

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 4. С. 221–232.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (4): 221–232.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.73

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-221-232

EDN: LVBLVK

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА УЧАСТКАХ С АВТОМАТИЧЕСКИМИ ПУНКТАМИ ВЕСОГАБАРИТНОГО КОНТРОЛЯ

**Сергей Васильевич Алексиков, Андрей Иванович Лескин,
Дмитрий Иванович Гофман, Лейла Муаз Лескина,
Сергей Николаевич Бормотов**

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Россия*

Аннотация. Актуальность. Надежность и точность взвешивания движущегося транспортного средства на автоматических пунктах весового и габаритного контроля (АПВГК) зависят от транспортно-эксплуатационных характеристик проезжей части. Опыт применения автоматизированных комплексов на дорогах регионального значения выявил существенные недостатки в точности взвешивания, обусловленные низкими требованиями к ровности и прочности дорожного полотна в местах их размещения. Неровности дороги вызывают дополнительные динамические нагрузки на дорожное полотно и датчики весоизмерительного оборудования. Образование колеи провоцирует поперечные колебания грузового транспорта, что критически недопустимо в зоне автоматического весового и габаритного контроля транспортных средств и снижает достоверность результатов взвешивания. Анализ данных о нарушениях, зарегистрированных в Волгоградской области, показал, что около 10 % грузовых транспортных средств, передвигающихся по региональным автомобильным дорогам, превышают допустимую массу на 20 %. Это приводит к ускоренному износу дорожного покрытия и образованию дефектов. Для гарантии нормативной точности измерений и правильной работы датчиков на протяжении пятилетнего периода необходимо повысить требования к данным характеристикам дорожного покрытия.

Цель исследования заключается в обосновании требований к дорожному покрытию в месте расположения АПВГК и на подходах к ним с учетом особенностей функционирования весоизмерительного оборудования.

Методы исследования включали анализ фактического состояния дорожного покрытия, оценку воздействия подвижной колесной нагрузки на весовые датчики, а также расчет минимально допустимых значений модуля упругости, глубины колеи и продольной ровности дорожного покрытия. Исследования проводились с учетом технических характеристик датчиков и требований к их сохранности при эксплуатации.

Результаты. На основе исследований воздействия подвижной колесной нагрузки на весовые датчики, смонтированные в дорожное покрытие, обоснованы максимальная глубина колеи, модуль упругости конструкции дорожной одежды и предъявлены требования к допустимой продольной ровности проезжей части в месте расположения АПВГК и на прилегающих к ним участках автомобильной дороги. Показано, что сохранность датчика обеспечивается при модуле упругости на дне штрабы под датчиком не менее 325 МПа.

Допустимый модуль упругости дорожных одежд зависит от технической категории дороги и должен быть на 30 % выше прочности конструкции для дорог общего пользования.

Ключевые слова: ровность, модуль упругости, колея, дорожная одежда, погрешность, весогабаритный контроль, весоизмерительный датчик, осевая нагрузка, проезжая часть, покрытие

Для цитирования: Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Лескина Л.М., Бормотов С.Н. Обоснование требований к проезжей части автомобильных дорог на участках с автоматическими пунктами весогабаритного контроля // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 4. С. 221–232. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-221-232. EDN: LVBLVK

ORIGINAL ARTICLE

LEGAL BASIS FOR TRAFFICWAY REQUIREMENTS AT WEIGHT-IN-MOTION CONTROL SYSTEM POINTS

Sergey V. Aleksikov, Andrey I. Leskin, Dmitry I. Gofman,
Leyla M. Leskina, Sergey N. Bormotov

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Abstract. Reliability and accuracy of weighing a moving vehicle by automatic weight-in-motion (WIM) control systems depend on transport and trafficway performance. The experience in using WIM control systems on regional roads shows significant shortcomings in weighing accuracy due to low requirements for smoothness and structural strength of pavement in places of their location. Road irregularities cause additional dynamic loads on the road pavement and weighing sensors. The formation of ruts provokes lateral vibration of trucks, which is critically unacceptable in the area of WIM control system points and reduces the reliability of weighing results. The data analysis of violations registered in the Volgograd Region shows that about 10 % of trucks moving on regional highways exceed the permissible weight by 20 %. This leads to accelerated wear of the road pavement and defect formation.

Purpose: Substantiation of requirements for road pavements at WIM control system points and on approaches to them with regard to operation of the weighing equipment.

Methodology/approach: The analysis of actual conditions of the road pavement, assessment of the live load on the weight sensors, calculation of the minimum permissible values of the elastic modulus, rut depth and longitudinal evenness. Investigations are carried out with respect to sensor specifications and requirements for their operational safety.

Research findings: The maximum rut depth, elastic modulus of the road surface are substantiated, and requirements are presented for the permissible longitudinal evenness at WIM control system points and on adjacent road sections.

Keywords: smoothness, elastic modulus, track, road pavement, error, weight and dimension control, weighing sensor, axle load

For citation: Aleksikov S.V., Leskin A.I., Gofman D.I., Leskina L.M., Bormotov S.N. Legal Basis for Trafficway Requirements at Weight-in-Motion Control System Points. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (4): 221–232. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-221-232. EDN: LVBLVK

Введение

В Волгоградской области успешно завершается реализация национального проекта «Безопасные качественные дороги», согласно которому к 2024 г.

было отремонтировано более 300 км дорог с объемом финансирования, превышающим 11 млрд руб. Сеть дорог городских агломераций, отвечающая нормативным показателям, достигла 85 %. Однако наряду с ремонтом и строительством новых дорог остро стоит проблема обеспечения их сохранности, в том числе в весенний расчетный и летний жаркий периоды года, путем ограничения движения тяжеловесного грузового автотранспорта. Согласно данным весового контроля Российской Федерации, до 40 % грузоперевозчиков нарушают установленные нормы по массе и/или осевым нагрузкам автомобиля. Средний перевес транспортных средств (ТС), как правило, достигает 50 %, что усиливает разрушающий эффект на покрытия в 5,06 раза и сокращает срок его службы по критерию усталостной трещиностойкости до 23 % [1].

Мировой и отечественный опыт внедрения систем контроля за перегрузом показал, что наиболее эффективным способом борьбы с ним является весовой контроль движущихся ТС системами Weigh-in-Motion (WIM) на специально оборудованных автоматических пунктах весогабаритного контроля. Основой WIM-систем являются вмонтированные в покрытие поперек полосы движения весоизмерительные датчики, позволяющие фиксировать транспортные нагрузки при скорости движения транспортных средств до 150 км/ч [2–5].

Объекты исследования

На территории Волгоградской области к 2022 г. размещено 8 пунктов весогабаритного контроля на автомобильных дорогах федерального, регионального или межмуниципального, местного значения (рис. 1):

- 1) 18 ОП РЗ 18К-7 – «Новониколаевский – Урюпинск – Нехаевская – Краснополье – Манино (Воронежская область)» (в границах территории Волгоградской области);
- 2) 18 ОП РЗ 18А-2 – «Михайловка (км 15) – Серафимович – Суровикино»;
- 3) 18 ОП РЗ 18К-1 – «Волгоград – Октябрьский – Котельниково – Зимовники – Сальск» (в границах территории Волгоградской области);
- 4) 00 ОП ФЗ Р-260 – Р-260 «Волгоград – Каменск-Шахтинский – Луганск» (лево);
- 5) 00 ОП ФЗ Р-260 – Р-260 «Волгоград – Каменск-Шахтинский – Луганск» (право);
- 6) 18 ОП РЗ 18Р-0 – «Первый пусковой комплекс первой очереди мостового перехода через р. Волгу в г. Волгограде»;
- 7) 18 401 ОП МГ А – «3-я Продольная магистраль»;
- 8) 18 ОП РЗ 18Р-01 – «Мостовой комплекс Волжской ГЭС».

Практика эксплуатации АПВГК показала, что недолговечность весоизмерительных датчиков и ошибки весового контроля до 40 % обусловлены следующими причинами [6–10]:

– низкая продольная ровность и колейность проезжей части в зоне автоматического весового и габаритного контроля транспортных средств (АВГК), которые приводят к ускоренному износу датчиков, раскачиванию грузовых автомобилей в продольном и поперечном направлениях;

– различная жесткость дорожного покрытия и конструкций датчиков, что приводит к выкрашиванию покрытия и образованию уступов в зоне датчиков и, как следствие, к увеличению динамических (ударных) нагрузок на датчики.

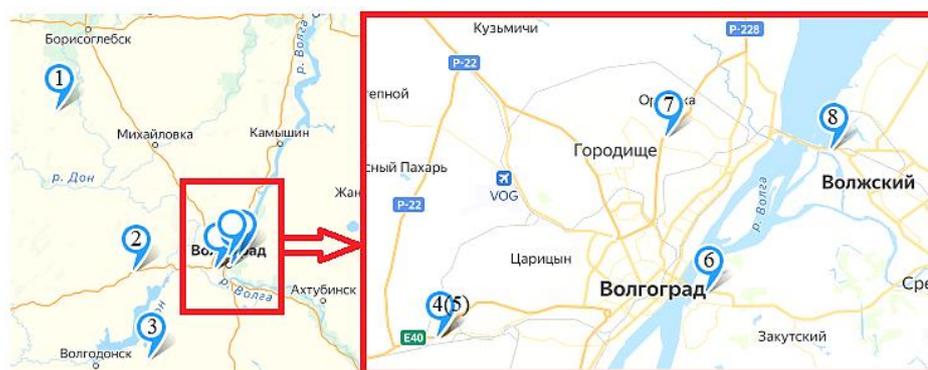


Рис. 1. Места расположения АПВГК в Волгоградской области (на основе Яндекс Карт)
Fig. 1. WIM control system locations in the Volgograd region

Исходя из вышеизложенного, в соответствии с требованиями производителей датчиков¹ [11, 12] размещаемое оборудование должно соответствовать установленным ими требованиям:

- точная работа при перепаде температур в течение года от минус 40 °С до плюс 50 °С;
- точность измерений при дневном перепаде температур > 20 °С;
- необходимость в повторной калибровке не более 1 раза в год;
- нормативный срок службы датчиков от 2 до 5 лет;
- повышенная ровность покрытия перед датчиками для исключения колебаний подвески транспортных средств;
- дорожное покрытие должно быть жестким с модулем упругости не менее 500 МПа, чтобы калибровочные коэффициенты оставались стабильными, несмотря на большие перепады температур в течение года и суток.

Проведенный анализ справочной, научной и технической литературы позволяет сделать вывод о предъявлении повышенных требований к проезжей части автомобильных дорог на участках размещения автоматических пунктов весогабаритного контроля, особенно к таким, как продольная и поперечная ровность (колейность) и прочность [11–14]. В связи с этим сформулированы основная цель и задачи настоящего исследования.

Цели и задачи исследования

Цель исследования – обоснование требований к дорожному покрытию в месте расположения АПВГК и на подходах к ним. В основе данного исследования лежат следующие задачи:

- оценка фактического и обоснование минимально требуемого модуля упругости дорожного покрытия в зоне расположения АПВГК;
- обоснование допустимой колеиности и продольной ровности дорожного покрытия как на подходах к АПВГК, так и в зоне проведения измерений.

¹ Information letter from Kistler Group. No. 22-09-061 dated 09/21/2022; Guide to technological preparation // Kistler.com. URL: <https://www.kistler.com/INT/en/cp/lineas-compact-quartz-sensors-weight-in-motion-9196a/P0000646>, 2019. 35 p. (accessed 03/20/2025).

Результаты и обсуждение

Обоснование требований к дорожному покрытию выполнено на основе исследований АПВГК, размещенных на дорогах «Волгоград – Октябрьский – Котельниково – Зимовники – Сальск» (в границах территории Волгоградской области) (рис. 2); «Михайловка (км 15) – Серафимович – Суровикино»; «Новониколаевский – Урюпинск – Нехаевская – Краснополье – Манино (Воронежская область)» (в границах территории Волгоградской области).



Рис. 2. АПВГК на дороге «Волгоград – Октябрьский – Котельниково – Зимовники – Сальск» (в границах территории Волгоградской области)

Fig. 2. WIM control system on the Volgograd – Oktyabrsky – Kotelnikovo – Zimovniki – Salsk road (in the Volgograd Region)

На объектах было установлено оборудование измерительной системы WIM KISTLER, которая предъявляет следующие требования к дорогам:

- модуль упругости покрытия не менее 500 МПа;
- колейность дорожного покрытия при установке датчиков < 3 мм;
- индекс ровности покрытия IRI (International Roughness Index) < 2,6 м/км (на участке длиной 40 см перед датчиком и после него неровность дорожного покрытия не должна превышать 1–2 мм);
- дорожное покрытие не должно иметь трещин и выбоин [8–13].

В процессе оценки транспортно-эксплуатационных показателей дорожного покрытия в зоне контроля и на подходах к ней (100 м до и 50 м после) были проведены в соответствии с действующими нормативными документами измерения уклонов, колейности, модуля упругости, дефектов и физико-механических свойств асфальтобетонных вырубков, отобранных из покрытия.

Установлено несоответствие полученных данных требованиям компании KISTLER. Продольная ровность (индекс IRI) до 4,8 м/км превышает допустимое значение 2,6 м/км. Модуль упругости (с надежностью 90 %) 337 МПа меньше допустимого 500 МПа. На основании технического отчета по нарушениям, зафиксированным комплексами фотофиксации административных правонарушений «Архимед», эксплуатируемыми на территории Волгоградской области, установлено, что 10 % грузовых автомобилей на региональных доро-

гах имеют перегруз до 20 %. Вследствие движения перегруженных ТС по неровному покрытию с недостаточной прочностью в зоне датчиков зафиксированы дефекты в виде трещин, выбоин, выкрашивания и колеи (рис. 3).



Рис. 3. Дефекты проезжей части в зоне весоизмерительных датчиков
Fig. 3. Defects of the road pavement nearby weighing sensors

По причине недостаточной прочности дорожного покрытия на подъездах к месту расположения датчиков произошло образование колеи, которая способствовала поперечному раскачиванию грузовых автомобилей и снижало точность измерений веса ТС до 40 %. Одной из основных причин низкой точности взвешивания в системах WIM являются процессы, возникающие в комплексе «дорожное покрытие – датчик – нагрузки» как от воздействия изменений температуры дорожного покрытия, так и от возрастания транспортной нагрузки. Кроме того, в колее образуется вертикальный порог, создаваемый корпусом датчика и возвышающийся над низом колеи, что приводит к росту ударной нагрузки на корпус датчика до 30 % и его дальнейшему разрушению при проезде тяжеловесного автомобиля (рис. 4).



Рис. 4. Разрушение покрытия и весоизмерительного датчика
Fig. 4. Pavement and weighing sensor destruction

Прочность проезжей части является главным параметром, определяющим формирование продольной (IRI) и поперечной ровности (колеяности) покрытия. При обосновании требований к проезжей части необходимо учитывать конструктивные особенности WIM-датчиков в покрытии (рис. 5) [15–17].

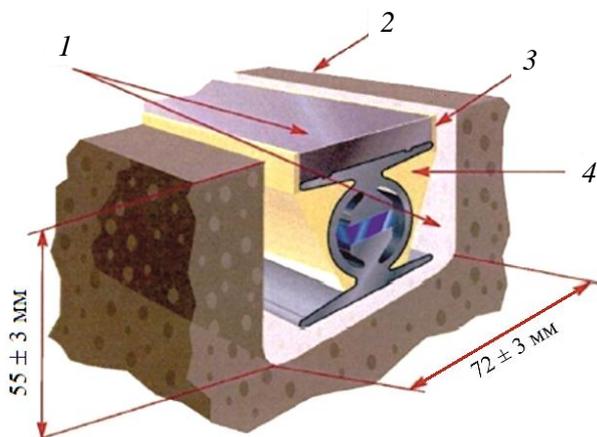


Рис. 5. Конструкция WIM-датчика и схема его установки в покрытие²:
 1 – песко/цементно-эпоксидный раствор; 2 – дорожное покрытие; 3 – пена-полоса;
 4 – пена

Fig. 5. WIM sensor and its schematic installation in the pavement:
 1 – sand/cement-epoxy mortar; 2 – road surface; 3 – foam strip; 4 – foam

WIM-датчик устанавливается в подготовленную в дорожном покрытии штрабу с размером по глубине 50–70 мм, по ширине 70–100 мм, по длине 500–2000 мм [1, 10]. Полимерный слой толщиной 7–10 мм, нанесенный сверху на поверхность корпуса датчика и непосредственно контактирующий с колесом транспортного средства, выполняет защитную функцию, предотвращая его преждевременный износ.

Требования к точности взвешивания ТС WIM-системами в Российской Федерации установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 16 ноября 2020 г. № 1847 «Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» в пределах 5 % для общей массы ТС и 11 % для нагрузок на ось, и на момент ввода в эксплуатацию допустимые погрешности должны быть уменьшены в 2 раза [10]. Ухудшение продольной ровности покрытия (IRI) приводит к росту амплитуды вынужденных колебаний кузова автомобиля (раскачивания), которая может в 1,5 раза превышать высоту или глубину неровности и зависит от жесткости подвески ТС и возмущающего усилия на колесо.

Поскольку измерение продольной ровности покрытий производится по международному индексу ровности IRI, важно провести анализ влияния данного показателя на ошибку измерения осевой нагрузки. В исследованиях [1, 10]

² URL: https://rosdornii.ru/upload/iblock/f4d/hxm89adpl4o1odfphyfhz90l43f1r1l/10_ISSLEDOVANIIE_SVOYSTV_MATERIALA_DLYA_FIKSATSIIV_DOROZHNYKH_POKRYTIYAKH_DATCHIKOV_DLYA_DINAMICHESKOGO_VZVESHIVANIYA.pdf

была установлена зависимость между значениями IRI и погрешностью взвешивания (Π , %) в пределах 1–6 м/км:

$$\Pi = 0,125 \cdot \text{IRI}^2 + 1,5536 \cdot \text{IRI} + 2. \quad (1)$$

Согласно установленным требованиям к точности определения осевой нагрузки, индекс IRI для эксплуатируемых АПВГК не должен превышать 3,92 м/км к концу срока службы датчиков, а при вводе АПВГК в эксплуатацию значение IRI должно быть установлено согласно требованиям к точности датчика при первичной поверке. Согласно формуле (1), допустимое начальное значение $\text{IRI} < 1,9$ м/км для всех дорожных покрытий и технических категорий автомобильных дорог является более строгим, по сравнению с нормами Российской Федерации для дорог общего пользования, но хорошо согласуется с данными зарубежных компаний.

Требования к максимальной глубине колеи в зоне АВГК можно аргументировать необходимостью соблюдения допустимой высоты перепада в 3 мм между поверхностью датчика и дорожным покрытием [1, 6–10]. В процессе эксплуатации комплекса на полосе наката образуется колея, что приводит к формированию вертикального перепада у корпуса датчика. При достижении предельного значения в 3 мм необходимо выполнить шлифовку защитного слоя корпуса датчика, чтобы выровнять его с поверхностью дорожного покрытия. После этого датчик может продолжать функционировать до тех пор, пока не сформируется новый перепад высотой 3 мм относительно дна колеи.

Для нормального функционирования датчика допускается проведение не более двух шлифовок при толщине защитного покрытия 7 мм и не более трех шлифовок при толщине 10 мм. Таким образом, если толщина защитного полимерного слоя составляет 7 мм, максимально допустимая глубина колеи в зоне АВГК во время эксплуатации не должна превышать $2 \times 3 \text{ мм} + 3 \text{ мм} = 9 \text{ мм}$, а при толщине слоя 10 мм – 12 мм. В случае превышения этих значений необходимо заменить датчик, поскольку его ремонт с извлечением из дорожного покрытия производителями не предусмотрен. Глубина колеи в местах расположения WIM-датчиков, напрямую связанная с толщиной защитного слоя датчика, является ключевым фактором, определяющим как срок службы самого датчика, так и долговечность дорожного полотна перед ним.

Прочность дорожной одежды с покрытием нежесткого типа влияет на изменение продольной и поперечной ровности проезжей части в месте расположения АПВГК. Упругий прогиб конструкции, в зависимости от технической категории дороги, должен находиться в пределах 0,10–0,55 мм при нагрузке 50 кН на колесо движущегося ТС. Эти значения существенно ниже нормативных требований для автомобильных дорог общего пользования, где допустимый прогиб составляет 0,69–1,45 мм. Превышение допустимого прогиба под колесом тяжелого транспортного средства может привести к разрушению корпуса датчика и его поломке (рис. 4). Работу корпуса датчика можно рассматривать по схеме нагружения балки конечной длины на упругом основании с учетом допустимого прогиба корпуса датчика под нагрузкой от колеса автомобиля, приложенной на край балки, и прочности самого материала балки. Сохранность датчика обеспечивается при модуле упругости на дне штрабы под датчиком не менее 325 МПа [10].

Расчет по упругому прогибу дорожной одежды для весеннего расчетного периода следует выполнять по ГОСТ Р 71404–2024 с исключением верхней части покрытия на глубину штрабы. Расчет для жаркого летнего периода следует выполнять с учетом ОДМ 218.3.119–2019 при температурах асфальтобетона в пределах 40–50 °С. Согласно расчетам, для компенсации ослабления дорожной одежды штрабой необходимо увеличивать общий модуль упругости конструкции рядом с местом установки датчика на 30–40 % по сравнению с требованиями ГОСТ Р 71404–2024.

Минимальный общий модуль упругости дорожной конструкции региональных дорог рассчитывается по формуле (МПа)

$$E_{\text{общ}} = 1,3E_{\text{мин}} \cdot K_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий модуль упругости на поверхности конструкции; $E_{\text{мин}}$ – минимальный требуемый модуль упругости ГОСТ Р 71404–2024; $K_{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности.

Значения минимального модуля упругости приведены в таблице.

**Минимальный требуемый модуль упругости
нежесткой дорожной одежды в зоне АВГК**

Minimum required elastic modulus of nonrigid pavement nearby WIM control system point

Категория дороги	Тип покрытия	Минимальный модуль упругости, МПа	
		ГОСТ Р 71404–2024	В зоне АВГК
III	Капитальный	365	475
IV		290	377
III	Облегченный	270	351
IV		190	247

Дополнительное повышение общего модуля упругости в местах установки датчиков обеспечивает прочность дорожной одежды на растяжение монолитных слоев при изгибе, а также предотвращает сдвиг в подстилающих грунтах и малосвязных конструктивных слоях [10]. Усиленная конструкция в зоне АВГК должна быть выполнена на протяжении участка длиной не менее 150 м. При этом нет необходимости в строгом совпадении начальной точки усиления конструкции дорожной одежды на одной полосе движения с конечной точкой усиления на противоположной полосе.

Для жестких дорожных одежд с бетонными покрытиями проблема обеспечения высокой прочности отсутствует.

Заключение

На основе проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Практика эксплуатации размещенных на региональных дорогах автоматических пунктов весогабаритного контроля выявила недопустимую погрешность весового контроля, связанную с низкими требованиями к ровности и прочности проезжей части в зоне их установки. Для обеспечения норматив-

ной точности весового контроля и надежной работы WIM-датчиков в течение 5 лет необходимо обеспечить повышенные требования к этим показателям.

2. На основании технического отчета о нарушениях на территории Волгоградской области установлено, что 10 % грузовых автомобилей на региональных дорогах превышают допустимую нагрузку на 20 %, что способствует интенсивному образованию дефектов дорожного покрытия (неровности и колеи). Неровности проезжей части создают дополнительные динамические перегрузки (удары колеса) на проезжую часть и весоизмерительные датчики. Колеиность приводит к поперечному раскачиванию грузовых ТС, что недопустимо в зоне АВГК и ведет к снижению точности измерений.

3. Для проезжей части в зоне АВГК должны быть установлены повышенные требования к прочности (модулю упругости E), продольной ровности (IRI), колеиности (глубине колеи). При вводе в эксплуатацию АПВГК индекс ровности IRI не должен превышать 1,9 м/км, а для эксплуатируемых АПВГК продольная ровность не должна превышать 3,92 м/км. Предельная глубина колеи для всех категорий дороги определена 9 мм. При толщине защитного слоя датчика 10 мм предельная глубина колеи увеличивается до 12 мм. В зоне АВГК не допускаются ямы, выбоины и трещины более ± 6 мм. Для региональных дорог III и IV категорий прочность дорожной конструкции должна быть на 30 % выше требований ГОСТ Р 71404–2024 и составлять 247–475 МПа (см. таблицу). Модуль упругости на дне штрабы весового датчика должен быть не менее 325 МПа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Беляев Н.Н.* Рекомендации по нормированию специальных эксплуатационных требований к дорожным одеждам АПВГК // *Дороги и мосты*. 2020. № 2 (44). С. 160–172. EDN: DLRAKQ
2. *George Y., Constantinou A.* Integration of weigh-in-motion technologies in road infrastructure management // *Ite Journal*. 2005. V. 75 (1). P. 39–43.
3. *Oskarbski J., Kaszubowski D.* Implementation of Weigh-in-Motion System in Freight Traffic Management in Urban Areas // *Transportation Research Procedia*. 2016. V. 16. P. 449–463. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.042
4. *Burnos P., Gajda J., Piwowar P., Sroka R., Stencel M., Zeglen T.* Accurate weighing of moving vehicles // *Metrology and Measurement Systems*. 2007. V. 14. № 4. P. 507–516.
5. *Gorodnichev M., Gematudinov R., Dzhabrailov Kh., Potapchenko T.* The Concept of an Automated Weight and Size Control System for Measuring the Mass of Freight Vehicles in a Traffic Flow (Weight-In-Motion) : Conference: 2019 // *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. 2019. P. 1–5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814120
6. *Кулижников А.М., Беляев Н.Н., Рахимова И.А.* Конструкции дорожных одежд в зонах АПВГК, работающих в режиме движения // *Мир дорог*. 2020. № 133. С. 82–85. EDN: MMGGDD
7. *Кулижников А.М., Рахимова И.А., Беляев Н.Н., Филиппов М.Д.* Требования к участкам автомобильных дорог с автоматическим пунктом весового и габаритного контроля // *Инновации в строительстве*. 2021. № 96. С. 36–41.
8. *Рахимова И.А., Кулижников А.М.* Требования к автоматическим пунктам весогабаритного контроля // *Дорожная держава. Специальный выпуск: Передовые технологии*, 2019. С. 59–61.
9. *Кулижников А.М., Рахимова И.А., Малевинский Н.К.* Требования к конструкциям дорожных одежд на автоматических постах весогабаритного контроля // *Мир дорог. Специальный выпуск*. 2019. С. 23–26.
10. *Беляев Н.Н., Рахимова И.А., Филиппов М.Д.* Требования к прочности нежестких дорожных одежд в зоне весового и габаритного контроля // *Дороги и мосты*. 2022. № 1 (47). С. 129–141. EDN: ODMPJF

11. Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Глазунов И.И. Влияние жесткости основания на напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 4 (85). С. 97–105. EDN: JGWUHR
12. Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Альшианова М.И. Влияние ровности дорожного покрытия на себестоимость перевозок и безопасность движения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 2 (79). С. 24–31. EDN: JBJIGP
13. Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И. Прогнозирование колеечности дорожного покрытия региональных дорог Нижнего Поволжья // Дороги и мосты. 2020. № 2 (44). С. 115–126. EDN: ВНССНТ
14. Горский М.Ю., Симчук Е.Н., Кадыров Г.Ф., Симчук А.Е. Оценка влияния температурных факторов на параметры чаши прогиба нежестких дорожных одежд на основе испытаний прочности установками динамического нагружения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 4. С. 211–225. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-211-225. EDN: FКОННУ
15. *Protecting infrastructure and improving road safety*. URL: https://kistler.cdn.celum.cloud/SAPCommerce_Download_original/200-746e.pdf (дата обращения: 20.03.2025).
16. *'Copycats': a risk for users, and a problem for the industry*. URL: https://kistler.cdn.celum.cloud/SAPCommerce_Download_original/961-762e.pdf (дата обращения 20.03.2025).
17. Hans van Loo, Aleš Žnidarič. Guide for Users of Weigh-In-Motion. An Introduction To Weigh-In-Motion / ISWIM, International Society for Weigh-in-Motion. Radovljica, 2019. 81 p.

REFERENCES

1. Belyaev N.N. Recommendations on Standardizing Operational Requirements for Pavements in WIM System Point Locations. *Dorogi i mosty*. 2020; 2 (44): 160–172. EDN: DLRAKQ (In Russian)
2. George Y., Constantinos A. Integration of Weigh-in-Motion Technologies in Road Infrastructure Management. *ITE Journal*. 2016; 16: 39–43.
3. Oskarbski J., Kaszubowski D. Implementation of Weigh-in-Motion System in Freight Traffic Management in Urban Areas. *Transportation Research Procedia*. 2016; 16: 449–463. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.042
4. Burnos P., Gajda J., Piwowar P., Sroka R., Stencel M., Zeglen T. Accurate Weighing of Moving Vehicles. *Metrology and Measurement Systems*. 2007; 14 (4): 507–516.
5. Gorodnichev M., Gematudinov R., Dzhabrailov Kh., Potapchenko T. The Concept of an Automated Weight and Size Control System for Measuring the Mass of Freight Vehicles in a Traffic Flow (Weight-In-Motion). In: *Proc. Sci. Conf. 'Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications'*. 2019, Pp. 1–5. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814120
6. Kulizhnikov, A.M., Belyaev N.N., Rakhimova I.A. Pavement Construction at WIM system Points. *Mir dorog*. 2020; (133): 82–85. EDN: MMGGDD (In Russian)
7. Kulizhnikov A.M., Rakhimova I.A., Belyaev N.N., Filippov M.D. Requirements for Pavements with WIM System Control Points. *Innovatsii v stroitel'stve*. 2021; (96): 36–41. (In Russian)
8. Rakhimova I.A., Kulizhnikov A.M. Requirements for Automatic Weight and Size Control Points. *Dorozhnaya derzhava. Special Issue "Peredovye tekhnologii"*. 2019; 59–61. (In Russian)
9. Kulizhnikov A.M., Rakhimova I.A., Malevinsky N.K. Requirements for Pavement Construction at Automatic WIM Control Points. *Mir dorog*. 2019; (special issue): 23–26. (In Russian)
10. Belyaev N.N., Rakhimova I.A., Filippov M.D. Requirements for Structural Strength of Nonrigid Pavements at WIM Control Points. *Dorogi i mosty*. 2022; 1 (47): 129–141. EDN: ODMPJF (In Russian)
11. Aleksikov S.V., Leskin A.I., Hoffman D.I., Glazunov I.I. Subgrade Stiffness Effect on Stresses in Structural Layers of Pavement. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2021; 4 (85): 97–105. (In Russian)
12. Aleksikov S.V., Leskin A.I., Hoffman D.I., Alshanova M.I. Pavement Smoothness Effect on Transportation Cost and Traffic Safety. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2020; 2 (79): 24–31. (In Russian)
13. Aleksikov S.V., Leskin A.I., Hoffman D.I. Prediction of Pavement Rutting on Regional Roads in Lower Volga Region. *Dorogi i mosty*. 2020; 2 (44): 115–126. (In Russian)

14. *Gorskii M.Yu., Simchuk E.N., Kadyrov G.F., Simchuk A.E.* Temperature Effect on Flexural Bowl Determined by Falling Weight Deflectometer Testing. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (4): 211–225. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-211-225. EDN: FKOHHU (In Russian)
15. Protecting infrastructure and improving road safety. Available: https://kistler.cdn.celum.cloud/SAPCommerce_Download_original/200-746e.pdf (accessed 03/20/2025).
16. 'Copycats': A risk for users, and a problem for the industry. Available: https://kistler.cdn.celum.cloud/SAPCommerce_Download_original/961-762e.pdf (accessed March 20, 2025).
17. *Hans van Loo, Aleš Žnidarič.* Guide for Users of Weigh-In-Motion. An Introduction to Weigh-In-Motion. ISWIM, International Society for Weigh-in-Motion. Radovljica, 2019. 81 p.

Сведения об авторах

Алексиков Сергей Васильевич, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой, Волгоградский государственный технический университет, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, AL34rus@mail.ru

Лескин Андрей Иванович, канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, leskien@inbox.ru

Гофман Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент, Волгоградский государственный технический университет, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, obsov2012@mail.ru

Лескина Лейла Муаз, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, leylamuaz@yandex.ru

Бормотов Сергей Николаевич, инженер, Волгоградский государственный технический университет, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1.

Authors Details

Sergey V. Aleksikov, DSc, Professor, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, AL34rus@mail.ru

Andrey I. Leskin, PhD, A/Professor, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, leskien@inbox.ru

Dmitry I. Gofman, PhD, A/Professor, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, obsov2012@mail.ru

Leyla M. Leskina, Research Assistant, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, leylamuaz@yandex.ru

Sergey N. Bormotov, Engineer, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.04.2025
Одобрена после рецензирования 24.04.2025
Принята к публикации 24.04.2025

Submitted for publication 07.04.2025
Approved after review 24.04.2025
Accepted for publication 24.04.2025