

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5162

УДК 625.711.84

Статья

Ресурсосберегающая методика расчёта дорожных одежд лесовозных дорог

Катаров Василий Кузьмич

кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), vkatarov@petrsu.ru

Получена: 12 февраля 2020 / Принята: 12 февраля 2020 / Опубликована: 12 февраля 2020

Аннотация: В статье приведена методика расчёта дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог, позволяющая учесть особенности их строительства и эксплуатации в условиях соблюдения экологического законодательства и экономии ресурсов. В настоящий период лесозаготовительные предприятия сталкиваются со значительными сложностями при создании дорожной инфраструктуры. Например, изменение климата негативно сказывается на возможностях эксплуатации дорог зимнего действия. Поэтому всё большее значение приобретает строительство лесовозных автомобильных дорог, позволяющих осуществлять вывозку древесины практически круглогодично, соблюдая требования лесной сертификации. Одним из конструктивных решений, позволяющих выполнить отмеченные требования, является использование геосинтетических материалов. В исследовании приведены расчёты армированной геосинтетическими материалами дорожной одежды и проведён анализ потребности в дорожно-строительных материалах. Полученный экономический эффект от применения конструкций дорожных одежд, предложенных на основании расчётной методики, достигает 46 % по объёму зернистых дорожно-строительных материалов и 15 % по стоимости дорожной одежды. Предлагаемая методика базируется на исследованиях, проводимых Петрозаводским государственным университетом (ПетрГУ) совместно с Институтом природных ресурсов Финляндии (LUKE).

Ключевые слова: лесовозная дорога; геосинтетические материалы; дорожная одежда.

DOI: 10.15393/j2.art.2020.5162

Article

Resource-saving method for calculating road surfaces of logging roads

Vasily Katarov

*PhD in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation),
vkatarov@petrsu.ru*

Received: 12 February 2020 / Accepted: 12 February 2020 / Published: 12 February 2020

Abstract: The article presents a method for calculating logging road surfaces that allows taking into account the features of their construction and operation in compliance with environmental legislation and resources saving. Currently, logging companies face significant difficulties in creating road infrastructure. For example, climate change has a negative impact on the ability to operate winter roads. Therefore, the construction of timber-hauling roads is becoming more and more important, allowing for the removal of timber almost all year round and complying with the requirements of forest certification. One of the design solutions to meet the requirements is the use of geosynthetic materials. The study provides calculations of reinforced road surface and analyzes the need for road construction materials. The resulting economic effect from the use of road surfaces designs on the basis of the proposed calculation method reaches 46 % by volume of road construction granular materials and 15 % by the cost of road surface. The proposed method is based on the research conducted by the Petrozavodsk State University (PetrSU) together with the Natural Resources Institute, Finland (LUKE).

Keywords: logging road; geosynthetic materials; road surface.

1. Введение

Изменение климата, происходящее в последнее время, негативным образом сказывается на стабильности заготовки и вывозки древесины [1—3]. Это связано с сокращением времени использования дорог со снежно-ледяным покрытием и сложностью эксплуатации лесозаготовительной техники и дорог с низшим и переходным типами покрытий в межсезонные периоды. Избыточное увлажнение может привести к потере части упругих свойств грунтов, к повышенному колееобразованию, а при переходе в диапазон отрицательных температур — к образованию морозобойных трещин [4], [5]. Вышеуказанные факторы приводят к увеличению протяжённости и загрузки дорог постоянного действия, что, в свою очередь, влечёт за собой необходимость подбора оптимальных конструкций дорожного полотна, отвечающих современным требованиям.

Согласно своду правил СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства, вступившему в действие с 17 июня 2017 г. и изменённому в августе 2019 г. [6], лесовозные дороги постоянного действия отнесены к объектам капитального строительства и должны строиться по проекту, разработанному на основании технического задания на проектирование. Техническое задание на проектирование разрабатывает заказчик проекта с привлечением профильных проектных организаций с учётом нормативов Лесного плана, Лесохозяйственного регламента и Проекта освоения лесов. Для обеспечения использования лесного участка на весь срок аренды (до 49 лет) должна быть разработана транспортная схема освоения лесного участка, включающая дороги постоянного круглогодичного действия и дороги сезонного действия (зимние, летние).

Также в документе [6] оговариваются достаточно жёсткие требования к обеспечению экологических норм при строительстве лесовозных дорог, базирующиеся на соблюдении природоохранного законодательства [7], [8]. В частности, сохранение природных ландшафтов, максимальная экономия земельных ресурсов, отводимых для размещения лесных дорог; предотвращение загрязнения бассейнов поверхностных водных объектов и подземных вод жидкими и твёрдыми отходами.

Вместе с тем в условиях жёсткой конкуренции на мировом рынке лесозаготовительные компании стремятся обеспечить требования лесной сертификации, также регламентирующие экологические аспекты строительства лесовозных дорог [9].

Ещё одной особенностью является проблема выделения карьеров дорожно-строительных материалов арендаторам лесных участков в контексте перевода земель лесного фонда в другую категорию и получения разрешения на добычу грунта.

Исходя из обозначенного выше комплекса ограничений, представляется актуальным выбор расчётных методик, которые позволяют получить оптимальные решения по ключевым элементам дорожной инфраструктуры, обеспечивающие соответствие нормативным, экологическим и экономическим требованиям.

2. Материалы и методы

2.1. Конструкция дорожной одежды

Опыт строительства лесовозных дорог на Северо-Западе РФ и Финляндии [10], [11] показывает, что при выборе конструкции дорожной одежды часто используется серповидный поперечный профиль. При этом строительным материалом выступают щебёночно-гравийно-песчаные смеси оптимального или близкого соответствующему составу.

Устройство двухслойных дорожных одежд переходного и низшего типов с серповидным профилем на лесовозных дорогах, в отличие от строительства покрытий на дорогах общего пользования с использованием корытного профиля, обуславливает ряд расчётных и технологических особенностей [12]. Основной конструктивной особенностью является переменная толщина дорожной одежды, уменьшающаяся от оси дороги к бровке дорожного полотна. Использование в качестве расчётного параметра толщины дорожной одежды по оси дороги даёт заниженный результат, а по бровке дорожного полотна — завышенный. В этой связи предлагается в качестве расчётной толщины дорожной одежды $h_{до}$ принимать сумму средних толщин слоёв покрытия $h_{пср}$ и основания $h_{оср}$ (рисунок 1). Причём основываясь на опыте строительства дорог в условиях Северо-Запада РФ и Финляндии [13] и опираясь на нормативную базу [14], рекомендуется принимать $h_{пср} \geq 0,075$ м, $h_{оср} \geq 0,075$ м по технологическим условиям устройства дорожной одежды серповидного профиля из щебёночных и гравийных материалов без укрепления вяжущими. Уклон верха основания дорожной одежды $i_{во}$ принимается равным уклону проезжей части $i_{п}$, что позволяет осуществлять более точную укладку слоя покрытия, устраиваемого из наиболее высокопрочного материала, чем основание. Это снижает вероятность образования колеи при неоднократном воздействии движителей на участки, расположенные на удалении от оси дороги.

Материалы комплексных научно-исследовательских и прикладных проектов, выполненных Петрозаводским государственным университетом на территории Республики Карелия, Ленинградской и Тверской областей [3], свидетельствуют о том, что наибольшее распространение на территории аренды лесопромышленных предприятий Северо-Западного федерального округа получили дороги III_л категории со следующими геометрическими параметрами (таблица 1) [6].

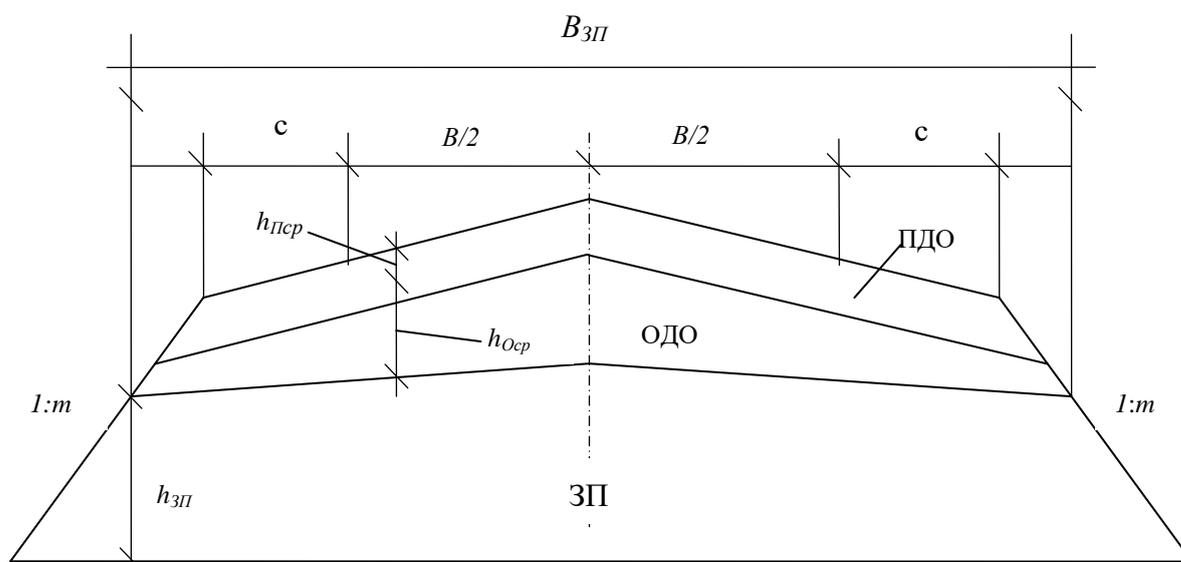


Рисунок 1. Расчётный поперечный профиль лесовозной дороги: ЗП — земляное полотно; ОДО — основание дорожной одежды; ПДО — покрытие дорожной одежды; ВЗП — ширина земляного полотна поверху, м; В — ширина проезжей части, м; с — ширина обочин, м; $h_{Оср}$ — средняя толщина основания дорожной одежды, м; $h_{Пср}$ — средняя толщина покрытия дорожной одежды, м; $h_{ЗП}$ — высота земляного полотна по бровке, м; m — коэффициент заложения откоса

Figure 1. Calculated cross-section of a logging road

Таблица 1. Параметры лесовозной автомобильной дороги

Table 1. Parameters of a logging road

Грузооборот, млн т. нетто в год	Расчётная скорость, м/с	$B, м$	$c, м$	$i_{П}$	$i_{ВО}$	$i_{ВО}$	m
< 0,14	40	4,5	1,0	0,05	0,05	0,03	1,5

2.2. Методика расчёта дорожных одежд

Ключевым показателем, используемым в расчёте дорожных одежд в Российской Федерации и Финляндии, является критерий упругого прогиба, характеризующий способность

конструкции выдерживать нагрузки при расчётной интенсивности движения с заданными максимальными параметрами колеи [10], [15].

Применяемая в практике дорожного строительства методика расчёта нежёстких дорожных одежд [15] имеет ряд недостатков. В частности, она рассчитана на изначально высокую интенсивность движения с постоянством нагрузки во все сезоны. На лесных дорогах интенсивность движения достаточно низка, нагрузки на ось значительны, поэтому важно обеспечить эффективную эксплуатацию, учитывая сезонный фактор.

Оценивая опыт строительства и эксплуатации лесных дорог в Финляндии и Республике Карелия, предлагается следующая методика определения требуемого модуля упругости дорожной одежды [10], [11].

Определим требуемый модуль упругости (МПа) при количестве приложений нагрузки от осей с нагрузкой 100 кН (N) в период избыточного увлажнения от 100 до 1000:

$$E_{ГР} = 16 \cdot \ln(N) - 18,44. \quad (1)$$

При расчёте двухслойных дорожных одежд воспользуемся методом эквивалентного слоя, двигаясь от земляного полотна, постепенно охватывая вышележащие слои.

Эквивалентная толщина слоя «земляное полотно + основание дорожной одежды» [15], [16] определится из выражения

$$h_{Э(ЗПО)} = 2 \cdot h_{Оср} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_О}{6 \cdot E_{ГР}}}, \quad (2)$$

где $E_О$ — модуль упругости материала основания дорожной одежды, МПа; $E_{ГР}$ — модуль упругости грунта земляного полотна, МПа.

Принимаем расчётную группу автомобилей A_1 , давление на поверхность проезжей части $p = 0,6$ МПа, диаметр эквивалентного круга в статике $D = 0,33$ м. Исходя из этого, эквивалентный модуль упругости слоя «земляное полотно + основание дорожной одежды» определим по формуле [15], [16]

$$E_{Э(ЗПО)} = \frac{\left(1,05 - 0,1 \cdot \frac{h_{Оср}}{D} \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{E_{ГР}}{E_О}}\right)\right) \cdot E_О}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{ГР}}{E_О}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot h_{Э(ЗПО)}}{D}\right) + \frac{E_О}{E_{ГР}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg \frac{D}{h_{Э(ЗПО)}}}. \quad (3)$$

Эквивалентная толщина слоя «земляное полотно + основание + покрытие дорожной одежды» определится из выражения [16]

$$h_{Э(ЗПО)} = 2 \cdot h_{Пср} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_П}{6 \cdot E_{Э(ЗПО)}}}. \quad (4)$$

Определяем фактический модуль упругости неармированной дорожной одежды [16]:

$$E_{\phi} = \frac{\left(1,05 - 0,1 \cdot \frac{h_{\text{Пср}}}{D} \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\frac{E_{\text{Э(ЗПО)}}}{E_{\text{П}}}}\right)\right) \cdot E_{\text{П}}}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{\text{Э(ЗПО)}}}{E_{\text{П}}}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot h_{\text{Э(ЗПО)}}}{D}\right) + \frac{E_{\text{П}}}{E_{\text{Э(ЗПО)}}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg \frac{D}{h_{\text{Э(ЗПО)}}}}. \quad (5)$$

Определяем коэффициент усиления дорожной одежды за счёт использования геосинтетического материала (геосетки) [16]:

$$\alpha_5 = (a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_{11} \cdot X_1^2 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{22} \cdot X_2^2 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{33} \cdot X_3^2)^{-1}, \quad (6)$$

где $X_1 = \frac{(h_{\text{Пср}} + h_{\text{Оср}})}{D}$, $X_2 = \frac{E_{\text{ГР}}}{1100}$, $X_3 = \frac{E_{\text{П}} \cdot h_{\text{Пср}} + E_{\text{О}} \cdot h_{\text{Оср}}}{1100 \cdot (h_{\text{Пср}} + h_{\text{Оср}})}$; $\alpha_0 = 0,410036$,

$\alpha_1 = 0,392461$, $\alpha_2 = 0,32715$, $\alpha_3 = 0,837741$, $\alpha_{11} = -0,0724632$, $\alpha_{12} = -0,243104$, $\alpha_{13} = -0,340423$, $\alpha_{22} = -2,16618$, $\alpha_{23} = -0,226336$, $\alpha_{33} = -0,262463$.

Модуль упругости армированной дорожной одежды определится из выражения [16]

$$E_{\text{ГР}}^{\text{V}} = \alpha_5 \cdot E_{\phi}. \quad (7)$$

В соответствии с требованиями ОДН [15] конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надёжности по величине упругого прогиба при условии

$$E_{\phi} \geq E_{\text{ТР}} \cdot K_{\text{ПР}}^{\text{ТР}}, \quad (8)$$

где $E_{\text{ТР}}$ — минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа, $K_{\text{ПР}}^{\text{ТР}}$ — требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, при уровне надёжности $0,9$ $K_{\text{ПР}}^{\text{ТР}} = 1,06$.

2.3. Расчёт потребного объёма материалов дорожной одежды

Определение потребного объёма материала покрытия дорожной одежды (м^3) осуществляется на основе нижеприведённой зависимости

$$V_{\text{П}} = \left[(B + 2c) \cdot h_{\text{Пср}} + m \cdot \frac{\left(h_{\text{Пср}} - \frac{\left(\frac{B}{2} + c \right)}{2} \cdot (i_{\text{П}} - i_{\text{ВО}}) \right)^2}{2} \right] K_{\text{УП}} \cdot K_{\text{П}} \cdot L, \quad (9)$$

где $K_{y\Pi}$ — коэффициент относительного уплотнения материала, $K_{y\Pi} = 1,02$; K_{Π} — коэффициент транспортных потерь материала, $K_{\Pi} = 1,03$, L — длина участка, $L = 1000$ м.

Расчёт объёма материала основания дорожной одежды производится по формуле

$$V_O = \left[(B + 2c) \cdot h_{Ocp} + m \cdot \left\{ \left(h_{\Pi cp} + h_{Ocp} - \frac{\left(\frac{B}{2} + c\right)}{2} \cdot (i_{\Pi} - i_{3\Pi}) \right)^2 - \left(h_{\Pi cp} - \frac{\left(\frac{B}{2} + c\right)}{2} \cdot (i_{\Pi} - i_{BO}) \right)^2 \right\} \right] K_i \cdot K_{\Pi} \cdot L, \quad (10)$$

2.4. Оптимизация конструкции дорожной одежды

Введение в основание дорожной одежды геосинтетических материалов увеличивает её стоимость. Вместе с тем это позволяет нам снизить толщины слоёв покрытия и основания, т. е. минимизировать объём дорожно-строительных материалов и затрат на их доставку.

Ресурсный эффект определяется по формуле как разница между объёмом материалов основания и покрытия дорожной одежды до введения геоматериала и после:

$$V_{\Delta} = (V_O - V_{Oy}) + (V_{\Pi} - V_{\Pi y}). \quad (11)$$

Экономический эффект от принимаемых решений выразится в итоговой стоимости возведения дорожной одежды:

$$C_{\Delta} = C_O (V_O - V_{Oy}) + C_{\Pi} (V_{\Pi} - V_{\Pi y}) - S_y \cdot C_y, \quad (12)$$

где C_O — стоимость 1 м^3 материала основания дорожной одежды, руб., S_y — площадь укрепления, м^2 , C_y — стоимость геоматериала, руб./ м^2 .

Воспользуемся пакетом анализа данных Microsoft Excel для поиска оптимального решения. Целевая функция определяет стоимость дорожной одежды ($C_{до}$) и должна быть минимальна. Изменяемыми параметрами выступают толщины слоёв покрытия и основания дорожной одежды.

3. Результаты

Для расчёта примем следующую конструкцию дорожной одежды: грунт земляного полотна — суглинок с модулем упругости 29 МПа, слой основания дорожной одежды из щебёночно-гравийно-песчаной смеси с модулем упругости 180 МПа, слой покрытия дорожной одежды из щебёночно-гравийно-песчаной смеси с модулем упругости 265 МПа [15]. Количество приложений нагрузки в периоды избыточного увлажнения варьируем от 100 до 1000.

Исходя из стоимости материала основания дорожной одежды 850 руб./ м^3 , покрытия дорожной одежды 1000 руб./ м^3 и используя вышеприведённую методику, определяем минимальные толщины конструктивных слоёв дорожной одежды. Результаты представлены в таблице 2.

В целях увеличения прочностных свойств дорожной одежды и экономии дорожно-строительных материалов введём в конструкцию геосинтетический материал (стоимость 100 руб./м²). Результаты расчётов армированной дорожной одежды представлены в таблице 3.

Таблица 2. Параметры оптимальной конструкции дорожной одежды без геоматериала

Table 2. The parameters of the optimal design of the road surface without geomaterial

Параметр	Количество приложений нагрузки									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$h_{Пср}$, м	0,075	0,075	0,075	0,104	0,131	0,145	0,155	0,163	0,170	0,176
$h_{Оср}$, м	0,095	0,159	0,196	0,185	0,170	0,167	0,168	0,169	0,170	0,172
E_{ϕ} , МПа	58,56	70,31	77,19	82,07	85,85	88,95	91,56	93,82	95,82	97,61
$V_{П}$, м ³	517	517	517	719	910	1008	1080	1137	1186	1228
$V_{О}$, м ³	666	1139	1423	1352	1245	1234	1241	1253	1267	1282
$C_{ДО}$, тыс. руб.	1083	1485	1726	1869	1968	2057	2135	2203	2263	2317

Таблица 3. Параметры оптимальной конструкции армированной дорожной одежды

Table 3. The parameters of the optimal design of a reinforced road surface

Параметр	Количество приложений нагрузки									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$h_{Пср}$, м	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
$h_{Оср}$, м	0,075	0,075	0,075	0,097	0,119	0,136	0,151	0,164	0,177	0,188
E_{ϕ} , МПа	78,19	78,19	78,19	82,07	85,85	88,95	91,56	93,82	95,82	97,61
$V_{П}$, м ³	517	517	517	517	517	517	517	517	517	517
$V_{О}$, м ³	525	525	525	685	843	974	1079	1181	1273	1359
$C_{ДО}$, тыс. руб.	1463	1463	1463	1600	1733	1844	1934	2020	2099	2171

Рассчитаем экономию дорожно-строительных материалов от внедрения геосинтетического материала при строительстве 1000 м лесовозной автомобильной дороги (рисунок 2).

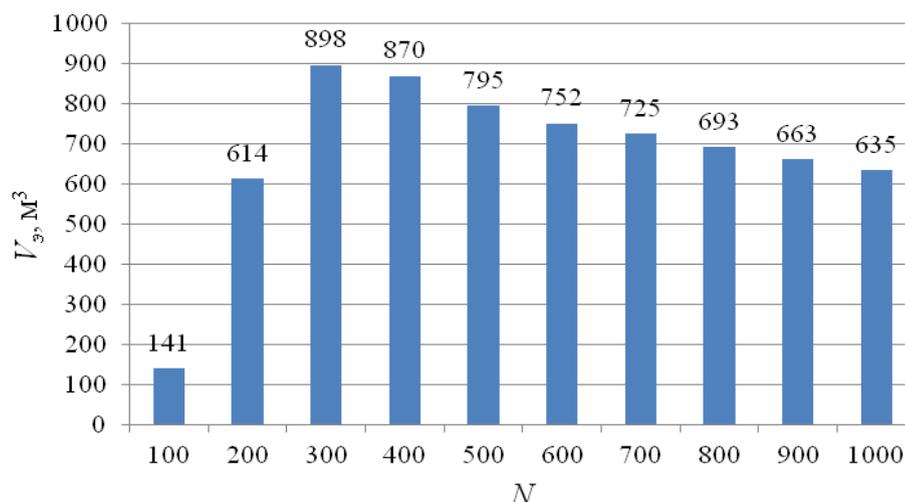


Рисунок 2. Объём экономии дорожно-строительных материалов при использовании геосинтетического материала на 1000 м лесовозной автомобильной дороги

Figure 2. The amount of saving of road-building materials when using geosynthetic material per 1000 m of logging road

При заданном уровне цен использование геосетки даёт также существенный экономический эффект (рисунок 3).

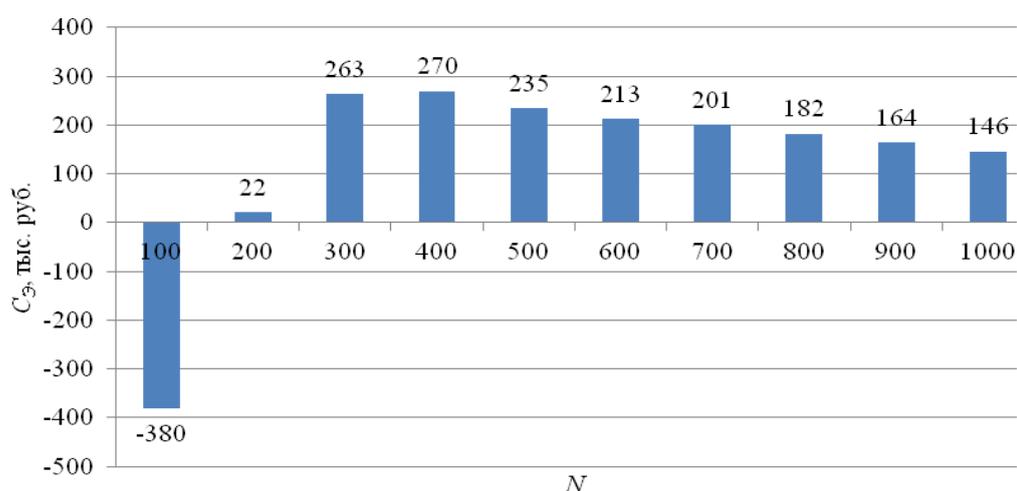


Рисунок 3. Экономический эффект от использования геосинтетического материала на 1000 м лесовозной автомобильной дороги

Figure 3. Economic effect of using geosynthetic material per 1000 m of logging road

4. Обсуждение и заключение

Предлагаемая методика расчёта дорожных одежд нежёсткого типа учитывает особенности строительства и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог и позволяет осуществлять подбор оптимальных конструкций в условиях дефицита строительных материалов. Также она учитывает эффект повышения прочностных свойств конструкции дорожной одежды при использовании геосинтетических материалов (геосеток).

При использовании в качестве типовой конструкции двухслойной дорожной одежды из щебёночно-гравийно-песчаных смесей c_2 и c_7 , армированной геосинтетическим материалом (геосеткой), экономия ресурсов может составить от 12 до 46 %. При заданном в исследовании уровне цен это приводит в большинстве случаев к осязательному удешевлению конструкции дорожной одежды — до 15 %, несмотря на относительно высокую стоимость геосинтетических материалов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке международного научно-исследовательского проекта Программы ENI «Продвижение малого и среднего бизнеса в лесном секторе между Карелиями в России и Финляндии».

Список литературы

1. Прокопьев Е. А., Рослякова Н. А., Рязанцев П. А. Влияние климата на объёмы вывозки древесины в Республике Карелия // Друкерровский вестник. 2017. № 5. С. 173—185.
2. Хорошилов К. В., Катаров В. К., Гаврилов Т. А., Колесников Г. Н. Функционирование временных лесовозных дорог в зимний и межсезонный периоды (на примере Республики Карелия) // Resources and Technology. 2019. Т. 16, № 2. С. 59—75.
3. Comparison of wood harvesting methods in the Republic of Karelia Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. 2009. Vol. 120. 117 p.
4. Gerasimov Y. Y., Katarov V. K. Effect of bogie track and slash reinforcement on sinkage and soil compaction in soft terrains Croatian Journal of Forest Engineering // Croatian Journal of Forest Engineering. 2010. Vol. 31. P. 35—45.
5. Merzlyakov V. P. Physical and mechanical conditions for primary frost crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 53, No. 4. P. 221—225.
6. СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства. Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 952/пр. от 16.12.2016.
7. Федеральный закон № 33-ФЗ от 14.03.1995 «Об особо охраняемых природных территориях» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/10107990/>. (09.09.2019).
8. Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.2006 «Водный кодекс Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12147594/>. (10.09.2019).
9. Gumus S., Acar H. H., Toksoy D. Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting // Environ Monit Assess. 2008. Т. 142. P. 109—116.
10. Герасимов Ю. Ю. Лесные дороги. Йёнсуу: НИИ Леса Финляндии, 2011. 70 с.

11. Проектирование, строительство, содержание и ремонт лесных дорог: учебное пособие / В. К. Катаров, Н. В. Ковалёва, А. Н. Кочанов, В. И. Марков, А. Н. Петров, Е. И. Ратькова, Д. В. Рожин, А. В. Степанов, А. П. Соколов, В. С. Сюнёв. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. 92 с.
12. Катаров В. К., Рожин Д. В., Туюнен М. В. Расчёт стоимости строительства альтернативных участков лесовозных дорог // Транспортное дело России. 2010. № 2 (75). С. 106—111.
13. Киискинен П., Савонен Х., Томперу Т. Строительство лесной дороги. Йоэнсуу: НИИ Леса Финляндии, 2014. 52 с.
14. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации № 266 от 30.06.2012.
15. ОДН 218.046–01 Проектирование нежестких дорожных одежд. Утв. распоряжением Росавтодора № ОС-35-р от 20.12.2000.
16. ОДМ 218.5.002-2008 Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешёток) для усиления слоёв дорожной одежды из зернистых материалов. Утв. распоряжением Росавтодора № 203-р от 30.05.2008.

References

1. Prokopiev E. A., Roslyakova N. A., Ryazantsev P. A. Influence of climate on timber export volumes in the Republic of Karelia // Drucker's Bulletin. 2017. No. 5. P. 173—185. (In Russ.)
2. Khoroshilov K. V., Katarov V. K., Gavrilov T. A., Kolesnikov G. N. Functioning of temporary logging roads in winter and off-season periods (on the example of the Republic of Karelia) // Resources and Technology. 2019. Vol. 16, No. 2. P. 59—75. (In Russ.)
3. Comparison of wood harvesting methods in the Republic of Karelia Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. 2009. Vol. 120. 117 p.
4. Gerasimov Y. Y., Katarov V. K. Effect of bogie track and slash reinforcement on sinkage and soil compaction in soft terrains Croatian Journal of Forest Engineering // Croatian Journal of Forest Engineering. 2010. Vol. 31. P. 35—45.
5. Merzlyakov V. P. Physical and mechanical conditions for primary frost crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 53, No. 4. P. 221—225.
6. SP 288.1325800.2016 Forest Roads. Design and construction rules. Approved. order of the Ministry of construction and housing and communal services of the Russian Federation No. 952/PR. dated 16.12.2016. (In Russ.)
7. Federal law No. 33-FZ of 14.03.1995 «On specially protected natural territories» [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/10107990/>. (09.09.2019). (In Russ.)
8. Federal law No. 74-FZ of 03.06.2006 «Water code of the Russian Federation» [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/12147594/>. (10.09.2019). (In Russ.)
9. Gumus S., Acar H. H., Toksoy D. Functional forest road network planning by consideration of environmental impact assessment for wood harvesting // Environ Monit Assess. 2008. T. 142. P. 109—116.
10. Gerasimov Yu. Yu. Forest roads. Joensuu: Finnish Forest research Institute, 2011. 70 p. (In Russ.)
11. Design, construction, maintenance and repair of forest roads: textbook / V. K. Katarov, N. V. Kovaleva, A. N. Kochanov, V. I. Markov, A. N. Petrov, E. I. Ratkova, D. V. Rozhin, A. V. Stepanov, A. P. Sokolov, V. S. Syunev. Petrozavodsk: PetrSU Publishing house, 2014. 92 p. (In Russ.)
12. Katarov V. K., Rozhin D. V., Tуюнен M. V. Calculation of the cost of construction of alternative sections of logging roads // Transport business of Russia. 2010. No. 2 (75). P. 106—111. (In Russ.)

13. *Kiiskinen P., Savonen H., Tomperi T.* Construction of a forest road. Joensuu: Finnish Forest research Institute, 2014. 52 s. (In Russ.)
14. SP 34.13330.2012 Highways. Approved. order of the Ministry of regional development of the Russian Federation No. 266 dated 30.06.2012. (In Russ.)
15. ODN 218.046-01 Design of non-rigid road clothes. Approved. The order of Federal road Agency No. OS-35-R dated 20.12.2000 (In Russ.)
16. ODM 218.5.002-2008 Guidelines for the use of polymer geogrids (geogrids) to strengthen layers of road pavement from granular materials. Approved. The order of Federal road Agency No. 203-p dated 30.05.2008. (In Russ.)

© Катаров В. К., 2020