

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7383

УДК 69.059

Статья

## Экспериментальная оценка состояния дорог Карелии, подверженных активному воздействию лесовозного транспорта

**Степанов Артём Валерьевич**

*кандидат технических наук, доцент, Петрозаводский государственный университет (Российская Федерация), [stepanov@petrsu.ru](mailto:stepanov@petrsu.ru)*

**Груздов Александр Владимирович**

*начальник отдела контроля качества работ КУРК «Управление автомобильных дорог Республики Карелия» (Российская Федерация), [gruzdov@upravtodor-rk.ru](mailto:gruzdov@upravtodor-rk.ru)*

*Получена: 11 сентября 2023 / Принята: 30 ноября 2023 / Опубликована: 22 декабря 2023*

---

**Аннотация:** Практически во всех лесных регионах транспортная сеть автомобильных дорог общего пользования является неотъемлемой частью логистических цепочек лесозаготовок, и её состояние в значительной степени влияет на эффективность лесной отрасли целом. Подавляющая часть древесины в Республике Карелия перевозится автомобильным транспортом — лесовозами. При этом порядка 85 % по протяжённости транспортировки осуществляется по дорогам общего пользования. Лесовоз, относящийся к тяжеловозным транспортным средствам, оказывает существенное влияние на состояние дороги. Особенно сильно это воздействие проявляется в весенний и осенний период, когда грунты земляного полотна переувлажнены и потеряли часть своей несущей способности. В данный период дорожное покрытие подвержено наибольшему повреждению, характер которого требует изучения с целью планирования и организации своевременного ремонта. В статье рассмотрены результаты диагностики состояния сети автомобильных дорог Республики Карелия с наиболее интенсивным движением лесовозного транспорта на наличие дефектов и их размеров. Проведён анализ количественной оценки различных разрушений. Разобраны причины появления основных деформаций. Определена протяжённость дорог, находящихся в нормативном и ненормативном состоянии.

**Ключевые слова:** сеть автомобильных дорог; лесовозные дороги; дефекты

---

DOI: 10.15393/j2.art.2023.7383

*Article*

## **Experimental assessment of the condition of Karelia roads exposed to the active logging transport traffic**

**Artem Stepanov**

*Ph. D. in engineering, associate professor, Petrozavodsk State University (Russian Federation), [stepanov@petsu.ru](mailto:stepanov@petsu.ru)*

**Aleksandr Gruzlov**

*Head of the Quality Control Department, Department of Highways of the Republic of Karelia (Russian Federation), [gruzlov@upravtodor-rk.ru](mailto:gruzlov@upravtodor-rk.ru)*

*Received: 11 September 2023 / Accepted: 30 November 2023 / Published: 22 December 2023*

---

**Abstract:** The vast majority of wood in the Republic of Karelia is transported by logging trucks and about 85% of the transportation is performed on public roads. Being a heavy vehicle, a logging truck has a significant impact on the road condition. This impact is especially strong during the spring and autumn periods, when the roadbed soil is waterlogged and has lost part of its bearing capacity. During these periods the road surface is subjected to the greatest damage; its pattern requires studying to plan and organize timely repairs. The transportation network of public roads is an integral part of the logistics chains of the regional forest industry and its condition also significantly affects the efficiency of logging in general. The article considers the results of diagnostics of the highway network state in the Republic of Karelia for the presence and dimensions of defects. The authors analyzed the results of quantitative assessment of various destructions and the causes of their occurrence. Also they determined the length of roads in normative and non-normative condition.

**Keywords:** highway network; logging roads; defects

---

## 1. Введение

Основной объём грузоперевозок в лесной отрасли Республики Карелия приходится на автомобильный транспорт. При этом в процессе движения лесовозных автомобилей активно задействованы автомобильные дороги общего назначения. Центральную роль в этой дорожной сети играет трасса Р-21 «Кола», соединяющая север и юг республики [5]. Очевидно, что состояние автомобильных дорог существенно влияет на всю лесную отрасль. В этой связи актуальным является своевременное выявление дефектов дорожного полотна, планирование и организация ремонтных работ, оценка экономических затрат. С целью оценки текущего состояния основных автомобильных дорог общего назначения с преобладающим движением лесовозного транспорта авторами совместно с Управлением автомобильных дорог Республики Карелия были проведены экспериментальные исследования на дорогах, примыкающих по лесным грузопотокам к основной трассе Р-21 «Кола».

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследований были выбраны автомобильные дороги с наиболее интенсивным движением лесовозного транспорта: автодорога по д. Пялозеро, автодорога по м. Райвио, Видлица — Кинелахта — Ведлозеро, Кола — Кончезеро — ст. Шуйская — Гирвас, Кола км 423 — Петрозаводск, Кола км 435 — Петрозаводск, Кола км 435 — ст. Шуйская, Костомукша — Окатыш, Крошнозеро — Эссойла, Олонец — Верховье, подъезд к д. Евхоя через д. Красная Речка, подъезд к водопаду Кивач, подъезд к д. Койкары, подъезд к д. Мишенсельга, подъезд к д. Мунозеро, подъезд к д. Юостозеро, подъезд к м. Дорожников, подъезд к д. Ёршнаволок, подъезд к м. Химлесхоз, подъезд к м. Лучевое-2, подъезд к м. Лучевое-1, подъезд к п. Соскуа, подъезд к п. Вяртсиля, подъезд к п. Ихоярвенкюля, подъезд к п. Куокканиеми, подъезд к п. Мелиоративный, подъезд к п. Новая Вилга, подъезд к п. Шуя, подъезд к пункту пропуска Сювяоро, подъезд к Радиоцентру, подъезд к с. Крошнозеро, подъезд к ст. Орзег, подъезд к м. Уссуне, Тивдия — Белая Гора, Хийтола — Алхо, Чална — Порожки, Шокша — Кварцитный, ст. Шуйская — Гирвас, Юостров — Райгуба, автодорога по Ужесельге, Алхо — Кетроваара, Вялимяки — Костамоярви, Деревянное — Деревянка — Пяжиева Сельга — Пухта, Ихала — Лумиваара, Кола — Антипинская, Кола — Калевала — Лонка, Крошнозеро — Гонганалица, Ласанен — Куркиёки — Терву, Лахденкюля — Пуккари, Лахденпохья — Пайкъярвенкюля, Лумиваара — Харвиа, Нукутгалаhti — Ламберг, Оппола — Нива, Пелтола — Вяттикия, подъезд к д. Верхняя Ламба через Утуки, подъезд к д. Намоево, подъезд к д. Нижняя Салма, подъезд к п. Коконниемеи, подъезд к п. Отсанлахти, подъезд к п. Оявойс, подъезд к п. Рантуэ, подъезд к м. Парконмяки, подъезд к м. Рюттю, подъезд

к ст. Хуухканмяки, подъезд к туристическому объекту Горный парк «Рускеала», Пряжа — Киндасово, Пуйккола — Партала, Совхоз «Большевик» — Чайка, Терву — Вятиккя, Хелюля — Заозёрный, Элисенваара — Таустамьяки, Кондопога — Горка, Педасельга — Ладва-Ветка, Петрозаводск — Суоярви, Петрозаводск — Суоярви — п. Шуя, подъезд к м. Яккима, подъезд к объекту «Горнолыжный центра Чална», подъезд к п. Маткаселькя, подъезд к п. Микли, подъезд к п. Первомайский, подъезд к совхозу им. Зайцева, Салми — Мантсинсаари, Салми — ст. Салми, Сортавала — Заозёрный — Туокслахти, Суоярви — Койриноя, Чална — Верховье — п. Шуя.

Общая протяжённость представленных дорог составляет 1186,984 км.

При оценке состояния обращали внимание на следующие ключевые моменты:

- Наличие характерных дефектов на однородных участках (выбоины, разрушения, трещины и др.).

- Параметры продольной ровности по полосам наката дорожного покрытия.

- Параметры поперечной ровности (колейности) по полосам наката.

Все работы выполнены на основании следующих нормативных материалов:

- ГОСТ 33101-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные.

Методы измерения ровности»;

- ГОСТ 32825-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия.

Методы измерения геометрических размеров повреждений»;

- ГОСТ Р 50597-2017 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля»;

- ГОСТ Р 56925-2016 «Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий»;

- ОДМ 218.4.039-2018 «Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог».

## 2.2. Методика проведения измерений

Все измерения проводились с использованием мобильного аэродромно-дорожного измерительного комплекса — лаборатории КП-514 (фото 1).

В ходе проведения исследований проводилась фото- и видеофиксация выявленных дефектов с отметкой о месте их расположения.

Продольная ровность дорожного покрытия оценивалась по европейской методике (International Roughness Index — международный индекс ровности, IRI) по двум полосам наката профилометром, состоящим из четырёх акселерометрических датчиков (фото 2), которые были закреплены к элементам кузова и подвески автомашины.



**Фото 1.** Комплекс измерительный аэродромно-дорожный (лаборатория КП-514)

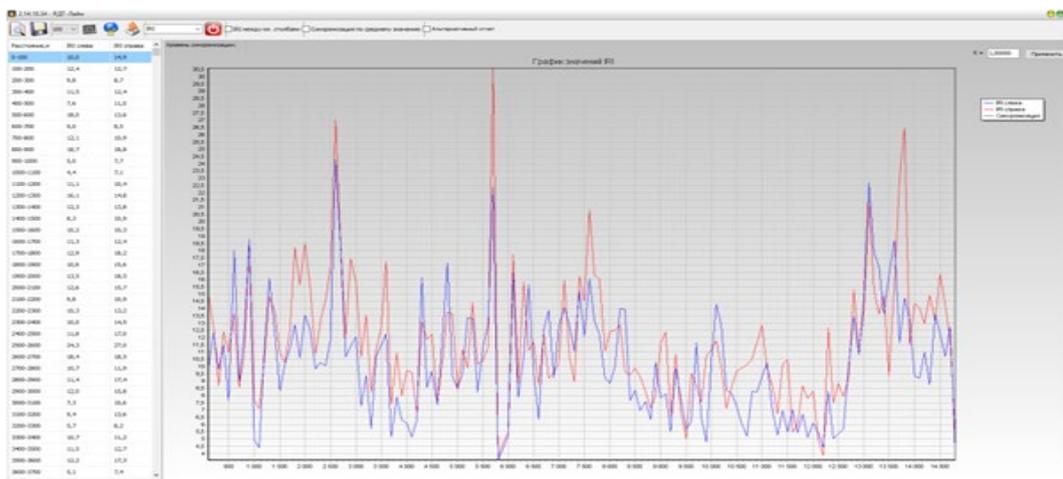
**Photo 1.** Measuring airfield and road complex (KP-514 laboratory)



**Фото 2.** Акселерометрический датчик

**Photo 2.** Accelerometric sensor

Профилометр обеспечивал измерение продольной ровности покрытия дороги при скорости движения лаборатории до 80 км/ч с шагом измерений 125 мм. При измерении определялось суммарное перемещение неподдрессорованной части кузова относительно поддрессорованной. Показатель ровности (IRI) измерялся на всём протяжении участка. По результатам измерения IRI строится график (рисунок 1), где места значимых колебаний характеризуют места наличия неровностей на проезжей части автомобильной дороги.

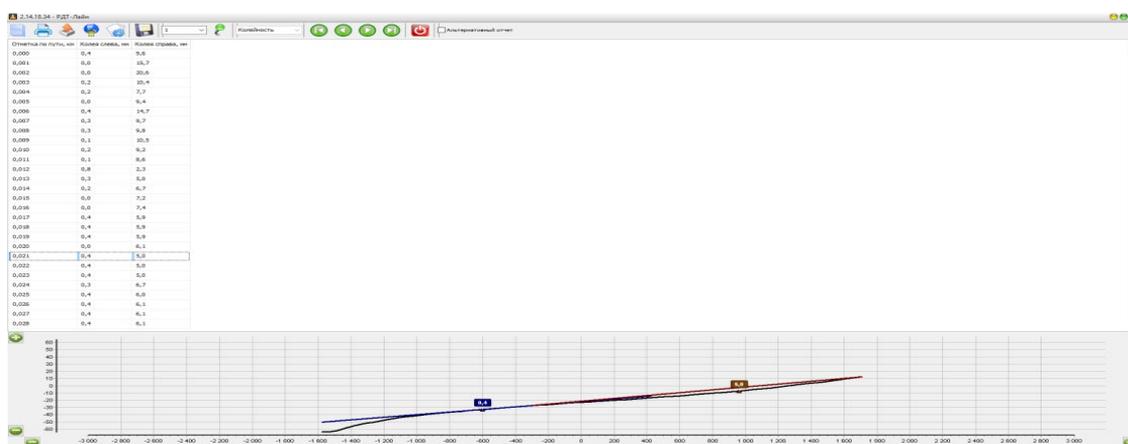


**Рисунок 1.** График значений показателя ровности (IRI)

**Figure 1.** Graph of IRI values

Определение поперечной ровности оценивалось по данным лазерно-оптического сканера (ЛОС) — эта система предназначена для измерения высотных отметок точек поперечного профиля на полосе шириной до 3,75 м. Информация, полученная из ЛОС, позволяет определять наличие и глубину колеи на обследуемом участке автомобильных дорог, а также, будучи обработанной совместно с данными системы измерения геометрических параметров, получать цифровую модель покрытия, которая, в свою очередь, может быть использована для решения проектных задач и экспорта в САПР.

Принцип действия состоит в определении поперечного профиля следа лазерного излучателя на покрытии автомобильной дороги. По данным лазерно-оптического сканирования может быть построен поперечный профиль с отображёнными значениями поперечной ровности (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Поперечный профиль колеиности

**Figure 2.** Transverse track profile

Повреждения поверхности проезжей части (выбоины, колеи, продольные волны, разрушенный слой покрытия, неровности от некачественного ремонта, в т. ч. возле люков колодцев) фиксировались с помощью видеосъёмки. Видеосъёмка обследуемых участков дорог осуществлялась тремя цифровыми видеокамерами высокого разрешения, с расширенным динамическим диапазоном и общим углом захвата 180°, в прямом и обратном направлениях по полосам движения, с учётом технической категории дороги (фото 3).



**Фото 3.** Система видеосъёмки

**Photo 3.** Video recording system

Размер кадра при съёмке  $1920 \times 1600$  точек с привязкой видеокадров к километражу и абсолютной системе координат. Это обеспечивало чтение текстовой информации на дорожных знаках, определение линейных и площадных размеров элементов автомобильной дороги.

Все измерения выполнялись за один проход лаборатории КП-514, таким образом, одновременно с видеосъёмкой происходит определение ровности проезжей части по всей ширине проезжей части прямого и обратного направления каждого 100-метрового участка автомобильной дороги.

Участок дороги, на котором зафиксированы повреждения, оценивался как находящийся в ненормативном состоянии.

### 3. Результаты

Рассмотрим полученную информацию на примере одного из участков автодороги Видлица — Кинелахта — Ведлозеро (фото 4).

Как видно из фото 4, информацию о покрытии, состоянии системы водоотвода и других параметров на конкретном километре 16 + 104 автодороги Видлица — Кинелахта — Ведлозеро можно оценить по полученной видеосъёмке с привязкой к системе географических координат.



**Фото 4.** Фрагмент видеосъёмки участка дороги Видлица — Кинелахта — Ведлозеро, км. 16 + 104

**Photo 4.** A fragment of a video recording of a section of the Vidlitsa — Kinelakhta — Vedlozero road, km 16 + 104

Результаты оценки представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Ведомость дефектов покрытия с 16-го по 17-й км

**Table 1.** List of coating defects from 16 to 17 km

Наименование дороги		Видлица — Кинелахта — Ведлозеро				
Начало дороги, км + м		0 + 000				
Конец дороги, км + м		61 + 400				
Длина дороги		61,4				
Статус дороги		Общего пользования регионального или межмуниципального значения				
Адрес начала участка, км + м	Адрес конца участка, км + м	Длина участка, м	Код дефектов		Оценка в баллах	
			Прямое направление	Обратное направление	Прямое направление	Обратное направление
16 + 000	16 + 100	100	6	6	2,5	2,5
16 + 100	16 + 200	100	5	5	3,5	3,5
16 + 200	16 + 300	100	5	5	3,5	3,5
16 + 300	16 + 400	100	5	5	3,5	3,5
16 + 400	16 + 500	100	5	5	3,5	3,5
16 + 500	16 + 600	100	5	5	3,5	3,5
16 + 600	16 + 700	100	5	5	3,5	3,5
16 + 700	16 + 800	100	5	5	3,5	3,5
16 + 800	16 + 900	100	5	5	3,5	3,5
16 + 900	17 + 000	100	5	5	3,5	3,5

Участки автомобильной дороги, на которых зафиксированы повреждения с балльной оценкой менее 4, находятся в ненормативном состоянии.

Как было сказано выше, помимо фиксации дефектов происходит определение ровности покрытия (таблица 2). Показания индекса IRI представляются в следующем виде.

**Таблица 2.** Ведомость показателей продольной ровности покрытия с 16-го по 17-й км

**Table 2.** A list of indicators of the longitudinal coating evenness from 16 to 17 km

Наименование дороги		Видлица — Кинелахта — Ведлозеро										
Начало дороги, км + м		0 + 000										
Конец дороги, км + м		61 + 400										
Длина дороги		61,4										
Статус дороги		Общего пользования регионального или межмуниципального значения										
Адрес начала участка, км + м	Адрес конца участка, км + м	Показатель ровности покрытия на полосах (IRI)								Наихудший показатель ровности	Норматив	Протяжённость, м
		1	2	3	4	5	6	7	8			
16 + 000	16 + 100	20,06								20,06	8,0	100
16 + 100	16 + 200	9,91								9,91	8,0	100
16 + 200	16 + 300	10,65								10,65	8,0	100
16 + 300	16 + 400	14,05								14,05	8,0	100
16 + 400	16 + 500	10,1								10,1	8,0	100
16 + 500	16 + 600	13								13	8,0	100
16 + 600	16 + 700	15,52								15,52	8,0	100
16 + 700	16 + 800	10,46								10,46	8,0	100
16 + 800	16 + 900	8,61								8,61	8,0	100
16 + 900	17 + 000	8,03								8,03	8,0	100

Из представленных данных видно, что по показателю IRI участок дороги с 16-го по 17-й км дороги Видлица — Кинелахта — Ведлозеро находится в неудовлетворительном состоянии. Однако показатель IRI больше подходит как характеристика для дорог с капитальным покрытием; на дорогах с переходным покрытием он может резко поменяться в течение суток за счёт прохода автогрейдера или, наоборот, за счёт быстрого разрушения в период сильных осадков в виде дождя в сочетании с интенсивным движением или движением грузовых автомобилей. Помимо этого, на представленном участке

(см. таблицу 1) вся дорога длиной в 1 км находится в ненормативном состоянии, из преобладающих дефектов код 5, т. е. выбоины на расстоянии 6—8 м.

После обработки аналогичных данных всех исследуемых дорог общей протяжённостью 1186,984 км была составлена сводная таблица дефектов дорожного покрытия (таблица 3).

**Таблица 3.** Дефекты дорожного покрытия

**Table 3.** Defects

Вид дефекта	Оценка, баллы	Код дефекта	Объём дефекта по частоте возникновения, %	Протяжённость исследуемых дорог с данным видом дефекта, км
1	2	3	4	5
Без дефектов и поперечные одиночные трещины на расстоянии более 40 м (для переходных покрытий отсутствие дефектов)	5,0	1	24,7	292,8
Поперечные одиночные трещины (для переходных покрытий отдельные выбоины) на расстоянии 20—40 м между трещинами	4,9	2	1,8	21,7
То же на расстоянии 10—20 м	4,6	3	0,7	7,9
Поперечные редкие трещины (для переходных покрытий выбоины) на расстоянии 8—10 м	4,3	4	11,5	136
То же 6—8 м	3,9 (3,5)*	5	15,0	177,5
То же 4—6 м	3,6 (2,5)*	6	7,9	93,8
Поперечные частые трещины на расстоянии между соседними трещинами 3—4 м	3,2	7	0,0	0
То же 2—3 м	2,9	8	0,1	0,7
То же 1—2 м	2,6	9	0,1	1,4
Продольная центральная трещина	4,5	10	2,8	33,2
Продольные боковые трещины	3,5	11	15,7	186,6
Одиночная сетка трещин на площади до 10 м с крупными ячейками (сторона ячейки более 0,5 м)	3,0	12	0,2	2,7
Одиночная сетка трещин на площади до 10 м с мелкими ячейками (сторона ячейки менее 0,5 м)	2,5	13	0,3	3,2
Густая сетка трещин на площади до 10 м	2,0	14	3,7	43,9
Сетка трещин на площади более 10 м при относительной площади, занимаемой сеткой, 30—10 %	2,3	15	0,8	9,3

*Продолжение таблицы 3.*

*Continuation of table 3.*

1	2	3	4	5
То же 60—30 %	1,9	16	2,1	25,3
То же 90—60 %	1,6	17	7,2	85,8
Просадки (пучины) при относительной площади просадок 20—10 %	1,2	18	0,1	1,1
То же 50—20 %	0,9	19	0,0	0
То же более 50 %	0,5	20	0,0	0
Проломы дорожной одежды (вскрывшиеся пучины) при относительной площади, занимаемой проломами, 10—5 %	1,2	21	0,1	0,6
То же 30—10 %	0,9	22	0,0	0
То же более 30 %	0,5	23	0,0	0
Одиночные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами более 20 м)	4,5	24	0,0	0,3
Отдельные выбоины на покрытиях, содержащих органическое вяжущее (расстояние между выбоинами 10—20 м)	3,5	25	0,3	3,8
Редкие выбоины в тех же случаях (расстояние 4—10 м)	2,7	26	0,5	5,3
Частые выбоины в тех же случаях (расстояние 1—4 м)	2,2	27	1,5	16,6
Карты заделанных выбоин, залитые трещины	3,0	28	1,0	11,7
Поперечные волны, сдвиги	2,4	29	1,6	19,2
Колейность при средней глубине колеи 20—30 мм	3,0—4,0	30	0,3	3
Колейность при средней глубине колеи 30—40 мм	2,5—3,0	31	0,0	0,3
Колейность при средней глубине колеи 40—50 мм	2,0—2,5	32	0,0	0
Колейность при средней глубине колеи 50—70 мм	1,8—2,0	33	0,0	0

Согласно данным таблицы 3 (столбец 4), по частоте встречаемости разрушения расположились следующим образом (рисунок 3).



**Рисунок 3.** Частота встречаемости дефектов

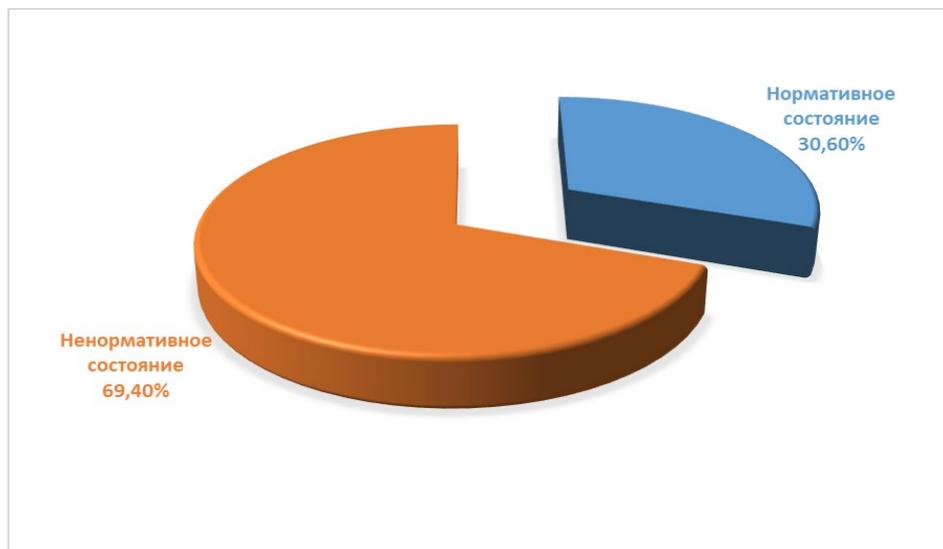
**Figure 3.** Frequency of defects occurrence

#### 4. Обсуждение и заключение

По результатам проведённых исследований установлено, что причинами возникновения поперечных трещин чаще всего является расширение и сужение асфальтобетонного покрытия ввиду перепада температур. Выбоины на переходных покрытиях образуются из-за отсутствия достаточной связности материала, и его частицы свободно перемещаются от воздействия колёс транспорта. Продольные боковые трещины появляются в результате усталостного разрушения материала покрытия либо продавливания основания дорожной одежды, земляного полотна. Данный дефект в значительной степени обусловлен движением большегрузных автомобилей. Сетка трещин появляется на пучинистых участках. Центральная трещина — это, как правило, технологическая трещина в месте стыка двух смежных полос укладки асфальтобетона. Выбоины в асфальтобетонных покрытиях могут быть дальнейшим развитием сетки трещин либо развитием выкрашивания покрытия ввиду старения битума. Поперечные сдвиги характерны для участков с частыми экстренными торможениями или ускорениями автомобилей.

В целом, можно сделать заключение, что на дорогах Республики Карелия дефекты дорожной одежды образуются, в основном, из-за усталостного разрушения покрытия либо использования в конструктиве земляного полотна и покрытия слабых или пучинистых материалов.

По результатам обработки всего массива исследований 1186,984 км дорог Республики Карелия установлено, что лишь 363,229 км находятся в нормативном состоянии, это в процентном эквиваленте равняется 30,6 %. Следовательно, 69,4 % дорог требуют проведения ремонтных работ (рисунок 4).



**Рисунок 4.** Состояние автомобильных дорог

**Figure 4.** The condition of the highways

Также выяснилось, что значения продольного уклона дорожной одежды тоже не соответствуют нормам на 51,03 % по протяжённости исследуемых дорог.

*Исследования были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих учёную степень, финансируемой Правительством Республики Карелия.*

#### Список литературы

1. ГОСТ 33101-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности». М., 2016. 23 с.
2. ГОСТ 32825-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений». М., 2015. 16 с.
3. ГОСТ Р 50597-2017 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля». М., 2018. 30 с.
4. ГОСТ Р 56925-2016 «Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий». М., 2016. 15 с.
5. ОДМ 218.4.039-2018 «Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог». М., 2018. 64 с.

6. Степанов А. В., Винокурова Т. Г., Марков В. И. Оценка автотранспортного сообщения районов Республики Карелия // Инженерный вестник Дона. 2021. № 5.
7. FINAL REPORT on the project KA1029 «Innovations, research and education for roads and transport as an engine for growing cross-border business cooperation» (IRERT). Petrozavodsk, 2019. 86 p.
8. Zhang L. N., He D. P., Zhao Q. Q. Modeling of international roughness index in seasonal frozen area // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 4 (104). P. 102—104.
9. Zhao Q. Q., Zhang H. T., Fediuk R. S. Freeze-thaw damage model for cement pavements in seasonal frost regions // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 4 (104). P. 104—106.
10. Schürmann C., Spiekermann K., Wegener M. Accessibility Indicators, Bericht aus dem Institut für Raumplanung 39. Dortmund, IRPUD, 1997. 32 p.
11. Törnqvist G. Contact Systems and regional development. Lund Study in Geography B 35, Lund, CWK Gleerup, 1970. 108 p.

## References

1. GOST 33101-2014 «Public roads. Road surfaces. Methods of measuring evenness». Moscow, 2016. 23 p. (In Russ.)
2. GOST 32825-2014 «Public roads. Road surfaces. Methods of measuring the geometric dimensions of damage». Moscow, 2015. 16 p. (In Russ.)
3. GOST R 50597-2017 «Automobile roads and streets. Requirements for the operational condition acceptable under the conditions of road safety. Control methods». Moscow, 2018. 30 p. (In Russ.)
4. GOST R 56925-2016 «Automobile roads and airfields. Methods for measuring irregularities of bases and coatings». Moscow, 2016. 15 p. (In Russ.)
5. ODM 218.4.039-2018 «Recommendations for the diagnosis and assessment of the technical condition of highways». Moscow, 2018. 64 p. (In Russ.)
6. Stepanov A. V., Vinokurova T. G., Markov V. I. Assessment of road transport in the regions of the Republic of Karelia. *Engineering Bulletin of the Don*, 2021, no. 5. (In Russ.)
7. FINAL REPORT on the project KA1029 «Innovations, research and education for roads and transport as an engine for growing cross-border business cooperation» (IRERT). Petrozavodsk, 2019. 86 p.
8. Zhang L. N., He D. P., Zhao Q. Q. Modeling of international roughness index in seasonal frozen area. *Magazine of Civil Engineering*, 2021, no. 4 (104), pp. 102—104.
9. Zhao Q. Q., Zhang H. T., Fediuk R. S. Freeze-thaw damage model for cement pavements in seasonal frost regions. *Magazine of Civil Engineering*, 2021, no. 4 (104), pp. 104—106.
10. Schürmann C., Spiekermann K., Wegener M. *Accessibility Indicators, Bericht aus dem Institut für Raumplanung 39*. Dortmund, IRPUD, 1997. 32 p.
11. Törnqvist G. *Contact Systems and regional development*. Lund Study in Geography B 35, Lund, CWK Gleerup, 1970. 108 p.