

**НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА КОВАЛЕВА**  
 преподаватель кафедры промышленного транспорта Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*natalya.kowalyowa2010@yandex.ru*

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Описана технология строительства лесных дорог «из канав». Предложена методика оценки прочности слоев возводимого дорожного полотна на стадии проектирования. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих адекватность расчетного метода оценки прочности дорожной конструкции. Даны рекомендации по обеспечению требуемой прочности дорожного полотна на стадии строительства.

Ключевые слова: лесная дорога, почвогрунт, модуль деформации, геоматериал

Общая протяженность автомобильных дорог в лесном фонде РФ составляет 1618 тыс. км, из них 403 тыс. км приходится на лесовозные дороги. Плотность сети лесных дорог в Российской Федерации составляет 1,5 км на 1 тыс. га лесных земель (см.: Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г.).

Согласно лесному плану Республики Карелия, густота дорожной сети в республике, используемой для перевозки лесных грузов, составляет 1,84 км на 1 тыс. га. В свою очередь, для оптимального охвата лесных территорий всеми лесохозяйственными мероприятиями плотность дорог должна находиться в пределах от 5 до 10 км на 1 тыс. га (см.: Лесной план Республики Карелия. Пояснительная записка. Т. 1).

Основу лесотранспортной сети наряду с магистралями составляют лесовозные ветки, срок службы которых ограничен и составляет зачастую не более 10 лет. В этой связи затраты на проектирование и строительство таких дорог должны быть минимальными. В то же время за весь период эксплуатации лесные дороги должны обеспечивать сохранение необходимых характеристик конструкции, в частности несущей способности. Вследствие этого возникает необходимость поиска новых технологических решений при проектировании и строительстве дорожного полотна, направленных на повышение прочностных свойств конструкции с сопутствующим снижением затрат материально-технических ресурсов.

По мнению ряда зарубежных и отечественных экспертов, одним из наиболее дешевых и перспективных методов строительства является технология возведения земляного полотна из боковых и придорожных канав [2], [8]. Основным строительным материалом в этом случае является местный почвогрунт, перемещаемый экскава-

тором в тело земляного полотна из боковых канав, выполняющих роль притрассовых резервов.

В связи с использованием местного почвогрунта отсутствует необходимость в устройстве карьеров с дальнейшей их рекультивацией, что является положительным решением в экологическом аспекте строительства дороги. Также отличительной чертой технологии «из канав» является возможность строительства лесной дороги с применением лишь одной дорожно-строительной машины, в качестве которой традиционно используется одноковшовый экскаватор, работающий методом «обратной лопаты» как с неповоротным ковшом, так и с поворотным панорировочным ковшом.

Реализация данной технологии позволяет получить дорожное полотно с различными по глубине характеристиками прочности. Основной такой характеристикой является модуль общей деформации, определяющий сжимаемость конструкции. В общем случае для нижнего (базового) слоя, первоначально формируемого экскаватором, результирующий модуль деформации после завершения работ будет определяться как функция следующих составляющих:

$$F(t) = f(F_1 + \Delta F_1; F_2 + \Delta F_2), \quad (1)$$

где  $F$  – модуль общей деформации конструкции лесовозной автомобильной дороги, МПа;  $t$  – время сжимаемости почвогрунта, с;  $F_1$  – модуль деформации почвогрунта, уложенного в нижний (базовый) слой основания дорожного полотна, МПа;  $\Delta F_1$  – прирост модуля деформации почвогрунта, обусловленный воздействием экскаватора на слой основания и последующей консолидацией, МПа;  $F_2$  – модуль деформации почвогрунта, уложенного в слой дорожного покрытия, МПа;  $\Delta F_2$  – прирост модуля деформации почвогрунта, обусловленный воздействием экскаватора на слой покрытия и последующей консолидацией, МПа.

Для верхнего слоя первым компонентом формулы будет являться модуль деформации последнего уложенного в дорожное полотно слоя почвогрунта с учетом воздействия на него ковша. Дальнейший прирост модуля деформации будет обеспечен заездом экскаватора на данный слой, колебаниями машины и естественной консолидацией.

Применение данной технологии под воздействием различных факторов требует введения корректировок и адаптационных мероприятий с целью достижения требуемых прочностных характеристик объекта строительства. Влияние на конструкцию дороги могут оказывать состояние почвогрунтов в различные периоды (летний, зимний, межсезонный), его тип, физические, деформационные и прочностные свойства, а также климатические условия района строительства. Эти характеристики описаны в работах [3], [4].

Определение модуля деформации почвогрунта по зависимости (1) на поверхности дорожного полотна, а также на заданной глубине конструкции позволяет оценить несущую способность строящейся дороги на стадии ее проектирования и сравнить эту величину с нормативными значениями.

В случае несоответствия характеристик, влияющих на прочность дороги, нормативным показателям возникает необходимость введения в конструкцию дорожного полотна армирующих слоев с целью достижения требуемого модуля деформации как отдельных почвогрунтовых слоев, так и всей конструкции в целом.

Повысить прочностные свойства дороги и снизить вероятность сдвига конструкции под действием касательных напряжений, ведущих к разрушению, возможно путем применения современных геосинтетических материалов – георешеток и геотекстиля [1], [6], [7], [8]. Использование данных материалов может происходить в различных комбинациях: укладка геосетки под почвогрунтовым дорожным покрытием, укладка того же материала на подготовленное почвогрунтовое основание с последующей отсыпкой рабочего слоя почвогрунта и т. д.

Армирование дорожной одежды различного рода геоматериалами позволяет не только усилить конструкцию дороги, но и приводит к существенной экономии дорожно-строительного материала, уменьшению толщины возводимых слоев, что способствует снижению объемов зем-

ляных работ, а также препятствует проникновению влаги в тело земляного полотна и смешиванию слоев материалов.

Таким образом, использование методики, основанной на применении зависимости (1) с введением в нее конкретных значений модулей деформации почвогрунта и их прироста, делает возможным на стадии планирования запроектировать дорогу с требуемыми свойствами.

С целью оценки адекватности получаемой расчетной величины, а именно расчетных модулей деформации почвогрунта и их прироста и, соответственно, модуля деформации  $F(t)$ , нами был проведен полевой эксперимент.

На специально возведенном экспериментальном участке лесовозной ветки, расположенной на территории учебного и научно-исследовательского комплекса «Лесная дорога» в Инновационно-технологическом кампусе ПетрГУ, по описанной выше технологии «из канав» [2] был произведен забор образцов почвогрунта на различных участках дороги с поверхности дорожной конструкции и на заданной глубине с их дальнейшим исследованием в лаборатории.

Отбор почвогрунтовых образцов происходил на четырех участках лесовозной ветки, для каждого из которых в соответствии с ГОСТ 25100-2012 «Грунты. Классификация» были определены физические характеристики, состояние и тип почвогрунта (1-й участок – песок; 2-й участок – супесь в твердом состоянии; 3-й участок – твердый суглинок; 4-й участок – суглинок текучий). Необходимое число измерений было определено согласно известной методике [5].

Все виды работ, связанные с изготовлением, отбором, упаковкой, транспортированием, хранением и подготовкой к непосредственным испытаниям образцов почвогрунтов, были проведены с учетом требований ГОСТ 30416-2012 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения», а также ГОСТ 12071-2000 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов».

Результаты определения физических характеристик почвогрунта приведены в табл. 1.

Испытания почвогрунта на деформируемость проводились методом компрессионного сжатия по ГОСТ 12248-2010 в одометрах (компрессионных приборах), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой. Значения фактических

Таблица 1

Результаты определения физических характеристик почвогрунта

Физическая характеристика	Единица измерения	Значение			
		1-й участок	2-й участок	3-й участок	4-й участок
Плотность, $\rho$	г/см <sup>3</sup>	1,79	1,90	1,94	1,96
Влажность, $W$	%	12,41	12,06	19,21	16,90
Число пластичности, $I_p$	%	–	4,19	7,82	8,15
Показатель текучести, $I_L$	д. е.	–	-0,53	-0,20	1,16
Плотность скелета, $\rho_s$	г/см <sup>3</sup>	1,59	1,70	1,63	1,69
Коэффициент пористости, $e$	д. е.	0,67	0,58	0,66	0,60
Пористость, $n$	д. е.	0,41	0,38	0,40	0,38
Тип грунта	–	песок	супесь	суглинок	суглинок

модулей деформации грунта для каждого из участков приведены в табл. 2.

**Таблица 2**  
Значения фактических модулей деформации  $F^{\Phi}$  почвогрунтов на опытных участках лесовозной ветки

№ участка дороги и тип почвогрунта	Расчетный модуль деформации $F^{\Phi}_{\text{расч}}$ , МПа	Модуль деформации, полученный экспериментальным путем $F^{\Phi}_{\text{ЭКС}}$ , МПа
1-й участок; песок	25,48	23,95
2-й участок; супесь	24,46	22,01
3-й участок; суглинок	22,42	20,59
4-й участок; суглинок	22,42	21,40

Как видно из табл. 2, расхождение значений расчетного фактического модуля деформации

и того же параметра, определенного экспериментальным путем, не превышает 3–16 %, что является весомым аргументом для рекомендации по применению методики оценки прочности конструкции дорожного полотна, основанной на расчетной зависимости (1), на стадии проектирования.

Исследования показали, что посредством сочетания применения технологии возведения «из канав», учета всех влияющих факторов на стадию строительства объекта и мер по их оптимизации, а также используя методику, основанную на зависимости (1), можно определить фактический модуль деформации почвогрунта и при необходимости корректировать его величину на этапе проектирования дороги, добиваясь требуемых нормативных показателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Герасимов Ю.Ю., Катаров В.К. Лесные дороги. Йоэнсуу, 2009. 70 с.
- Катаров В.К., Ковалева Н.В., Коchanov А.Н., Марков В.И., Петров А.Н., Ратькова Е.И., Рожин Д.В., Степанов А.В., Соколов А.П., Сунев В.С. Проектирование, строительство, содержание и ремонт лесных дорог: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. 92 с.
- Ковалева Н.В., Катаров В.К., Ратькова Е.И. Исследование влияния циклов «замораживание – оттаивание» на характеристики лесных почво-грунтов, используемых при строительстве лесных дорог // I Европейский лесопромышленный форум молодежи (15–17 мая 2014 г.): Материалы междунар. научно-техн. конф. Воронеж: ВГЛТА, 2014. С. 176–180.
- Ратькова Е.И., Катаров В.К., Ковалева Н.В. Уплотнение оснований лесных дорог на глинистых грунтах в межсезонные периоды // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2015. № 4 (149). С. 95–97.
- Редкин А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: Учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 256 с.
- Karjalainen T., Leinonen T., Gerasimov Y. Intensification of forest management and improvement of wood harvesting in Northwest Russia – Final report of the research project. Metlan työraportteja / Husso M. & Karvinen S. (eds.). Working // Papers of the Finnish Forest Research Institute 110. Joensuu: Metla, 2009. 151 p.
- Metsätaloustutkimustieto vuosikirja. 2008.
- Ryan T., Phillips H., Ramsay J. and Dempsey J. Forest Road Manual. Guidelines for the design, construction and management of forest roads / Publ. by COFOR; National Council for Forest Research and Development, Belfield, Dublin 4, Ireland, 2004. 156 p.

**Kovaleva N. V.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### FAILURE CRITERION SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL DECISIONS IN FOREST ROAD CONSTRUCTION

A method of forest road construction “from road furrows” is described in the article. A technique estimating the strength of the roadbed layers at the project stage of forest road construction is proposed. Experimental results substantiating the use of the recommended validation model aimed at the assessment of the roadbed layers’ strength are provided. Recommendations assisting in the provision of the necessary strength of the roadbed layers are presented.

Key words: forest road, soil and subsoil, stress-strain modulus, geo materials

#### REFERENCES

- Gerasimov Yu. Yu., Katarov V. K. *Lesnye dorogi* [Forest road]. Joensuu, 2009. 70 p.
- Katarov V. K., Kovaleva N. V., Kochanov A. N., Markov V. I., Petrov A. N., Rat'kova E. I., Roshchin D. V., Stepanov A. V., Sokolov A. P., Sunev V. S. *Proektirovanie, stroitel'stvo, soderzhanie i remont lesnykh dorog* [Design, construction, maintenance and reconditioning of forest roads]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2014. 92 p.
- Kovaleva N. V., Katarov V. K., Rat'kova E. I. Analysis of “freezing and defrosting” effect on wood soils’ characterization data used in forest road construction [Issledovaniye vliyaniya tsiklov “zamorazhivaniye – ottaivanie” na kharakteristiki lesnykh pochvo-gruntov, ispol'zuemykh pri stroitel'stve lesnykh dorog]. I Evropeyskiy lesopromyshlennyj forum molodezhi (15–17 maya 2014 g.): Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii [Materials of international scientific and technical conference “First European forest forum of youth”]. Voronezh, 2014. P. 176–180.
- Rat'kova E. I., Katarov V. K., Kovaleva N. V. Groundwork base consolidation of forest roads built on clay soils during interseasonal periods [Uplotnenie osnovaniy lesnykh dorog na gliniystikh gruntakh v mezhszonnye periody]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. “Estestvennye i tekhnicheskie nauki” [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2015. № 4 (149). P. 95–97.
- Red'kin A. K. *Osnovy modelirovaniya i optimizatsii protsessov lesozagotovok: Uchebnik dlya vuzov* [Basics of the modeling process and optimization in forest harvesting]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 256 p.
- Karjalainen T., Leinonen T., Gerasimov Y. Intensification of forest management and improvement of wood harvesting in Northwest Russia – Final report of the research project. Metlan työraportteja / Husso M. & Karvinen S. (eds.). Working // Papers of the Finnish Forest Research Institute 110. Joensuu: Metla, 2009. 151 p.
- Metsätaloustutkimustieto vuosikirja. 2008.
- Ryan T., Phillips H., Ramsay J. and Dempsey J. Forest Road Manual. Guidelines for the design, construction and management of forest roads / Publ. by COFOR; National Council for Forest Research and Development, Belfield, Dublin 4, Ireland, 2004. 156 p.

Поступила в редакцию 07.09.2015