

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6323

УДК 630.383

Статья

## Особенности районов строительства лесовозных автомобильных дорог

**Сапелкин Роман Сергеевич**

*экстерн, Воронежский государственный университет инженерных технологий  
(Российская Федерация), [sapelrs90@mail.ru](mailto:sapelrs90@mail.ru)*

**Меерсон Вера Эдуардовна**

*кандидат технических наук, доцент кафедры корпоративных информационных систем и программирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий  
(Российская Федерация), [meerson@yandex.ru](mailto:meerson@yandex.ru)*

**Меерсон Мария Владимировна**

*экстерн, Воронежский государственный университет инженерных технологий  
(Российская Федерация), [marivladresh@yandex.ru](mailto:marivladresh@yandex.ru)*

**Скрыпников Алексей Васильевич**

*доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности,  
Воронежский государственный университет инженерных технологий  
(Российская Федерация), [skrypnikovvsafe@mail.ru](mailto:skrypnikovvsafe@mail.ru)*

**Казачек Мария Николаевна**

*аспирант, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова  
(Российская Федерация), [kaza4yok-marya@ya.ru](mailto:kaza4yok-marya@ya.ru)*

*Получена: 15 апреля 2022 / Принята: 9 сентября 2022 / Опубликовано: 15 сентября 2022*

---

**Аннотация:** Авторами рассматривается расчёт промерзания грунтов и зимнего влагонакопления при строительстве лесовозных автомобильных дорог. Приведены физико-технические показатели лёгкой супеси с учётом оттепелей, рекомендованы значения процента обеспеченности и переходного коэффициента для категорий дорог. Произведён анализ многолетнего статистического наблюдения за температурным режимом на устойчивость земляного полотна. Рассмотрено распределение температуры грунта по глубине, влияние величины влагонакопления в земляном полотне. Приведены таблицы амплитуды колебания температуры воздуха и грунта на разных глубинах. Определена необходимость регулирования водного и температурного режимов дорожных конструкций.

Для установления расчётных глубин промерзания грунтов земляного полотна лесовозных автомобильных дорог применён метод «аналога», который заключается в сопоставлении параллельных наблюдений за глубиной промерзания под снежным покровом и без него. Рассмотрены климатические условия Новгородской области и определено, что в данных климатических условиях создаются неблагоприятные условия для нормального протекания водно-тепловых процессов в грунтах земляного полотна и дорожных одеждах лесовозных автомобильных дорог. Переувлажнение грунтов земляного полотна приводит к уменьшению прочности дорожных одежд, которые под действием лесовозных автопоездов частично или полностью разрушаются. Для улучшения протекания водно-тепловых процессов предложено предусматривать инженерные мероприятия, способствующие регулированию как водного, так и температурного режимов дорожных конструкций.

**Ключевые слова:** амплитуда колебания температуры воздуха и грунта на разных глубинах, разность температур верхних слоёв грунта и воздуха, глубина промерзания, переходный коэффициент

---

DOI: 10.15393/j2.art.2022.6323

Article

## Features of regions for forest roads construction

### **Roman Sapelkin**

*external student of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation), [sapelrs90@mail.ru](mailto:sapelrs90@mail.ru)*

### **Vera Meerson**

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the corporate information systems and programming department of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation), [meerson@yandex.ru](mailto:meerson@yandex.ru)*

### **Maria Meerson**

*external student of the Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation), [marivladresh@yandex.ru](mailto:marivladresh@yandex.ru)*

### **Aleksey Skrypnikov**

*Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies (Russian Federation), [skrypnikovvsafe@mail.ru](mailto:skrypnikovvsafe@mail.ru)*

### **Maria Kazachek**

*post-graduate student of the automotive faculty, Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozova (Russian Federation), [kaza4yok-marya@ya.ru](mailto:kaza4yok-marya@ya.ru)*

*Received: 15 April 2022 / Accepted: 9 September 2022 / Published: 15 September 2022*

---

**Abstract:** The authors calculated soil freezing and winter moisture accumulation during the construction of logging roads. The physical and technical indicators of light sandy loam are given in regard to thaws, and the values of the availability index and the transition coefficient for road categories are recommended. The authors analyzed the long-term statistical observation of the temperature regime for the subgrade stability. They also considered the distribution of soil temperature in depth, the influence of the amount of moisture accumulation in the subgrade. Tables of the amplitude of fluctuations in air and soil temperatures at different depths are given. The authors note that regulation of the water and temperature regimes of road structures is required. To establish the estimated depths of freezing of subgrade soils of logging roads, the

“analogue” method was used to compare parallel observations of the freezing depth under and without snow cover. The climatic conditions of the Novgorod region were considered and it is determined that in these climatic conditions unfavorable conditions are created for the normal course of water-thermal processes in the subgrade soils and logging roads base. Waterlogging of subgrade soils leads to a decrease in the strength of road base resulting in its partial or complete destruction by timber tracks. To improve the water-thermal processes behavior the authors propose to arrange engineering measures that contribute to the regulation of both water and temperature regimes of road structures.

**Keywords:** amplitude of air and soil temperature fluctuations at different depths, temperature difference between the upper layers of soil and air, freezing depth, transition coefficient

---

## 1. Введение

По естественно-историческим условиям территория Новгородской области неоднородна. Климатические и геологические изменения в прошлом определили особенности рельефа, состава и строения грунтообразующих пород, географии и гидрологии её частей.

Средние температуры января колеблются до  $-8,2^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура самого тёплого месяца (июль)  $+19,5^{\circ}\text{C}$ . Годовые амплитуды температур воздуха составляют  $23^{\circ}\text{C}$ .

Зима начинается с 13—22 ноября и продолжается 130—140 дней. Наиболее низкие температуры достигают до  $-34^{\circ}\text{C}$ . Зима богата оттепелями, часто длительными. В декабре и феврале на каждые три дня приходится один день оттепелей. Обычно зима заканчивается в конце марта — в первой декаде апреля. Температура воздуха весной быстро растёт, достигая  $+15^{\circ}$  и  $+28^{\circ}\text{C}$ . Снег тает интенсивно, что вызывает обильный поверхностный сток.

Лето по продолжительности является вторым длинным сезоном года. Его продолжительность 105—119 дней. По средним многолетним данным, лето является умеренно-тёплым и достаточно влажным. Среднемесячные температуры повышаются до  $+38^{\circ}\text{C}$ . Июль — самый тёплый месяц ( $+17—19^{\circ}\text{C}$ ). Лето характеризуется наименьшей облачностью.

Осень начинается с 4—14 сентября. Продолжительность её составляет 70—73 дня. Когда средняя суточная температура переходит через ноль, размокший грунт начинает замерзать, и осень переходит в зиму.

Температурный режим Новгородской области характеризуется постепенным понижением температуры воздуха с юго-запада на северо-восток. Так, колебания среднегодовых температур воздуха составляют от  $7,4$  до  $4,4^{\circ}\text{C}$ . Частые оттепели формируют неблагоприятный водно-тепловой режим, т. к. создаются условия для накопления дополнительной влаги в земляном полотне автомобильных лесовозных дорог. В метеорологии различают три типа оттепелей: адвективные, связанные с общим повышением температуры воздуха; радиационные, вызываемые действием солнечной радиации, и смешанные. Среднее количество дней с оттепелями составляет 62—102 за зиму.

## 2. Материалы и методы

Анализ статистических многолетних наблюдений за температурным режимом показал, что на устойчивость земляного полотна оказывают влияние лишь продолжительные оттепели (более 5 суток), связанные с общим повышением температуры воздуха.

Количество дней с оттепелями, которое следует учитывать при расчёте промерзания грунтов и зимнего влагонакопления в них, колеблется на территории Новгородской области от 8 до 25 дней. Повторяемость таких зим происходит с периодом 14 лет для юго-западных районов и 10—12 лет для северо-восточных районов [16].

Результаты наблюдений на опытных участках показывают, что за счёт продолжительных зимних оттепелей относительная влажность грунтов земляного полотна, в зависимости

от природных и конструктивных особенностей участков дорог, увеличивается на 0,10—0,35 без учёта увеличения влажности в первый период промерзания. В таблице 1 в качестве примера приведены физико-технические характеристики лёгкой пылеватой супеси в зависимости от продолжительности оттепелей.

**Таблица 1.** Физико-технические показатели лёгкой супеси с учётом оттепелей

**Table 1.** Physical and technical parameters of light sandy loam with regard to thaws

Число дней с оттепелями	$W_{отн}$	h, см	E кг/см <sup>2</sup>	c, кг/см <sup>2</sup>	$\varphi$ , град
Сухие места					
5	0,8	2,5	240	0,10	13
10	0,82	3,6	230	0,09	12
15	0,82	3,6	230	0,09	12
20	0,84	4,5	220	0,08	11
25	0,86	5,4	210	0,07	11
Сырые места					
5	0,85	5,0	210	0,07	11
10	0,88	5,8	205	0,06	11
15	0,90	7,0	200	0,05	10
20	0,93	8,6	190	0,04	9
25	0,95	9,2	180	0,03	8
Мокрые места					
5	0,9	7,0	200	0,05	10
10	0,92	8,4	190	0,04	9
15	0,85	9,2	180	0,03	8
20	0,98	12,6	170	—	—
25	1,0	17,0	160	—	—

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что при расчёте дорожных одежд нежёсткого типа для районов Новгородской области необходимо учитывать оттепели, которые способствуют увеличению влагонакопления в грунтах земляного полотна.

Температура грунта существенно влияет на величину влагонакопления в земляном полотне. Большой интерес представляет температурный режим грунтов по глубине для строителей, дорожников, сельского хозяйства и других отраслей промышленности [32], [46].

Температура верхних слоёв грунта всецело зависит от температуры воздуха, но большое влияние на температурный режим грунтов оказывают механический состав и тип грунта, его

влажность, цвет и другие свойства. Однако влияние этих факторов ещё недостаточно изучено.

В таблице 2 приведены данные разности между температурой верхних слоёв грунта и воздуха в летний период.

**Таблица 2.** Разность между температурами верхних слоёв грунта и воздуха ( $t^{\circ}$ )

**Table 2.** The difference between the temperatures of the upper layers of soil and air ( $t^{\circ}$ )

Грунт	Месяцы					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
Глубина 0,05 м						
Супесчаный	1,6	2,2	2,6	1,8	1,2	0,5
Суглинистый	0,6	1,3	2,0	1,3	1,0	0,5
Торф	-0,4	0,8	1,2	1,0	1,0	0,4
Глубина 0,1 м						
Супесчаный	1,2	2,0	2,3	1,8	1,2	0,5
Суглинистый	0,2	0,9	1,5	1,0	0,9	0,5
Торф	-1,0	0,3	0,6	0,5	0,4	0,4

Из таблицы 2 видно, что средняя месячная температура поверхности грунта в летнее время отличается от того же показателя температуры воздуха. Данная разность уменьшается в зимний период.

Представляет интерес распределение температуры грунта по глубине. Температура грунта гораздо более устойчива, чем температура воздуха, и устойчивость её повышается с глубиной. Об этом свидетельствует амплитуда колебания (разность между максимальной и минимальной температурами) на разных глубинах (таблица 3).

Температура грунта на больших глубинах, так же, как и на малых, зависит от механического состава грунта.

Летом супесчаный грунт самый тёплый, на 2—3 °С теплее суглинистого, а зимой более тёплый грунт суглинистый, как более влажный; то же самое наблюдается в супесчаных грунтах и торфах.

**Таблица 3.** Амплитуда колебания температуры воздуха и грунта на разных глубинах

**Table 3.** Amplitude of air and soil temperature fluctuations at different depths

Глубина, м	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Амплитуда колебания температуры, °С											
В воздухе	44	46	55	45	39	36	33	37	36	47	55	47
0,2	10	12	19	19	17	17	18	14	16	13	12	17
0,4	9	9	13	15	12	12	9	8	11	10	9	15
0,8	5	4	7	11	9	9	5	4	4	7	6	8
1,6	3	3	3	6	6	8	4	3	4	5	5	6
3,2	3	2	2	3	3	4	3	2	2	2	3	3

Глубина промерзания грунтов является важным показателем, определяющим водно-тепловой режим дорог. Она зависит от многих факторов: от состава и влажности грунта, высоты снежного покрова, рельефа местности, температуры грунта, гидрологических условий и др. [4], [7].

Как указывалось выше, существенным фактором, влияющим на глубину промерзания грунтов, является снежный покров. При большом снежном покрове (более 15 см) глубина промерзания резко уменьшается при одной и той же интенсивности морозов. В результате исследований выявлено, что разность глубины промерзания грунтов между оголёнными участками и участками, покрытыми снегом, находилась в пределах от 3 до 69 см.

Вопросами определения глубины промерзания грунтов и теплофизическими процессами, происходящими при этом, занимались многие учёные и исследователи. Предложено немало формул, по которым можно определить глубину промерзания грунта [10], [13].

Для установления расчётных глубин промерзания грунтов земляного полотна лесовозных автомобильных дорог нами использован метод «аналога», который заключается в сопоставлении параллельных наблюдений за глубиной промерзания под снежным покровом и без него.

В результате проведённых исследований получен переходный коэффициент, позволяющий определить глубину промерзания грунта, оголённого от снежного покрова при известной глубине промерзания под снегом. Переходный коэффициент колеблется в пределах от 1,7 до 2,3.

Переходный коэффициент  $k_n$  и процент обеспеченности следует принимать в зависимости от категории дороги. Для автомобильных лесовозных дорог рекомендуются следующие их значения (таблица 4, рисунок).

**Таблица 4.** Рекомендуемые значения процента обеспеченности и переходного коэффициента

**Table 4.** Recommended values of the availability index and the transition coefficient

Категория дороги	Процент обеспеченности	Коэффициент перехода
1	5	1,82
2	10	1,92
3	20	2,04

Существенным фактором, влияющим на величину влагонакопления и прочность земляного полотна, является скорость промерзания и оттаивания. Установлено, что скорость промерзания по оси дороги 1,2—2,2, на обочине 0,8—1,8 см/сут. при продолжительности периода промерзания около 125 сут. Скорость оттаивания по оси 2,5—3,8, а на обочине 1,8—3,4 см/сут.

Снежный покров на территории Новгородской области, где зима длится около четырёх месяцев, является фактором, существенно влияющим на формирование климата в зимний и осенний периоды. Он определяет водно-тепловой режим лесовозных автомобильных дорог и оказывает существенное влияние на температурный режим и промерзание почвы. В малоснежную тёплую зиму глубина промерзания была значительно больше, чем в холодную с высоким снежным покровом [1], [11], [13], [16].

Снежный покров в Новгородской области появляется в течение декабря. В то же время наблюдались зимы, когда снежный покров устанавливался в середине или в конце января. Высота снежного покрова всецело зависит от устойчивости отрицательных температур и количества осадков на зимний период. Средняя высота из наибольших декадных высот снежного покрова на защищённых от ветра местах колеблется от 20 см на юго-западе до 45 см на северо-востоке. На открытых полях и лугах высота снежного покрова на 5—10 см меньше. В таблице 5 приведены данные по высоте снежного покрова.

В отдельные годы могут наблюдаться значительные отклонения от средней многолетней высоты снежного покрова. Данные таблицы 5 показывают, в каких пределах может колебаться высота снежного покрова.

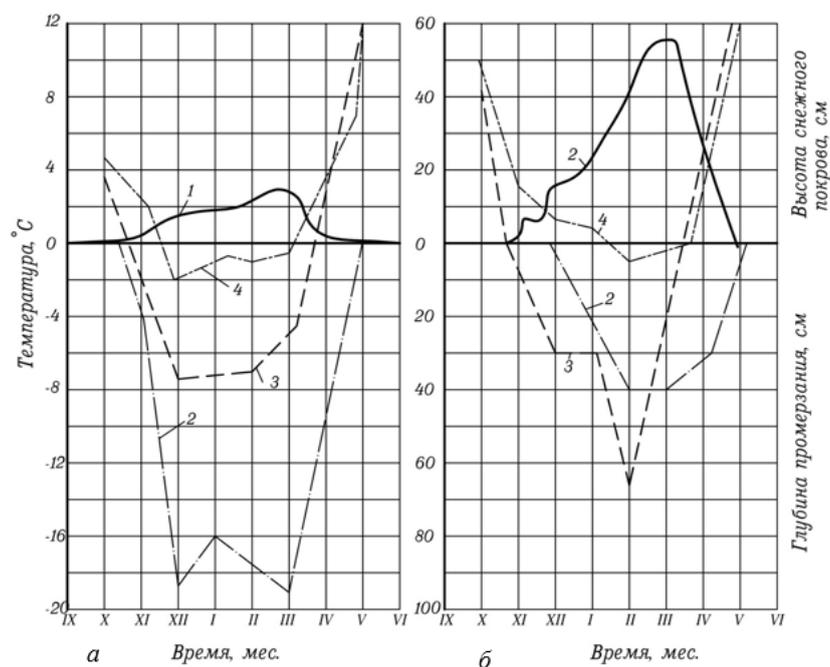
Снеготаяние начинается в начале марта, а к концу марта уже на всей территории Новгородской области устойчивый снежный покров разрушается. Число дней со снежным покровом в среднем за зиму составляет 70—90 дней.

Плотность снега постепенно увеличивается в течение зимы от 0,10—0,15 г/см<sup>3</sup> в начале до 0,30—0,40 г/см<sup>3</sup> в конце зимы.

**Таблица 5.** Наибольшая за зиму декадная высота снежного покрова различной обеспеченности

**Table 5.** The highest ten-day height of snow cover of various levels of coverage during the winter

Средняя, см	Минимум, см	Обеспеченность высоты указанной и большей, %							Максимум, см
		95	92	75	50	25	10	5	
45	15	18	22	32	45	58	73	78	90
40	12	15	18	27	40	51	66	73	85
35	9	12	15	23	34	46	60	67	80
30	6	9	12	19	29	39	53	60	72
25	5	6	9	15	24	33	45	52	63
20	3	4	7	11	19	27	37	42	50
15	2	2	5	8	14	22	18	32	37
10	1	1	3	4	8	15	19	20	25



**Рисунок.** Глубина промерзания почвы: *а* — в малоснежную зиму; *б* — в многоснежную зиму; *1* — высота снежного покрова; *2* — глубина промерзания; *3* — температура воздуха; *4* — температура почвы

**Figure 1.** The depth of soil freezing a) – during dry winter; b) – during snowy winter; 1 – the height of the snow cover; 2 - the depth of freezing; 3 – air temperature; 4 – soil temperature

Представляет интерес запас воды в снежном покрове, т. к. он оказывает существенное влияние на влажность грунтов и дорожно-строительных материалов. В результате обработки многолетних данных метеостанций разработана схематическая карта распределения запаса воды в снежном покрове по территории области. В лесу и на лесных полянах запас воды в снегу обычно больше на 15—40 мм, чем в поле [2—6], [14]. Запас воды в снегу от года к году может значительно меняться.

### 3. Результаты

Атмосферные осадки на территории Новгородской области выпадают неравномерно, т. к. на их распределение большое влияние оказывают не только общециркуляционные факторы, но и высота места, форма рельефа, наличие лесных массивов, водоёмов и речных долин. С высотой увеличивается и количество осадков. Их количество уменьшается с северо-запада на юго-восток [13], [15], [16].

В Новгородской области в среднем за год выпадает от 540 до 700 мм атмосферных осадков. В отдельные годы количество осадков значительно отклоняется от средних многолетних данных.

Для решения дорожных и транспортных задач необходимо знать вид осадков. В среднем за год доля осадков, выпадающих в твёрдом виде, колеблется от 10 % на юго-западе до 15 % на востоке, в жидком — от 80 % на юго-западе до 70 % на востоке; смешанные осадки (мокрый снег со льдом) по всей территории составляют 12—13 %. Число дней с осадками различного вида распределяется несколько по-другому. На долю осадков в твёрдом виде приходится 20—30 %, в жидком виде — 55—65 % и смешанном — 10—15 % от годового числа дней с осадками. Общая продолжительность осадков за год колеблется на территории от 1000—1100 ч на юге до 1300 ч на севере.

### 4. Обсуждение и заключение

Из вышеизложенного следует, что климатические условия Новгородской области, определяющие мягкий климат с большим количеством осадков, частыми оттепелями зимой и затяжными дождями весной и осенью, создают неблагоприятные условия для нормального протекания водно-тепловых процессов в грунтах земляного полотна и дорожных одеждах лесовозных автомобильных дорог. Переувлажнение грунтов земляного полотна приводит к уменьшению прочности дорожных одежд, которые под действием лесовозных автопоездов частично или полностью разрушаются. Для улучшения протекания водно-тепловых процессов необходимо предусматривать инженерные мероприятия, способствующие регулированию как водного, так и температурного режимов дорожных конструкций.

## Список литературы

1. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог / Д. В. Бурмистров [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 2 (30). С. 179—184.
2. Гусев Ю. В. Проектирование структуры информационного обеспечения лесовозного автомобильного транспорта // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 131—141.
3. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды / Ю. А. Зеликова [и др.] // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 2 (30). С. 156—168. DOI: 10.12737/article\_5b240611858af4.37544962.
4. Исследования по использованию укрепленных грунтов, местных материалов и отходов промышленности для строительства дорожных одежд лесовозных дорог / А. А. Камусин [и др.]. Saint-Louis, Missouri, USA: Science and Innovation Center Publishing House, 2017. 184 с.
5. Влияние погодно-климатических факторов на системы комплекса «водитель — автомобиль — дорога — среда» / В. Г. Козлов [и др.] // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. № 1. С. 30—36.
6. Котляров Р. Н. Теоретическое обоснование условий безопасности движения лесовозных автопоездов в автомобильных потоках // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 41—44.
7. Методологическое обоснование особенностей проектирования трассы по методу опорных элементов / В. С. Логойда [и др.] // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-1. С. 62—68.
8. Ломакин Д. В., Микова Е. Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестник. 2017. Т. 21, № 6. С. 43—49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49.
9. Рябова О. В. Воздействие автодорожного комплекса на окружающую среду: состояние и прогноз // Научный вестник Воронежского ГАСУ: Материалы межрегионал. научно-практич. конф. «Высокие технологии в экологии». 2010. № 1. С. 170—174.
10. Рябова О. В. Проектирование энергосберегающих конструкций автомобильных дорог // Информационные технологии моделирования и управления. 2008. № 1 (44). С. 106—113.
11. Сиденко В. М., Батраков О. Т., Леушин А. И. Технология строительства автомобильных дорог. Ч. 2. Технология строительства дорожных одежд. Киев: Вища школа, 1970. 230 с.
12. Chernyshova E. V., Mogutnov R. V., Levushkin D. M. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. 2018. No. 1015 (3). DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032069.
13. Gulevsky V. A., Logoyda V. S., Menzhulova A. S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. No. 327 (4). DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056.
14. Development of the method for individual forecasting of technical state of logging machines / V. S. Logoyda, P. V. Tikhomirov, V. A. Zelikov [et al.] // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. № 8 (5). P. 2178—2183.
15. Dorokhin S. V., Chernyshova E. V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, no. 2. P. 511—515.

16. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement / S. I. Sushkov, I. N. Kruchinin, I. V. Grigorev [et al.] // *Journal of the Balkan Tribological Association*. 2019. No. 25 (3). P. 678—694.

## References

1. Burmistrov D. V. [et al.]. Methodology for determining the influence of natural factors on the cost of construction of subgrade timber roads. *Systems. Methods. Technology*, 2016, no. 2 (30), pp. 179—184. (In Russ.)
2. Gusev Yu. V. Designing the structure of information support for timber road transport. *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2016, no. 217, pp. 131—141. (In Russ.)
3. Zelikova Yu. A. [et al.]. Kompleksnye eksperimental'nye issledovaniya izmeneniya parametrov i kharakteristik dorozhnykh usloviyakh, vehicular flow i rezhimov dvizheniya pod vliyanie klimata i weatera [Comprehensive experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and traffic regimes under the influence of climate and weather]. *Forestry journal*, 2018, vol. 8, no. 2 (30), pp. 156—168. doi: 10.12737/article\_5b240611858af4.37544962. (In Russ.)
4. Kamusin A. A. [et al.]. *Research on the use of reinforced soils, local materials and industrial waste for the construction of road pavements for logging roads*. Saint-Louis, Missouri, USA, Science and Innovation Center Publishing House, 2017. 184 p. (In Russ.)
5. Kozlov V. G. [et al.]. Influence of weather and climatic factors on the systems of the complex «driver — car — road — environment». *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2019, no. 1, pp. 30—36. (In Russ.)
6. Kotlyarov R. N. Theoretical substantiation of traffic safety conditions for logging road trains in automobile flows. *Forestry journal*, 2011, no. 2, pp. 41—44. (In Russ.)
7. Logoida V. S. [et al.]. Methodological substantiation of the design features of the route according to the method of supporting elements. *Fundamental research*, 2016, no. 12-1, pp. 62—68. (In Russ.)
8. Lomakin D. V., Mikova E. Yu. Evaluation of the influence on the speed of movement of constant parameters of the plan and profile under various conditions of the road surface. *Forest Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 43—49. doi: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49. (In Russ.)
9. Ryabova O. V. The impact of the road complex on the environment: state and forecast. *Scientific Bulletin of the Voronezh GASU: Materials of interregional. scientific-practical. conf. «High technologies in ecology»*, 2010, no. 1, pp. 170—174. (In Russ.)
10. Ryabova O. V. Design of energy-saving structures of automobile roads. *Information technologies of modeling and management*, 2008, no. 1 (44), pp. 106—113. (In Russ.)
11. Sidenko V. M., Batrakov O. T., Leushin A. I. *Road construction technology. Part 2. Construction technology of pavements*. Kyiv, Vishcha school, 1970. 230 p. (In Russ.)
12. Chernyshova E. V., Mogutnov R. V., Levushkin D. M. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series*, 2018, no. 1015 (3). doi: 10.1088/1742-6596/1015/3/032069.
13. Gulevsky V. A., Logoyda V. S., Menzhulova A. S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines. *Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, no. 327 (4). doi: 10.1088/1757-899X/327/4/042056.

14. Logoyda V. S., Tikhomirov P. V., Zelikov V. A. [et al.]. Development of the method for individual forecasting of technical state of logging machines. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2019, no. 8 (5), pp. 2178—2183.
15. Dorokhin S. V., Chernyshova E. V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 511—515.
16. Sushkov S. I., Kruchinin I. N., Grigorev I. V. [et al.]. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 2019, no. 25 (3), pp. 678—694.

© Сапелкин Р. С., Меерсон В. Э., Меерсон М. В., Скрыпников А. В., Казачек М. Н., 2022