

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-35-43

<sup>1,\*</sup>Кравченко Д.Э.,<sup>1</sup>Сулейманова Л.А.,<sup>2</sup>Лукутцова Н.П.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова<sup>2</sup>Брянский государственный инженерно-технологический университет

\*E-mail: darya.levshimna@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ЦВЕТА И ИСТОЧНИКА ЗАРЯДА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПИГМЕНТА НА СВОЙСТВА СВЕТЯЩИХСЯ БЕТОНОВ

**Аннотация.** При проектировании светящихся бетонов важным фактором является функциональность материала с обеспечением начальной яркости и длительного времени послесвечения. Цвет люминесцентного пигмента влияет на эксплуатационные свойства материала.

Проведено исследование по изучению влияния цвета пигмента и содержания светоотражающего порошка в светящемся бетоне на эксплуатационные свойства при заряде разными источниками освещения. В данном исследовании использовали белый портландцемент CimSA CEM I 52,5 R с коэффициентом отражения света 80 %; светоотражающий порошок с размером частиц 75 мкм; люминесцентный пигмент SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> различных цветов: небесно-голубой, сине-зеленый, желто-зеленый с размером частиц 25–55 мкм.

На интенсивность послесвечения люминесцентного пигмента в бетоне влияют два фактора: мощность светового потока и цветовая температура. Чтобы изучить фазу интенсивного послесвечения и его длительность, использовали метод зарядки с помощью различных источников освещения.

Внешние факторы, такие как время заряда, интенсивность свечения и структура спектра источника облучения, оказывают значительное влияние на яркость послесвечения люминесцентного пигмента. После добавления светоотражающего порошка увеличивается количество каналов светопропускания, поэтому люминесцентный эффект материала улучшается, прирост начальной яркости послесвечения достигает 7 %. Анализ начальной яркости послесвечения образцов с люминесцентными пигментами разных цветов при одном и том же времени возбуждения показал, что наибольшей начальной яркостью обладают образцы с желто-зеленым пигментом, затем образцы с сине-зеленым и небесно-голубым пигментами, при этом образец с сине-зеленым пигментом обладает наибольшим временем послесвечения – более 6 часов.

**Ключевые слова:** люминесцентный пигмент, светоотражающий порошок, светящийся бетон, бетон с люминесцентными свойствами, элементы мощиения.

**Введение.** В современном мире, где технологии и инновации играют ключевую роль в развитии различных отраслей промышленности, особое внимание уделяется разработке новых материалов с уникальными свойствами. Одним из таких материалов является люминесцентный пигмент, который представляет собой перспективное направление исследований в области материаловедения.

Люминесцентные пигменты – это вещества, способные поглощать и излучать свет. Заряд люминесцентного пигмента происходит под воздействием света или другого источника излучения и приводит к флуоресценции – эффекту свечения с большей длиной волны, чем у поглощённого света. Благодаря своим уникальным свойствам, люминесцентные пигменты находят применение в самых разных отраслях промышленности [1–3].

Актуальность исследования люминесцентных пигментов обусловлена их потенциальными возможностями для создания новых продуктов и технологий. Эти материалы могут быть использованы для разработки более эффективных и экологически чистых источников света, создания ярких и долговечных покрытий, а также для улучшения видимости и безопасности в условиях низкой освещённости.

Светящиеся бетоны представляют собой инновационное направление в строительстве, в том числе, дорожном, которое открывает новые возможности для создания безопасных и энергоэффективных инфраструктурных объектов. Светящиеся бетоны создаются на основе традиционных бетонных смесей с добавлением специальных люминесцентных пигментов, обеспечивающих свечение в темноте. В результате, дорожные покрытия, тротуары, ограждения и другие элементы инфраструктуры приобретают яркий вид в темное время суток, что делает их легко заметными для автомобилистов и пешеходов [4–7].

При проектировании светящихся бетонов важным фактором является функциональность материала с обеспечением начальной яркости и длительного времени послесвечения. Цвет люминесцентного пигмента влияет на эксплуатационные свойства материала [8–10].

Благодаря использованию различных химических соединений в составе, люминесцентные пигменты могут иметь разные цвета. У каждого пигмента есть свои уникальные характеристики: длина волны поглощения и излучения света, яркость свечения и длительность послесвечения. Это позволяет создавать материалы с различными цветовыми характеристиками для разных

областей применения. В связи с чем, проведено исследование по изучению влияния цвета пигмента в светящемся бетоне на эксплуатационные свойства.

Использование светоотражающего порошка может сделать свечение люминесцентного пигмента более интенсивным, что позволит ему быть более заметным в условиях низкой освещённости. Однако для оценки эффективности такого сочетания необходимо учитывать тип пигмента и светоотражающего порошка, а также условия освещения.

**Материалы и методы.** В работе исследованы яркость и время послесвечения образцов при заряде разными источниками освещения в камере оценки света BGD 276: ультрафиолетовой лампой (UV), осветителями D65, TL84, CWF, F, TL83/U30, а также при естественном солнечном свете.

D65 – это основные осветители, имитирующие европейское среднее дневное освещение. Оно включает в себя как прямой солнечный свет, так и свет, рассеянный чистым небом. Осветитель D65, предназначенный для воспроизведения среднего дневного света, имеет цветовую температуру 6500 К.

Лампа TL84 применяется в общественных помещениях в Европе, Японии и Китае, имеет цветовую температуру 4000 К.

Источник света CWF – широкополосные флюоресцентные лампы холодного белого света. Коррелированная температура света 4000К.

Источник света F – вольфрамовая лампа накаливания. Коррелированная температура света 2800К. Обычный источник освещения жилых помещений.

Лампа TL83/U30 – узкополосные три-фосфорные флюоресцентные лампы. Коррелированная температура света 3000К. Часто применяются как источники освещения торговых точек на территории Европы.

Также для исследований применяется источник ультрафиолетового света. Длина волны UV-лампы – 365 нм.

В данном исследовании использовали белый портландцемент CimSA CEM I 52,5 R с коэффициентом отражения света 80 %; светоотражающий порошок с размером частиц 75 мкм; люминесцентный пигмент  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  различных цветов: небесно-голубой, сине-зеленый, желто-зеленый с размером частиц 25-55 мкм (рис. 1)

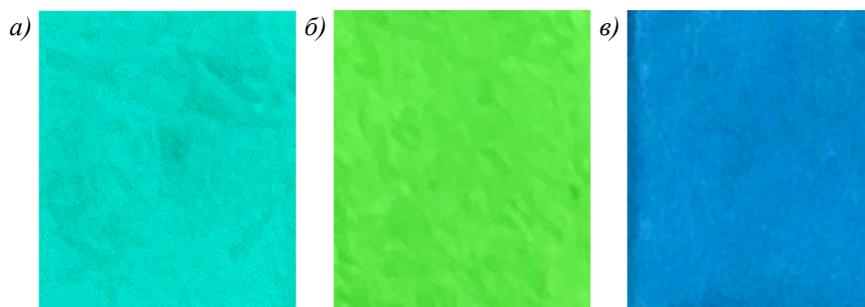


Рис. 1. Люминесцентный пигмент различных цветов:

а – сине-зеленый; б – желто-зеленый; в – небесно-голубой

**Основная часть.** Для обоснования практического применения бетона с люминесцентными свойствами, нужно определить, может ли люминесцентный пигмент в бетонных образцах заряжаться при освещении, которое характерно для предполагаемой области использования исследуемого бетона. После такой зарядки образцы должны излучать видимое послесвечение в темноте на протяжении ночи в разных регионах применения.

Важно учитывать спектр излучения источника освещения, его мощность и возможность регулирования интенсивности света для достижения оптимальных результатов. Чтобы изучить фазу интенсивного послесвечения и его длительность, использовали метод зарядки с помощью различных источников освещения.

В России, Западной и Северной Европе часто используются стандартные осветители D65, определённые Международной комиссией по

освещению (CIE) [11]. D65 – это основные осветители, имитирующие европейское среднее дневное освещение. Осветитель D65, предназначенный для воспроизведения среднего дневного света, имеет цветовую температуру 6500К.

Во время исследований обычно применяют такие источники освещения, как ультрафиолетовые и ксеноновые лампы и лампы D65 [12, 13]. Эти источники позволяют контролировать спектр излучения в ультрафиолетовом диапазоне, который приходится на пик кривой возбуждения фотолюминесцентного пигмента.

В исследованиях также используется ксеноновая разрядная лампа, которая излучает свет высокой интенсивности от ультрафиолетового диапазона через видимую и инфракрасную области. В лампе светоизлучающая часть сосредоточена вблизи катода, поэтому лампу можно рассматривать как точечный источник света. Короткодуговая лампа излучает более интенсивный свет по

сравнению с длиннодуговой. Последняя испускает менее интенсивный световой поток, но она является стандартом в ультрафиолетовой области.

В ряде экспериментов образцы заряжают под прямыми солнечными лучами, чтобы подтвердить необходимость тестирования образцов при непостоянном естественном освещении [14–16].

Для более детального изучения реакции на облучение в ограниченном спектральном диапазоне используют специальное лабораторное оборудование [17, 18]. При этом мощность источника освещения и расстояние от него до образца не нормируются.

В ряде экспериментов измеряют освещённость образца в люксах. Это позволяет более точно воспроизвести эксперимент при наличии подходящего источника освещения.

Во время исследования кривых нарастания и спада интенсивности послесвечения образцы за-

ряжают разное количество времени: от нескольких минут (1–5) и десятков минут (15–30) до нескольких часов (2–14). Также отличается время между завершением зарядки и первым измерением: оно колеблется от 1 до 30 секунд.

Для определения интенсивности послесвечения образцов используют приборы для измерения яркости мониторов и фотоаппаратуры, а также спектрографы, которые исследуют распределение энергии излучения по всему диапазону длин волн.

В данном исследовании проанализированы разные источники освещения, которые следует использовать в исследованиях при изучении люминесцентного пигмента.

Заряд образцов производился разными источниками освещения: солнечным светом и искусственными источниками освещения, технические характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики источников заряда люминесцентного пигмента

Источник света	Описание	Мощность	Температура цвета
D65	Искусственный дневной свет по международным стандартам	18 Вт	6500К
TL84	Применимо к общественным помещениям в Европе, Японии и Китае.	18 Вт	4000К
CWF	Холодный белый флуоресцентный	20 Вт	4150К
F	Сравнительный эталонный источник света	40 Вт	2700К
UV	Источник ультрафиолетового света	18 Вт	Длина волны 365 нм
TL83/U30	Теплый белый флуоресцентный	18 Вт	3000К

Для определения начальной яркости и времени послесвечения образцов с люминесцентными пигментами использовалась методика, апробированная на кафедре строительства и городского хозяйства. Измерения люминесцентных свойств проводятся в видимом спектре частот, для регистрации данных в данном исследовании применялся люксметр SEM DT-1308 Light Meter [10], так как спектр его чувствительности соответствует кривой спектральной световой эффективности дневного зрения человека по стандарту CIE 1978 «CIE Photopic luminosity curve» (ГОСТ 8.332-78).

Все образцы были в темноте за 24 часа до начала заряда, затем образцы подвергались воздействию источников заряда в течение 240 минут. Во время испытаний в помещении поддерживалась определенная температура ( $T = 21 \pm 0,5$  °C). Все измерения на каждом этапе проводились в одном и постоянном температурном режиме. Все этапы измерений выполнялись при одинаковой температуре, а испытания при естественном освещении – при одинаковых погодных условиях и температуре.

Яркость послесвечения поверхности образца ( $L_{source}$ ), кд/м<sup>2</sup> определялась по формуле [19]:

$$L_{source} = \frac{n_{lum}/S_{det}}{\Psi_{source}} = \frac{N_{lux}}{S_{source}/d^2}, \quad (1)$$

где  $n_{lum}$  – световой поток, зарегистрированный светочувствительным элементом приемника, лм;  $\Psi_{source}$  – сферический телесный угол от приемника к источнику;  $N_{lux}$  – освещенность датчика люксметра, лк;  $S_{det}$  – светочувствительная площадь приемника;  $S_{source}$  – площадь светящейся поверхности источника;  $d$  – расстояние от источника к приемнику.

При измерении яркости послесвечения в диапазонах, близких к моменту окончания возбуждения, первый замер был произведён через 10 секунд после выключения источника света. Это было сделано для того, чтобы снизить погрешность на крутом участке экспоненциальной кривой. Для усиления эффекта послесвечения люминесцентного пигмента в бетоне все образцы проходили этап шлифования поверхностного слоя.

Результаты начальной яркости и времени послесвечения образцов с разным цветом люминесцентного пигмента показаны на рис. 2.

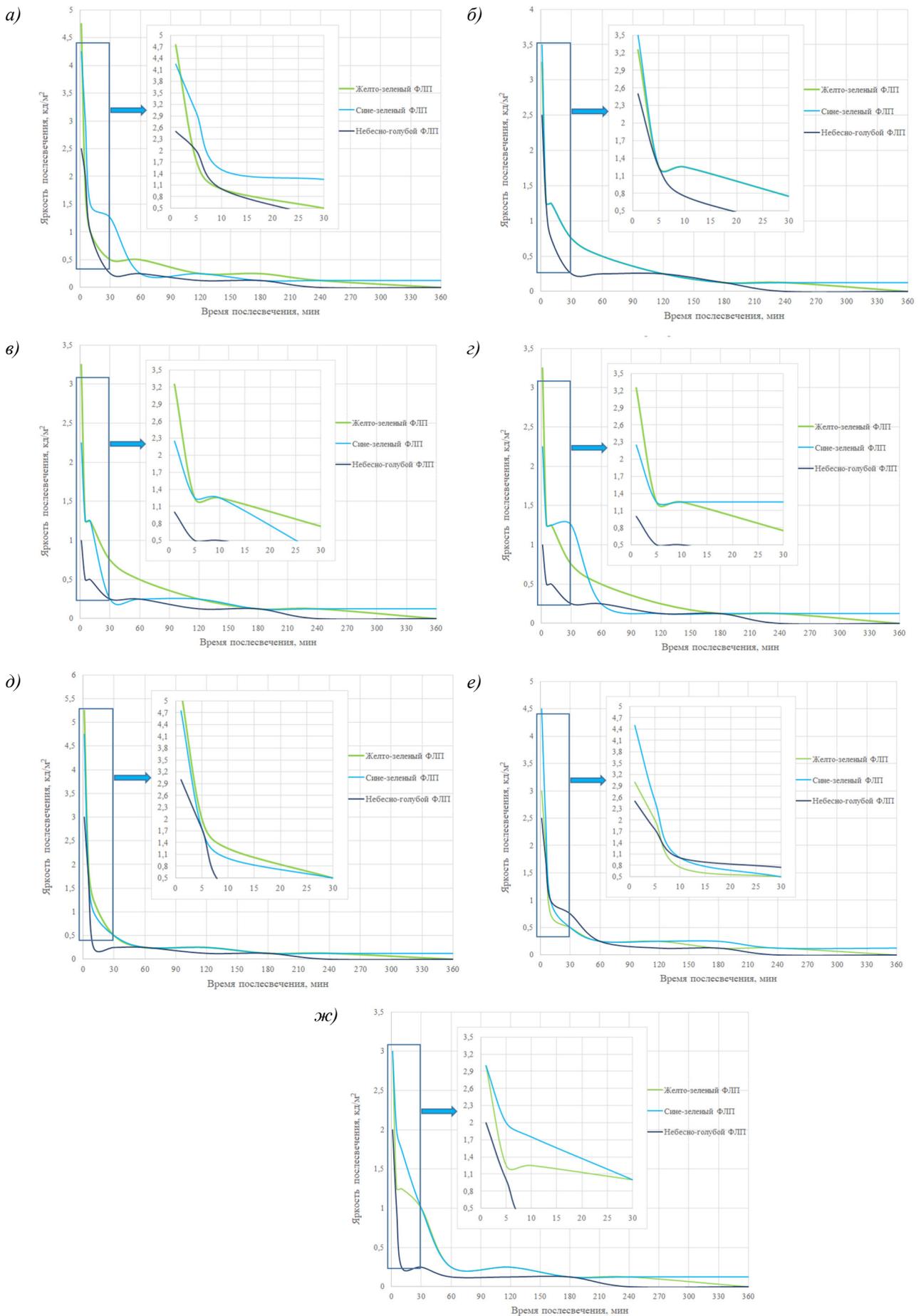


Рис. 2. Затухание яркости послесвечения при заряде разными источниками освещения: а – CWF; б – D65; в – F; г – TL84; д – TL83/U30; е – ультрафиолетовый свет; ж – солнечный свет

Проведено исследование интенсивности свечения образцов с добавлением светоотражающего порошка (рис. 3). Светоотражающий порошок отражает свет, который попадает на него. Благодаря этому он может усилить эффект свече-

ния люминесцентного пигмента. Светоотражающий порошок может отражать свет, излучаемый пигментом, тем самым делая его более заметным и ярким. Это особенно полезно в условиях низкой освещенности, где без дополнительного отражения пигмент мог бы быть менее заметен.

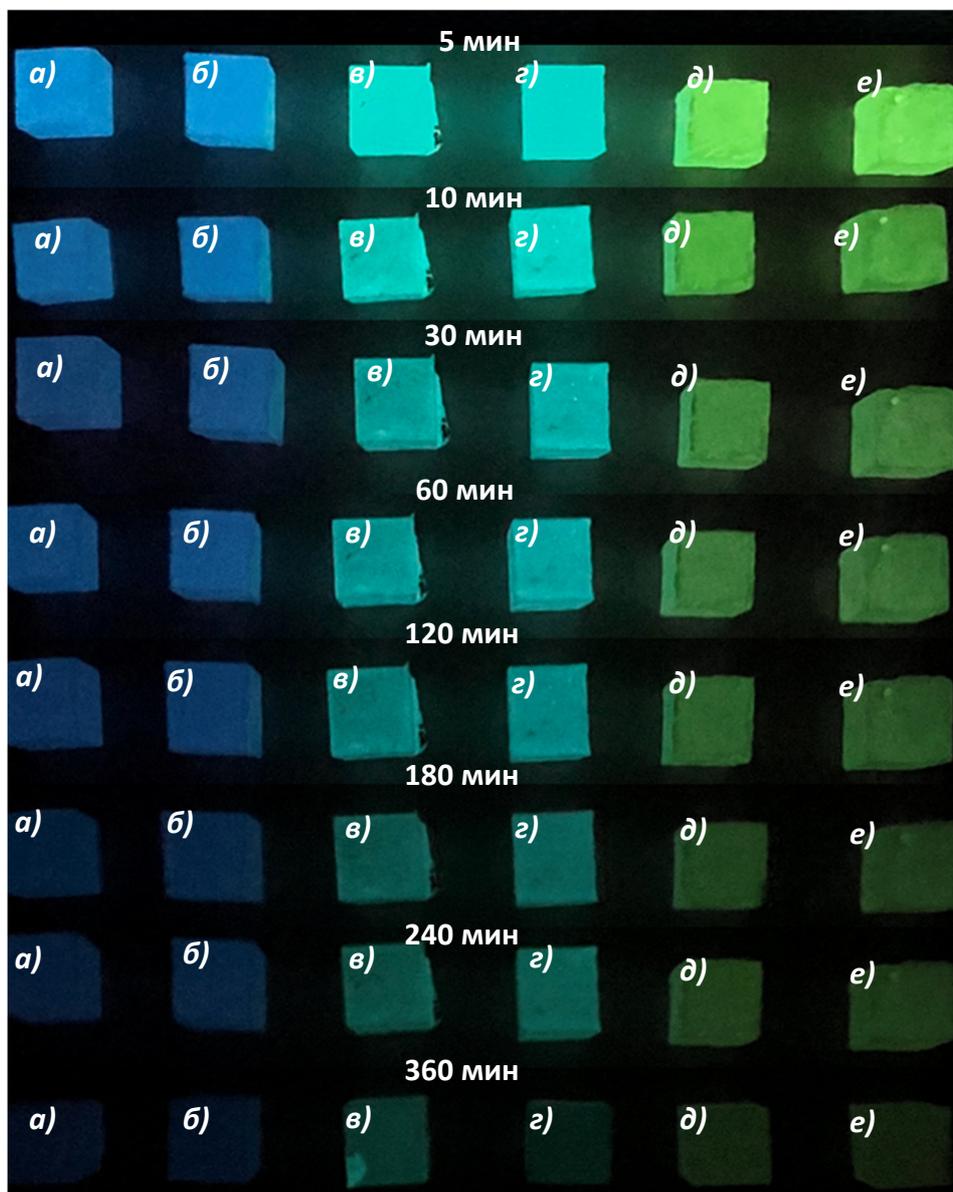


Рис. 3. Затухание яркости послесвечения образцов с разным цветом люминесцентного пигмента и содержанием светоотражающего порошка:

- a* – небесно-голубой люминесцентный пигмент с добавлением светоотражающего порошка;  
*б* – то же без добавления светоотражающего порошка; *в* – сине-зеленый люминесцентный пигмент с добавлением светоотражающего порошка; *г* – то же без добавления светоотражающего порошка;  
*д* – желто-зеленый люминесцентный пигмент с добавлением светоотражающего порошка;  
*е* – то же без добавления светоотражающего порошка

В ходе исследования также выявлено, что интенсивность флуоресценции образцов улучшается после добавления светоотражающего порошка. Образец с желто-зеленым люминесцентным пигментом обладает начальной яркостью  $5,25 \text{ кд/м}^2$  без светоотражающего порошка и  $5,62$

$\text{кд/м}^2$  после добавления светоотражающего порошка, время послесвечения достигает 5 часов у всех образцов. Начальная яркость образцов с сине-зеленым пигментом без добавления светоотражающего порошка достигает  $4,75 \text{ кд/м}^2$  и  $5,08 \text{ кд/м}^2$  после добавления светоотражающего

порошка, при этом образец с сине-зеленым пигментом с добавлением светоотражающего порошка обладает наибольшим временем послесвечения – более 6 часов. Небесно-голубой пигмент без светоотражающего порошка и с его добавлением имеет начальную яркость 3 кд/м<sup>2</sup> и 3,21 кд/м<sup>2</sup> соответственно. Прирост начальной яркости послесвечения сине-зеленых образцов

после добавления светоотражающего порошка составил 7 %.

Причина в том, что светоотражающий порошок в образцах может играть роль в регрессионном отражении к внешнему падающему свету. Схема пропускания света в образце представлена на рис. 4.

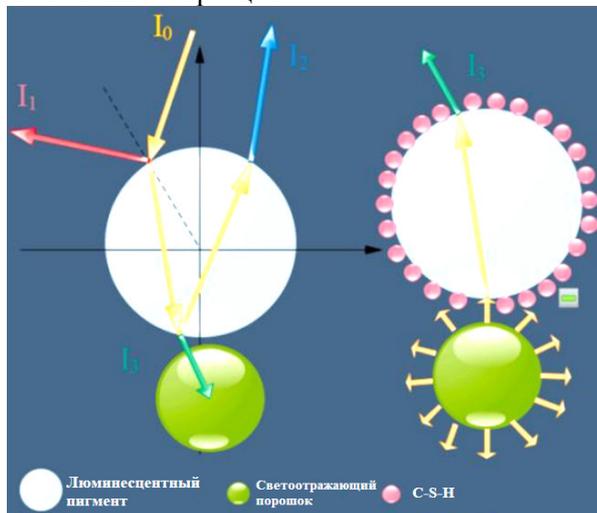


Рис. 4. Схема пропускания света в образце

В соответствии с принципом отражения и преломления света, когда внешний свет падает на светоотражающий порошок на поверхности образцов, он будет разделен на три части: поверхностный отраженный свет  $I_1$ , внутренний отраженный свет  $I_2$  и прошедший свет  $I_3$ , как показано на рис. 4.

Если свет проникает внутрь образцов для возбуждения частиц люминесцентного пигмента, то это должно быть выполнено с помощью проходящего света  $I_3$ . В этом случае светоотражающий порошок может использоваться в качестве светопропускающих частиц для передачи и вывода внутреннего света, излучаемого после возбуждения люминесцентного пигмента, и направления внешнего света.

**Выводы.** Разные цвета поглощают ультрафиолетовые лучи на разных частотах, что приводит к оптимальной длине волны излучения для каждого цвета. Внешние факторы, такие как время заряда, интенсивность свечения и структура спектра источника облучения, оказывают значительное влияние на яркость послесвечения люминесцентного пигмента. Это особенно важно учитывать при работе с конкретным химическим составом пигмента. Разнообразие цветов люминесцентных пигментов достигается за счёт использования различных химических соединений в их составе. Все спектры флуоресценции различных образцов с люминесцентным пигментом имеют оптимальную точку пика. После добавления светоотражающего порошка увеличивается

количество каналов светопропускания, поэтому люминесцентный эффект материала улучшается, прирост начальной яркости послесвечения достигает 7 %. Анализ начальной яркости послесвечения образцов с люминесцентными пигментами разных цветов при одном и том же времени возбуждения показал, что наибольшей начальной яркостью обладают образцы с желто-зеленым пигментом, затем образцы с сине-зеленым и небесно-голубым пигментами, при этом образец с сине-зеленым пигментом обладает наибольшим временем послесвечения – более 6 часов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Katsumata T. Effects of Composition on the Long Phosphorescent  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  Phosphor Crystals // Journal of The Electrochemical Society. 2007. Vol. 144. Pp. 243–245. DOI:10.1149/1.1837931
2. Lima N.B., Goncalves S.M., Junior S.A., Simas A.A. A Comprehensive Strategy to Boost the Quantum Yield of Luminescence of Europium Complexes // Scientific Reports. 2013. № 3. Pp. 203–211. DOI:10.1038/srep02395
3. Леденева Г.Л., Воронов В.В. Люмобетон и метод естественной espectacularности // Бизнес и дизайн ревью. 2019. № 3 (15). С. 10–22.
4. Сулейманова Л.А., Гридчин А.М., Малюкова М.В., Морозова Т.В. Повышение архитектурной выразительности плит бетонных тротуарных // Научные технологии и инновации.

Сборник докладов Юбилейной Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 347–353.

5. Сулейманова Л.А. Декоративные элементы как способ эстетического осмысления пространства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 109–115.

6. Лукутцова Н.П., Еремочкин Р.А., Борсук О.И., Головин С.Н. Фотокаталитически активный самоочищающийся мелкозернистый бетон // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 8–16. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-8-15.

7. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Корякина А.А. Исследование фотолуминесцентного пигмента для применения в светящемся архитектурно-декоративном бетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 6. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-8-18

8. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Погорелова И.А., Корякина А.А. Формирование пространственной среды с учетом колористики // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 62–66. DOI: 10.12737/22028

9. Погорелова И.А., Малюкова М.В., Корякина А.А. Применение сверхэффективных бетонов // Научные технологии и инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород. Том Часть 1. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 133–137.

10. Корякина А.А. Бетон с фотолуминесцентными свойствами для малых архитектурных форм: специальность 2.1.5. «Строительные материалы и изделия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корякина Алина Александровна. Белгород, 2022. 189 с.

11. DIN 6173-2 «Соответствие цветов и эталонным источником света» ASTM D1729; ISO

10526:1999 / CIE S005/E-1998. Стандартные осветительные приборы CIE для колориметрии

12. Zhi-jie Li, Yu-feng Z., Xiao W., Chu-yang Q., Gui-mei Sh. Synthesis and properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> nanowires // Physics Letters A. 2017. Vol. 381. Pp. 3519–3522. DOI: 10.1016/j.physleta.2017.08.051

13. Mothudi B.M., Ntwaeaborwa O.M., Kumar A. Phosphorescent and thermoluminescent properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> phosphors prepared by solid state reaction method // Physica Journal. 2012. Vol. 407. Pp. 1679–1682. DOI: 10.1016/j.physb.2011.10.033

14. Sharpe L.T. Into the twilight zone: the complexities of mesopic vision and luminous efficiency // Ophthalmic Physiol. Optic. 2006. Vol. 26(3). Pp. 225–239. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2006.00325.x

15. Practical applications of phosphors / Taylor & Francis group, 2007. URL: www.taylor&francisgroup

16. Chen T.M. Effect of host compositions on the afterglow properties of phosphorescent strontium aluminate phosphors derived from the sol-gel method // Journal Materials Research. 2001. Vol. 16(05). Pp. 1293–1300. DOI: 10.1111/jace.14188

17. Takanori W. Giant improvement on the afterglow of phosphor by systematic investigation on various parameters // Journal of materials. 2013. Vol. 66. Pp. 89-100. DOI: 10.1155/2013/613090

18. Matsuzawa Y.A., Takeuchi N., Murayama Y.A. New Long Phosphorescent Phosphor with High Brightness SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> // Journal of The Electrochemical Society. 1996. Vol. 143. Pp. 2670–2673. DOI: 10.1149/1.1837067

19. Большухин В.А., Булычев Н.А., Васильева Н.Н., Гарелина С.А., Гусев А.Л., Казарян М.А., Красовский В.И., Пляка П.С., Собко А.А., Сочков В.И. Люминофоры длительного послесвечения – возможность применения для целей МЧС // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №6 (128). С. 116–130.

#### Информация об авторах

**Кравченко Дарья Эдуардовна**, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: darya.levshimna@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Сулейманова Людмила Александровна**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительства и городского хозяйства. E-mail: kafedrasigsh@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Лукутцова Наталья Петровна**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой производства строительных конструкций. E-mail: natluk58@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д. 3.

Поступила 05.07.2024 г.

© Кравченко Д.Э., Сулейманова Л.А., Лукутцова Н.П., 2024

<sup>1,\*</sup>*Kravchenko D.E.*, <sup>1</sup>*Suleymanova L.A.*, <sup>2</sup>*Lukuttsova N.P.*  
<sup>1</sup>*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*  
<sup>2</sup>*Bryansk Technological University of Engineering*  
 \*E-mail: darya.levshimna@mail.ru

## THE EFFECT OF THE COLOR AND CHARGE SOURCE OF THE LUMINESCENT PIGMENT ON THE PROPERTIES OF LUMINOUS CONCRETES

**Abstract.** When designing luminescent concrete, an important factor is the functionality of the material, ensuring initial brightness and a long afterglow time. The color of the luminescent pigment affects the performance properties of the material. The research was made to study the effect of pigment color and reflective powder content in luminescent concrete on performance properties when charged with different light sources. In this study, authors used white Portland cement CimSA CEM I 52.5 R with a light reflectivity of 80%; reflective powder with a particle size of 75  $\mu\text{m}$ ; luminescent pigment  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  of various colors: sky-blue, blue-green, yellow-green with a particle size of 25-55  $\mu\text{m}$ . The intensity of the afterglow of the luminescent pigment in concrete is affected by two factors: the power of the luminous flux and the color temperature. To study the phase of intense afterglow and its duration, researchers used a charging method with different light sources. The influence of external factors on the afterglow brightness of a luminescent pigment for a specific chemical composition and pigment layer thickness is determined by the charging time, the luminescence intensity of the radiation source, and the spectrum structure of the radiation source. After adding reflective powder, the number of light transmission channels increases, so the luminescent effect of the material improves. The analysis showed that the order of intensity of the emission spectrum of luminescent pigments at the same excitation time is: yellow-green > blue-green > sky-blue.

**Keywords:** luminescent pigment, reflective powder, luminous concrete, concrete with luminescent properties, paving elements.

### REFERENCES

- Katsumata T. Effects of Composition on the Long Phosphorescent  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  Phosphor Crystals. *Journal of The Electrochemical Society*. 2007. Vol. 144. Pp. 243–245. DOI: 10.1149/1.1837931
- Lima N.B., Goncalves S.M., Junior S.A., Simas A.A. A Comprehensive Strategy to Boost the Quantum Yield of Luminescence of Europium Complexes. *Scientific Reports*. 2013. No. 3. Pp. 203–211. DOI: 10.1038/srep02395
- Ledeneva G.L., Voronov V.V. Lumobeton and the method of natural spectacularity [Lyumobeton i metod estestvennoj spektakul'arnosti]. *Business and design review*. 2019. No. 3 (15). Pp. 10–22. (rus)
- Suleimanova L.A., Gridchin A.M., Malyukova M.V., Morozova T.V. Increasing the architectural expressiveness of concrete pavement slabs [Povyshenie arhitekturnoj vyrazitel'nosti plit betonnyh trotuarnyh]. *Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Sbornik dokladov YUbilejnoj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 60-letiyu BGTU im. V.G. Shuhova (XXI nauchnye chteniya)*. 2014. Pp. 347–353. (rus)
- Suleimanova L.A. Decorative elements as a way of aesthetic understanding of space [Dekorativnye elementy kak sposob esteticheskogo osmysleniya prostranstva]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. No. 6. Pp. 109–115. (rus)
- Lukuttsova N.P., Eremochkin R.A., Borsuk O.I., Golovin S.N. Photocatalytically active self-cleaning fine-grained concrete [Fotokataliticheski aktivnyj samoochishchayushchijsya melkozernistyj beton]. *Construction materials*. 2020. No. 1-2. Pp. 8–16. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-8-15. (rus)
- Suleymanova L.A., Malyukova M.V., Koryakina A.A. Study of photoluminescent pigment for use in luminous architectural and decorative concrete [Issledovanie fotolyuminescentnogo pigmenta dlya primeneniya v svetyashchemsya arhitekturno-dekorativnom betone]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021. No. 6. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-8-18 (rus)
- Suleymanova L.A., Malyukova M.V., Pogorelova I.A., Koryakina A.A. Formation of the spatial environment taking into account color [Formirovanie prostranstvennoj sredy s uchetom koloristikii]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. No. 10. Pp. 62–66. DOI: 10.12737/22028 (rus)
- Pogorelova I.A., Malyukova M.V., Koryakina A.A. Application of super-efficient concrete [Primenenie sverheffektivnyh betonov]. *Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 65-letiyu BGTU im. V.G. SHuhova, Belgorod. Tom CHast' 1. Belgorod: BGTU im. V.G. SHuhova*. 2019. Pp. 133–137. (rus)
- Koryakina A.A. Concrete with photoluminescent properties for small architectural forms: specialty 2.1.5. "Construction materials and products": dissertation for the degree of candidate of technical sciences [Beton s fotolyuminescentnymi svojstvami

dlya malyh arhitekturnykh form: special'nost' 2.1.5. «Stroitel'nye materialy i izdeliya»: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk]. Belgorod, 2022. 189 p. (rus)

11. DIN 6173- 2 "Colour Matching with Standard Illuminants" ASTM D1729; ISO 10526:1999. CIE S005/E-1998. CIE Standard Illuminants for Colorimetry.

12. Zhi-jie Li, Yu-feng Z., Xiao W., Chu-yang Q., Gui-mei Sh. Synthesis and properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> nanowires. *Physics Letters A*. 2017. Vol. 381. Pp. 3519–3522. DOI:10.1016/j.physleta.2017.08.051

13. Mothudi B.M., Ntwaeaborwa O.M., Kumar A. Phosphorescent and thermoluminescent properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> phosphors prepared by solid state reaction method. *Physica Journal*. 2012. Vol. 407. Pp. 1679–1682. DOI:10.1016/j.physb.2011.10.033

14. Sharpe L.T. Into the twilight zone: the complexities of mesopic vision and luminous efficiency. *Ophthalmic Physiol. Optic*. 2006. Vol. 26(3). Pp. 225–239. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2006.00325.x

15. Practical applications of phosphors. Taylor & Francis group, 2007. URL: [www.taylor&francisgroup](http://www.taylor&francisgroup)

16. Chen T.M. Effect of host compositions on the afterglow properties of phosphorescent strontium aluminate phosphors derived from the sol-gel method. *Journal Materials Research*. 2001. Vol. 16(05). Pp. 1293–1300. DOI: 10.1111/jace.14188

17. Takanori W. Giant improvement on the afterglow of phosphor by systematic investigation on various parameters. *Journal of materials*. 2013. Vol. 66. Pp. 89–100. DOI: 10.1155/2013/613090

18. Matsuzawa Y.A., Takeuchi N., Murayama Y.A. New Long Phosphorescent Phosphor with High Brightness SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup>. *Journal of The Electrochemical Society*. 1996. Vol. 143. Pp. 2670–2673. DOI: 10.1149/1.1837067

19. Bolshukhin V.A., Bulychev N.A., Vasilyeva N.N., Garelina S.A., Gusev A.L., Kazaryan M.A., Krasovsky V.I., Plyaka P.S., Sobko A.A., Sochkov V.I. Phosphors with long afterglow - the possibility of application for the purposes of the Ministry of Emergency Situations [Lyuminofory dlitel'nogo poslesvecheniya – vozmozhnost' primeneniya dlya celei MCH]. *Alternative energy and ecology*. 2013. No. 6 (128). Pp. 116–130. (rus)

#### *Information about the authors*

**Kravchenko, Daria E.** Postgraduate student. E-mail: [darya.levshimna@mail.ru](mailto:darya.levshimna@mail.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostiukovst. 46.

**Suleymanova, Lyudmila A.** Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: [kafedrasigsh@mail.ru](mailto:kafedrasigsh@mail.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostiukovst. 46.

**Lukutsova, Natalya P.** Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: [natluk58@mail.ru](mailto:natluk58@mail.ru). Bryansk Technological University of Engineering. Russia, 241037, Bryansk, st. Stanke Dimitrova, 3.

*Received 05.07.2024*

#### **Для цитирования:**

Кравченко Д.Э., Сулейманова Л.А., Лукутцова Н.П. Влияние цвета и источника заряда люминесцентного пигмента на свойства светящихся бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 10. С. 35–43. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-35-43

#### **For citation:**

Kravchenko D.E., Suleymanova L.A., Lukutsova N.P. The effect of the color and charge source of the luminescent pigment on the properties of luminous concretes. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 10. Pp. 35–43. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-35-43