СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: https://doi.org/10.60797/mca.2024.50.2

ПРОГРЕССИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Обзор

Кравцов А.И.[1, *], Макаева А.А.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-3540-6989;
[1, 2] Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (alivkr[at]mail.ru)

Аннотация

В статье обсуждается важность безопасности дорожного движения и рассматривается использование интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих регулирование дорожного движения и оптимизацию дорожной инфраструктуры. Ключевым элементом системы дорожного движения является разметка, которая служит основным инструментом для разграничения и направления движения, а также для предупреждения дорожно-транспортных происшествий, управления и информирования участников дорожного движения.

В качестве компонентов дорожной разметки возможно использование светоотражающих элементов, светодиодных панелей и светящихся в темноте материалов для повышения видимости дорожной разметки. Каждый из методов рассматривается в контексте своих преимуществ и недостатков. Важность применения таких технологий подчеркивается статистическими данными о тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий в темное время суток. Также рассматривается потенциал использования люминесцентных красок там, где дороги недостаточно освещены. Эти инновации могут существенно улучшить безопасность дорожного движения. Статья призывает к активному внедрению научных исследований и инженерных разработок в области дорожной безопасности для снижения количества аварий и повышения комфорта вождения.

Ключевые слова: светоотражающие материалы, фотолюминесценция, дорожное покрытие, светодиодные элементы, строительство.

ADVANCED ROAD MARKING MATERIALS

Review article

Kravtsov A.I.[1, *], Makaeva A.A.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-3540-6989;
[1, 2] Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

* Corresponding author (alivkr[at]mail.ru)

Abstract

The article discusses the importance of road safety and examines the use of intelligent transport systems to regulate traffic and optimize road infrastructure. A key element of the road traffic system is road markings, which serve as the main tool for delineating and directing traffic, as well as for accident prevention, management and information of road users.

The components of road markings may include reflective elements, LED panels and glow-in-the-dark materials to increase the visibility of the road markings. Each method is reviewed in the context of its advantages and disadvantages. The significance of such technologies is emphasized by statistics on the severity of road traffic accidents at night. The potential for the use of fluorescent paints where roads are not sufficiently lit is also examined. These innovations can greatly improve road safety. The article calls for the active implementation of road safety research and engineering to reduce crashes and improve driving comfort.

Keywords: reflective materials, photoluminescence, road pavement, LED elements, construction.

Введение

Безопасность дорожного движения во все времена являлась актуальной темой. Специалисты всего мира подчеркивают важность использования интеллектуальных транспортных систем, которые включают в себя кроме инфраструктуры, транспортных средств и участников движения, еще и дорожно-транспортное регулирование. Улучшение дорожной инфраструктуры способствует повышению безопасности движения.

Являясь неотъемлемой частью системы дорожного движения, разметка представляет собой элемент дорожного покрытия, состоящий из цветных, светящихся или светоотражающих областей, которые считаются основным инструментом разграничения и направления движения, а также предупреждения, управления и информирования водителей [1].

Аварии на городских улицах часто увеличиваются ночью, в основном из-за недостаточного освещения на дорогах [2]. Исследования показывают, что тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий увеличивается на 30-40% после наступления темноты. Несмотря на трехкратное снижение трафика, статистика дорожных аварий показывает, что почти 45% смертей происходят ночью в городских и пригородных районах [3], [4].

Количество и серьезность аварий значительно выше, чем днем, из-за меньшего количества и качества доступных визуальных эффектов [5]. Низкая видимость ночной обстановки и ограниченная направляющая способность дорожной разметки являются основными факторами риска, провоцирующими дорожно-транспортные происшествия в ночное время [2], [3].

Обеспечение комфортного движения в темное время суток является серьезной проблемой. Отсутствие ночного света на магистралях является источником негативного воздействия на участников дорожного движения. Существует несколько вариантов решения проблемы видимости в темное время суток: использование стеклянных/акриловых шариков, светодиодов, отражателей на рельефном покрытии, маркировка краской и т. д. Ни один из способов не стал общепринятым, у каждого есть свои преимущества и недостатки.

Достоинства и недостатки различных элементов дорожной разметки

При отсутствии освещения проезжей части основным материалом, используемым для видимости дорожной разметки, является стекло в виде сферических линз (микростеклошариков) либо микропризм [4].

Эти элементы работают, отражая свет от фар автомобиля преимущественно обратно к источнику света (светоотражение). Стеклянные шарики используются во многих спецификациях из-за их световозвращающих свойств и низкой стоимости [6].

Отражающие стеклянные микрошарики улучшают видимость разметки, особенно в ночное время или при облачной и дождливой погоде. Они не являются самостоятельными материалами для разметки, и используются в сочетании с другими для достижения этого эффекта. Их отражательная способность происходит от того, как они преломляют свет от фар автомобиля и отражают его под другим углом в сторону глаз водителя. Для максимальной эффективности эти микрошарики должны быть полностью прозрачными и не содержать воздушных пузырей.

Отражающие материалы можно применять тремя способами:

- интегрируя их в материал для разметки, что составляет около 10-20% от общего объема;
- рассеивая их на свежую разметку, используя около 200-00 г/м2;
- комбинируя два вышеуказанных метода одновременно [7].

Подобные элементы обычно входят в состав светоотражающих красок, термопластичных разметочных материалов или специальных плёнок и лент.

Основные достоинства применения световозвращающих элементов для дорожной разметки в ночное время:

1. Высокая видимость: Световозвращающие элементы обеспечивают отличную видимость дорожной разметки ночью. Они отражают свет фар автомобилей, делая разметку более заметной и помогая водителям сориентироваться на дороге.

2. Улучшение безопасности: Световозвращающие элементы играют ключевую роль в повышении безопасности на дороге. Они помогают водителям правильно ориентироваться, следовать правильной полосе движения и избегать столкновения.

3. Долговечность: Световозвращающие элементы изготавливаются из высококачественных материалов, которые обладают долговечностью и устойчивостью к воздействию погодных условий, УФ-излучения и химических веществ. Они не выцветают со временем, что обеспечивает их эффективность на протяжении длительного периода.

4. Быстрый эффект: Световозвращающие элементы начинают отражать свет моментально при попадании лучей фар автомобилей на них. Это позволяет водителям оперативно распознавать дорожную разметку и принимать соответствующие решения.

5. Полная независимость от источников питания: Световозвращающие элементы являются пассивными и не требуют внешнего питания или подзарядки. Они полностью независимы и работают на принципе отражения света.

Основным недостатком применения световозвращающих элементов для дорожной разметки в ночное время являются:

1. Ограниченная видимость в условиях плохой погоды: В случае сильного дождя, тумана или снегопада, видимость световозвращающих элементов может значительно снижаться. В таких условиях они могут быть менее заметными для водителей.

2. Отсутствие активной идентификации: Световозвращающие элементы пассивны и не способны предоставить активную идентификацию различных элементов дорожной разметки, таких как стрелки, символы и т.д. Водителям приходится полагаться на свет фар и особую визуальную организацию элементов.

3. Ограниченные углы обзора: Световозвращающие элементы эффективно отражают свет только в зоне прямого попадания лучей фар автомобилей. Это означает, что при больших углах наклона или боковом освещении их видимость может снизиться.

4. Неуниверсальность для всех типов дорог: Световозвращающие элементы могут быть менее эффективны на неровных дорогах, где поверхность разметки может быть повреждена или покрыта слоем грязи или снега. Это может привести к снижению их видимости и эффективности.

5. Стоимость и сложность установки: Применение световозвращающих элементов требует дополнительных затрат на их производство, закупку и установку. Это может быть сложным и дорогостоящим процессом, особенно при необходимости замены или обслуживания разметки.

Светодиодные элементы наиболее активно используются для дорожного освещения, и в виде систем управления движением автомобилей и пешеходов, встроенных в специальные панели или дорожную разметку. Последние могут облегчить вождение в ночное время, а также обеспечить дополнительное освещение и снизить потребность в уличных фонарях.

Электролюминесцентная маркировка успешно используются в дорожной разметке. Она внедрена как в солнечных электронных устройствах [14], так и в проводных системах [8]. Министерство транспорта США отмечает, что светодиодные тротуарные знаки значительно улучшают видимость, особенно ночью. Для обеспечения их долговечности были приняты меры, такие как безопасные рампы. Эти рампы поднимают лезвия снегоуборщиков, предотвращая прямой контакт с LED («Light-emitting diode» – светодиод), и регулируют положение LED, чтобы оно было на уровне или ниже поверхности дороги [9]. Хотя это более трудоемкий и дорогой процесс, многие системы маркировки снегоуборщиков с LED были интегрированы в дорожное покрытие [15].

Основные достоинства светодиодных панелей для дорожной разметки:

1. Энергоэффективность: Светодиодные панели потребляют меньшее количество энергии по сравнению с традиционными источниками освещения, такими как лампы накаливания или люминесцентные лампы.

2. Долговечность: Светодиоды имеют длительный срок службы и обычно работают от 50 000 до 100 000 часов, что существенно увеличивает интервалы между заменами и обслуживанием.

3. Яркость и видимость: Светодиодные панели имеют яркий, резкий свет, что повышает видимость дорожной разметки даже в условиях плохой освещенности.

4. Программируемость: Светодиодные панели позволяют создавать различные шаблоны и символы, которые можно программировать для динамической дорожной разметки, например для создания временных полос или указания на опасности на дороге.

5. Устойчивость к внешним воздействиям: Светодиодные панели обычно обладают высокой степенью защиты от пыли, воды и ударам, что делает их стойкими к эксплуатационным условиям на дорогах.

Основные недостатки светодиодных панелей для дорожной разметки:

1. Высокая стоимость: По сравнению с традиционными источниками освещения, светодиодные панели могут быть более дорогостоящими в установке и обслуживании.

2. Ограниченный угол обзора: Светодиоды имеют ограниченный угол обзора, что может привести к снижению видимости дорожной разметки под определенными углами.

3. Требуют дополнительного оборудования: Установка светодиодных панелей требует установки дополнительного оборудования, такого как контроллеры и драйверы, что может потребовать больше времени и ресурсов.

4. Регулярное обслуживание: Системы светодиодной дорожной разметки требуют регулярного технического обслуживания, включая замену поврежденных светодиодов или контроллеров.

5. Влияние окружающей среды: Экстремальные погодные условия или воздействие солнечного света могут повлиять на эффективность освещения светодиодных панелей.

В настоящее время светящиеся в темноте материалы предлагают исследователям и инженерам, ищущим инновации в материалах, уникальную возможность улучшить эксплуатационные характеристики существующей конструкции маркеров дорожного покрытия. Подобные варианты оптимизации транспортной инфраструктуры уже широко используются на практике.

Флуоресценция относится к явлению испускания света, обычно с немного большей длиной волны, чем свет, который первоначально был поглощен. Процесс происходит в масштабе времени от наносекунд до микросекунд.

Термопластичные покрытия, содержащие флуоресцентные материалы, изучались на дорогах и было обнаружено, что они улучшают видимость только при использовании ультрафиолетовых (УФ) фар [10].

Флуоресцентные красители не только более заметны, поскольку они очень интенсивные, но и обладают уникальным свойством, благодаря которому они кажутся человеческому глазу отличными от обычных цветов.

Фосфоресценция, хотя и схожа с флуоресценцией, отличается длительностью излучения света, которая может составлять от микросекунд до нескольких часов [11]. Использование фосфоресцентных материалов или люминофоров, восходит к началу XVII века [12].

До 1996 года в приложениях фосфоресценции преимущественно использовался сульфид цинка, несмотря на его, относительно слабую способность к послесвечению по сравнению с современными составами [11]. С появлением более современных технологий наблюдается значительное расширение их применения, особенно в области дорожной разметочной краски [13]. Эту краску можно наносить на поверхность дороги в виде линий, чтобы обеспечить улучшенную видимость и виде текста и символов для предоставления визуальной информации участникам дорожного движения.

Коммерческие компании в Нидерландах работают над созданием фотолюминесцентных красок, способных светиться в ночное время до 10 часов, обеспечивая тем самым бесплатное освещение дорог [14]. В зависимости от технологических достижений и улучшений производительности и долговечности этот тип источника освещения может использоваться для повышения безопасности дорожного движения. Чтобы рассматривать фотолюминесцентный материал для применения в дорожной инфраструктуре, необходимо понимать их влияние с точки зрения безопасности, влияния на окружающую среду и устойчивости к её негативному воздействию.

В России разработка подобных технологий повышения дорожной безопасности находится на раннем этапе.

Основные достоинства применения фосфоресценции для дорожной разметки в ночное время:

1. Энергосбережение: Фосфоресцентные материалы не требуют непрерывного подключения к электропитанию, что позволяет экономить и снижать затраты на электроэнергию.

2. Долговременная видимость: Несмотря на ограниченное время свечения, фосфоресцентные материалы могут сохранять видимость в темноте в течение продолжительного времени после подзарядки. Это может обеспечить дополнительные ориентирные точки для водителей, особенно на дорогах с недостаточным освещением.

3. Улучшение безопасности: Фосфоресцентная дорожная разметка может повысить безопасность на дороге, предоставляя дополнительную опознаваемость и информацию для водителей, особенно в условиях ограниченной видимости или при наличии сильных факторов отражения.

4. Устойчивость к погодным условиям: Фосфоресцентные материалы могут быть разработаны для высокой устойчивости к атмосферным условиям, включая влажность, осадки и ультрафиолетовое излучение. Это может обеспечить долговечность и сохранение яркости разметки даже при неблагоприятных погодных условиях.

5. Экологичность: Фосфоресцентные материалы могут быть более экологически чистыми в сравнении с другими источниками света, так как они не требуют использования электроэнергии или создания отходов от батарей.

Основные недостатки применения фосфоресценции для дорожной разметки в ночное время:

1. Ограниченная яркость: Фосфоресцентные материалы обладают ограниченной способностью собирать и сохранять энергию в виде света, поэтому их яркость может быть ниже, чем у других источников света, таких как светодиоды или лампы газоразрядные.

2. Короткое время свечения: Светящийся эффект фосфоресцентных материалов имеет ограниченную продолжительность, поэтому они могут не сохранять яркость и видимость на протяжении всей ночи. Это может требовать дополнительного обновления и перекраски разметки.

3. Зависимость от внешних источников света: Фосфоресцентные материалы нуждаются в предварительной зарядке энергией, которая обычно поступает от фонового освещения днем или искусственного освещения ночью. Если отсутствуют достаточные источники света, яркость и видимость фосфоресцирующей дорожной разметки могут снижаться.

4. Ограниченный выбор цветов: Некоторые фосфоресцентные материалы имеют ограниченный выбор цветов, что может ограничивать возможности цветового оформления и отличия между различными типами разметки на дороге.

5. Взаимодействие со снегом и влагой: Фосфоресцентные материалы могут быть менее эффективными при взаимодействии со снегом или влагой, что влияет на их светоотдачу и продолжительность свечения.

Наряду с достоинствами и недостатками рассмотренных выше прогрессивных видов дорожных разметки особое внимание следует уделить требованиям по светлоте, контрастности и резкости, а так же, допустимому риску причинения вреда.

В соответствии с существующими нормативными требованиями к элементам дорожной разметки некоторые из показателей, такие как координаты цветности и коэффициент яркости нормируются.

Для элементов светящихся в темное время суток эти показатели могут быть отнесены лишь частично, т.к. в ночное время их основная особенность свечение , а не светоотражение.

Некоторые авторы [16], [17] предлагают использовать такое понятие как контрастность. Понятие контрастность упоминается в ГОСТ 58368-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Демаркировка дорожной разметки. Технические требования. Методы контроля».

Нужно учитывать, что распознавание дорожной разметки может стать полноправной задачей для машинного зрения в связи с развитием беспилотного транспорта. И при известной степени прогресса в этой области сама концепция дорожных указателей может измениться до неузнаваемости.

Возможно, для оценки свойств дорожной разметки с эффектом послесвечения подойдут показатели, которые используются в ГОСТ 34428-2018 «Системы эвакуационные фотолюминесцентные. Общие технические условия» для оценки информационных элементов безопасности внутри и снаружи зданий и ГОСТ 12.4.026-2015 от 01.03.2017 «Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная», в частности яркость свечения через заданное время после удаления источника освещения, и длительность послесвечения.

Для компонентов электрического свечения, например светодиодов в ГОСТ 25695-91 «Светофоры дорожные типы. Основные параметры» есть требования к осевой силе света, которая должна составлять, например, для источников зеленого цвета 15-200 кд. и в ГОСТ Р 56057-2014 «Системы светооптические светодиодные для железнодорожной светофорной сигнализации. Общие технические требования и методы испытаний» также есть требования к осевой силе света, которая должна составлять, например, для карликовых светофоров источников зеленого цвета 1300-4000 кд., в ночное время этот параметр может составлять 30% от требуемого.

В соответствии с техническими нормативными правовыми актами в национальном законодательстве устанавливаются требования пожарной безопасности: кислородный индекс для полимерных пленок и пластиков не менее 18% и группа воспламеняемости – не ниже В2. Знаки безопасности и сигнальная разметка с внешним или внутренним электрическим освещением должны быть выполнены с соблюдением требований электробезопасности.

Материалы для изготовления разметки должны обладать электростатическими свойствами, исключающими или предупреждающими возникновение разрядов статического электричества, способных стать источником зажигания или взрыва, не должны выделять в окружающую среду токсичные и вредные для здоровья вещества в концентрациях, превышающих установленные гигиенические нормативы [18].

Заключение

Дорожная разметка играет важную роль в поддержании порядка на автомагистралях и повышении безопасности и эффективности дорожного движения.

Потенциалом для описанных способов является предоставление световой информации для водителя в районах, где электроэнергия недоступна, а также предоставление пользователю информации об условиях вождения в зависимости от конкретного региона.

Продолжительность светового дня во многих районах России большую часть года уступает темному времени суток. Именно в это время такие дорожные элементы будут иметь наибольшую ценность.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Пашкова Л.А., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова", Белгород Российская Федерация

DOI: https://doi.org/10.60797/mca.2024.50.2.1

Conflict of Interest

None declared.

Review

Pashkova L.A., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov", Belgorod Russian Federation

DOI: https://doi.org/10.60797/mca.2024.50.2.1

Список литературы / References

1. Hadizadeh E. Optimizing practical properties of MMA-based cold plastic road marking paints using mixture experimental design. / E. Hadizadeh, S. Pazokifard, S.M. Mirabedini // Progress in Organic Coatings. — 2020. — Vol.147. — P. 105784. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030094402030031X (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.105784

2. Коновалова Т.В. Влияние освещенности и яркости проезжей части на безопасность дорожного движения в городах в темное время суток. / Т.В. Коновалова, О.В. Афанасьев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. — 2013. — № 2. — С. 61-67. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21070842_68319222.pdf (дата обращения: 01.07.24).

3. Недосекина В.В. Анализ влияния уличного освещения на ДТП. / В.В. Недосекина, Д.Н. Айыдов // Символ науки. — 2018. — № 7. — С. 38-40. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-ulichnogo-osvescheniya-na-dtp (дата обращения: 01.07.24).

4. Лазарев Ю.Г. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий. / Ю.Г. Лазарев, Е.Е. Медрес // Технико-технологические проблемы сервиса. — 2016. — № 3. — С. 56-60. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28156685_66654794.pdf (дата обращения: 01.07.24).

5. Burghardt T.E. Materials selection for structured horizontal road markings: financial and environmental case studies. / T.E. Burghardt, A. Pashkevich // European Transport Research Review. — 2020. — Vol. 12.- No 1. — P. 1-10. — URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s12544-020-0397-x.pdf — DOI: 10.1186/s12544-020-0397-x

6. Свежинский В.Н. Материалы и микростеклошарики для дорожной разметки-проблемы и тенденции. / В.Н. Свежинский, С.А. Малышкин, Л.П. Бессонова // Строительные материалы. — 2018. — №. 7. — С. 28-30. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/materialy-i-mikrosteklosharikі-dlya-dorozhnoy-razmetki-problemy-i-tendentsii (дата обращения: 01.07.24). — DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-28-30

7. Сахапов Р.Л. Применения люминофора при нанесении дорожной разметки. / Р.Л. Сахапов, Р.Ф. Кашипов // Техника и технология транспорта. — 2018. — №. 3. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35691666_16629922.pdf (дата обращения: 01.07.24).

8. LED Raised Pavement Markers // ROSA P. — URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/49232 (accessed: 10.02.24).

9. Stellfox E. Evaluation of Snowplowable, Retroreflective Raised Pavement Markers / E. Stellfox. — 2004. — №. MD-04-SP208B4G.

10. Simmons C. Field evaluation of ultraviolet (uv)-activated fluorescent roadway delineation. / C. Simmons, K. Mahach, D. Knoblauch et al. // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. — 1997. — Vol. 41. No. 2. . — P. 1392-1392. — URL: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1071181397041002192 (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.1177/1071181397041002192

11. Van den Eeckhout K. Persistent luminescence in non-Eu2+-doped compounds: a review. / K. Van den Eeckhout, D. Poelman, P.F. Smet // Materials. — 2013. — Vol. 6. — No. 7. . — P. 2789-2818. — URL: https://www.mdpi.com/1996-1944/6/7/2789 (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.3390/ma6072789

12. Valeur B. A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory. / B. Valeur // Journal of Chemical Education. — 2011. — Vol. 88. — No. 6. . — P. 731-738. — URL: https://chemistry.as.miami.edu/_assets/pdf/murthy-group/8-history-of-luminescence-jce.pdf (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.1021/ed100182h

13. Bacero R. Evaluation of strontium aluminate in traffic paint pavement markings for rural and unilluminated roads / R. Bacero, D. To, J. P. Arista et al. // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. — 2015. — Vol. 11. — p. 1726-1744. — URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/easts/11/0/11_1726/_pdf (accessed: 03.07.2024)

14. Сулейманова Л.А. Исследование фотолюминесцентного пигмента для применения в светящемся архитектурно-декоративном бетоне. / Л.А. Сулейманова, М.В. Малюкова, А.А. Корякина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. — 2021. — №. 6. — С. 8-18. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-fotolyuminestsentnogo-pigmenta-dlya-primeneniya-v-svetyaschemsya-arhitekturno-dekorativnom-betone (дата обращения: 01.07.24). — DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-8-18

15. Nance J. From streetlights to phosphors: A review on the visibility of roadway markings. / J. Nance, T.D. Sparks // Progress in Organic Coatings. — 2020. — Vol. 148. — P. 105749.

16. Улевский В.В. Повышение эффективности световозвращения горизонтальной дорожной разметки dis. ...канд. Engineering: 05.23.11 : защищена 2006-12-14 : утв. 2007-07-03 / В.В. Улевский. — 2006: 2006. — 198 с.

17. Пугин К. Г. Обеспечение светотехнических характеристик светлоты, яркости и резкости дорожной разметки / К. Г. Пугин // Транспортные сооружения. — 2019. — Т. 6. – №. 3. — с. 1-13. — URL:

https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41423871_22988259.pdf (дата обращения: 03.07.2024) DOI: 10.15862/39SATS319.

18. ГОСТ 12.4.026-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний. — Введ. 2017-03-01. — Москва: Стандартинформ, 2017. — 88 С.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Hadizadeh E. Optimizing practical properties of MMA-based cold plastic road marking paints using mixture experimental design. / E. Hadizadeh, S. Pazokifard, S.M. Mirabedini // Progress in Organic Coatings. — 2020. — Vol.147. — P. 105784. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030094402030031X (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.105784

2. Konovalova T.V. Vliyanie osveshhennosti i yarkosti proezzhej chasti na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v gorodax v temnoe vremya sutok [Influence of Lighting and Brightness of the Roadway on Road Safety in Cities at Night]. / T.V. Konovalova, O.V. Afanas'ev // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Environmental Protection, Transport, Life Safety. — 2013. — № 2. — P. 61-67. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21070842_68319222.pdf (accessed: 01.07.24). [in Russian]

3. Nedosekina V.V. Analiz vliyaniya ulichnogo osveshheniya na DTP [Analysis of the Influence of Street Lighting on Road Traffic Accidents]. / V.V. Nedosekina, D.N. Ajy'dov // Symbol of Science. — 2018. — № 7. — P. 38-40. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-ulichnogo-osvescheniya-na-dtp (accessed: 01.07.24). [in Russian]

4. Lazarev Yu.G. Predlozheniya po vy'yavleniyu i sokrashheniyu opasny'x uchastkov koncentracii dorozhno-transportny'x proisshestvij [Proposals for Identifying and Reducing Dangerous Concentration Sites of Road Traffic Accidents]. / Yu.G. Lazarev, E.E. Medres // Technical and Technological Problems of Service. — 2016. — № 3. — P. 56-60. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_28156685_66654794.pdf (accessed: 01.07.24). [in Russian]

5. Burghardt T.E. Materials selection for structured horizontal road markings: financial and environmental case studies. / T.E. Burghardt, A. Pashkevich // European Transport Research Review. — 2020. — Vol. 12.- No 1. — P. 1-10. — URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s12544-020-0397-x.pdf — DOI: 10.1186/s12544-020-0397-x

6. Svezhinskij V.N. Materialy' i mikrosteklosharikі dlya dorozhnoj razmetki-problemy' i tendencii [Materials and Microbeads for Road Marking-Problems and Trends]. / V.N. Svezhinskij, S.A. Maly'shkin, L.P. Bessonova // Construction Materials. — 2018. — №. 7. — P. 28-30. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/materialy-i-mikrosteklosharikі-dlya-dorozhnoy-razmetki-problemy-i-tendentsii (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-28-30 [in Russian]

7. Saxapov R.L. Primeneniya lyuminofora pri nanesenii dorozhnoj razmetki [Application of Luminescent in Road Marking]. / R.L. Saxapov, R.F. Kashipov // Equipment and Transport Technology. — 2018. — №. 3. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35691666_16629922.pdf (accessed: 01.07.24). [in Russian]

8. LED Raised Pavement Markers // ROSA P. — URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/49232 (accessed: 10.02.24).

9. Stellfox E. Evaluation of Snowplowable, Retroreflective Raised Pavement Markers / E. Stellfox. — 2004. — №. MD-04-SP208B4G.

10. Simmons C. Field evaluation of ultraviolet (uv)-activated fluorescent roadway delineation. / C. Simmons, K. Mahach, D. Knoblauch et al. // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. — 1997. — Vol. 41. No. 2. . — P. 1392-1392. — URL: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1071181397041002192 (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.1177/1071181397041002192

11. Van den Eeckhout K. Persistent luminescence in non-Eu2+-doped compounds: a review. / K. Van den Eeckhout, D. Poelman, P.F. Smet // Materials. — 2013. — Vol. 6. — No. 7. . — P. 2789-2818. — URL: https://www.mdpi.com/1996-1944/6/7/2789 (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.3390/ma6072789

12. Valeur B. A brief history of fluorescence and phosphorescence before the emergence of quantum theory. / B. Valeur // Journal of Chemical Education. — 2011. — Vol. 88. — No. 6. . — P. 731-738. — URL: https://chemistry.as.miami.edu/_assets/pdf/murthy-group/8-history-of-luminescence-jce.pdf (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.1021/ed100182h

13. Bacero R. Evaluation of strontium aluminate in traffic paint pavement markings for rural and unilluminated roads / R. Bacero, D. To, J. P. Arista et al. // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. — 2015. — Vol. 11. — p. 1726-1744. — URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/easts/11/0/11_1726/_pdf (accessed: 03.07.2024)

14. Sulejmanova L.A. Issledovanie fotolyuminescentnogo pigmenta dlya primeneniya v svetyashhemsya arxitekturno-dekorativnom betone [Study of Photoluminescent Pigment for Use in Luminescent Architectural-Decorative Concrete]. / L.A. Sulejmanova, M.V. Malyukova, A.A. Koryakina // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G Shukhov. — 2021. — №. 6. — P. 8-18. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-fotolyuminestsentnogo-pigmenta-dlya-primeneniya-v-svetyaschemsya-arhitekturno-dekorativnom-betone (accessed: 01.07.24). — DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-8-18 [in Russian]

15. Nance J. From streetlights to phosphors: A review on the visibility of roadway markings. / J. Nance, T.D. Sparks // Progress in Organic Coatings. — 2020. — Vol. 148. — P. 105749.

16. Ulevskij V.V. Povy'shenie e'ffektivnosti svetovozvrashheniya gorizontal'noj dorozhnoj razmetki [Increasing the Efficiency of Light Return of Horizontal Road Marking] dis....of PhD in Engineering: 05.23.11 : defense of the thesis 2006-12-14 : approved 2007-07-03 / В.В. Улевский. — 2006: 2006. — 198 p. [in Russian]

17. Pugin K. G. Obespechenie svetotehnicheskih harakteristik svetloty, jarkosti i rezkosti dorozhnoj razmetki [Ensuring Photometric Characteristics of Luminance, Brightness and Sharpness of Road Marking] / K. G. Pugin // Russian Journal of Transport Engineering. — 2019. — V. 6. – №. 3. — p. 1-13. — URL:

https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41423871_22988259.pdf (accessed: 03.07.2024) DOI: 10.15862/39SATS319. [in Russian]

18. GOST 12.4.026-2015 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Czveta signal'ny'e, znaki bezopasnosti i razmetka signal'naya. Naznachenie i pravila primeneniya. Obshhie texnicheskie trebovaniya i xarakteristiki. Metody' ispy'tanij [Occupational safety standards system. Safety colours, safety signs and signal marking. Purpose and rules of application. General technical requirements and characteristics. Test methods]. — Introduced 2017-03-01. — Moscow: Standartinform, 2017. — 88 P. [in Russian]