

УДК 661.143

Сахапов Рустэм Лукманович

доктор технических наук, профессор

E-mail: rusakhapov@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Кашипов Рафил Фаилевич

инженер

E-mail: rafil_mail.ru@mail.ru

ООО «Грузоподъем»

Адрес организации: 420107, Россия, г. Казань, ул. Нигматуллина, д. 3

Влияния состава термопластика на светоизлучение материала

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследований является получение наилучшего результата от применения светоотражающего эффекта дорожной разметки. Предлагается использовать люминофор, добавлением этого светоизлучающего порошка, в состав термопластика нагретого при t около $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, для обеспечения наилучшей видимости в темное время суток, в условиях дождя, снегопада.

Результаты. Основным результатом исследований является поиск рационального соотношения компонентов, обеспечивающих максимальный светоизлучающий эффект, т.к. при большом количестве люминофора в среде термопластика, частицы оседают в его нижних слоях, ввиду их высокой плотности, снижая при этом светоотражающий эффект.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли от применения данной технологии будет наблюдаться, как в городских условиях, так и в условиях сельской местности, где это с уверенностью можно назвать отличной альтернативой при отсутствии стационарного освещения, поскольку дают водителю хороший обзор трассы даже с выключенными световыми приборами, и увеличить светоизлучение строительного материала.

Ключевые слова: дорожная разметка, люминофор, алюминат стронция, термопластик.

Введение

В настоящее время в странах Европы для дорожной разметки применяются светоотражающие красящие средства. Для получения наилучшего результата от применения светоотражающего эффекта дорожной разметки предлагается использовать люминофор, добавлением этого светоизлучающего порошка, в состав нагретого термопластика, для обеспечения наилучшей видимости в темное время суток, в условиях дождя, снегопада. Эффект от применения данной технологии будет наблюдаться как в городских условиях, так и в условиях сельской местности, где это с уверенностью можно назвать отличной альтернативой при отсутствии стационарного освещения, поскольку дают водителю хороший обзор трассы даже с выключенными световыми приборами.

Эффект свечения люминофора в темноте помогает водителю сконцентрироваться исключительно на разделительной полосе, когда встречная машина ослепляет дальним светом. К тому же, движение в темное время суток, особенно на дальние расстояния, для водителя связано с психоэмоциональным напряжением, утомленностью и сонливостью. Ночью организм человека должен отдыхать и восстанавливаться, естественно, внимание и реакция водителя ночью заметно отличаются от условий вождения в дневное время суток. Светящаяся в темноте разметка на дорогах не только усиливает внимание водителей на дорогах, но и даже делает поездку увлекательной. Применение же этой технологии на элементах конструкций мостов или других дорожных сооружениях, особенно в опасных местах на дороге, позволит снизить количество аварий в несколько раз. Недостаточная видимость дорожной разметки является наиболее частым недостатком автомобильной дороги, при дорожно-транспортных происшествиях [1].

Принцип работы технологии довольно прост: поверхность, которая поглощает и накапливает энергию света от естественных или искусственных источников при наступлении темноты начинает светиться. Максимальная интенсивность свечения наблюдается в течение нескольких часов, далее идет её постепенное снижение.

В темное время суток светящиеся линии, надписи и другие обозначения служат дополнительной мерой системы безопасности на сложных участках автомобильных трасс, а на спортивных площадках и велотреках – дают возможность проведения увлекательных соревнований даже ночью. Новое же светящееся направление в сфере обустройства дорог открывает:

- огромные возможности заработка дорожным компаниям;
- уникальные возможности реальной экономии электроэнергии;
- реальные возможности обеспечить безопасное движение на дорогах;
- прекрасные возможности наслаждаться красотой ночных трасс.

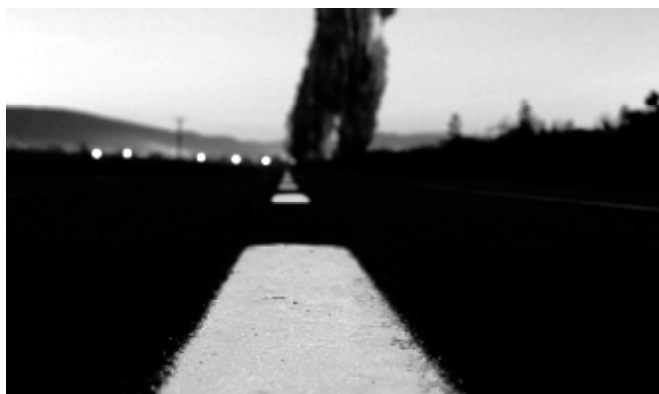


Рис. 1. Дорожная разметка в Венгрии (источник: <http://pikabu.ru/story/>)



Рис. 2. Светящаяся разметка вне населенного пункта (источник: <http://lumi-light.com/>)

Самым «проблемным» параметром является удельный коэффициент световозвращения. Недостаточные значения этой главной характеристики дорожной разметки, которая определяет её видимость в ночное время суток при отражённом свете фар автотранспортных средств, обычно фиксируются как на новой разметке (при проведении приёмочного контроля), так и в процессе эксплуатации. Здесь же необходимо отметить ещё один недостаток разметки, непосредственно связанный с рассматриваемым параметром – неравномерное значение по площади элементов, прежде всего наносимых вручную разметки [2].

На сегодня существуют следующие тенденции в области дорожной разметки: во-первых, наблюдается увеличение доли термопластиков. Это вполне объяснимо – при относительно невысокой стоимости разметки, нанесённой красками и эмалями, разметка обладает невысокой продолжительностью функциональной долговечности, особенно на автомобильных дорогах и улицах с высокой интенсивностью движения. Выход – в применении термопластиков и холодных пластиков. При этом термопластики

распространены в большей степени, чем холодные пластики. Во-вторых, увеличивается доля горизонтальной дорожной разметки выполняемой цветными материалами.

Перспективы данной технологии

В Европе активно занимаются дорожной разметкой компания Heijmans, расположенная в городе Росмален (Нидерланды) в сотрудничестве с Roosegaarde.

Studio Roosegaarde – это лаборатория социального дизайна голландского художника и новатора Даана Русегаарда. Вместе со своей командой дизайнеров и инженеров Roosegaarde создает ландшафты будущего. Студия объединяет людей, технологии и пространство, чтобы улучшить повседневную жизнь в городских условиях и проявить воображение и фантазию в различных проектах, реализацией которых занимается компания Heijmans [3].

Среди всемирно известных работ – Waterlicht (виртуальное наводнение, которое показывает мощность воды), Smog Free Project (самый большой очиститель наружного воздуха, который превращает смог в украшения) и Smart Highway (дороги, которые заряжаются в течение дня и накаляются ночью).

Smart Highway состоит из проектов Glowing Lines, которые заряжаются в дневное время и накаляются ночью в течение восьми часов. Первый пилотный проект реализован и в дальнейшем будет развиваться на международном уровне. Новые проекты включают Dynamic Paint, Interactive Light, Induction Priority Lane и Road Printer [4].

В планах входит также создание специальной светящейся погодной дорожной разметки, которая могла бы светиться при определенных погодных условиях.

История возникновения

Люминофор – происходит от латинского «люмен» – «свет» и греческого «форос» – «несущий».

Свечение природных люминофоров известно с древних времен, например насекомых, минералов, гниющего дерева и другие. Однако понять природу свечения – люминесценции – удалось лишь сравнительно недавно, а именно с развитием атомной физики. Само понятие люминесценция объясняется внутренними явлениями, происходящими в атоме вещества. В случае, когда возбужденный атом возвращается в свое стабильное состояние, происходит излучение света [5].

Процесс возбуждения может быть вызван ультрафиолетовым или рентгеновским излучением, электрической или химической реакцией. В люминофорах происходит преобразование всех видов энергии в световую энергию.

Некоторые люминофоры излучают ультрафиолетовый цвет. Другие могут излучать синий, зеленый, желтый, красный цвета. На практике объединяя различные люминофоры, можно получить свет дневного спектра. Обычно такие смеси применяются в обычных люминесцентных лампах.

Органические люминофоры применяются при создании светящихся красок, различных указателей, применяются при изготовлении светящихся приборов, при добыче полезных ископаемых, в биологии и другие.

Фотолюминофоры сохраняют накопленную энергию при возбуждении и далее отдают ее. Преобразование накопленной энергии в световую энергию происходит с определенной продолжительностью. Собственное послесвечение происходит в виде светового излучения в видимой, ультрафиолетовой или инфракрасной зоне.

Существуют как природные фотолюминофоры, так и искусственно синтезированные [6].

Характеристика люминофора

Люминофор – это вещество, которое всегда преобразовывает полученную энергию в яркое световое излучение [7]. Известные люминофоры бывают органического и неорганического происхождения. Самосвечение неорганических люминофоров происходит за счет наличия посторонних катионов [8].

Наибольшее распространение получили фотолюминофоры и электролюминофоры. Они являются препаратами сложного химического состава. В их состав входят алюминат стронция, активированный европием, диспрозием, иттрием. Химическая формула люминофора выглядит следующим образом: $(\text{SrAl}_2\text{O}_4):\text{Eu, Dy, Y}$.

Фотолюминофоры химически не активны к водным и сольвентным средам в состав которых входит алюминат стронция. Они устойчивы к различным облучениям и обладают послесвечением.

Люминофоры нетоксичны, пожаро- и взрывобезопасны. Они не имеют опасного радиоактивного излучения.

По степени воздействия на животный организм фотолюминофоры являются неопасным химическим веществом. По классу опасности относится к IV классу опасности вредных веществ. Фотолюминофор не загрязняет окружающую среду. Он обладает высокой стабильностью к химическим реакциям [8].

Ниже показаны сравнительные характеристики люминофоров на основе цинка и алюминат стронциевых люминофоров длительного послесвечения. За основу была взята марка DLO-7D и цинковый люминофор.

Светящийся в темноте люминисцентный пигмент (люминофор), поглощает энергию естественных и искусственных источников света. Потом выделяет ее в темноте в форме светоизлучения. Пигмент марки DLO-7D состоит из очень тонких кристаллов в основе своей имеющих молекулу алюмината стронция $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu, Dy}$, радикально отличающийся от обычного фосфоресцентного пигмента, который имеет в своей основе сульфид цинка или радиоизотопы с их свойствами самосвечения.

Пигменты люминофора обладают некоторыми отличиями и преимуществами в период свечения. В темноте период их свечения в 50 раз больше, чем у обычного пигмента, который основан на сульфиде цинка. А наилучший результат свечения получается при активации волнами выше 350 нанометров, не загрязняет окружающую среду и обладает высокой химической стабильностью, отсутствуют опасные для здоровья радиоактивные вещества, начальная яркость послесвечения в 10 раз длиннее, чем у радиолюминисцентных и фотолюминисцентных пигментов, достигается превосходная погодная и световая устойчивость пигмента [6].

Люминофор DLO-7D (рис. 3) продолжает накапливать и сохранять световую энергию, не достигая точки насыщения, гораздо дольше, чем классический фосфоресцентный пигмент.



Рис. 3. Люминофор DLO-7D (источник: <https://exclusivecolor.com.ua/>)

Характеристики послесвечения

Наибольшее энергетическое насыщение получается, при активации незащищенного пигмента под действием направленного ультрафиолетового луча солнца, галогенной или газоразрядной лампы и других активных источников, богатых ультрафиолетом.

Использование обычных флуоресцентных лампы богатых ультрафиолетовым излучением, также позволит провести быструю активацию пигмента. Яркость послесвечения зависит от интенсивности ультрафиолета, который содержится в активирующем свете и времени активации.

Верхняя кривая (рис. 4) показывает характеристики послесвечения алюминат-стронциевого люминофора $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu, Dy}$ в сравнении с пигментом, базирующемся на сульфиде цинка.



Рис. 4. Сравнение результатов послесвечения (иллюстрация авторов)

Измерения взяты с экранирующих шелковистых поверхностей, которые были активированы 200-люксовым источником света в течение 4 минут.

Как можно видеть из графика (рис. 4), $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$ в 10 раз ярче и имеет приблизительно в 10 раз более длительное послесвечение, чем пигмент, базирующийся на сульфиде $\text{Zn}:\text{Cu}$.

Время активации и яркость послесвечения $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$ продолжает накапливать и сохранять световую энергию (не достигая точки насыщения) гораздо дольше, чем классический фосфоресцентный пигмент. График (рис. 5) показывает результаты, когда оба типа пигментов были активированы с использованием D65 – стандартного источника дневного света интенсивности 200 Lux.



Рис. 5. Эффективность послесвечения (иллюстрация авторов)

Световозвращающие материалы

Основное свойство дорожной разметки это хорошая видимость. Она должна наблюдаться как при свете солнца, или свете фар, так и темной ночью, как под проливным дождем, так и в пасмурную погоду. Дорожная разметка, отвечающая таким требованиям, позволяет сократить количество дорожно-транспортных происшествий в ночное время на 30 % [1].

Предназначенные для нанесения дорожной разметки на асфальтированные покрытия, термопластики, изготавливаются перемешиванием сухих компонентов: связующие, наполнители, пигменты, технологические добавки [9].

При использовании современных световозвращающих материалов для дорожной разметки достигается хорошая видимость. Наиболее распространенным светоотражающим материалом являются стеклянные микрошарики, которые располагаются на поверхности дорожной разметки [10].

Стеклянные микрошарики самостоятельно в качестве разметочного материала не применяются, а только как добавочный материал к термопластику. Светоотражение

объясняется способностью стеклянных микрошариков, преломлять свет. Они преломляют свет от фар автомобиля и отражают его под другим углом. Для получения наибольшего эффекта стеклянные микрошарики изготавливают абсолютно прозрачными и не содержащими пузырьков газа.

Существует три способа нанесения стеклошариков в термопластик. Для этого их вводят вовнутрь маркировочного материала. Можно также применить посыпанием на свеженанесенную разметку. Иногда используют сочетание обоих способов одновременно.

Стеклошарики должны возвышаться над поверхностью разметки наполовину для того, чтобы, преломленный шариком и отраженный от его внутренней поверхности свет фар, создал наибольший объем свечения. В этом случае стеклошарик хорошо удерживается материалом разметки. Но если стеклошарик выступает из слоя разметки более чем наполовину, он легко будет сбит колесом автомобиля. А если шарик погружен в слой материала разметки более чем наполовину, объем отраженного света уменьшится [9, 10].

Проведение исследований

Цель исследования заключалась в изучении влияния люминофора на термопластик, т.е. в получении рационального соотношения веществ, обеспечивающие максимальный световозвращающий эффект в условиях полного отсутствия света.

Для определения рационального соотношения люминофора и термопластика был составлен план проведения эксперимента.

В процессе исследования были рассчитаны различные соотношения веществ:

Люминофор, гр	Термопластик, гр
20	200
40	200
60	200
80	200
100	200
120	200
140	200

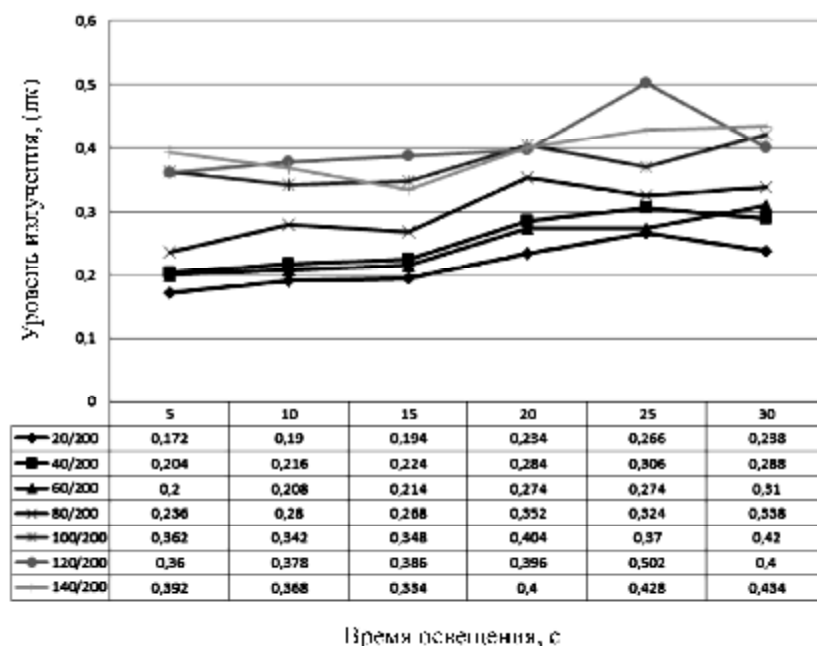


Рис. 6. Зависимость времени освещения от уровня излучения (иллюстрация авторов)

Выбор 140 грамм люминофора в составе термопластика обусловлен необходимостью выявления значительной разницы от 120 и 100 граммового составов. В результате проведения исследования и обработки полученных показателей, было

определено, что характеристики экспериментальных образцов с повышенным содержанием люминофора практически не отличались.

Также они обладают повышенной яркостью свечения по сравнению с остальными экспериментальными образцами, но длительность свечения снижается быстрее.

Таким образом, рациональными по соотношению компонентов и по эффективности будут образцы с 60 грамм и 80 грамм люминофора.

Результаты зависимости времени освещения от уровня излучения образцов в соотношениях 20/200, 40/200, 60/200, 80/200, 100/200, 120/200, 140/200 показаны на рис. 6.

Результаты зависимости времени затухания от уровня излучения образцов в соотношениях 20/200, 40/200, 60/200, 80/200, 100/200, 120/200, 140/200 показаны на рис. 7.

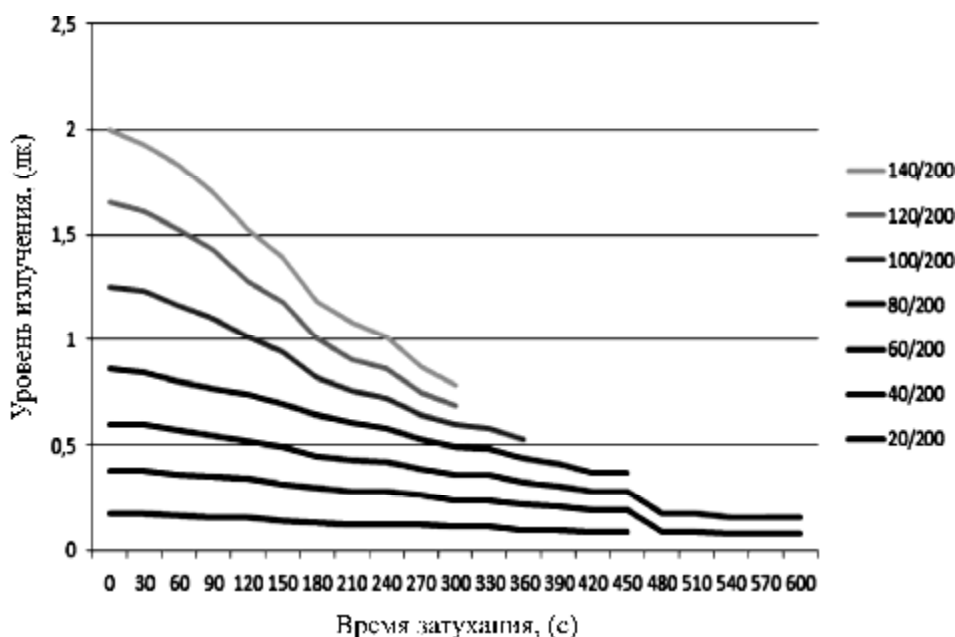


Рис. 7. Зависимость времени затухания от уровня излучения (30 с) (иллюстрация авторов)

Заключение

В результате проведенной исследовательской работы по изучению свойств термопластик, были определены наиболее эффективные показатели свечения люминофора в составе термопластика.

Были также определены и обработаны показатели свечения за определенный промежуток времени, показатели свечения во время полного затухания подготовленных образцов термопластика с различными соотношениями термопластика и люминисцентного порошка.

Применение вышеуказанной технологии имеет множество преимуществ по сравнению с технологией получения обычного термопластика:

1. Создание благоприятного эстетичного вида в условиях города, сельской местности и т.д.
2. Обеспечение безопасного движения на дорогах в условиях полного отсутствия света или при наличии участков дорог со слабой освещенностью.
3. Отсутствие негативного воздействия на окружающую среду и на здоровье человека.
4. Низкие материальные затраты по сравнению с применением обычного термопластика.
5. Применение данной технологии возможно с дорожно-разметочной машиной, которая позволит улучшить рабочие показатели оборудования и повысить его эффективность и безопасность дорожного движения.

Список библиографических ссылок

1. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. С. 012008.
2. Sakhapov R. L., Absalyamova S. G. The use of telecommunication technologies in education network. В сборнике: Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2015 12. 2015. С. 14–17.
3. Магические конструкции города // Studio Roosegaarde : интернет-изд. 2016. URL: <https://www.studio Roosegaarde.net/info> (дата обращения: 06.12.2017).
4. Шоссе в будущее // Природа и наука : интернет-изд. 2016. URL: <https://www.heijmans.nl/nl/nieuws/eerste-pilot-met-glowing-lines-oss> (дата обращения: 06.07.2017).
5. Казанкин О. Н. Неорганические люминофоры. М. : Химия, 1995. 232 с.
6. Зверева Е. М., Манаширов О. Я., Голота А. Ф. Разработка нового типа люминофоров с расширенными функциональными возможностями на основе алюминатов стронция : сб. тр. VIII международной конференции «Опто-, нанoeлектроника, нанотехнологии и микросистемы» / Ульяновск, 2012. С. 193–197.
7. Химическая энциклопедия. М. : Том 2, 1990. С. 221–222.
8. Зверева Е. М., Манаширов О. Я., Голота А. Ф. Новый класс многофункциональных люминофоров на основе алюминатов стронция // Вестник Южного научного центра РАН. 2014. Т. 2. № 4. С. 31–37.
9. Анализ технологии нанесения дорожной разметки // Allbest.ru : интернет-изд. 2016. URL: https://revolution.allbest.ru/manufacture/00492273_0.html (дата обращения: 06.12.2017).
10. Материалы для разметки дорог // Ежедневник «Снабженец» : интернет-изд. 2015. URL: <http://snab.ru/lkm/02/13.html> (дата обращения: 01.03.2017).

Sakhapov Rustem Lukmanovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: rusakhapov@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Kashipov Rafil Failevich

engineer

E-mail: rafil_mail.ru@mail.ru

LLC «Gruzopodem»

The organization address: 420107, Russia, Kazan, Nigmatullina st., 3

Effects of thermoplastic composition on the light emission of the material**Abstract**

Problem statement. The aim of the research is to obtain the best result from the application of the reflective effect of road marking. It is proposed to use a phosphor, by adding this light-emitting powder, to a thermoplastic composition heated at t about 200°C , to ensure the best visibility in the dark, in conditions of rain and snow.

Results. The main result of the research is the search for a rational ratio of components providing the maximum light-emitting effect, since with a large amount of phosphor in a thermoplastic environment, the particles are deposited in its lower layers, due to their high density, while reducing the reflective effect.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry from the use of this technology will be observed both in urban environments and in rural areas, where it can be safely called an excellent alternative in the absence of stationary lighting, as they give the driver a good view of the route, even with the lights off and increase light emission building material.

Keywords: road marking, phosphor, strontium aluminate, thermoplastic.

References

1. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012008.
2. Sakhapov R. L., Absalyamova S. G. The use of telecommunications technologies in the education network. In : Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV-2015. 12. 2015. P. 14–17.
3. A smog vacuum cleaner and other magical city designs // Studio Roosegaarde : Internet-edit. 2016. URL: <https://www.studioroosegaarde.net/info> (reference date: 12.06.2017).
4. Snelweg van de toekomst // Natuur en Wetenschap : Internet-edit. 2016. URL: <https://www.heijmans.nl/nl/nieuws/eerste-pilot-met-glowing-lines-oss> (reference date: 07.06.2017).
5. Kazankin O. N. and others. Inorganic phosphors. M. : Chemistry, 1995. 232 p.
6. Zvereva E. M., Manashirov O. Ya., Golota A. F. Development of a new type of phosphors with enhanced functionality based on strontium aluminates : Proceedings of the VIII International Conference «Opto-, Nanoelectronics, Nanotechnologies and Microsystems» / Ulyanovsk, 2012. P. 193–197.
7. Chemical encyclopedia. M. : Vol. 2, 1990. P. 221–222.
8. Zvereva E. M., Manashirov O. Ya., Golota, A. F. A new class of multifunctional phosphors based on strontium aluminates. Vestnik Yujnogo nauchnogo tsentra RAN. 2014. V. 2. № 4. P. 31–37.
9. Analysis of the technology of road markings // Allbest.ru : internet-edit. 2016. URL: https://revolution.allbest.ru/manufacture/00492273_0.html (reference date: 12.06.2017).
10. Materials for road marking // Ejenedelnik «Snabjenets» : internet-edit. 2015. URL: <http://snab.ru/lkm/02/13.html> (reference date: 03.01.2017).