

Научная статья

УДК 638.383

doi: 10.28983/asj.y2023i10pp147-153

## Экспериментальные исследования армированных глинистых оснований лесовозных дорог

Ольга Николаевна Бурмистрова<sup>1</sup>, Альберт Масугутович Бургонутдинов<sup>2</sup>,  
Владимир Иванович Клевеко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Республика Коми, Россия

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия

e-mail: vlivkl@mail.ru

**Аннотация.** Строительство и эксплуатация лесовозных дорог зачастую происходит в неблагоприятных инженерно-геологических условиях. Очень часто в основаниях лесовозных дорог залегают глинистые грунты, имеющие плохие физико-механические и прочностные характеристики. Улучшение этих грунтовых характеристик является актуальной задачей. Для этого применяются армирование грунтовых оснований с помощью геотекстильных материалов. Чаще всего используется горизонтальное расположение армирующих геосинтетических прослоек. К настоящему времени имеется большое количество исследований армогрунтовых конструкций лесовозных дорог, но в основном они касаются использования геосинтетиков в песчаных грунтах. Исследований же в глинистых грунтах недостаточно. Поэтому были выполнены экспериментальные исследования работы армированных оснований в глинистых грунтах. В работе приведены результаты штамповых испытаний глинистых грунтов, армированных горизонтальными армирующими прослойками. Исследования проводились в две стадии. На первой стадии были выполнены штамповые модельные исследования, которые позволили установить оптимальные конструкции армированных глинистых оснований. По результатам этой стадии была выбрана однослойная горизонтальная армирующая прослойка из геосинтетического материала с жесткостью на растяжение 2100 кН/м, наружным диаметром, равным трем диаметрам штампа, расположенная на глубине равной 0,25 диаметра штампа. Грунт основания представлял собой мягкопластичную глину. На второй стадии были выполнены полевые штамповые испытания армированного и неармированного глинистого основания. Для изучения напряженно-деформированного основания были подобраны датчики давления для измерения вертикальных нормальных напряжений и измерительная система для их регистрации. Вертикальные перемещения в различных точках активной зоны грунтовых оснований оценивались грунтовыми марками, имеющими проволочную связь с прогибомерами. Результаты штамповых испытаний показали, что несущая способность армированного основания в 1,5 раза превышает несущую способность неармированного основания. Модуль деформации армированного основания в 1,18 раза выше неармированного основания в интервале нагрузок от 0 до 100 кПа. Армирующая прослойка включается в работу при осадках штампа более 30 мм. Напряженно-деформированное состояние армированного основания имеет существенные отличия от неармированного основания. Армирующая прослойка значительно уменьшает вертикальные напряжения в верхней части активной зоны основания, в среднем на 22 %. Проведенные экспериментальные штамповые испытания позволили получить качественную и количественную картину работы армированных глинистых оснований лесовозных дорог.

**Ключевые слова:** армированный грунт; геосинтетические материалы; штамповые испытания; датчики давления; лесовозная дорога.

**Для цитирования:** Бурмистрова О. Н., Бургонутдинов А. М., Клевеко В. И. Экспериментальные исследования армированных глинистых оснований лесовозных дорог // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 147–153. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp147-153>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

## Experimental studies of reinforced clay bases of logging roads

Olga N. Burmistrova<sup>1</sup>, Albert M. Burgonutdinov<sup>2</sup>, Vladimir I. Kleveko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ukhta State Technical University, Ukhta, Komi Republic, Russia

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

e-mail: vlivkl@mail.ru





**Abstract.** The construction and operation of logging roads often takes place in unfavorable engineering and geological conditions. Very often, clayey soils with poor physical, mechanical and strength characteristics lie in the bases of logging roads. Improving these soil characteristics is an urgent task. For this purpose, reinforcement of soil bases with the help of geotextile materials is used. Most often, a horizontal arrangement of reinforcing geosynthetic layers is used. To date, there are a large number of studies of reinforced soil structures of logging roads, but they mainly concern the use of geosynthetics in sandy soils. Research in clayey soils is not enough. Therefore, experimental studies of the operation of reinforced foundations in clayey soils were carried out. The paper presents the results of stamp tests of clay soils reinforced with horizontal reinforcing layers. The studies were carried out in two stages. At the first stage, stamp model studies were performed, which made it possible to establish the optimal designs of reinforced clay bases. Based on the results of this stage, a single-layer horizontal reinforcing layer of geosynthetic material with a tensile rigidity of 2100 kN/m, an outer diameter equal to three stamp diameters, located at a depth equal to 0.25 stamp diameters was selected. The base soil was soft plastic clay. At the second stage, field stamping tests of the reinforced and non-reinforced clay base were performed. To study the stress-strain base, pressure sensors were selected to measure vertical normal stresses and a measuring system for their registration. Vertical displacements at various points of the active zone of soil foundations were evaluated by soil marks having a wire connection with deflection meters. The results of stamp tests showed that the bearing capacity of the reinforced base is 1.5 times higher than the bearing capacity of the unreinforced base. The deformation modulus of the reinforced base is 1.18 times higher than the unreinforced base in the load range from 0 to 100 kPa. The reinforcing layer is included in the work when the precipitation of the stamp is more than 30 mm. The stress-strain state of a reinforced base has significant differences from an unreinforced one. The reinforcing layer significantly reduces vertical stresses in the upper part of the active zone of the base, by an average of 22%. The experimental stamp tests carried out made it possible to obtain a qualitative and quantitative picture of the operation of reinforced clay bases of logging roads.

**Keywords:** reinforced soil; geosynthetic materials; punch tests; pressure sensors; logging road.

**For citation:** Burmistrova O.N., Burgonutdinov A.M., Kleveko V.I. Experimental studies of reinforced clay bases of logging roads. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(10):147–153. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp147-153>.

**Введение.** Затраты на возведение и эксплуатацию лесовозных дорог существенно влияют стоимости работ по заготовке древесины. Снижение затрат на возведение и содержание лесовозных дорог является весьма актуальной проблемой, особенно для строительства и эксплуатации в районах распространения переувлажненных глинистых грунтов [1, 2]. К таким районам относятся значительные территории северо-запада Европейской части России и Урала. Согласно Приложению 5 ГОСТ 25100 – 2020. «Грунты. Классификация», такие грунты относятся к разновидностям, очень сильно деформируемым и сильнодеформируемым грунтов, а также к грунтам чрезвычайно низкой и очень низкой прочности. Снижения стоимости возведения лесовозных дорог на таких грунтах очень часто требует мероприятий по улучшению их прочностных и деформационных свойств. Кроме того, основания дорог из переувлажненные глинистые грунтов часто склонны к возникновению сил морозного пучения [3]. Возведение лесовозных дорог на таких грунтах представляет значительные сложности.

Существует множество способов улучшения физико-механических свойств переувлажненных глинистых грунтов, таких как: осушение, электрохимическое закрепление, использование различных вяжущих и отходов производств, струйная цементация («Jet grouting»), армирование различными материалами и т.д. Все эти способы имеют свои достоинства и недостатки и свою рациональную область применения. Одним из самых универсальных способов увеличения несущей способности и снижения деформативности слабых грунтов является армирование. Различают следующие виды армирования грунтов: использование вертикальных и наклонных жестких элементов (свайное основание), горизонтальное армирование геосинтетическими материалами, фиброармирование и геоболочки. В дорожном строительстве чаще всего используется горизонтальное армирование различными геосинтетиками. Такое армирование может существенно улучшить прочностные и деформационные характеристики грунтов и, следовательно, снизить затраты на возведение оснований лесовозных дорог [4-6]. Использованию геосинтетиков в дорогах посвящено большое количество исследований [7-9], но основное количество экспериментальных и теоретических исследований было проведено с использованием песчаных грунтов. Поэтому необходимо изучение взаимодействия армирующих прослоек и глинистых грунтов [10, 11]. Для этого нужно исследовать напряжения в активной зоне армированных оснований дорог. Согласно



п. 6.5.1 СП 288.1325800.2016 «Дороги лесные. Правила проектирования и строительства» расчет конструкций дорожных одежд лесовозных дорог должен выполняться по СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги» и МОДН 2-2001 «Проектирование нежестких дорожных одежд». Согласно этим нормативным документам воздействия колеса расчетной нагрузки на автомобильную дорогу моделируется круглым штампом, который имеет диаметр, зависящий от параметров и характера действующей нагрузки.

Поэтому для изучения работы армогрунтовых конструкций были проведены их испытания круглым штампом и выполнен анализ их напряженного и деформированного состояния (НДС), а также выявлен оптимальный диапазон влажности глинистых грунтов.

**Методика исследований.** Штамповые испытания круглым штампом проводились в два этапа. Первый этап представлял собой лабораторные испытания круглым жестким штампом диаметром  $d = 64$  мм в глинистом грунте различной влажности двух конструкций оснований с использованием двух различных типов армирующих материалов. Второй этап представлял собой полевые испытания круглым штампом диаметром  $D = 600$  мм армированного и неармированного оснований в глинистых грунтах.

Подробное описание модельных исследований приведены в работе [12]. На этом этапе исследований была проведена серия штамповых испытаний различных моделей армированных оснований в суглинке при влажности соответствующей показателю текучести  $I_L$  равном 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8. Нагрузка прикладывалась вертикально. Армирующий материал представлял собой круг диаметром 192 мм (3d). Опыты выполнялись с трехкратной повторяемостью. Испытания проводились в лотке размерами 500×500×500 мм.

В испытаниях использовались две конструкции армированного основания: однослойная, с расположением армирующей прослойки на глубине 19 мм (0,3d); двухслойная, с расположением армирующих прослоек на глубине 19 и 32 мм (0,3d и 0,5d);

В качестве армирующих материалов были применены два материала нетканый геотекстиль, с низкими значениями жесткости на растяжение равной 25 кН/м и прочности 15 кН/м; стеклоткань, с высокими значениями жесткости на растяжение равной 2100 кН/м и прочности 45 кН/м.

Проведенные экспериментальные исследования с моделями армированных оснований позволили выявить ряд закономерностей, которые позволили уточнить дальнейшие пути проведения исследований. Для всех условий проведения модельных исследований несущая способность армированных оснований была в 2 раза и выше, чем для неармированных оснований. По показателю удельной несущей способности однослойное армированное основание показало, что эффективность такой установки армирующих прослоек выше, чем для двухслойного основания. Оптимальный диапазон влажностей глинистых грунтов для армированных оснований соответствует показателю текучести  $I_L$  от 0,4 до 0,6. Более эффективно использование армирующих материалов с высокими прочностными и деформационными характеристиками. Таким образом для проведения дальнейших исследований была выбрана однослойная конструкция армированного основания. В качестве армирующего материала применялась стеклоткань, расположенная на глубине 0,25d.

Для проверки результатов модельных исследований и определения напряженно-деформированного состояния армогрунтового основания были проведены штамповые испытания в полевых условиях. При проведении испытаний использовалась круглый жесткий штамп диаметром  $D = 600$  мм. В качестве армирующего материала применялась стеклоткань диаметром 1800 мм (3D), располагающаяся на глубине 150 мм (0,25D). Штамповые испытания проводились для двух типов оснований: армированного и неармированного основания. Для исследований использовалась опытная площадка, в верхней толще которой залежала мягкопластичная глина со следующими параметрами: показатель текучести  $I_L = 0,6$ , удельное сцепление  $c = 13$  кПа, угол внутреннего трения  $\varphi = 10^\circ$ , влажность  $w = 28\%$ , удельный вес  $\gamma = 18,8$  кН/м<sup>3</sup>, модуль деформации  $E = 1,37$  МПа. Подробное описание инженерно-геологических условий испытательной площадки приведено в работе [12].

При проведении исследований НДС активной зоны необходимо было измерить нормальные напряжения в грунтовом массиве с помощью датчиков давления; вертикальные деформации грунта с помощью грунтовых марок; вертикальное перемещение штампа.

Измерения вертикальных перемещений грунтовых марок и штампа не представляет значительных трудностей, для этого и можно использовать прогибомеры с проволочной связью марки БПАО с ценой деления 0,01 мм. Для уменьшения трения проволочных связей грунтовых марок



используются алюминиевые трубки, закладываемые в грунтовом массиве. Однако для измерения напряжений в грунтовом массиве существует большое количество различных датчиков давления и регистрирующей аппаратуры, для правильного выбора которых, были проведены дополнительные исследования.

Для изучения НДС была разработана схема установки датчиков давления и датчиков перемещений.

Датчики давления (мессдозы) устанавливались на глубине 150 мм, 450 мм, 750 мм и 1050 мм, по 5 датчиков на каждом уровне. Датчики давления в каждом уровне устанавливались по оси штампа (1 шт.), на расстоянии 300 мм (2 шт.) и 600 мм (2 шт.) от оси штампа. Кроме того, для измерения контактных напряжений под подошвой штампа были установлены дополнительно 5 датчиков давления. Аналогично устанавливались датчики перемещений (грунтовые марки), кроме зоны по оси штампа, где из-за невозможности установки грунтовых марок в этой зоне они были установлены на расстоянии 150 мм от оси штампа. Контрольные испытания и тарирование мессдоз проводились по методике, приведенной в работе [13].

Подготовка грунтового основания для проведения штамповых испытаний армированного и неармированного оснований несколько различалась. Так для проведения испытаний с армированным основанием для укладки армирующей прослойки сначала снимался верхний слой грунта на глубину 150 мм, а затем устанавливались мессдозы и грунтовые марки на необходимую глубину. После этого предварительно снятый слой грунта укладывался сверху армирующей прослойки с уплотнением до природной плотности с контролем качества уплотнения. Установка датчиков давления и грунтовых марок для неармированного основания и под армирующей прослойкой производилась по одинаковой методике в предварительно пробуренных скважинах малого диаметра с последующим заполнением вынутым грунтом и последующим уплотнением и временной выдержкой согласно рекомендациям [13].

После проведения подготовительных работ были проведены полевые штамповые испытания согласно рекомендациям ГОСТ 20276.1-2020. «Грунты. Метод испытания штампом». Всего было проведено по три опыта для армированного и неармированного оснований, т.е. общее количество испытаний составило 6 шт.

Результаты испытаний. После обработки результатов испытаний были получены значения зависимости величины вертикального перемещения штампа от нагрузки, а также величины вертикального давления и деформации в различных зонах основания.

В табл. 1 представлены результаты измерения величин вертикального перемещения штампа при соответствующей нагрузке на штамп. В результате испытаний предельная нагрузка на неармированное основание составила 100 кПа, что хорошо согласуется со значением, полученными по методике, представленной в СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», которое составило 92 кПа. Величина предельной нагрузки на армированное основание составила 150 кПа, что в 1,5 раза превышает предельную нагрузку на неармированное основание.

Таблица 1

Результаты штамповых испытаний

Нагрузка, кПа	Вертикальное перемещение, мм	
	Армированное основание	Неармированное основание
0	0	0
50	16,58	10,69
75	30,27	29,78
100	67,96	79,87
125	152,85	–
150	252,69	–

Для оценки влияния армирования на деформативные свойства глинистого основания были выполнены определения модуля деформации по данным штамповых испытаний. Для этого согласно п.5.5.2. ГОСТ 20276.1 – 2020, был выполнен расчет модулей деформации основания  $E$  при разных значениях нагрузки на штамп.

Полученные значения модуля деформации основания  $E$  для соответствующих ступеней нагрузки штампа представлены в табл. 2.

## Определение модуля деформации

Диапазон нагрузки, кПа	Модуль деформации, кПа	
	Армированное основание	Неармированное основание
0–50	1177,3	1825,9
50–75	712,9	511,2
75–100	511,2	194,8
100–125	115,0	–
125–150	3,9	–
0–100	574,4	488,8
0–150	232	

**Результаты исследований.** Анализ полученных значений модуля деформации основания показал, что на первой ступени нагрузки (50 кПа) модуль деформации неармированного основания превышает модуль деформации армированного основания.

Однако для всех остальных ступенях нагрузки на штамп модуль деформации армированного основания существенно превышает модуль деформации, так для интервала нагрузок от 0 до 100 кПа модуль деформации армированного основания в 1,18 раза выше, чем для неармированного основания. Влияние армирования начинает сказываться при осадках штампа более 30 мм, т.е. при нагрузках более 75 кПа.

Значения вертикальных нормальных напряжений при нагрузке на штамп 100 кПа для армированного и неармированного оснований приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Значения величины нормальных вертикальных напряжений в кПа

Расстояние от поверхности грунта, мм	Армированное основание					Неармированное основание				
	Расстояние от оси штампа, мм					Расстояние от оси штампа, мм				
	0	150	300	450	600	0	150	300	450	600
150	19,96	25,5	30,12	10,1	2,7	33,50	45,1	44,45	12,5	6,9
450	31,79	25,9	19,99	11,1	7,68	34,5	31,0	26,9	12,11	5,83
750	22,52	20,1	15,9	5,28	1,28	21,1	18,9	15,91	8,03	4,03
1050	13,16	11,5	9,33	5,1	2,88	12,42	10,6	8,73	5,16	2,6

Анализ результатов измерения величин нормальных вертикальных напряжений показал значительное различие в распределении напряжений активной зоны для армированного и неармированного оснований. Величины напряжений в верхней зоне значительно различаются. Так, на глубине 150 мм на уровне армирующей прослойки, значения напряжений различаются:

по оси штампа величина напряжений для неармированного основания в 1,68 раза больше чем величина напряжений для армированного основания;

на расстоянии 150 мм (0,25D) величина напряжений для неармированного основания в 1,77 раза больше чем величина напряжений для армированного основания;

на расстоянии 300 мм (0,5D) величина напряжений для неармированного основания в 1,48 раза больше чем величина напряжений для армированного основания;

на расстоянии 450 мм (0,75D) величина напряжений для неармированного основания в 1,1 раза больше чем величина напряжений для армированного основания;

на расстоянии 600 мм (1,0D) величина напряжений для неармированного основания в 2,56 раза больше чем величина напряжений для армированного основания.

Так как распределение напряжений в активной зоне оснований носит сложный характер, объективно влияние армирующей прослойки на НДС основания можно ориентировочно оценить с помощью величины площади эпюры нормальных напряжений на заданной глубине грунтового массива. Для этого был построен график зависимости площади эпюры вертикальных нормальных напряжений на глубине 150 мм, 450 мм, 750 мм и 1050 мм, представленный на рисунке.

Анализ графиков зависимости площади эпюр нормальных напряжений в активной зоне оснований носит различный характер. График зависимости площади эпюр для неармированного основания носит практически линейный характер, а график зависимости площади эпюр для



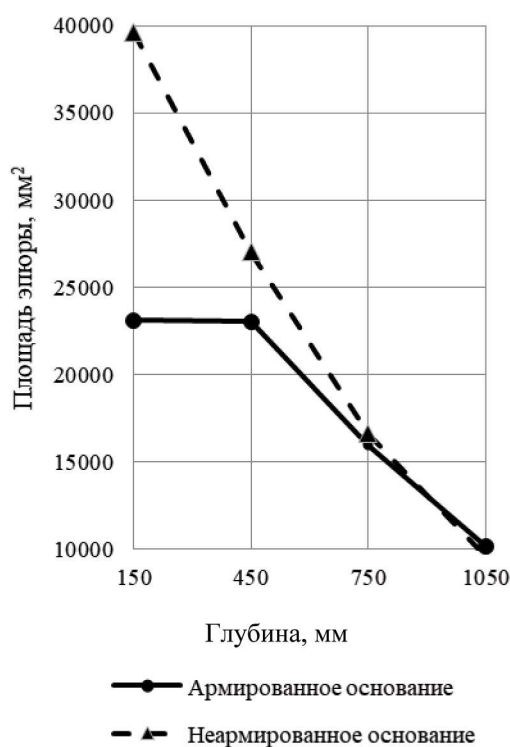


График зависимости площади эпюр нормальных напряжений от глубины

армированного основания имеет явно нелинейный вид, особенно на глубине до 450 мм ( $0,75D$ ). На большей глубине графики практически совпадают.

Средняя величина нормальных напряжений в исследованной зоне армированного основания в 1,29 раза меньше, чем для неармированного основания. Таким образом, армирующая прослойка эффективно перераспределяет напряжения в активной зоне основания на глубине до  $(1,0-1,25)D$ .

В табл. 4 представлены значения вертикальных перемещений в массиве грунта. Перемещения на глубине 1050 мм оказались практически равными нулю и в таблице не представлены.

Анализ перемещений на различной глубине грунтового массива показывает такую же картину, как и замеряемые величины перемещений. Средние значения перемещений в активной зоне неармированного основания в 1,24 раза меньше, чем для армированного основания. Кроме того замер перемещений в грунтовом массиве позволил точнее определить активную зону основания, размер которой получился по глубине 1050 мм от поверхности штампа ( $1,75D$ ), а по ширине 900 мм ( $1,5D$ ) от оси штампа

Таблица 4

Значения величины вертикальных деформаций

Расстояние от поверхности грунта, мм	Армированное основание						Неармированное основание					
	Расстояние от оси штампа, мм						Расстояние от оси штампа, мм					
	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900
150	129,5	63,1	9,0	1,9	1,1	0,3	150,8	86,5	20,0	3,0	1,0	0
450	59,43	39,53	10,95	3,36	1,5	0	70,9	41,3	21,0	10,4	5,0	0
750	19,98	12,35	5,0	1,85	1,0	0	18,04	11,05	3,17	1,52	1,31	0

**Заключение.** По результатам штамповых исследований НДС армированных оснований в глинистых грунтах можно сделать следующие выводы:

1. Использование геосинтетического материала диаметром  $3D$  с продольной жесткостью на растяжении 2100 кН/м расположенного на глубине 150 мм ( $0,25D$ ) в мягкопластичной глине с  $I_L = 0,6$  приводит к увеличению несущей способности в 1,5 раза и уменьшению осадки в 1,18 раза. 2. Внедрение в грунтовой массив геосинтетической арматуры существенно изменяет его напряженно-деформированное состояние. Происходит перераспределение вертикальных напряжений в зоне от подошвы штампа до глубины  $1,25D$ . Вертикальные нормальные напряжения в активной зоне уменьшаются в среднем в 1,29 раз.

3. Включение в работу армирующего геосинтетического материала начинается при достижении вертикальной осадки 30 мм.

Применения армирующих геосинтетических материалов в глинистых основаниях лесовозных дорог позволяют в первую очередь увеличить их несущую способность, что особенно актуально для дорожных одежд переходного и низшего типов.

Необходимо проводить дальнейшие исследования напряженно-деформированного состояния армогрунта для использования в конструкциях лесовозных дорог.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сапелкин Р.С., Чернышова Е.В., Тверитнев О.Н., Скрыпников А.В., Боровлев Ю.А., Бондарев А.Б., Жук А.Ю. Увлажнение земляного полотна поверхностными водами // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 98–101. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49518341>

2. Оценка природных условий и хозяйственной деятельности человека в районе предполагаемого строительства лесовозной автомобильной дороги / В. А. Зеликов [и др.] // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 193–202. DOI: <http://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/24>





3. Боргонутдинов А.М., Рудов С.Е., Григорьев И.В., Ефимов Д.С., Швецова В.В. Экспериментальные исследования теплового режима в слоях дорожного покрытия магистральных лесовозных дорог // Известия высших учебных заведений // Лесной журнал. 2022. № 2 (386). С. 146–158. DOI: <http://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-2-146-158>.
4. Бурмистрова О.Н., Воронина М.А. Обоснование расчетных схем нежестких дорожных одежд, армированных геосинтетическими материалами // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 1 (13). С. 93–97. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17873841>
5. Артемьев В.В., Бессараб Г.А. Влияние армирования щебеночных материалов георешеткой на воздействие сдвиговых нагрузок // Лесотехнический журнал. 2016. № 4 (24). С. 12–133. DOI: <http://doi.org/10.12737/23445>.
6. Артемьев В.В. Исследования дорожных конструкций из щебеночных смесей на сдвиговые напряжения // Лесотехнический журнал. 2013. №3 (11). С. 66–70. DOI: <http://doi.org/10.12737/1771>
7. Сушков С.И., Бурмистрова О.Н. Определение условий использования геосинтетических материалов на дорогах промышленного назначения // Воронежский научно-технический вестник. 2016. Т. 2. № 2 (16). С. 87–92. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27215935>.
8. Bartolomey A., Bogomolov A. Kleveko V., Ponomaryov A., Ofrikhter V. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals // Proceedings of the twelfth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering. Amsterdam. Netherlands. 1999. Vol. 2, p. 1197–1202. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15055206>
9. Cuelho E., Perkins S., Maubeuge K. Full-Scale Field Study of Geosynthetics Used As Subgrade Stabilization // Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering, p. 4703–4712. DOI: [http://doi.org/10.1061/41165\(397\)481](http://doi.org/10.1061/41165(397)481).
10. Wang, Liujiang & Liu, Sihong & Liao, Jane & Fan, Kewei. (2019). Field load tests and modelling of soft foundation reinforced by soilbags // Geosynthetics International. 2019. Vol. 26. No. 6. P. 580–591. DOI: <http://doi.org/10.1680/jgein.19.00036>.
11. Rao D. Koteswara, Raju G.V.R. Prasada, Babu K. Jyothi. Field studies on the marine clay foundation soil beds treated with lime, GBFS and reinforcement technique // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). 2011. Vol. 3. No. 4. P. 3105–3112.
12. Kleveko V.I. Model and field experimental studies of reinforced clay bases // Journal of Physics: Conference Series. 2. Сер. «Deep Foundations and Geotechnical Problems of Territories, DFGC 2021» 2021. P. 012032. DOI: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1928/1/012032>.
13. Голли А.В. Методика измерения напряжений в грунтах. Л., 1984. 53 с.

## REFERENCES

1. Sapelkin R.S., Chernyshova E.V., Tveritnev O.N., Skrypnikov A.V., Borovlev Iu.A., Bondarev A.B., Zhuk A.Iu. Moistening the subgrade with surface waters. *Systems. Methods. Technologies.* 2022; 3 (55): 98–101. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49518341>
2. Zelikov V. A., Tikhomirov P. V., Nikitin V. V., Skrypnikov A.A., Samtsov V.V., Burdakov M.A. Assessment of natural conditions and human economic activity in the area of the proposed construction of a logging road. *Forestry magazine.* 2020; 10; 1 (37): 193–202. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/24>.
3. Borgonutdinov A.M., Rudov S.E., Grigor'ev I.V., Efimov D.S., Shvetsova V.V. Experimental studies of the thermal regime in the layers of the pavement of the main logging roads. *News of higher educational institutions. Forestry Journal.* 2022; 2 (386): 146–158. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-2-146-158>.
4. Burmistrova O.N., Voronina M.A. Substantiation of design schemes for non-rigid pavements reinforced with geosynthetic materials. *Systems. Methods. Technologies.* 2012; 1 (13): 93–97. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17873841>.
5. Artem'ev V.V., Bessarab G.A. Influence of reinforcement of crushed stone materials with a geogrid on the impact of shear loads. *Forestry Journal.* 2016; 4 (24): 127–133. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.12737/23445>.
6. Artem'ev V.V. Investigation of road structures from crushed stone mixtures for shear stresses. *Forestry Journal.* 2013; 3 (11): 66–70. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.12737/1771>.
7. Sushkov S.I., Burmistrova O.N. Determining the conditions for the use of geosynthetics on industrial roads. *Voronezh Scientific and Technical Bulletin.* 2016; 2; 2 (16): 87–92. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27215935>.
8. Bartolomey A., Bogomolov A. Kleveko V., Ponomaryov A., Ofrikhter V. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals. *Proceedings of the twelfth European conference on soil mechanics and geotechnical engineering.* Amsterdam. Netherlands. 1999; 2: 1197–1202. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15055206>
9. Cuelho E., Perkins S., Maubeuge K. Full-Scale Field Study of Geosynthetics Used As Subgrade Stabilization. *Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering:* 4703–4712. DOI: [http://doi.org/10.1061/41165\(397\)481](http://doi.org/10.1061/41165(397)481).
10. Wang, Liujiang & Liu, Sihong & Liao, Jane & Fan, Kewei. (2019). Field load tests and modelling of soft foundation reinforced by soilbags. *Geosynthetics International.* 2019; 26; 6: 580–591. DOI: <http://doi.org/10.1680/jgein.19.00036>.
11. Rao D. Koteswara, Raju G.V.R. Prasada, Babu K. Jyothi. Field studies on the marine clay foundation soil beds treated with lime, GBFS and reinforcement technique. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).* 2011; 3; 4: 3105–3112.
12. Kleveko V.I. Model and field experimental studies of reinforced clay bases. *Journal of Physics: Conference Series.* 2. Сер. «Deep Foundations and Geotechnical Problems of Territories, DFGC 2021. 2021: 012032. DOI: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1928/1/012032>.
13. Golli A.V. Methodology for measuring stresses in soils. Leningrad, 1984. 53 p.

Статья поступила в редакцию 5.04.2023; одобрена после рецензирования 21.04.2023; принята к публикации 30.04.2023.  
The article was submitted 5.04.2023; approved after reviewing 21.04.2023; accepted for publication 30.04.2023.