

С. В. Красковский, инженер

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, АРМИРОВАННЫХ ОБЪЕМНЫМИ ГЕОРЕШЕТКАМИ

Results of laboratory tests of modeling sites of the road construction reinforced by solid geolattices «Belgeosot» and «Cometa» are resulted. Tests at the special experimental stand including the soil channel and the automated self-propelled carriage are executed. During tests modules of elasticity of modeling sites are determined, graphs of change of the maximal compressing pressure on their depth are analysed and the size of a track is measured. Results of laboratory tests confirm influence of reinforcing on the durability, the stress-deformed condition of a soil and have good convergence with data of theoretical calculations.

**Введение.** Основным местным материалом при строительстве лесных дорог являются грунты, из которых возводится земляное полотно, а во многих случаях устраивается и дорожная одежда. Однако местные грунты не являются достаточно хорошим материалом для дорожного строительства. Это связано с тем, что они и в естественном, и в искусственно сформированном состоянии не способны воспринимать относительно большие растягивающие напряжения, обладают высокой деформативностью (деформации сжимаемости и формоизменения). Естественно, что при использовании грунтов, залегающих на слабых основаниях, эти недостатки прогрессируют. Поэтому можно сказать, что местные грунты являются только основным сырьем для создания материалов, из которых может быть устроена прочная и долговечная конструкция лесной дороги.

Введение в дорожные конструкции конструктивных элементов с иными свойствами (геосинтетических материалов) открывает перед дорожным строительством принципиально новые возможности. Применение геосинтетических материалов (в частности, объемных георешеток) при строительстве и ремонте лесных дорог и дорог общего пользования позволяет компенсировать недостатки свойств грунтов, повысив при этом их физико-механические свойства, а зачастую превратив в совершенно новые типы материалов.

Объемная георешетка (далее – георешетка) производится из высокопрочных полимерных материалов и состоит из лент, которые через определенные промежутки соединены между собой с помощью сварных швов таким образом, что при растяжении в поперечном направлении они образуют сотовую структуру. Ячейки этой сотовой структуры имеют форму, состоящую из прямолинейных и небольших криволинейных участков. Эта форма близка к ромбической.

При заполнении ячейки грунтом образуется композит «грунт – георешетка», который выполняет следующие функции [1]:

- создание слоя с повышенной прочностью и жесткостью на изгиб;

- равномерное распределение нагрузок и уменьшение разрушающего воздействия на нижележащие слои;
- предотвращение «расползания» грунта;
- ограничение образования колеи.

Для оценки влияния армирования на прочностные свойства грунта и его сопротивляемость нагрузкам на кафедре транспорта леса был проведен комплекс лабораторных испытаний грунта, армированного различными георешетками.

**1. Определение модуля упругости грунта, армированного объемной георешеткой.** Модуль упругости является важной характеристикой грунта, выражающей его способность сопротивляться деформированию под действием нагрузок. Модуль упругости армированного георешеткой слоя грунта необходимо знать для определения расчетной предельной нагрузки, которую может выдержать дорожная конструкция.

С целью экспериментального определения модуля упругости армированного грунта на грунтовом канале было заложено три модельных участка длиной 1,5 м, шириной 1,2 м и глубиной 0,7 м. Тип грунта – суглинок легкий.

Первый участок без георешетки устраивался послойно. Каждый слой был доведен до максимальной плотности при оптимальной влажности, равных соответственно 1,74 г/см<sup>3</sup> и 14,3%.

Второй и третий участки устраивались точно так же с разницей в том, что их верхние слои грунта армировали георешетками «Белгеосот» и «Комета». Над георешетками был устроен защитный слой из грунта толщиной 0,5 см. Характеристики георешеток приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Характеристики объемных георешеток

Характеристика	Марка георешетки	
	Белгеосот	Комета
Размер ячеек, см	16×16	20×20
Высота, см	15	10
Толщина ребра, см	0,15	0,22
Модуль упругости материала, МПа	1193	75

Испытания проводились при помощи жесткого штампа диаметром  $D=33$  см в соответствии с методикой, изложенной в работе [2]. Нагрузка на штамп передавалась через динамометр от гидравлического домкрата, опорой для которого служила рама тележки экспериментального стенда. Перемещение штампа фиксировалось при помощи рычажного прогибомера (рис. 1).

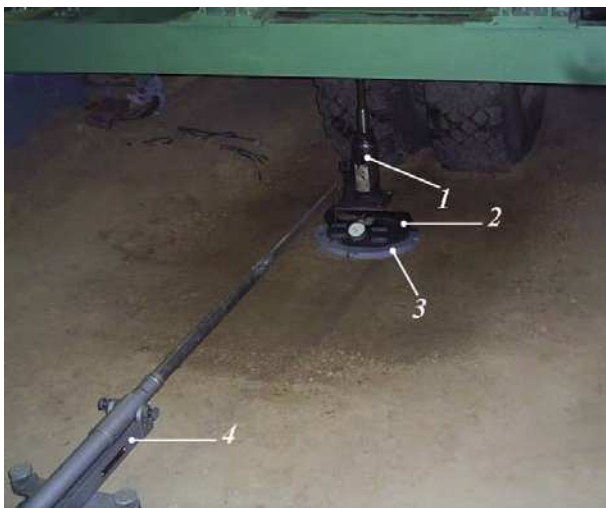


Рис. 1. Схема измерения упругой деформации:  
1 – домкрат; 2 – динамометр;  
3 – штамп; 4 – прогибомер

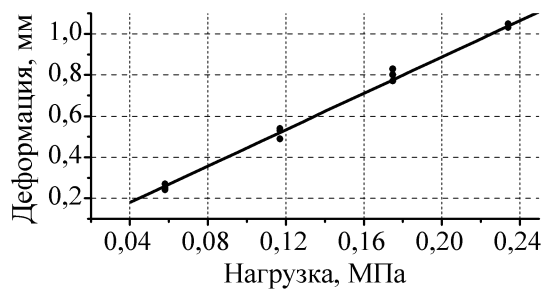
Схема определения модуля упругости была следующей. Нагрузку от домкрата передавали ступенями таким образом, что давление от штампа на грунт составляло 0,058, 0,117, 0,175 и 0,234 МПа. После достижения каждой ступени нагрузки выдерживали 4–5 мин, затем производили разгрузку. Отсчет снимали по индикатору после подачи нагрузки и при разгрузке. Разность отсчетов показывала значение упругой деформации на опытных участках.

Для каждой ступени нагрузки производились три измерения в трех различных точках. Далее на графике (рис. 2) были отмечены значения упругой деформации на каждой ступени для каждой точки. На их основе для участка без георешетки (рис. 2, а), участков с георешетками «Белгеосот» (рис. 2, б) и «Комета» (рис. 2, в) была построена линия наименьших квадратов.

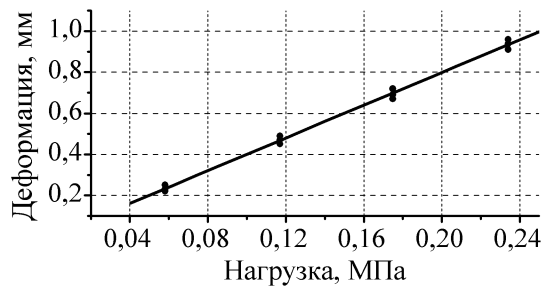
По линии наименьших квадратов определяли модуль упругости неармированного грунта по формуле

$$E_r = \frac{\pi \Delta q D (1 - \mu^2)}{4 \Delta l_y}, \quad (1)$$

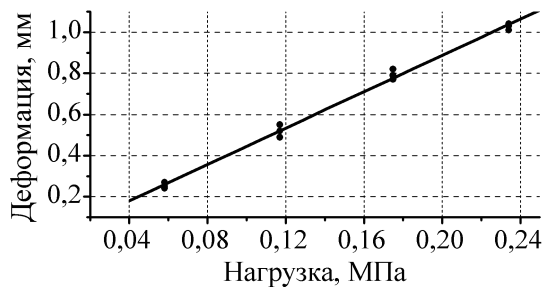
где  $\Delta q$  – разность нагрузок на первой и последней ступенях, МПа;  $D$  – диаметр штампа, см;  $\mu$  – коэффициент Пуассона, равный для суглинка 0,35;  $\Delta l_y$  – упругая деформация, соответствующая нагрузке  $\Delta q$ , см.



а



б



в

Рис. 2. Зависимость упругой деформации от нагрузки на участке:  
а – без георешетки; б – с георешеткой «Белгеосот»;  
в – с георешеткой «Комета»

По формуле (1) был вычислен также общий модуль упругости на участках с георешетками. Модуль упругости армированного грунта определяли по формуле [3]

$$E_a = \frac{E_{\text{общ}} (\delta_a + \delta_r) - E_r \delta_r}{\delta_a}, \quad (2)$$

где  $E_{\text{общ}}$  – общий модуль упругости на участке с георешеткой, МПа;  $\delta_a$ ,  $\delta_r$  – толщина соответственно армированного и неармированного слоев грунта, см.

Теоретическое значение модуля упругости грунта, армированного георешеткой, определяли по формуле [4]

$$E_a = E_r + k(E_p - E_r), \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент армирования, который зависит исключительно от характеристик георешетки и определяется размерами ячейки, длиной грани ячейки и толщиной ребра.

Результаты определения модуля упругости грунта

Ступени нагрузки	Давление $q$ , МПа	Упругая деформация $l_y$ , мм		Модуль упругости, МПа	
		опытное значение	по линии наименьших квадратов	общий $E_y$	верхнего слоя $E_a$
<i>1. Участок без георешетки</i>					
I	0,058	0,25; 0,27; 0,24	0,264	$\frac{50,7^*}{50,0}$	—
II	0,117	0,54; 0,53; 0,49	0,521		
III	0,175	0,83; 0,80; 0,77	0,786		
IV	0,234	1,05; 1,05; 1,03	1,054		
<i>2. Участок с георешеткой «Белгеосот» (<math>k = 0,019</math>)</i>					
I	0,058	0,25; 0,22; 0,23	0,232	57,1	$\frac{80,7}{72,1}$
II	0,117	0,49; 0,47; 0,45	0,467		
III	0,175	0,69; 0,67; 0,72	0,698		
IV	0,234	0,96; 0,94; 0,91	0,933		
<i>3. Участок с георешеткой «Комета» (<math>k = 0,022</math>)</i>					
I	0,058	0,27; 0,25; 0,24	0,258	51,4	$\frac{55,6}{51,2}$
II	0,117	0,55; 0,52; 0,49	0,520		
III	0,175	0,77; 0,82; 0,79	0,776		
IV	0,234	1,04; 1,01; 1,03	1,037		

\* Значение в числителе получено экспериментальным путем; значение в знаменателе: для участка без георешетки – нормативное, для участков с георешетками – получено теоретическим путем.

Результаты определения модуля упругости грунта на участках представлены в табл. 2.

Как показано в табл. 2, экспериментальное значение модуля упругости неармированного грунта близко к нормативному (50 МПа при относительной влажности 0,65). Модуль упругости грунта, армированного георешеткой «Белгеосот», выше модуля упругости неармированного грунта на 59,2%. На участке с георешеткой «Комета» армирующий эффект значительно меньше – увеличение модуля упругости составляет 9,7%. При этом экспериментальное значение модуля упругости в случае с георешеткой «Белгеосот» выше теоретического на 11,9%, в случае с георешеткой «Комета» – выше на 8,6%.

**2. Исследование напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции, армированной объемной георешеткой.** Испытания проводились на модельных участках длиной 1,5 м, шириной 1,2 м и глубиной 0,6 м.

Первый участок без георешетки устраивался послойно, с доведением каждого слоя до максимальной плотности при оптимальной влажности.

Второй участок устраивался точно так же с разницей в том, что его верхний слой грунта армировали георешеткой «Белгеосот» (рис. 3). Над георешеткой был устроен защитный слой из грунта толщиной 5 см.

Испытания состояли из двух этапов: 1) измерение максимальных вертикальных сжимающих напряжений в различных точках грунтового массива при проходах спаренных колес тележки; 2) измерение глубины колеи.

Напряжения измерялись при помощи десяти тензорезисторных преобразователей давления (месдозы конструкции Баранова).



Рис. 3. Общий вид участка с георешеткой

Месдозы были заложены на различной глубине участков по центру спаренных колес тележки и по центру одного из колес (рис. 4).

Величины регистрируемых месдозами напряжений записывались при помощи двух измерительных усилителей Spider-8 и сохранялись в базе данных ЭВМ для дальнейшей обработки.

Нагрузка, передаваемая от спаренных колес тележки на поверхность участков, составляла

33,7 кН, давление воздуха в шинах – 0,4 МПа, число проходов по одному следу – 40.

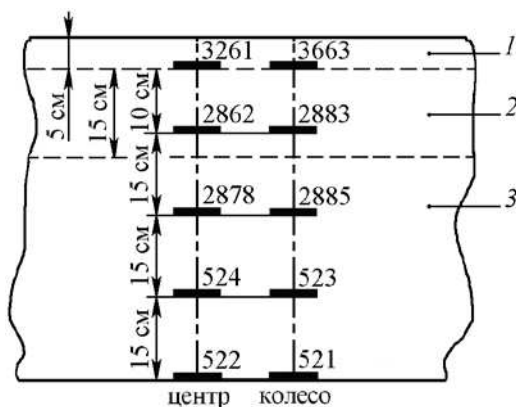


Рис. 4. Схема закладки мессдоз, поперечный разрез: 1, 2, 3 – соответственно верхний, армированный и нижний слои грунта

Результаты измерений величин напряжений представлены в виде графиков на рис. 5.

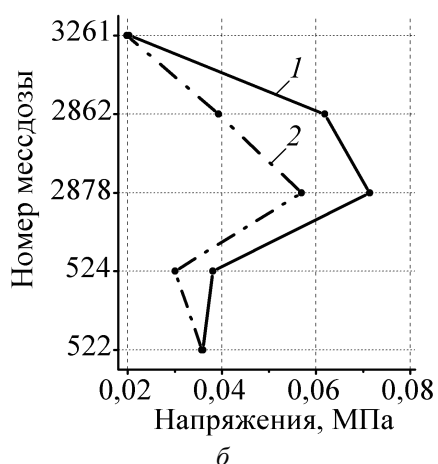
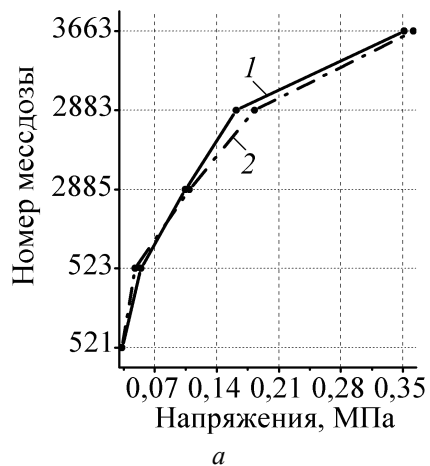


Рис. 5. Распределение вертикальных сжимающих напряжений в поперечной плоскости: а – по центру 1-го из колес; б – по центру 2-х колес; 1 – участок без георешетки; 2 – участок с георешеткой

Анализ графиков показывает, что напряжения по центру одного из колес (рис. 5, а) несколько выше на участке с георешеткой. Однако наиболее опасные максимальные напряжения, фиксируемые мессдозами № 3663 и № 2883, появляются в армированном слое грунта, обладающем более высокой прочностью по сравнению с неармированным слоем грунта. Заметим также, что разница в величинах напряжений уменьшается по глубине сравниваемых участков.

Перераспределение напряжений георешеткой четко прослеживается на рис. 5, б. На участке без георешетки напряжения, фиксируемые мессдозами № 2862, № 2878 и № 524, значительно больше. При этом с увеличением глубины эта разница уменьшается.

В ходе испытаний после определенного числа проходов тележки также замерялась глубина колеи по схеме, показанной на рис. 6.

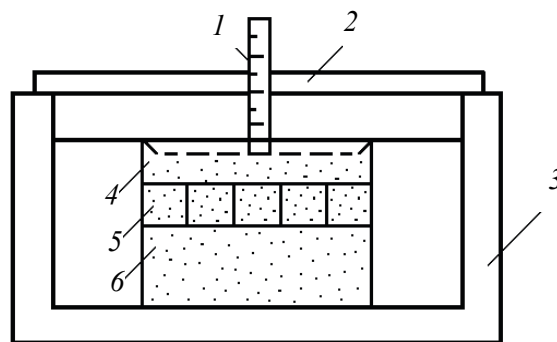


Рис. 6. Схема измерения глубины колеи: 1 – линейка; 2 – реперная балка; 3 – грунтовый канал; 4, 5, 6 – соответственно защитный, армированный и нижний слои грунта

Глубина колеи на участке с георешеткой составляет доли миллиметра, т. е. при данном числе проходов колея практически не образовалась. На участке без георешетки наиболее интенсивно колея образовывалась при первых 12 проходах, стабилизировалась после 30 проходов и в конечном итоге составила 2,2 см.

**Заключение.** Проведенные испытания показали, что применение георешетки повышает прочность грунта. Экспериментальное значение модуля упругости армированного грунта оказалось близким к теоретическому. Из чего можно заключить: выведенная ранее теоретическая зависимость для определения модуля упругости армированного грунта достаточно точна и может использоваться в дальнейших расчетах.

Исследование напряженного состояния показало, что георешетка локализует максимальные и наиболее опасные напряжения в грунте. При перераспределении напряжений георешеткой их величина уменьшается. Поло-

жительное влияние георешетки на напряженное состояние в грунте подтверждают исследования по измерению глубины колеи на опытных участках.

### Литература

1. Красковский, С. В. Сдвиговая прочность грунта, армированного объемной георешеткой / С. В. Красковский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апреля 2007 г. / Белорусско-Российский университет; ред. кол. И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч. 2. – С. 107–108.
2. Пшеничникова, Е. С. Исследование деформации слоя, состоящего из объемной георешетки, заполненной песком / Е. С. Пшеничникова, И. Ж. Хусаинов, Ю. Л. Жигур // Новости в дорожном деле: науч.-техн. информ. сб. / ФГУП «Информавтодор». – М., 2006. – Вып. 3. – С. 16–24.
3. Корсунский, М. Б. Приведение многослойных дорожных конструкций к расчетным моделям / М. Б. Корсунский, А. О. Салль, П. И. Теляев // Труды Союздорнии. – 1971. – № 47. – С. 26–33.
4. Лыщик, П. А. Определение модулей упругости грунта, армированного объемной георешеткой / П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, С. В. Красковский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 113–116.