определено из средней нормативной интенсивности движения для IV технической категории автомобильной дороги – 1000 раз.

Давление от смещения слоев конструкций дорожной одежды под воздействием вертикальной нагрузки измерялось струнными датчиками давления «Спрут» (рис. 16), которые устанавливались вертикально на временную перегородку между стенкой экспериментального лотка и дорожной одеждой.

1 Этап промораживания-оттаивания							
1 цикл	1000 проходов колеса	2 цикл	1000 проходов колеса	3 цикл	1000 проходов колеса	4 цикл	1000 проходов колеса
24 часа		24 часа		24 часа		24 часа	
понижение температуры с +1 до -5 °С		понижение температуры с -5 до -20 °С		повышение температуры с -20 до -5 °С		повышение температуры с -5 до +1 °С	



Рис. 16. Струнные датчики давления «Спутр»

Зависимость оказываемого давления на датчик «Спутр» при смещении двух вариантов конструкций дорожных одежд по склону, устраиваемых на основании из водонасыщенного глинистого грунта, представлена в табл. 2.

Зависимость смещения двух вариантов конструкций дорожных одежд по склону, устраиваемых на основании из водонасыщенного глинистого грунта, представлена в табл. 3.

Результаты экспериментальных исследований двух конструкций дорожных одежд показали, что:

✓ благодаря расположению на глубине 30 см от поверхности основания земляного полотна

геосинтетической решетки и геотекстильного материала уменьшается накопление влаги и водонасыщение глинистого грунта на стыке с песком, тем самым исключается воздействие морозного пучения на конструкцию дорожной одежды;

✓ в опыте № 2 происходит смещение вниз по склону дорожной одежды под действием гравитационных сил. Смещение дорожной одежды обуславливается недостаточной удерживающей способностью ячеистой структуры «Славрос ГР 10.22.230.635» из-за увеличения вертикальной и горизонтальной нагрузки на стенки геосинтетической решетки;

✓ решетка с ячеистой структурой в виде сот повышает на 30-40 % устойчивость конструкции дорожной одежды к процессам криосолифлюкции грунта на склоне за счет расположения полимерных лент в виде треугольников, направленных в центр, образуя правильные шестиугольники, а ввод в состав материала полимерной ленты каучука повышает на 35-55 % устойчивость к действию водной эрозии.

Таблица 2

Опыт	Дорожная одежда	Давление, кПа
№1	А/б.-щебень	0,031
	Песок	0,034
№2	А/б.-щебень	0,015
	Песок	0,016

Таблица 3

Опыт	Дорожная одежда	Линейные смещения, мм			
		Датчик №1	Датчик №2	Датчик №3	Датчик №4
№1	А/б.	2	1	2	2
	Щебень	3	2	2	3
	Песок	3	4	4	5
№2	А/б.	0	0	0	0
	Щебень	0	0	1	1
	Песок	0	1	1	1

## Библиографический список

1. Бурмистрова, О. Н. Определение оптимальных скоростей движения лесовозных автопоездов из условия минимизации расхода топлива [Текст] / О. Н. Бурмистрова, С. А. Король // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2013. – № 1 (93). – С. 25-28.
2. Говорущенко, Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте [Текст] / Н. Я. Говорущенко. – М. : Транспорт, 1990. – 135 с.
3. Курьянов, В. К. Автомобильные дороги [Текст] : учеб. пособие / В. К. Курьянов, Д. Н. Афоничев. – Воронеж, 2007. – 284 с.
4. Сушков, А. С. Методические основы параметров процессов модели управления системой «дорожные условия – транспортные потоки» [Текст] / А. С. Сушков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар, 2012. – № 10(84). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/05.pdf>.
5. Определение параметров, характеризующих движение лесовозных автопоездов по участку магистрали общего пользования [Текст] / В. Н. Макеев, С. И. Сушков, А. И. Фурменко, М. С. Солопанов // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3 (11). – С. 70-75.
6. Hare, W. A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and side-slopes in road construction [Text] / W. Hare, Y. Lucet, F. Rahman // European journal of operational research. – 2015. – Vol. 241. – Issue 3. – Pp. 631-641.
7. Santos, J. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework [Text] / J. Santos, A. Ferreira, G. Flintsch // International journal of pavement engineering. – 2015. – Vol. 16. – Issue 3. – Pp. 268-286.
8. Liyanage, C. Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads [Text] / C. Liyanage, F. Villalba-Romero // Transport reviews. – 2015. – Vol. 35. – Issue 2. – Special Issue: SI. – Pp. 140-161.
9. Setinc, M. Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm [Text] / M. Setinc, M. Gradisar, L. Tomat // Optimization. – 2015. – Vol. 64. – Issue 3. – Pp. 687-707.
10. Burdett, R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction [Text] / R. Burdett, E. Kozan, R. Kenley // Engineering optimization. – 2015. – Vol. 47. – Issue 3. – Pp. 347-369.
11. Janssen, T. Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau [Text] / T. Janssen // Janssen Thomas stahlbau. – 2015. – Vol. 84. – Issue 3. – pp. 182-194.
12. Юшков, Б. С. Движение конструкции дорожной одежды автомобильных дорог по склону и образование трещин [Текст] / Б. С. Юшков, А. С. Сергеев // Естественные и технические науки : сб. – М., 2015. – № 8. – 112 с.
13. Юшков, Б. С. Три экспериментальных лабораторных исследований связанных с образованием поперечных трещин на склонах автомобильных дорог [Текст] / Б. С. Юшков, А. С. Сергеев // Научно-технический Вестник Поволжья: сб. – Казань, 2015. – № 4. – 163 с.

## References

1. Burmistrova O.N., Korol S. A. *Opredelenie optimal'nykh skorostej dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov iz usloviya minimizatsii rashoda topliva* [Determination of optimal speeds logging trucks from the condition of minimizing fuel consumption] *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoj vestnik*. [Bulletin of the Moscow State Forest University Forest Gazette]. 2013, no. 1 (93), pp. 25-28. (In Russian).
2. Govorushchenko N.Y. *Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte* [Fuel economy and reduced toxicity in road transport] Moscow, 1990, 135 p. (In Russian).
3. Kuryanov V.K., Afonichev D.N. *Avtomobil'nye dorogi* [Highways] 2007, 284 p. (In Russian).
4. Sushkov A.S. *Metodicheskie osnovy parametrov processov modeli upravleniya sistemoy «dorozhnye usloviya - transportnye potoki»* [Methodical bases of process parameters control model system "road conditions - traffic flows] *Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU)* [Multidisciplinary network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (Science magazine KubGAU)].

Krasnodar, 2012, no. 10 (84), Available at: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/05.pdf> (In Russian).

5. Makeev V.N., Sushkov S.I., Furmenko A.I., Solopanov M.S. *Opređenje parametrov, harakterizujushih dvizhenie lesovoznyh avtopoezdov po uchastku magistrali obshhego pol'zovanija* [Determination of the parameters characterizing the movement of timber trains on the section of the highway public]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2013, no. 3 (11), pp. 70-75. (In Russian).

6. Hare, Warren; Lucet, Yves; Rahman, Faisal A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and side-slopes in road construction. *European journal of operational research*, 2015, Vol. 241, Issue 3, pp. 631-641.

7. Santos, Joao; Ferreira, Adelino; Flintsch, Gerardo A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework. *International journal of pavement engineering*, 2015, Vol. 16, Issue 3, pp. 268-286.

8. Liyanage, Champika; Villalba-Romero, Felix Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads. *Transport reviews*, 2015, Vol. 35, Issue 2, Special Issue: SI, pp. 140-161.

9. Setinc, Marko; Gradisar, Mirko; Tomat, Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. *Optimization*, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.

10. Burdett R.; Kozan E.; Kenley R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. *Engineering optimization*, 2015, Vol. 47, Issue 3, pp. 347-369.

11. Janssen, Thomas Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. *Janssen Thomasstahlbau*, 2015, Vol. 84, Issue 3, pp. 182-194.

12. Yushkov B.S., Sergeev A.S. *Dvizhenie konstrukcii dorozhnoj odezhdy avtomobil'nyh dorog po sklonu i obrazovanie treshhin* [The movement of the pavement structure of road along the slope, and the formation of cracks] *Sbornik Estestvennye i tehnicheckie nauki* [Collection of Natural and Technical Sciences]. Moscow, 2015, no. 8, pp. 112. (In Russian).

13. Yushkov B.S., Sergeev A.S. *Tri jeksperimental'nyh laboratornyh issledovanij svjazannyh s obrazovaniem pope-rechnykh treshhin na sklonah avtomobil'nyh dorog* [Three laboratory experimental studies associated with the formation of transverse cracks on the slopes of roads] *Sbornik Nauchno-tehnicheckij Vestnik Povolzh'ja* [Collection of Scientific and Technical Bulletin of the Volga] Kazan, 2015, no. 4, pp. 163. (In Russian).

### Сведения об авторах

*Сушков Сергей Иванович* – заведующий кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: S.I.Sushkov@mail.ru.

*Сергеев Андрей Сергеевич* – аспирант кафедры автомобильных дорог и мостов ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Российская Федерация; e-mail: Zzverdvd@mail.ru.

### Information about authors

*Sushkov Sergey Ivanovich* – Head of the Department of Industrial Transport, Civil Engineering and Geodesy, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: SISushkov@mail.ru.

*Sergeev Andrey Sergeevich* – post-graduate student of department of roads and bridges, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Perm National Research Polytechnic University», Perm, Russian Federation; e-mail: Zzverdvd@mail.ru.