Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering https://t-s.today

2023, Том 10, № 3 / 2023, Vol. 10, Iss. 3 https://t-s.today/issue-3-2023.html

URL: https://t-s.today/PDF/06SATS323.pdf

DOI: 10.15862/06SATS323 (https://doi.org/10.15862/06SATS323)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Изменение светотехнических параметров горизонтальной дорожной разметки в процессе эксплуатации

Бочкарев В.И., Жустарёва Е.В., Горячев М.Г.

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Жустарёва Елена Владимировна, e-mail: joustareva@mail.ru

Аннотация. Одним из наиболее важных потребительских свойств автомобильной дороги является безопасность движения. Для организации движения транспортных потоков и обеспечения безопасности на автомобильных дорогах применяют технических средства организации дорожного движения, к которым относится горизонтальная дорожная разметка. Наличие хорошо читаемых схем разметки, особенно на дорогах без искусственного освещения, а также в условиях недостаточной видимости, способствует обеспечению безопасного движения автомобилей и пешеходов в соответствии с Правилами дорожного движения. Настоящая работа посвящена исследованию зависимости изменения светотехнических параметров горизонтальной дорожной разметки от технологических, эксплуатационных и иных факторов. Акцент в работе сделан на анализ изменения коэффициента световозващения, так как этот параметр является показателем видимости разметки темное время суток. Именно в этот период происходит большая часть дорожно-транспортных происшествий, которые имеют наиболее тяжелые последствия. В статье приведен анализ зарубежных исследований, касающихся причин снижения светотехнических параметров разметки и установления статистических зависимостей, описывающих этот процесс. Авторами выполнены экспериментальные исследования процесса деградации дорожной разметки на автомобильных дорогах общего пользования II и III категорий в Московской области. На основании результатов эксперимента дана оценка влияния технологических и эксплуатационных факторов на ухудшение светотехнических характеристик дорожной разметки. Анализ был выполнен для разных линий дорожной разметки, нанесенных термопластиком и холодным пластиком. По результатам исследования даны рекомендации по обеспечению требуемых значений такой светотехнической характеристики, как коэффициент световозвращения, при нанесении горизонтальной дорожной разметки.

Ключевые слова: горизонтальная дорожная разметка; светотехнические характеристики; коэффициент световозвращения; коэффициент светоотражения; термопластик; холодный пластик; микростеклошарики

Illuminating parameters variation of horizontal road markings in the operation process

Vladimir I. Bochkarev, Elena V. Zhustareva, Mikhail G. Goryachev

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia

Corresponding author: Elena V. Zhustareva, e-mail: joustareva@mail.ru

Abstract. One of the most important consumer properties of a highway is traffic safety. In order to organize traffic flows and ensure safety on highways, technical means of traffic organization are used, which include horizontal road markings. The presence of easy-to-read marking schemes, especially on roads without artificial lighting, as well as in low visibility conditions, contributes to ensuring the cars safety traffic and pedestrians in accordance with the road traffic regulations. This work devoted to the dependence study of changes in the lighting parameters of horizontal road markings on technological, operational and other factors. Emphasis in the work is made on the analysis of changes in the light transmission coefficient, as this parameter is a markings visibility indicator in darkness hours. As in the darkness hours period most of the road accidents occur, which have the most severe consequences. The article analyzes foreign studies concerning the reasons for the lighting markings parameters reduction and the statistical dependencies establishment describing this process. The authors have carried out experimental studies of the road markings degradation process on public roads of II and III categories in the Moscow Region. Based on the experimental results, the influence of technological and operational factors on the road markings lighting characteristics deterioration is evaluated. The analysis was performed for different road marking lines applied by thermoplastic and cold plastic. According to the study results recommendations are given to ensure the required values of such lighting characteristics as retroreflection coefficient when applying horizontal road markings.

Keywords: horizontal road markings; illuminating characteristics; retroreflexion coefficient; light-reflection ratio; thermoplastic; cold plastic; microglassbeads

Введение

Introduction

Одной из главных задач, которые необходимо решить при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильной дороги, является обеспечение безопасности движения. Министерством Транспорта Российской Федерации разработан и реализуется Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги», продленный до 2030 года, предусматривающий разработку, совершенствование и внедрение различных мероприятий по повышению безопасности движения на автомобильных дорогах в Российской Федерации.

Выделяют следующие причины повышения аварийности на автомобильных дорогах: несоблюдение водителями правил дорожного движения (человеческий фактор), техническое состояние транспортного средства (фактор — автомобиль), наличие дефектов на проезжей части дороги или отсутствие средств организации движения (фактор — автомобильная дорога). В статье внимание будет уделено третьему фактору.

Для обеспечения требуемого уровня безопасности дорожного движения и повышения транспортно-эксплуатационных показателей дороги (пропускной способности полосы движения, скорости движения транспортных средств, удобства движения и др.) применяют технические средства организации дорожного движения (ТСОДД), такие как: светофоры, дорожные знаки, дорожную разметку, световозвращатели. безопасность на автомобильных дорогах напрямую зависит от наличия, качества и долговечности технических средств организации дорожного движения. При их отсутствии или низком качестве (наличие дефектов, несоответствие нормативным требованиям) водитель транспортного средства не получает необходимую для принятия правильного решения информацию, вследствие чего может произойти дорожно-транспортное происшествие (ДТП). Поэтому жизненно важно не только наличие самих ТСОДД, но и обеспечение соответствия их эксплуатационных характеристик требованиям, установленным нормативными документами, в течение всего срока службы.

для водителей транспортных средств одним из наиболее важных оптических ориентиров является горизонтальная дорожная разметка. Главное отличие горизонтальной дорожной разметки от остальных ТСОДД заключается в том, что она постоянно находится в поле видимости водителей. Таким образом, посредством дорожной разметки происходит непрерывное информирование водителей о возможных изменениях условий движения на дороге, в то время как дорожные знаки, указатели и

светофоры дают точечную (дискретную) информацию. Поэтому качество дорожной разметки существенно влияет на безопасность дорожного движения и может способствовать снижению аварийности на 5–30 %. Всемирный опыт показывает, что величина затрат на нанесение дорожной разметки оказывается как минимум на порядок ниже ущерба от предотвращаемых с её помощью ДТП.

Особую важность приобретает наличие и состояние дорожной разметки в ночное время на участках дорог, где отсутствует искусственное освещение, о чем свидетельствует статистика ДТП. По данным Министерства Внутренних Дел Российской Федерации и Научного Центра Безопасности Дорожного Движения за 9 месяцев 2021 года на территории Российской Федерации было зарегистрировано 96 314 дорожно-транспортных происшествий, при этом 121 573 человека получили ранения, а 10 516 человек погибли. Также установлено, что наибольшее количество ДТП происходило во временном интервале с 17:00 до 20:00 (каждое пятое ДТП); наиболее тяжёлые ДТП происходили во временном интервале с 01:00 до 07:00 (13 погибших на 100 пострадавших).[1]

Согласно ГОСТ Р 51256-2018 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования» наиболее важными параметрами, напрямую влияющими на видимость горизонтальной дорожной разметки, являются её светотехнические характеристики:

- коэффициент яркости поверхности горизонтальной дорожной разметки β_V — характеристика дневной видимости горизонтальной дорожной разметки для пешеходов;
- удельный коэффициент светоотражения при диффузном дневном или искусственном освещении Q_d — характеристика дневной видимости или видимости от искусственного освещения для водителя;
- удельный коэффициент светоотражения разметки при сухом покрытии R_L — характеристика ночной видимости дорожной разметки для водителей.

Для устройства горизонтальной дорожной разметки в соответствии с ГОСТ Р 51256-2018 применяют краски (эмали), термопластики, холодные пластики, полимерные ленты. В последние годы на федеральной сети дорог общего пользования Российской Федерации резко возрастает площадь разметки, выполняемой из термопластиков и холодных пластиков. Термопластики, как правило, используют для нанесения

[1] https://нцбдд.мвд.рф/news/item/26634951.

продольных линий дорожной разметки. При этом используется механизированный метод нанесения материала с помощью разметочных машин. Холодный пластик традиционно является более удобным материалом с технологической точки зрения для выполнения «ручных работ» — нанесения «символьной» разметки с использованием метода «скотч-трафарет» (поперечная разметка на пешеходных переходах, символьная разметка по полосам движения и на островках безопасности).

Видимость дорожной разметки обеспечивают микростеклошарики, которые представляют собой смесь гранул из прозрачного стекла размером от 100 до 850 мкм и более с коэффициентом преломления 1,5 и более. Микростеклошарики имеют форму близкую к шарообразной (микросферы). Для обеспечения эффекта световозвращения слой стеклошариков распределяют равномерно по поверхности линии разметки с расходом 300–400 г/м^2, при этом микростеклошарик нижней частью должен быть достаточно заглублен в разметочный материал (примерно на 1/2 диаметра сферы).

Горизонтальная дорожная разметка в процессе эксплуатации подвергается интенсивному воздействию колёс транспортных средств, рабочих органов уборочной техники и природно-климатических факторов. В результате происходит разрушение материала разметки, выбивание микростеклошариков из разметочного материала, уменьшение площади линий разметки и, как следствие, ухудшение светотехнических характеристик, то есть снижению функциональных свойств.

Научные исследования в области обеспечения безопасности на автомобильных дорогах с помощью горизонтальной дорожной разметки связаны с совершенствованием разметочных материалов [1–5], изменением структуры разметки и технологии её нанесения [6–8], методами оценки и обеспечения светотехнических характеристик разметки [9], выявлением влияния условий эксплуатации на функциональную долговечность дорожной разметки [10].

Основной проблемой эксплуатации горизонтальной дорожной разметки является её недостаточная функциональная долговечность по светотехническим характеристикам таким, как: коэффициент световозвращения для условий темного времени суток R_L и коэффициент светоотражения при диффузном дневном или искусственном освещении Q_d . [10]. Согласно ГОСТ Р 51256-2018 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования» под функциональной долговечностью понимают период, в течение которого разметка отвечает техническим требованиям. Исследование причин снижения светотехнических характеристик и разработка мероприятий по обеспечению функциональной долговечности

дорожной разметки являются актуальными научно-практическими задачами.

Методы

Methods

Коэффициент световозвращения R_L является показателем видимости разметки водителями при движении в темное время суток. Видимость разметки при освещении фарами автомобилей обеспечивает слой микростеклошариков, нанесенный на поверхность разметочного материала, возвращающий свет фар автомобиля обратно к глазам водителя (эффект сферического световозвращения) [11]. Падение коэффициента световозвращения в процессе эксплуатации обусловлено выбиванием микростеклошариков из верхнего слоя линии разметки при воздействии колес автомобилей и рабочих механизмов уборочной техники. Одновременно происходит снижение коэффициента светоотражения Q_d, характеризующего видимость разметки в светлое время суток. Это обусловлено тем, что на поверхности линии разметки формируется слой устойчивого загрязнения, при этом особенно стойко загрязнение сохраняется в «кратерах», оставшихся после выбитых микростеклошариков.

Основные факторы, влияющие на процесс снижения светотехнических показателей горизонтальной дорожной разметки, можно подразделить на шесть групп:

1 группа — технологические факторы: характеристики самого разметочного материала, расход микростеклошариков, технологическое обеспечение правильной «посадки» микростеклошариков в поверхностный слой разметочного материала, материал верхнего слоя покрытия (асфальтобетон или цементобетон);

2 группа — характеристики транспортного потока: интенсивность движения, состав транспортного потока, количество автомобилей с шипованными шинами в зимний период;

3 группа — режим движения транспорта: скорость движения транспортных средств, количество обгонов и перестроений из полосы в полосу, интенсивность разгонов и торможений;

4 группа — характеристики участка автомобильной дороги: ширина и количество полос движения, состояние дорожного покрытия (ровность и колейность), геометрические характеристики плана и продольного профиля (наличие кривых в плане, участков подъемов-спусков);

5 группа — характеристики самой линии разметки: расположение на проезжей части (продольные осевая и краевая линии или линии рядности, поперечная линия), допускающая или не допускающая переезды через линию согласно правилам дорожного движения;

6 группа — характеристики содержания дороги в период эксплуатации: режимы снегоочистки проезжей части и обработки её противогололедными материалами в зимний период, режимы очистки и мойки в теплый период.

Исследования, проводимые в Тайланде на многополосных дорогах с асфальтобетонным покрытием, показали, что снижение коэффициентов световозвращения и светоотражения зависит от нескольких факторов, таких как интенсивность движения и состав транспортного потока, длительность эксплуатации разметки, положение линии разметки на проезжей части и погодных условий [12]. Факторы, оказывающие статистически значимое влияние — это интенсивность движения и положение разметки на проезжей части.

Влияние положения линии дорожной разметки на проезжей части на снижение её светоотражающей способности для термопластичных систем подтвердили наблюдения на дорогах Северной Каролины, проводимые в течение пяти лет [13]. Было статистически доказано, что светоотражающая способность разметки на линиях рядности снижается быстрее, чем на краевых линиях.

Опыт эксплуатации дорожной разметки с повышенной отражающей способностью (применялись микростеклошарики премиум-класса) на дорогах Хорватии и Польши показал, что функциональная долговечность такой дорожной разметки по светотехническим показателям может составить более двух лет [14]. Но из-за серьезных повреждений, связанных с зимним содержанием, светотехнические показатели резко снижаются в течение одного года.

Представляют научный и практический интерес установление закономерностей, описывающих снижение значений светотехнических показателей горизонтальной дорожной разметки, и оценка степени влияния указанных выше групп факторов на интенсивность исследуемого процесса. Как правило, для прогнозирования значений светотехнических характеристик дорожной разметки используют линейные или логарифмические зависимости.

Насер Аббуд и Брайан Боуман [15] разработали модель экспоненциальной регрессии световозвращающей способности дорожной разметки для белых линий разметки из термопластика (коэффициент корреляции модели $R^2 = 0,58$):

$$R_L = -70{,}806 \cdot \ln N_t + 150{,}55, \quad (1)$$

где R_L — коэффициент световозвращения для условий темного времени суток, мкд/м^2/лк; N_t — интенсивность движения за рассматриваемый период t, $N_t = 0{,}0304 \cdot N \cdot t$; N — среднегодовая суточная интенсивность движения, авт/сут; t — время (срок прогнозирования), месяцы.

Линейна модель была предложена учеными Государственного университета Северной Каролины [16]. Модель прогнозирования коэффициент световозвращения для линий разметки из термопластика показала достаточно высокую корреляцию ($R^2 = 0{,}60$).

$$R_L = 190 + 0{,}39 \cdot R_{L0} - 2{,}09 \cdot t - 0{,}0011 \cdot N + 20{,}7 \cdot X_1 - 20{,}7 \cdot X_2 + \\ + 19 \cdot X_3 - 19 \cdot X_4, \quad (2)$$

где R_{L0} — начальное значение коэффициента световозвращения для условий темного времени суток, мкд/м^2/лк; N — среднегодовая суточная интенсивность движения, авт/сут; t — время (срок прогнозирования), месяцы; X_1 и X_2 — коэффициенты, учитывающие положение линии разметки на проезжей части. $X_1 = 1$, если рассматривают краевую линию, 0 в противном случае. $X_2 = 1$, если рассматривают линию рядности, 0 в противном случае; X_3 и X_4 — коэффициенты, учитывающие цвет материала разметки. $X_3 = 1$, если линия белая, 0 в противном случае. $X_4 = 1$, если линия желтая, 0 в противном случае.

В исследовательской работе Дарио Бабича [17] зависимости коэффициента светововрашения имеют следующий вид:

для линий разметки из термопластичных материалов:

$$R_L = 225{,}120 + 0{,}346 \cdot R_{нач} - 0{,}234 \cdot t; \quad (3)$$

для линий разметки, выполненных холодным пластиком:

$$R_L = 90{,}583 + 1{,}007 \cdot R_{нач} - 0{,}345 \cdot t - 35{,}642 \cdot p - 2{,}535 \cdot r, \quad (4)$$

где $R_{нач}$ — начальное значение коэффициента световозвращения, мкд/м^2/лк; t — продолжительность периода эксплуатации разметки, дни; p — показатель положения линии разметки на проезжей части ($p = 1$ для разделительной линии, $p = 0$ для краевой); r — количество зимних сервисных мероприятий.

Результаты

Results

В настоящее время вопрос прогнозирования изменения светотехнических показателей разметки в процессе эксплуатации является актуальным.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Потому на первом этапе исследования была поставлена задача разработать подобные статистические модели для условий эксплуатации горизонтальной разметки в РФ.

С этой целью были выполнены измерения коэффициента световозвращения на участках федеральных дорог в Московской области. Измерения фотометрических показателей выполняли с помощью прибора ретрорефлектометра ZEHNTNER ZRM 6006.

Измерения проводили на осевых, краевых линиях разметки и пешеходных переходах. Продольную разметку на этих дорогах выполняют из термопластика, поперечную (пешеходные переходы) — из холодного пластика. Из полного массива данных (более 500 результатов измерений) для анализа были выбраны участки дорог II и III категории, имеющие две полосы движения.

При статистической обработке результатов измерений были сформированы выборки данных для разных типов линий разметки: 1 выборка — сплошная одиночная линия, применяемая для разметки оси проезжей части (номер линии разметки 1.1 по ГОСТ Р 51256-2018); 2 выборка — сплошная одиночная линия, расположенная вдоль края проезжей части (номер линии разметки 1.2 по ГОСТ Р 51256-2018); 3 выборка — сплошные полосы одного цвета, расположенные вдоль оси проезжей части, обозначающие пешеходный переход (номер линии разметки 1.14.1 по ГОСТ Р 51256-2018).

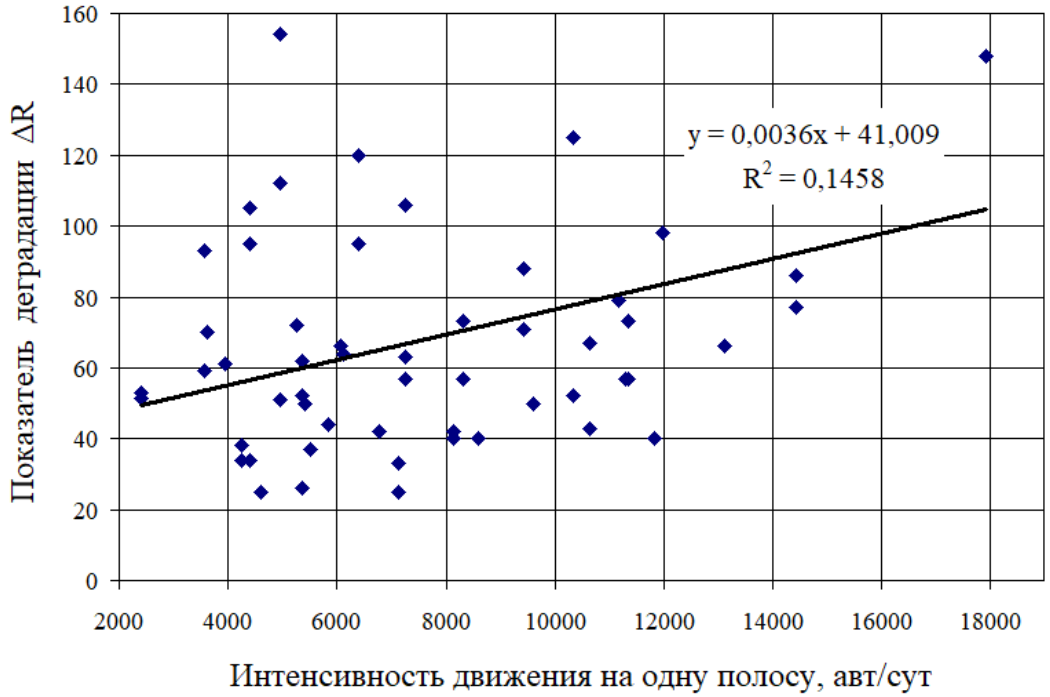
По аналогии с зарубежными исследованиями, были предприняты попытки найти корреляционную зависимость изменения коэффициента световозвращения в процессе эксплуатации разметки в зависимости от упомянутых выше факторов: среднегодовой суточной интенсивности движения транспортных средств; средней скорости движения транспортных средств на участке, начального значения коэффициента световозвращения, расположение линии разметки на проезжей части.

Анализу был подвергнут показатель деградации коэффициента световозвращения ΔR за три месяца эксплуатации (июнь — август), представляющий собой разницу между начальным значением коэффициента световозвращения после нанесения разметки и его величиной в конце периода наблюдений.

Зависимость показателя деградации коэффициента световозвращения ΔR от средней суточной интенсивности движения по одной полосе представленная на рисунке 1, от скорости движения автомобилей — на рисунке 2, от начального значения коэффициента световозвращения — на рисунке 3.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

а)



б)

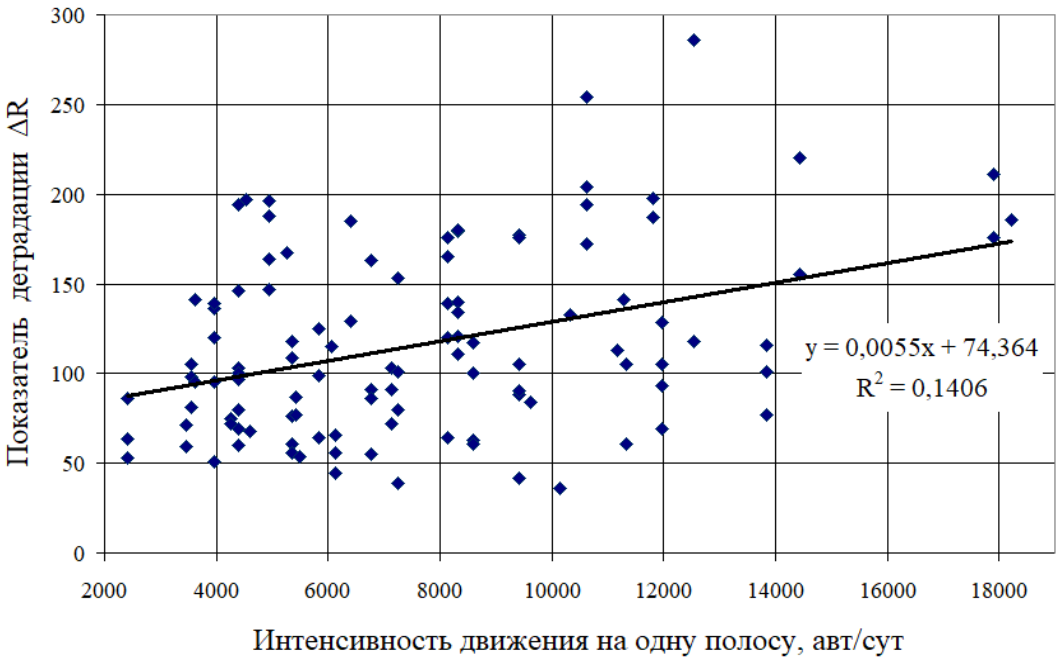
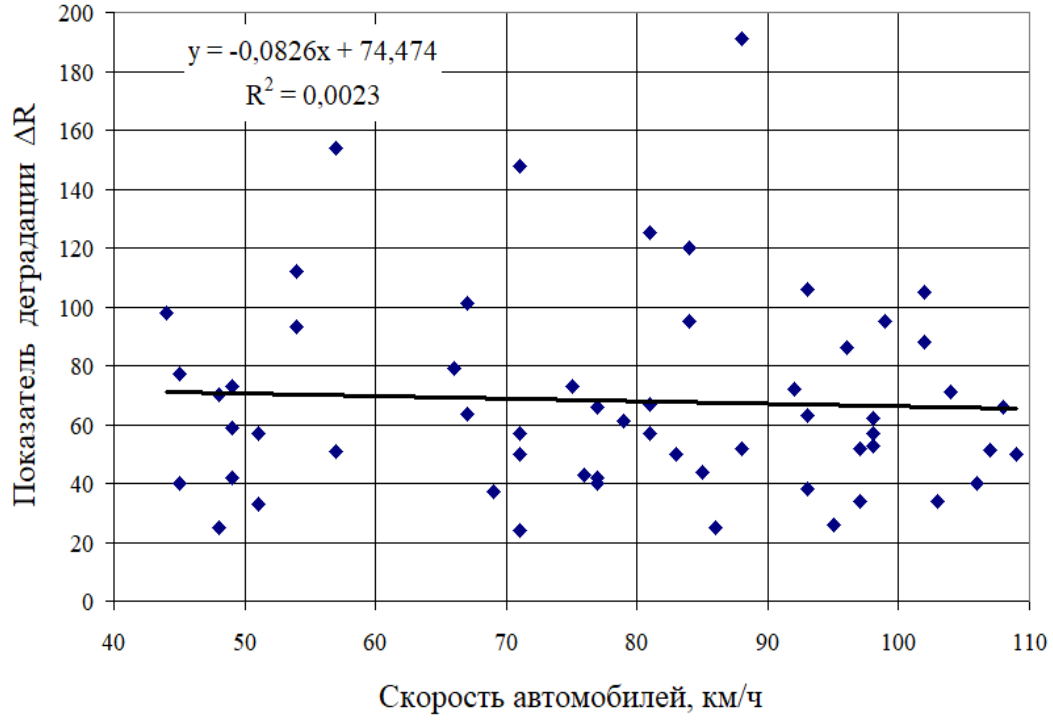


Рисунок 1. *Зависимость показателя деградации коэффициента световозвращения ΔR (мкд/лк/м²) от средней суточной интенсивности движения по одной полосе: а — для осевых линий разметки (номер линии — 1.1); б — для краевых линий разметки (номер линии — 1.2) (разработано автором)*

Figure 1. *Dependence of the retroreflexion coefficient degradation index ΔR (μd/lk/m²) on the average daily traffic intensity on one lane: a — for axial marking lines (line number — 1.1); b — for edge marking lines (line number — 1.2) (developed by the author)*

а)



б)

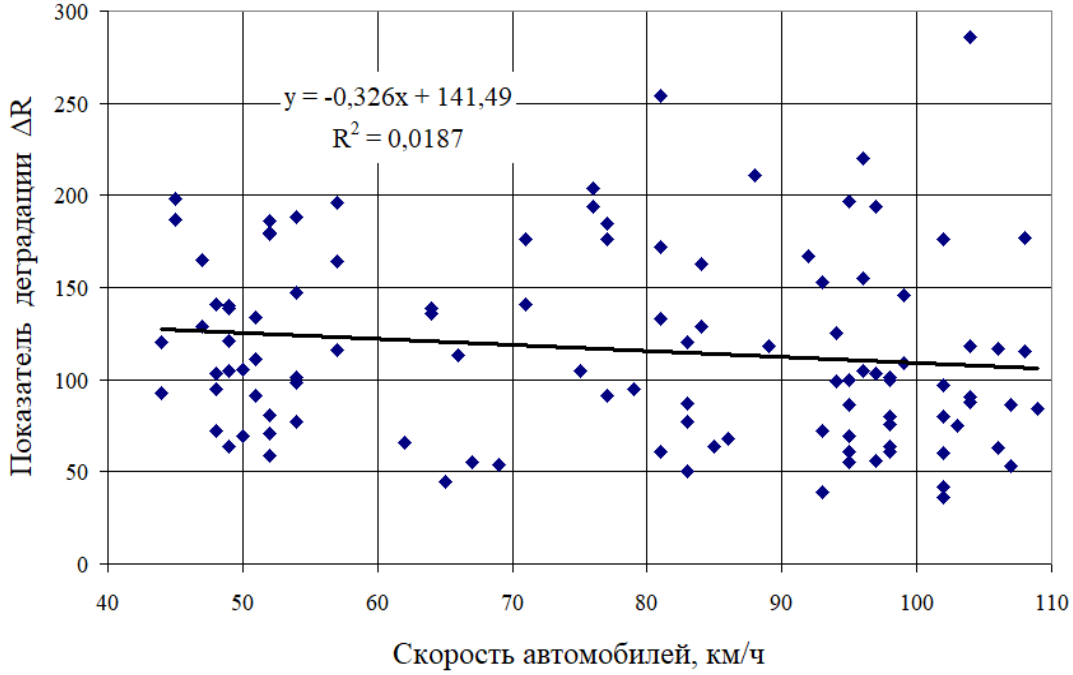
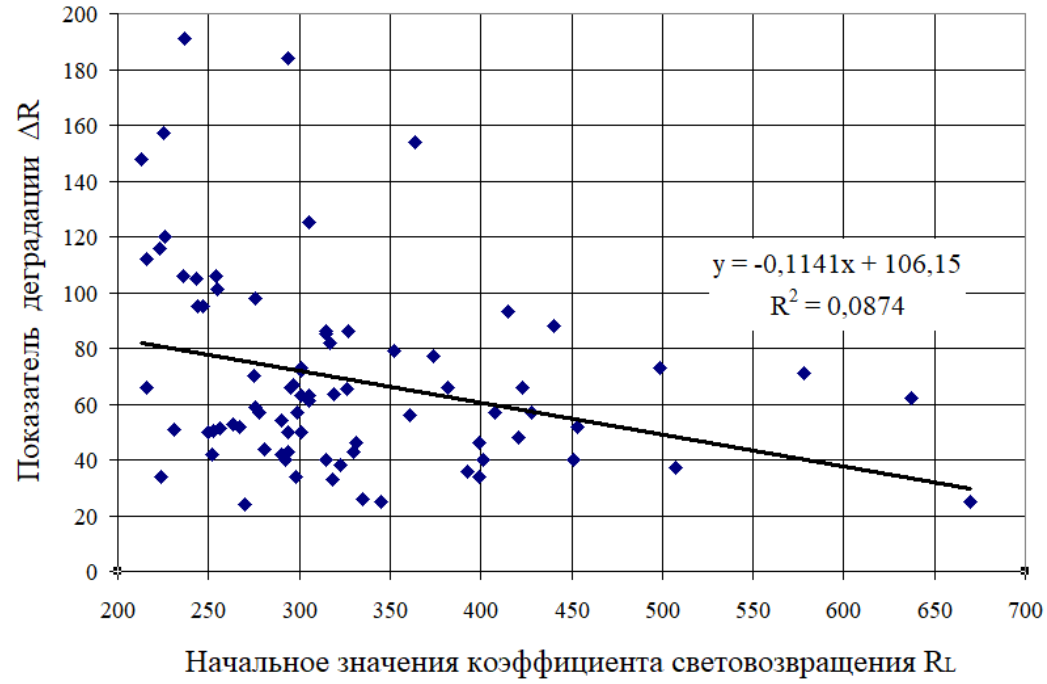


Рисунок 2. *Зависимость показателя деградации коэффициента световозвращения ΔR (мкд/лк/м²) от скорости движения автомобилей: а — для осевых линий разметки (номер линии — 1.1); б — для краевых линий разметки (номер линии — 1.2) (разработано автором)*

Figure 2. *Dependence of the retroreflexion coefficient degradation index ΔR (μd/lk/m²) on vehicle speed: a — for axial marking lines (line number — 1.1); b — for edge marking lines (line number — 1.2) (developed by the author)*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

а)



б)

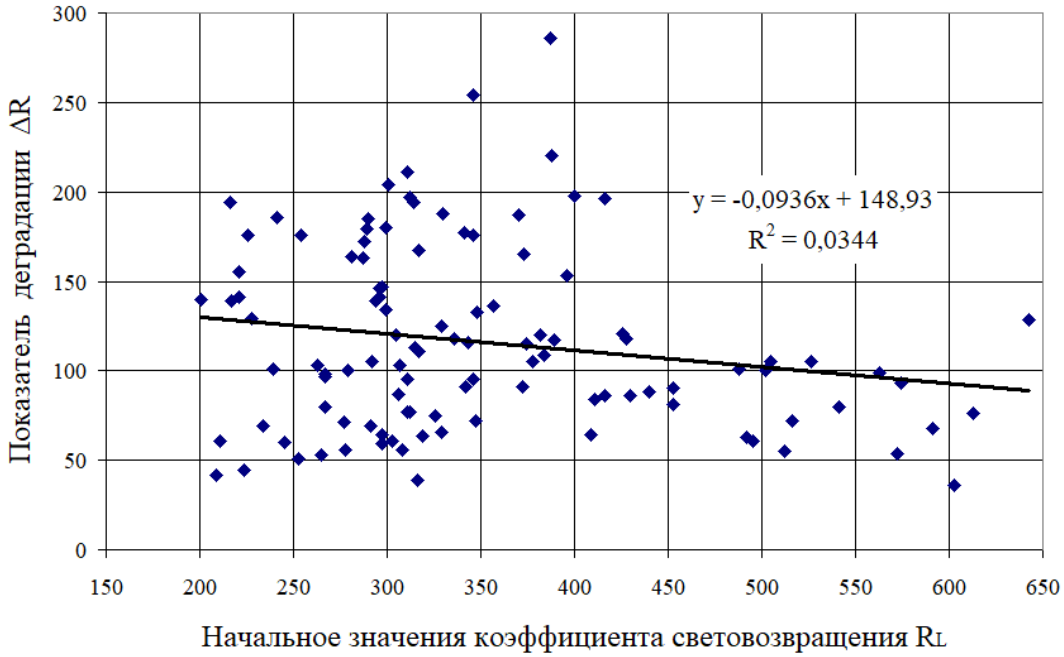


Рисунок 3. *Зависимость показателя деградации коэффициента световозвращения ΔR (мкд/лк/м²) от начального значения коэффициента световозвращения R_L (мкд/лк/м²): а — для осевых линий разметки (номер линии — 1.1); б — для краевых линий разметки (номер линии — 1.2) (разработано автором)*

Figure 3. *Dependence of the retroreflexion coefficient degradation index ΔR (μd/lk/m²) on the initial value of retroreflectance coefficient RL (μd/lk/m²): a — for axial marking lines (line number — 1.1); b — for edge marking lines (line number — 1.2) (developed by the author)*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

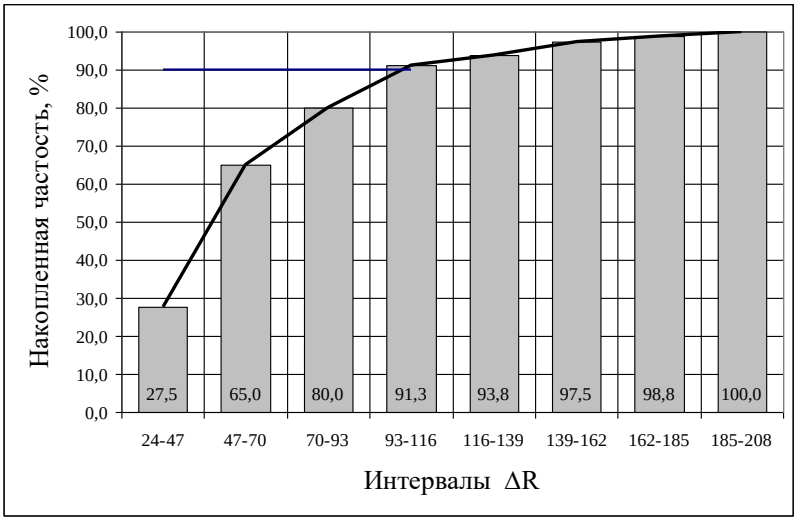
Проведенные расчеты показали, что всем зависимостям соответствует низкий коэффициент корреляции (R^2 менее 0,2), что свидетельствует об очень слабой степени статистической взаимосвязи. Однако тенденцию снижения показателя деградации коэффициента световозвращения при увеличении его начального значения (рис. 3) можно объяснить влиянием технологических факторов (1 группа факторов).

Значение коэффициента световозвращения и его изменение в процессе эксплуатации зависят от степени заглубления микростеклошариков в слой разметочного материала. Оптимальным для достижения максимальной величины световозвращения является заглубление микростеклошарика на половину диаметра. Отклонение от этого значения, как в большую, так и в меньшую сторону приводит к значительному снижению величины коэффициента световозвращения, а недостаточное заглубление еще и к быстрому выбиванию микростеклошариков из слоя разметки колесами транспортных средств. Следовательно, чем больше микростеклошариков имеют оптимальное заглубление, тем выше коэффициент световозвращения и больше количество микростеклошариков, которые имеют прочное закрепление в материале. В этом случае меньше микростеклошариков будет выбиваться колесами транспортных средств, что обеспечит меньшее снижение коэффициента световозвращения.

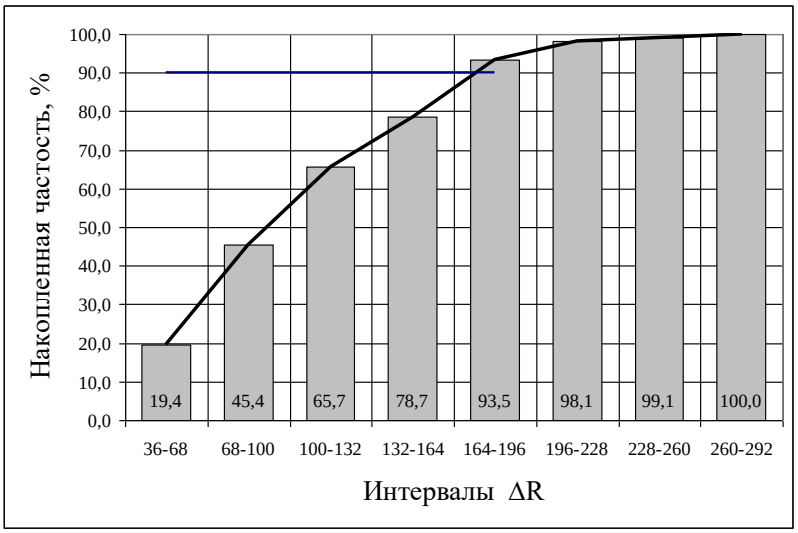
На сегодняшний день, данный технологический фактор (степень заглубления микростеклошариков в слой разметочного материала) является сложно управляемым, потому что оценить качество нанесения микростеклошариков на слой разметочного материала можно только с помощью инструментальных измерений величины коэффициента световозвращения. Приборы, с помощью которых можно это сделать, очень дорогие, и есть в единичных экземплярах только у некоторых организаций, занимающихся нанесением дорожной разметки. Поэтому на втором этапе исследования была поставлена задача, установить начальное значение коэффициента световозвращения для условий темного времени суток при сухом покрытии R_L, чтобы с высокой степенью вероятности обеспечить соответствие нормативным требованиям в течение теплого периода эксплуатации. В качестве расчетного принимают теплый период года (с мая по сентябрь). В зимний период на поверхности дороги практически всегда присутствует вода в твердом или жидком состоянии или раствор химических реагентов. При наличии такого слоя на поверхности дороги, а значит и на поверхности линии разметки, обеспечить ночную видимость с помощью микростеклошариков практически невозможно.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

а)



б)



в)

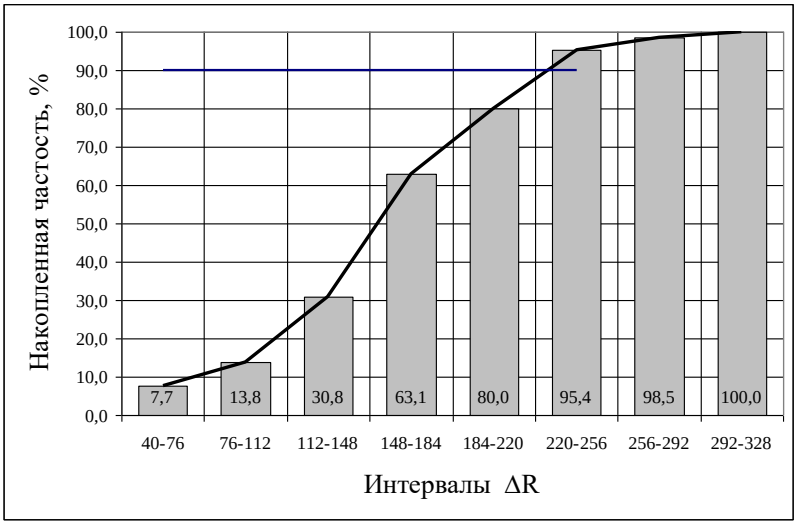


Рисунок 4. *Кумулятивные кривые показателя деградации коэффициента световозвращения ΔR (мкд/лк/м^2): а — для осевых линий разметки (номер линии — 1.1); б — для краевых линий разметки (номер линии — 1.2); в — для пешеходных переходов (номер линии — 1.14.1) (разработано автором)*

Figure 4. *Cumulative curves of the retroreflexion coefficient degradation index ΔR (μd/lk/m^2): a — for axial marking lines (line number — 1.1); b — for edge marking lines (line number — 1.2); c — for crosswalks (line number — 1.14.1) (developed by the author)*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Поставленная задача была решена путем статистической обработки массивов данных показателя деградации коэффициента световозвращения ΔR для различных типов линий: краевых, осевых и пешеходных переходов. Анализ данных по критерию Пирсона показал, что результаты измерения, полученные на осевых и краевых линиях разметки (продольные линии), не подчиняются нормальному закону распределения, а результаты, полученные на линиях пешеходных переходов (поперечные линии), подчиняются нормальному закону распределения. В целом статистические данные характеризуются низкой однородностью (значения коэффициента вариации 0,33…0,5), поэтому следует увеличивать их объем для получения более точных выводов.

Для оценки значения показателя деградации коэффициента световозвращения ΔR были построены кумулятивные кривые (рис. 4). По полученным кумулятивным кривым была определена величина падения коэффициента световозвращения 90-процентной обеспеченности. Эти значения составляют:

- для краевых линий разметки — 175 мкд/лк/м^2;
- для осевых линий — 105 мкд/лк/м^2;
- для пешеходных переходов — 225 мкд/лк/м^2.

Таким образом, чтобы обеспечить в теплый период года требуемое значение коэффициента световозвращения в соответствии с ГОСТ Р 52289-2019 «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств» равное не менее 200 мкд/лк/м^2 с 90-процентной вероятностью начальные значения коэффициента должны составлять

- для краевых линий — не менее 375 мкд/лк/м^2;
- для осевых линий — не менее 305 мкд/лк/м^2;
- для пешеходных переходов — не менее 425 мкд/лк/м^2.

Обсуждение

Discussion

В ходе экспериментальных исследований не удалось подтвердить предложенные зарубежными исследователями зависимости, описывающие динамику изменения светотехнических показателей горизонтальной дорожной разметки. Полученные статистические данные характеризуются низкой однородностью, поэтому следует увеличивать их объем для получения более точных выводов.

Установлена тенденция уменьшения показателя деградации коэффициента световозвращения для линий дорожной разметки при увеличении начального значения коэффициента световозвращения.

Практическое значение полученных результатов состоит в оптимизации процесса контроля качества разметки, а именно — если начальные значения при приемочном контроле разметки превышают полученные рекомендованные значения, то отпадает необходимость в проведении повторного эксплуатационного контроля на предмет соблюдения гарантийных обязательств по выполнению требований к светотехническим характеристикам разметки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Артеменко, А.А.** Долговечные материалы для дорожной разметки. Химия и технология: научное издание / А.А. Артеменко, С.И. Возный, С.М. Евтеева, А.В. Кочетков. — Саратов: «РАТА», 2011. — 182 с.
2. **Возный, С.И.** Применение наполнителей в материалах для дорожной разметки на полимерной основе / С.И. Возный, С.М. Евтеева, В.В. Талалай, А.В. Кочетков // Пластические массы. — 2014. — № 5-6. — С. 37–40. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22025011. — EDN SNZHUB. (дата обращения: 05.06.2023).
3. **Возный, С.И.** Разработка технологии, производства и применения композитных полимерных разметочных материалов / С.И. Возный, В.А. Погуляйко, С.М. Евтеева [и др.] // Интернет-журнал Науковедение. — 2012. — № 3. — С. 24. — URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18818551. — EDN PVUYYF. (дата обращения: 05.06.2023).
4. **Bochkarev, V.I.** Study of material strength properties for horizontal road marking using innovation equipment / V.I. Bochkarev, E.V. Zhustareva, S.V. Fedorov. — DOI https://doi.org/10.1088/1757-899X/1159/1/012002 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1159, International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control (DS ART 2020) 14th–16th December 2020, Moscow, Russia / Москва: IOP Publishing Ltd, 2021. — С. 12002. — URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1159/1/012002. (дата обращения: 10.06.2023).
5. **Габдуллин, Т.Р.** Повышение морозостойкости материала дорожной разметки / Т.Р. Габдуллин, Е.В. Харламов, Р.Ф. Кашипов [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2020. — № 2. — С. 106–114. — URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2020/2_2020.pdf. — EDN MEVWKF. (дата обращения: 10.06.2023).
6. **Бочкарев, В.И.** Перспективы применения дорожной разметки со структурной поверхностью для повышения безопасности дорожного движения / В.И. Бочкарев, Е.В. Жустарёва, С.В. Фёдоров // Дороги Содружества независимых Государств. — 2022. — № 2. — С. 93–97.
7. **Бочкарев, В.И.** Исследование функциональных свойств горизонтальной дорожной разметки со структурной поверхностью / В.И. Бочкарев, Е.В. Жустарёва, С.В. Фёдоров // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. — 2023. — № 2. — С. 78–84. — URL: https://roads-kgasu.ru/files/N2-78--84.pdf. (дата обращения: 10.06.2023).
8. **Габдуллин, Т.Р.** Совершенствование способа нанесения сплошной линии дорожной разметки / Т.Р. Габдуллин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2018. — № 2. — С. 273–280. — URL: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2018/2_2018.pdf. — EDN XQCNOP. (дата обращения: 10.06.2023).
9. **Пугин, К.Г.** Обеспечение светотехнических характеристик светлоты, яркости и резкости дорожной разметки / К.Г. Пугин. — DOI https://doi.org/10.15862/39SATS319 // Транспортные сооружения. — 2019. — Т 6. — № 3. — С. 39SATS319. — URL: https://t-s.today/en/39SATS319.html. (дата обращения: 10.06.2023).

10. **Панов, Д.А.** Оценка функциональной долговечности горизонтальной дорожной разметки с использованием теории рисков / Д.А. Панов, Е.В. Жустарева, В.И. Бочкарев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2022. — № 2. — С. 8. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=49103644. — EDN VYCBIO. (дата обращения: 10.06.2023).

11. **Бочкарев, В.И.** Теоретические аспекты световозвращения дорожной разметки / В.И. Бочкарев, Е.В. Жустарёва, А.В. Дмитричев. — DOI https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-55-6 // Norwegian Journal of development of the International Science. — 2020. — № 52-1. — С. 55–59. — URL: https://nor-ijournal.com/wp-content/uploads/2023/09/NJD_52_1.pdf. (дата обращения: 10.06.2023).

12. **Thanasupsin, K.** Degradation of the retroreflectivity and diffuse illumination of thermoplastic pavement markings: a case study in Thailand / K. Thanasupsin, S. Sukniam. — DOI https://doi.org/10.1088/1757-899X/1088/1/012056 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1088, Annual Conference on Computer Science and Engineering Technology (AC2SET) 23rd September 2020, Medan, Indonesia / Медан: IOP Publishing Ltd, 2020. — С. 12056. — URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1088/1/012056. (дата обращения: 20.06.2023).

13. **Craig, W.N.** Statistical Validation of the Effect of Lateral Line Location on Pavement Marking Retroreflectivity Degradation / W.N. Craig, W.E. Sitzabee, W.J. Rasdorf, J.E. Hummer. — DOI https://doi.org/10.1177/1087724X07308773 // Public Works Management & Policy. — 2007. — Т 12. — № 2. — С. 431–450. — URL: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1087724X07308773. (дата обращения: 20.06.2023).

14. **Burghardt, T.** Horizontal Road Markings with High Retroreflectivity: Durability, Environmental, And Financial Considerations / T. Burghardt, M. Fiolic, A. Pashkevich. — DOI http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35798.14405 // Conference: Transport Research Arena TRA2018At: Vienna, 2019. — URL: https://www.researchgate.net/publication/326463515_HORIZONTAL_ROAD_MARKINGS_WITH_HIGH_RETROREFLECTIVITY_DURABILITY_ENVIRONMENTAL_AND_FINANCIAL_CONSIDERATIONS. (дата обращения: 20.06.2023).

15. **Abboud, N.** Cost- and Longevity-Based Scheduling of Paint and Thermoplastic Striping / N. Abboud, B.L. Bowman. — DOI https://doi.org/10.3141/1794-07 // Transportation Research Record. — 2002. — Т 1794. — № 1. — С. 55–62. — URL: https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/1794-07. (дата обращения: 20.06.2023).

16. **Sitzabee, W.E.** Pavement Marking Degradation Modeling and Analysis / W.E. Sitzabee, J.E. Hummer. — DOI https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2009)15:3(190) // Journal of Infrastructure Systems. — 2009. — Т 15. — № 3. — С. 190–199. — URL: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291076-0342%282009%2915%3A3%28190%29. (дата обращения: 20.06.2023).

17. **Babić, D.** Model for Predicting Road Markings Service Life / D. Babić, A. Ščukanec, D. Babić, M. Fiolić. — DOI https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.447 // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. — 2019. — Т 14. — № 3. — С. 341–359. — URL: https://bjrbe-journals.rtu.lv/article/view/bjrbe.2019-14.447. (дата обращения: 20.06.2023).

Сведения об авторах:
Бочкарев Владимир Ильич — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, e-mail: evzust@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=279641

Жустарёва Елена Владимировна — кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, e-mail: joustareva@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=921784

Горячев Михаил Геннадьевич — доктор технических наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, e-mail: kafedra_sed@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=302221

Статья получена: 13.07.2023. Принята к публикации: 28.10.2023. Опубликована онлайн: 11.11.2023.

REFERENCES

1. Artemenko A.A., Voznyy S.I., Evteyeva S.M., Kochetkov A.V. Dolgovechnyye materialy dlya dorozhnoy razmetki. Khimiya i tekhnologiya: nauchnoye izdaniye [Durable materials for road markings. Chemistry and technology: scientific publication]. Saratov: «RATA»; 2011. (In Russ.).
2. Vozny S.I., Evteeva S.M., Talalai V.V., Kochetkov A.V. Features of Application of Fillers in Composit Materials for Road Marking. International *Polymer Science and Technology*. 2014; (5-6): 37–40. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22025011 (accessed 05th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Vozni S.I., Pogulaiko V.A., Evteeva S.M., Talalai V.V., Kochetkov A.V. Working out technology, manufacture and application composit polymeric materials for a road marking. *Naukovedenie*. 2012; (3): 24. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18818551 (accessed 05th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
4. Bochkarev V.I., Zhustareva E.V., Fedorov S.V. Study of material strength properties for horizontal road marking using innovation equipment. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1159, International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control (DS ART 2020) 14th–16th December 2020, Moscow, Russia*. Moscow: IOP Publishing Ltd; 2021. p. 12002. Available at: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1159/1/012002 (accessed 10th June 2023). (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/1159/1/012002.
5. Gabdullin T.R., Kharlamov E.V., Kashipov R.F., Fazleev I.A., Germanov A.A. Improving Frost Resistance of Road Marking Material. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2020; (2): 106–114. Available at: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2020/2_2020.pdf (accessed 10th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Bochkarev V.I., Zhustarëva E.V., Fedorov S.V. Perspektivy primeneniya dorozhnoy razmetki so strukturnoy poverkhnost'yu dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Prospects for using road markings with a structured surface to improve road safety]. *Dorogi Sodruzhestva nezavisimykh Gosudarstv* [*Roads of the Commonwealth of Independent States*]. 2022; (2): 93–97. (In Russ.).
7. Bochkarev V.V., Zhustareva E.V., Fedorov S.V. Study of the functional properties of horizontal road markings with a structural surface. [*Roads and transport infrastructure*]. 2023; (2): 78–84. Available at: https://roads-kgasu.ru/files/N2-78--84.pdf (accessed 10th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
8. Gabdullin T.R., Kharlamov E.V., Kashipov R.F., Fazleev I.A., Germanov A.A. On the Issue of Improving Road Marking Methods. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2018; (2): 273–280. Available at: https://izvestija.kgasu.ru/files/2_2018/2_2018.pdf (accessed 10th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
9. Pugin K.G. Providing lighting characteristics of lightness, brightness and sharpness of road markings. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2019; 6(3): 39SATS319. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.15862/39SATS319.
10. Panov D.A., Zhustareva E.V., Bochkarev V.I. Assessment of the Functional Operating Life of Horizontal Road Markings on The Basis of The Theory of Risk. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2022; (2): 8. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=49103644 (accessed 10th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
11. Bochkarev V., Zhustareva E., Dmitrichev A. Theoretical Aspects of Retroreflection of Road Marking. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020; (52-1): 55–59. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.24412/3453-9875-2020-52-1-55-6.
12. Thanasupsin K., Sukniam S. Degradation of the retroreflectivity and diffuse illumination of thermoplastic pavement markings: a case study in Thailand. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1088, Annual Conference on Computer Science and Engineering Technology (AC2SET) 23rd September 2020, Medan, Indonesia*. Medan: IOP Publishing Ltd; 2020. p. 12056. Available at: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1088/1/012056 (accessed 20th June 2023). (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/1088/1/012056.
13. Craig W.N., Sitzabee W.E., Rasdorf W.J., Hummer J.E. Statistical Validation of the Effect of Lateral Line Location on Pavement Marking Retroreflectivity Degradation. *Public Works Management & Policy*. 2007; 12(2): 431–450. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1177/1087724X07308773.

14. Burghardt T., Fiolic M., Pashkevich A. Horizontal Road Markings with High Retroreflectivity: Durability, Environmental, And Financial Considerations. In: *Conference: Transport Research Arena TRA2018At: Vienna, AT*. 2019. Available at: https://www.researchgate.net/publication/326463515_HORIZONTAL_ROAD_MARKINGS_WITH_HIGH_RETROREFLECTIVITY_DURABILITY_ENVIRONMENTAL_AND_FINANCIAL_CONSIDERATIONS (accessed 20th June 2023). (In Eng.) DOI: http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35798.14405.

15. Abboud N., Bowman B.L. Cost- and Longevity-Based Scheduling of Paint and Thermoplastic Striping. *Transportation Research Record*. 2002; 1794(1): 55–62. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.3141/1794-07.

16. Sitzabee W.E., Hummer J.E. Pavement Marking Degradation Modeling and Analysis. Journal of Infrastructure Systems. 2009; 15(3): 190–199. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2009)15:3(190).

17. Babić D., Ščukanec A., Babić D., Fiolić M. Model for Predicting Road Markings Service Life. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 2019; 14(3): 341–359. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.447.

Information about the authors:
Vladimir I. Bochkarev — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, e-mail: evzust@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=279641

Elena V. Zhustareva — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, e-mail: joustareva@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=921784

Mikhail G. Goryachev — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, e-mail: kafedra_sed@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=302221

Submitted: 13th July 2023. Revised: 28th October 2023. Published online: 11th November 2023.