

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-8-18

*Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Корякина А.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПИГМЕНТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СВЕТЯЩЕМСЯ АРХИТЕКТУРНО-ДЕКОРАТИВНОМ БЕТОНЕ

Аннотация. Архитектурно-декоративный бетон с применением фотолюминесцентного пигмента аккумулирует солнечную энергию, которую преобразует в свет в темное время суток. Применение изделий с эффектом свечения обеспечивает увеличение безопасности в темное время суток и является дополнительным средством сигнализации на опасных и мало освещённых участках дорог, стоянках, велодорожках, а также позволяет характеризовать этот материал как функциональный (возможность изготовления широкой номенклатуры изделий), эстетически-выразительный (высокодекоративный в дневное время), экологичный (возможность изготовления с применением техногенных отходов). Бетон с применением фотолюминесцентных пигментов не должен утрачивать свойств свечения, при этом интенсивность свечения должна сохраняться достаточно длительный период времени. Критерием выбора портландцемента для светящихся архитектурно-декоративных бетонов являлся не только аспект декоративности бетона, но и эффект свечения. Проведен эксперимент по определению интенсивности свечения фотолюминесцентного пигмента в бетоне с применением белого и серого портландцементов. Предварительный анализ литературы и собственные исследования показали, что для усиления эффекта свечения фотолюминесцентного пигмента в бетоне поверхность изделий необходимо отшлифовать, что также целесообразно с позиции создания высокодекоративных поверхностей бетонных изделий. Оптимально подобранные материалы и способ обработки поверхности изделий обеспечивают декоративность архитектурного бетона и в дневное время.

Ключевые слова: архитектурно-декоративный бетон, фотолюминесцентный пигмент, светящийся бетон, белый портландцемент, интенсивность свечения.

Введение. В отечественной и зарубежной практике широко исследованы вопросы производства и применения архитектурно-декоративного бетона и изделий на его основе [1–7]. В состав декоративного бетона в зависимости от назначения могут вводиться пигменты или модификаторы с целью получения изделий с высокими эстетическими и эксплуатационными свойствами. В технологии изготовления изделий из декоративного бетона сложной конфигурации смесь должна характеризоваться достаточной удобоукладываемостью, минимальными усадкой и тепловлажностным расширением. Малые архитектурные формы эксплуатируются при агрессивном воздействии городской среды, поэтому изделия из декоративного бетона должны иметь высокие физико-механические характеристики. Эстетическая ценность таких изделий заключается в архитектурной выразительности поверхностной структуры. Малые архитектурные формы с такими свойствами органично интегрируются в любую архитектуру и дизайн среды [8, 9]. Тем не менее, вопрос функционального использования изделий из декоративного бетона в темное время суток ранее не рассматривался. Введение в состав декоративного бетона фотолюминесцентного пигмента, при сохранении

всех требуемых эксплуатационных характеристик, позволит обеспечить дополнительное свойство – свечение для архитектурной выразительности изделий в ночной период времени [10–14].

Актуальность данного исследования определяется тем, что эффект свечения позволяет расширить возможности функционального применения архитектурно-декоративных изделий и повысить их технико-экономическую эффективность за счет экономии электроэнергии путем исключения дополнительных источников освещения на некоторых территориях, а также повысить безопасность дорожного движения и пешеходных потоков.

В настоящее время применение фотолюминесцентного пигмента в бетоне исследовано недостаточно. Известный способ внедрения фотолюминесцентных пигментов в изделия из декоративного бетона, направленный на обеспечение свечения только верхнего декоративного слоя, имеет ряд существенных недостатков: он не обеспечивает свечение на весь период эксплуатации, технологически не позволяет изготавливать изделия сложных конфигураций и, в целом, снижает физико-механические характеристики.

Целью исследования является определение критериев подбора портландцемента для светящихся бетонов, определение влияния размера частиц фотолюминесцентного пигмента на длительность свечения архитектурно-декоративного бетона, с последующей возможностью изготовления светящихся изделий с лицевой поверхностью, формируемой в различных положениях и разных конфигурациях, при сохранении физико-механических характеристик бетона, с обеспечением стойкого свечения в темное время суток в течение всего срока службы.

Материалы и методы. Интенсивность свечения и фаза затухания фотолюминесцентного пигмента в бетоне определялась по разработанной авторами методикой, заключающейся в измерении яркости свечения люксметром в темном помещении (яркость освещения – 0 Лк) после накопления образцом световой энергии при выбранном источнике освещения. Исследования проводились с применением египетского белого портландцемента Aalborg SEM I 52,5 N, серого портландцемента ПЦ 500-Д0 (Новоросцемент), мраморной крошки фр. 0,2-0,5 с $S_{уд} = 1570 \text{ кг/м}^3$, введенной в смесь с целью экономии портландцемента, и фотолюминесцентных пигментов

ЛДП-2МА (40)П, ЛДП-2МА(70)П, ЛДП-2МА(100)П, заряжаемых при различных источниках освещения. Водостойкий фотолюминесцентный пигмент представляет собой оксидную матрицу на основе оксида алюминия, кристаллический мелкодисперсный порошок желтовато-зеленого оттенка. Свечение возбуждается излучением в коротковолновой области видимого спектра, люминесцирует в желто-зеленой области, имеет яркое послесвечение длительностью до 24 часов. Яркость послесвечения через 1 час 20–60 мкд/м².

Основная часть¹. На первом этапе целью эксперимента было определение степени зарядки фотолюминесцентного пигмента в архитектурном бетоне с применением белого и серого портландцементов при различных источниках освещения.

В бетонную смесь с применением белого СЕМ I 52,5 N (Египетский, Aalborg) и серого ПЦ 500-Д0 (Новоросцемент) портландцемента был введен фотолюминесцентный пигмент ЛДП-2МА (40)П на стадии сухого перемешивания в диапазоне 5 % от массы портландцемента. После этого образцы выдерживали в естественно-влажностных условиях в течение 14 суток (табл. 1).

Таблица 1

Состав бетона с фотолюминесцентным пигментом с применением белого и серого портландцементов

| № образца | Расход материалов кг/м ³ | | | | В/Ц |
|-----------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------|--|------|
| | Белый портландцемент | Серый портландцемент | Мраморная крошка фр.0,2-0,5 | Фотолюминесцентный пигмент, 5 % от массы цемента | |
| I | 460 | – | 1570 | 23,0 | 0,5 |
| II | – | 460 | 1570 | 23,0 | 0,52 |

После шлифовки поверхностного слоя рядка образцов осуществлялась при естественном освещении и с применением источников освещения Led различной мощности, светового потока и цветовой температуры (табл. 2).

Анализ данных показывает, что вид портландцемента оказывает существенное влияние на свечение образцов: серый портландцемент приглушает эффект свечения, не позволяя получить интенсивное свечение, в то время как использовании белого портландцемента, при одинаковой дозировке фотолюминесцентного пигмента, позволяет получать образцы с высокой интенсивностью свечения (рис. 1).

В ходе эксперимента было установлено, что максимальное свечение образцов обеспечивается зарядкой при естественном освещении, особенно

при солнечном свете с освещенностью в 50.000 Лк.

Также установлено, что на интенсивность свечения фотолюминесцентного пигмента в бетоне влияет и цветовая температура источника освещения. Пигмент лучше заряжается при искусственном освещении холодной цветовой температуры в 6500 К относительно теплой 3000 К.

Таким образом, установлено, что для изготовления светящихся архитектурно-декоративных бетонов целесообразно применять в качестве вяжущего только белый портландцемент. Поэтому все последующие эксперименты проводились с применением египетского белого портландцемента Aalborg SEM I 52,5 N.

На следующем этапе исследования проводилась оценка интенсивности свечения образцов,

¹Часть исследований была представлена при защите НКР «Светящиеся декоративные бетоны с использованием отходов камнедробления горных пород».

изготовленных по составу: белый портландцемент Aalborg CEM I 52,5 N 460 кг/м³; мраморная крошка фр.0,2-0,5 1570 кг/м³; фотолюминесцентный пигмент ЛДП-2МА (40)П в количестве 5 %;

10 %; 15 %; 20 % от массы портландцемента (табл. 3), в зависимости от источника освещения и длительности зарядки.

Таблица 2

Интенсивность свечения фотолюминесцентного пигмента в бетонных образцах в зависимости от времени зарядки и источника освещения

| Источник света (мощность светового излучения, лм) | № образца | Интенсивность свечения образцов в темном помещении Лк, после зарядки в течение | | | | |
|---|-----------|--|---------|---------|---------|---------|
| | | 20 мин. | 30 мин. | 40 мин. | 50 мин. | 60 мин. |
| Солнечный свет при ясной погоде (>50.000) | I | 1,17 | 1,50 | 1,79 | 1,83 | 2,60 |
| | II | 0,20 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | 0,31 |
| Солнечный свет при пасмурной погоде (21.000) | I | 0,76 | 0,90 | 1,02 | 1,09 | 1,16 |
| | II | 0,11 | 0,16 | 0,25 | 0,26 | 0,13 |
| Сумерки (1.000) | I | 0,25 | 0,27 | 0,25 | 0,24 | 0,19 |
| | II | 0,03 | 0,02 | 0,02 | – | – |
| LED 11Вт 3000К (990) | I | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,24 |
| | II | 0,02 | 0,02 | 0,01 | – | – |
| LED 11Вт 6500К (990) | I | 0,28 | 0,30 | 0,30 | 0,32 | 0,34 |
| | II | 0,03 | 0,02 | 0,01 | – | – |
| LED 15Вт 3000К (1200) | I | 0,49 | 0,52 | 0,55 | 0,56 | 0,56 |
| | II | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | – |
| LED 15Вт 6500К (1200) | I | 0,51 | 0,55 | 0,57 | 0,58 | 0,61 |
| | II | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| LED 20Вт 3000К (1800) | I | 0,57 | 0,61 | 0,65 | 0,67 | 0,68 |
| | II | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | I | 0,64 | 0,67 | 0,68 | 0,7 | 0,72 |
| | II | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |

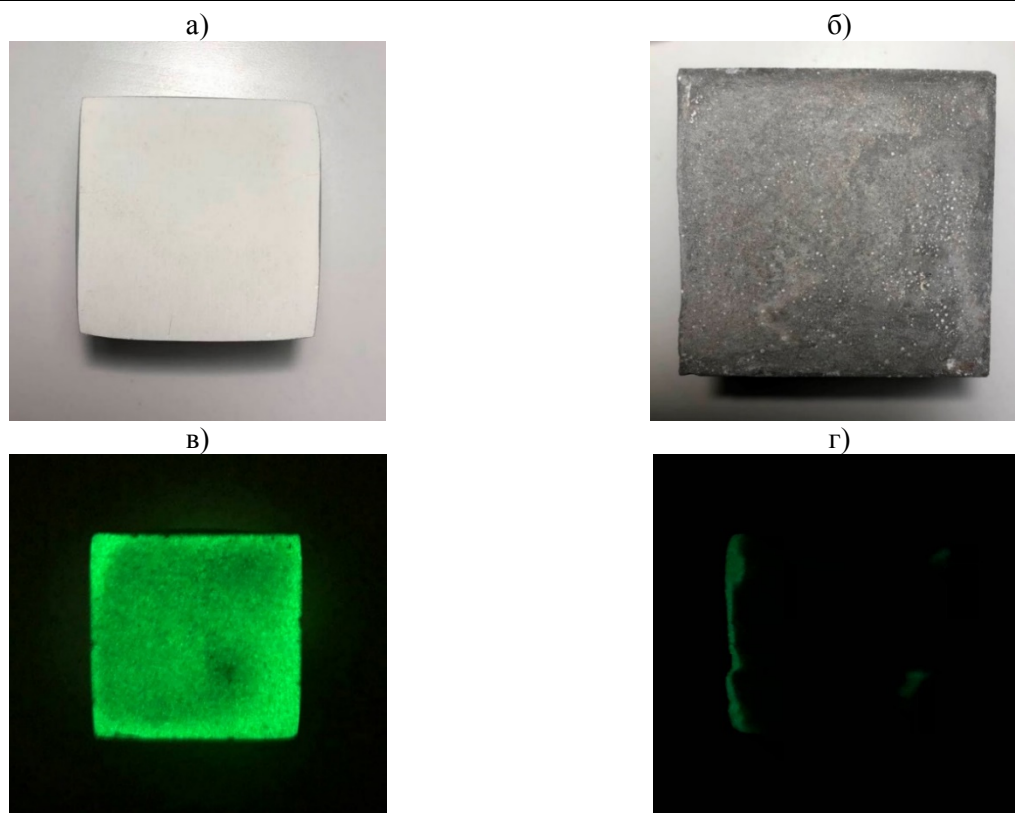


Рис. 1. Свечение образцов с фотолюминесцентным пигментом
 а – образец с белым портландцементом; б – образец с серым портландцементом;
 в – свечение образца с белым портландцементом; г – свечение образца с серым портландцементом

Анализ данных табл. 3 показал, что интенсивность свечения образцов увеличивается при повышении содержания фотолюминесцентного пигмента в бетоне (рис. 2). Однако очевидно, что интенсивность свечения образцов с содержанием пигмента 10 %; 15 % и 20 % при зарядке в различных источниках освещения изменяется несущественно. При этом следует отметить, что при

дозировке 5 % также наблюдается видимое свечение. Учитывая негативное влияние высокого процентного содержания пигментов на физико-механические характеристики бетона, для получения эффекта свечения будет обосновано принять за оптимальную дозировку диапазон 5–10 % фотолюминесцентного пигмента от массы портландцемента.

Таблица 3

Интенсивность свечения бетонных образцов с разным количественным содержанием фотолюминесцентного пигмента в зависимости от источника освещения и времени зарядки

| Источник света (мощность светового излучения, лм) | Дозировка пигмента, % | Интенсивность свечения образцов в темном помещении, Лк | | | | |
|---|--------------------------|---|----------|----------|----------|----------|
| | | 20 минут | 30 минут | 40 минут | 50 минут | 60 минут |
| Солнечный свет при ясной погоде (>50.000) | 5 | 1,17 | 1,50 | 1,79 | 1,83 | 2,60 |
| | 10 | 1,65 | 1,68 | 1,89 | 2,11 | 2,97 |
| | 15 | 1,65 | 1,70 | 1,91 | 2,10 | 3,01 |
| | 20 | 1,67 | 1,79 | 1,95 | 2,12 | 3,00 |
| Солнечный свет при пасмурной погоде (24.000) | 5 | 0,76 | 0,90 | 1,02 | 1,09 | 1,16 |
| | 10 | 0,79 | 0,98 | 1,10 | 1,28 | 1,54 |
| | 15 | 0,80 | 1,00 | 1,09 | 1,29 | 1,57 |
| | 20 | 0,82 | 1,03 | 1,10 | 1,32 | 1,59 |
| Сумерки (1.000) | 5 | 0,25 | 0,27 | 0,25 | 0,24 | 0,19 |
| | 10 | 0,42 | 0,47 | 0,59 | 0,62 | 0,63 |
| | 15 | 0,42 | 0,48 | 0,62 | 0,63 | 0,65 |
| | 20 | 0,44 | 0,49 | 0,65 | 0,65 | 0,67 |
| LED 11Вт 3000К (990) | 5 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,24 | 0,24 |
| | 10 | 0,29 | 0,32 | 0,35 | 0,35 | 0,36 |
| | 15 | 0,30 | 0,33 | 0,37 | 0,39 | 0,41 |
| | 20 | 0,30 | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,41 |
| LED 11Вт 6500К (990) | 5 | 0,28 | 0,30 | 0,30 | 0,32 | 0,34 |
| | 10 | 0,36 | 0,37 | 0,39 | 0,40 | 0,42 |
| | 15 | 0,38 | 0,38 | 0,40 | 0,41 | 0,43 |
| | 20 | 0,49 | 0,42 | 0,43 | 0,43 | 0,43 |
| LED 15Вт 3000К (1200) | 5 | 0,49 | 0,52 | 0,55 | 0,56 | 0,56 |
| | 10 | 0,56 | 0,59 | 0,64 | 0,65 | 0,68 |
| | 15 | 0,58 | 0,60 | 0,64 | 0,66 | 0,68 |
| | 20 | 0,57 | 0,61 | 0,65 | 0,66 | 0,69 |
| LED 15Вт 6500К (1200) | 5 | 0,51 | 0,55 | 0,57 | 0,58 | 0,61 |
| | 10 | 0,62 | 0,62 | 0,66 | 0,67 | 0,69 |
| | 15 | 0,63 | 0,63 | 0,66 | 0,67 | 0,70 |
| | 20 | 0,63 | 0,64 | 0,66 | 0,68 | 0,71 |
| LED 20Вт 3000К (1800) | 5 | 0,57 | 0,61 | 0,65 | 0,67 | 0,68 |
| | 10 | 0,65 | 0,66 | 0,69 | 0,71 | 0,78 |
| | 15 | 0,67 | 0,68 | 0,70 | 0,73 | 0,79 |
| | 20 | 0,68 | 0,69 | 0,71 | 0,75 | 0,79 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | 5 | 0,64 | 0,67 | 0,68 | 0,70 | 0,72 |
| | 10 | 0,71 | 0,77 | 0,79 | 0,81 | 0,82 |
| | 15 | 0,72 | 0,80 | 0,80 | 0,82 | 0,83 |
| | 20 | 0,74 | 0,79 | 0,82 | 0,83 | 0,85 |

Пигменты и наполнители как в исходном - порошкообразном состоянии, так и в составе пигментированного материала не однородны по размерам, т. е. характеризуются определенной полидисперсностью, и их распределение по размерам подчиняется интегральному закону распределения. Эти закономерности относятся и к фотолюминесцентным пигментам. Контроль размеров

частиц фотолюминесцентных пигментов открывает пути значительного снижения расхода дорогостоящих, и часто дефицитных пигментов. Характеристики фотолюминесцентных пигментов зависят как от физических, так и от химических свойств [15–20].

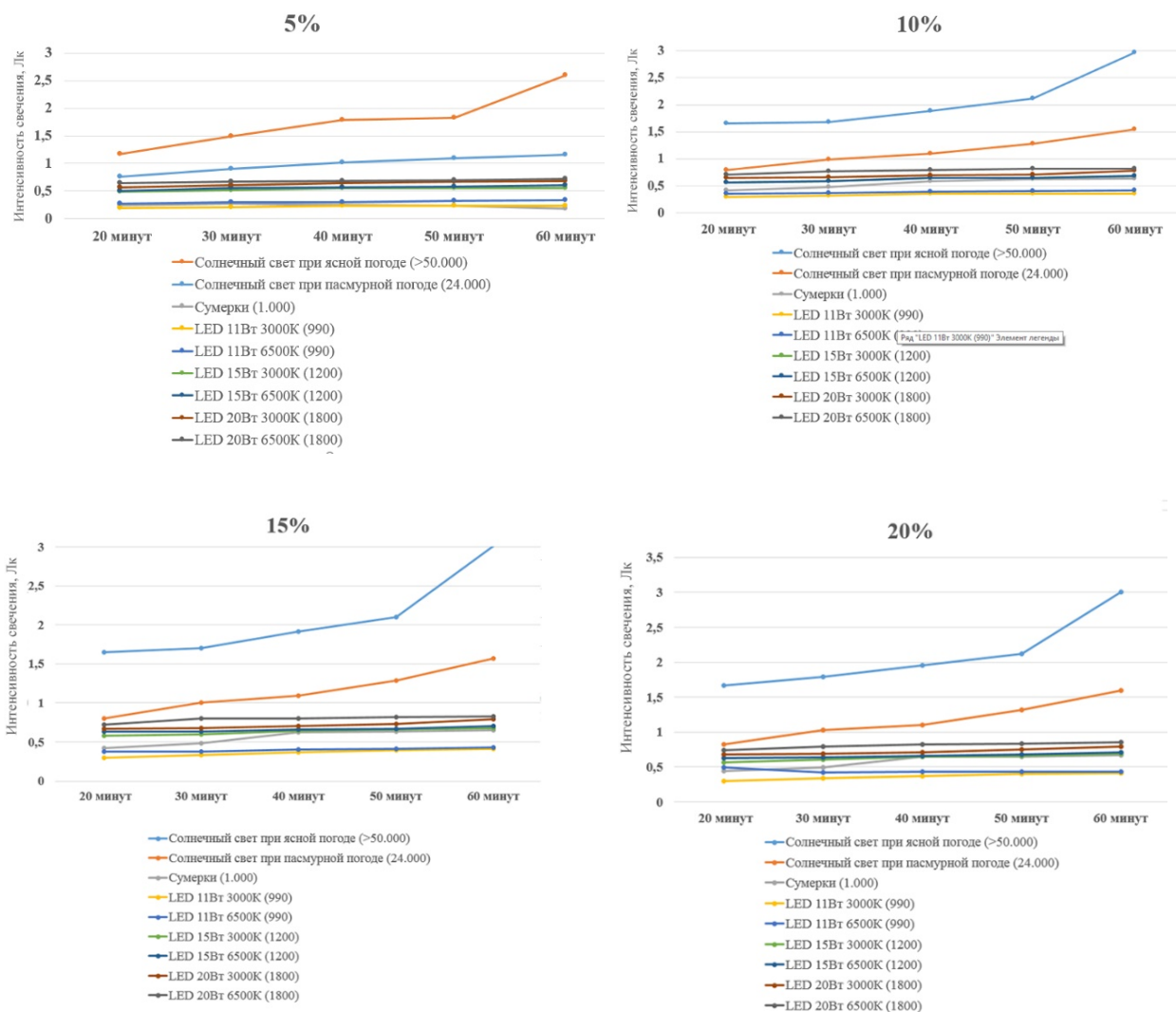


Рис. 2. Интенсивность свечения бетонных образцов с разным количественным содержанием фотолюминесцентного пигмента в зависимости от источника освещения и времени зарядки

На следующем этапе исследования было изучено влияние размера частиц пигмента на время послесвечения в архитектурно-декоративных бетонах. Оптимальное сочетание размера частиц светящихся пигментов и минеральных компонентов позволяет управлять не только реотехнологическими свойствами бетонных смесей, но и обеспечивает архитектурную выразительность в виде свечения при сохранении высокой эксплуатационной надежности.

Оценка изменения интенсивности свечения (затухания) в продолжительном периоде времени проводилась на образцах, изготовленных по составу: белый портландцемент 460 кг/м^3 ; мраморная крошка фр. 0,2–0,5 1570 кг/м^3 ; фотолюминесцентный пигмент с крупностью частиц 40 мкн; 70 мкн; 100 мкн в количестве 5 %; 10 %; 15 %; 20 % от массы портландцемента (табл. 4) с зарядкой при разных источниках освещения в течение 60 минут. Пигменты вводили в бетонную смесь на стадии сухого перемешивания. В зависимости от

размера частиц сравнивали фотолюминесцентные свойства пигментов в образцах бетона с помощью фотометрического оборудования.

Анализ данных исследования дает представление не только об интенсивности свечения, но и о фазах затухания, яркости свечения фотолюминесцентного пигмента в образцах бетона на белом портландцементе. Фаза интенсивного свечения пигмента продолжается первые 30–50 минут. В этой фазе послесвечение составляет 80–85 % от первоначальной яркости. Послесвечение через 60 минут составляет ~ 60 % от первоначальной яркости. Далее с каждым часом яркость послесвечения падает с меньшей скоростью, по сравнению с первой фазой. Через 120 минут составляет ~ 45 %. Далее с каждым часом снижается на 3–7 %. Таким образом, через 8 часов фотолюминесцентный пигмент в бетоне будет светиться с яркостью 20–25 % от первоначального, через 12 часов свечение составит 7–8 %, а через 14 часов около 4–5 %.

Таблица 4

Снижение интенсивности свечения фотолюминесцентного пигмента ЛДП-2МА(40)П в образцах бетона с дозировкой пигмента в диапазоне от 5 до 20 % с зарядкой при различных источниках света

| Источник света (мощность светового излучения, лм) | Интенсивность свечения образцов в темном помещении, Лк | | | | | | | | |
|--|--|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Количество пигмента, % от массы цемента | Через 30 мин. | Через 60 мин. | Через 120 мин. | Через 180 мин. | Через 240 мин. | Через 300 мин. | Через 360 мин. | Через 480 мин. |
| Солнечный свет при ясной погоде (>50.000) | 5 | 2,60 | 1,59 | 1,18 | 1,02 | 0,92 | 0,80 | 0,66 | 0,52 |
| | 10 | 2,97 | 1,80 | 1,35 | 1,21 | 1,05 | 0,89 | 0,74 | 0,61 |
| | 15 | 3,01 | 1,81 | 1,36 | 1,22 | 1,06 | 0,90 | 0,76 | 0,61 |
| | 20 | 3,00 | 1,81 | 1,36 | 1,25 | 1,06 | 0,91 | 0,77 | 0,62 |
| Солнечный свет при пасмурной по- годе (24.000) | 5 | 1,16 | 0,71 | 0,52 | 0,51 | 0,41 | 0,35 | 0,29 | 0,24 |
| | 10 | 1,54 | 0,93 | 0,71 | 0,62 | 0,54 | 0,47 | 0,39 | 0,30 |
| | 15 | 1,57 | 0,94 | 0,71 | 0,63 | 0,54 | 0,48 | 0,41 | 0,31 |
| | 20 | 1,59 | 0,94 | 0,72 | 0,64 | 0,55 | 0,48 | 0,41 | 0,33 |
| Сумерки (1.000) | 5 | 0,19 | 0,15 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| | 10 | 0,63 | 0,38 | 0,28 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,15 | 0,13 |
| | 15 | 0,65 | 0,39 | 0,29 | 0,25 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,14 |
| | 20 | 0,67 | 0,39 | 0,28 | 0,26 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,14 |
| LED 11Вт 3000К (990) | 5 | 0,24 | 0,15 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,04 |
| | 10 | 0,36 | 0,22 | 0,16 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,07 |
| | 15 | 0,41 | 0,23 | 0,16 | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,07 |
| | 20 | 0,41 | 0,24 | 0,18 | 0,15 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,08 |
| LED 11Вт 6500К (990) | 5 | 0,34 | 0,20 | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,08 | 0,06 |
| | 10 | 0,42 | 0,25 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 0,08 |
| | 15 | 0,43 | 0,26 | 0,20 | 0,17 | 0,14 | 0,13 | 0,11 | 0,08 |
| | 20 | 0,43 | 0,26 | 0,21 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,09 |
| LED 15Вт 3000К (1200) | 5 | 0,56 | 0,34 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,17 | 0,14 | 0,11 |
| | 10 | 0,68 | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,14 |
| | 15 | 0,68 | 0,40 | 0,32 | 0,28 | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,15 |
| | 20 | 0,69 | 0,41 | 0,32 | 0,28 | 0,25 | 0,22 | 0,18 | 0,16 |
| LED 15Вт 6500К (1200) | 5 | 0,61 | 0,37 | 0,27 | 0,24 | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,12 |
| | 10 | 0,69 | 0,41 | 0,32 | 0,27 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,14 |
| | 15 | 0,70 | 0,42 | 0,32 | 0,28 | 0,25 | 0,22 | 0,18 | 0,15 |
| | 20 | 0,71 | 0,43 | 0,33 | 0,33 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,15 |
| LED 20Вт 3000К (1800) | 5 | 0,68 | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,14 |
| | 10 | 0,78 | 0,35 | 0,35 | 0,31 | 0,27 | 0,23 | 0,20 | 0,15 |
| | 15 | 0,79 | 0,36 | 0,35 | 0,32 | 0,28 | 0,23 | 0,21 | 0,15 |
| | 20 | 0,79 | 0,36 | 0,35 | 0,33 | 0,30 | 0,24 | 0,21 | 0,16 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | 5 | 0,72 | 0,43 | 0,32 | 0,28 | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,15 |
| | 10 | 0,82 | 0,49 | 0,37 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 | 0,17 |
| | 15 | 0,83 | 0,51 | 0,38 | 0,34 | 0,30 | 0,25 | 0,22 | 0,18 |
| | 20 | 0,85 | 0,52 | 0,38 | 0,35 | 0,32 | 0,27 | 0,23 | 0,19 |

Исследование снижения интенсивности свечения на пигментах с размерами частиц, 70 и 100 мкм, проводилось при зарядке на солнечном свете в ясную погоду (50.000 лм) и при LED 20Вт 6500К (1800 лм), ввиду самых высоких показателей мощности светового излучения при естественном и искусственном свете. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Анализ данных исследования интенсивности свечения и фаз затухания свечения фотолюминесцентного пигмента ЛДП-2МА(70)П и ЛДП-

2МА(100)П в образцах бетона на белом портландцементе подтверждает закономерности, выявленные при испытаниях образцов с пигментом ЛДП-2МА(40)П (табл. 6).

Полученные данные свидетельствуют о незначительном влиянии размера частиц фотолюминесцентного пигмента на интенсивность свечения в бетоне, а также на фазы затухания. При измерениях были получены очень близкие показатели свечения образцов (рис. 3).

Таблица 5

Снижение интенсивности свечения фотолюминесцентного пигмента ЛДП-2МА(70)П и ЛДП-2МА(100)П в образцах бетона с дозировкой пигмента в диапазоне от 5 до 20 % с зарядкой при различных источниках света

| Источник света (мощность светового излучения, лм) | Свечение образцов в темном помещении, Лк | | | | | | | | |
|---|--|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Количество пигмента, % от массы цемента | Через 30 мин. | Через 60 мин. | Через 120 мин. | Через 180 мин. | Через 240 мин. | Через 300 мин. | Через 360 мин. | Через 480 мин. |
| <i>Фотолюминесцентный пигмент ЛДП-2МА(70)П</i> | | | | | | | | | |
| Солнечный свет при ясной погоде (50.000) | 5 | 2,7 | 1,62 | 1,19 | 1,05 | 0,93 | 0,80 | 0,68 | 0,53 |
| | 10 | 3,07 | 1,81 | 1,37 | 1,22 | 1,06 | 0,90 | 0,75 | 0,61 |
| | 15 | 3,08 | 1,81 | 1,37 | 1,25 | 1,07 | 0,90 | 0,74 | 0,62 |
| | 20 | 3,08 | 1,82 | 1,37 | 1,25 | 1,08 | 0,92 | 0,78 | 0,63 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | 5 | 0,75 | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,26 | 0,22 | 0,19 | 0,16 |
| | 10 | 0,84 | 0,50 | 0,38 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,20 | 0,18 |
| | 15 | 0,87 | 0,52 | 0,39 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,23 | 0,20 |
| | 20 | 0,88 | 0,52 | 0,38 | 0,36 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,19 |
| <i>Фотолюминесцентный пигмент ЛДП-2МА(100)П</i> | | | | | | | | | |
| Солнечный свет при ясной погоде (50.000) | 5 | 2,67 | 1,60 | 1,20 | 1,05 | 0,93 | 0,81 | 0,67 | 0,54 |
| | 10 | 3,14 | 1,82 | 1,37 | 1,22 | 1,06 | 0,91 | 0,76 | 0,62 |
| | 15 | 3,15 | 1,82 | 1,38 | 1,22 | 1,06 | 0,91 | 0,76 | 0,63 |
| | 20 | 3,05 | 1,83 | 1,39 | 1,26 | 1,08 | 0,93 | 0,79 | 0,63 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | 5 | 0,75 | 0,45 | 0,34 | 0,31 | 0,27 | 0,22 | 0,19 | 0,17 |
| | 10 | 0,88 | 0,51 | 0,38 | 0,35 | 0,29 | 0,26 | 0,21 | 0,18 |
| | 15 | 0,91 | 0,53 | 0,38 | 0,36 | 0,30 | 0,27 | 0,22 | 0,20 |
| | 20 | 0,88 | 0,52 | 0,39 | 0,37 | 0,33 | 0,26 | 0,23 | 0,20 |

Таблица 6

Сравнительный анализ времени затухания фотолюминесцентного пигмента ЛДП-2МА (40)П, ЛДП-2МА (70)П и ЛДП-2МА(100)П в образцах бетона с применением белого портландцемента и разной дозировкой пигментов

| Источник света (мощность светового излучения, лм) | Интенсивность свечения образцов в темном помещении, Лк | | | | | | | |
|---|--|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Количество пигмента, % от массы цемента | Через 60 мин. | Через 120 мин. | Через 180 мин. | Через 240 мин. | Через 300 мин. | Через 360 мин. | Через 480 мин. |
| <i>Фотолюминесцентный пигмент ЛДП-2МА(40)П</i> | | | | | | | | |
| Солнечный свет при ясной погоде (50.000) | 5 | 1,59 | 1,18 | 1,02 | 0,92 | 0,80 | 0,66 | 0,52 |
| | 10 | 1,80 | 1,35 | 1,21 | 1,05 | 0,89 | 0,74 | 0,61 |
| | 15 | 1,81 | 1,36 | 1,22 | 1,06 | 0,90 | 0,76 | 0,61 |
| | 20 | 1,81 | 1,36 | 1,25 | 1,06 | 0,91 | 0,77 | 0,62 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | 5 | 0,43 | 0,32 | 0,28 | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,15 |
| | 10 | 0,49 | 0,37 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 | 0,17 |
| | 15 | 0,51 | 0,38 | 0,34 | 0,30 | 0,25 | 0,22 | 0,18 |
| | 20 | 0,52 | 0,38 | 0,35 | 0,32 | 0,27 | 0,23 | 0,19 |
| <i>Фотолюминесцентный пигмент ЛДП-2МА(70)П</i> | | | | | | | | |
| Солнечный свет при ясной погоде (50.000) | 5 | 1,62 | 1,19 | 1,05 | 0,93 | 0,80 | 0,68 | 0,53 |
| | 10 | 1,81 | 1,37 | 1,22 | 1,06 | 0,90 | 0,75 | 0,61 |
| | 15 | 1,81 | 1,37 | 1,25 | 1,07 | 0,90 | 0,74 | 0,62 |
| | 20 | 1,82 | 1,37 | 1,25 | 1,08 | 0,92 | 0,78 | 0,63 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | 5 | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,26 | 0,22 | 0,19 | 0,16 |
| | 10 | 0,50 | 0,38 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,20 | 0,18 |
| | 15 | 0,52 | 0,39 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,23 | 0,20 |
| | 20 | 0,52 | 0,38 | 0,36 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,19 |
| <i>Фотолюминесцентный пигмент ЛДП-2МА(100)П</i> | | | | | | | | |
| Солнечный свет при ясной погоде (50.000) | 5 | 1,60 | 1,20 | 1,05 | 0,93 | 0,81 | 0,67 | 0,54 |
| | 10 | 1,82 | 1,37 | 1,22 | 1,06 | 0,91 | 0,76 | 0,62 |
| | 15 | 1,82 | 1,38 | 1,22 | 1,06 | 0,91 | 0,76 | 0,63 |
| | 20 | 1,83 | 1,39 | 1,26 | 1,08 | 0,93 | 0,79 | 0,63 |
| LED 20Вт 6500К (1800) | 5 | 0,45 | 0,34 | 0,31 | 0,27 | 0,22 | 0,19 | 0,17 |
| | 10 | 0,51 | 0,38 | 0,35 | 0,29 | 0,26 | 0,21 | 0,18 |
| | 15 | 0,53 | 0,38 | 0,36 | 0,30 | 0,27 | 0,22 | 0,20 |
| | 20 | 0,52 | 0,39 | 0,37 | 0,33 | 0,26 | 0,23 | 0,20 |

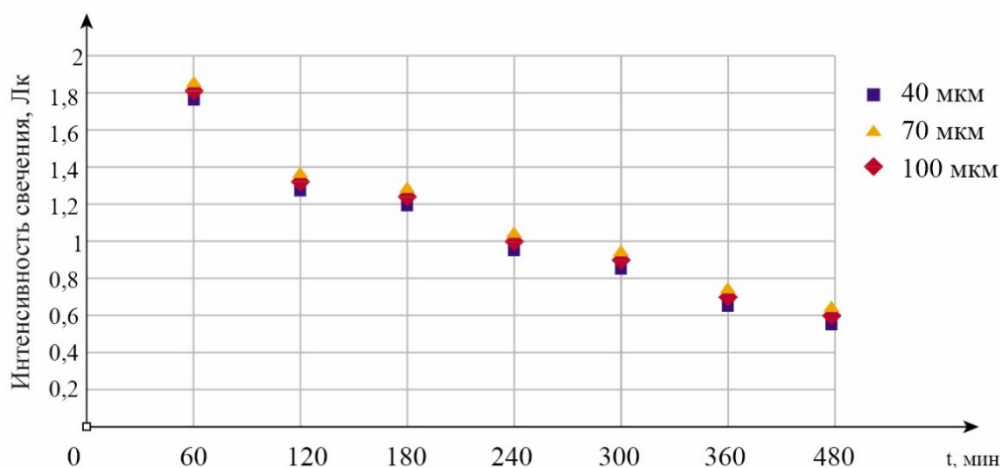


Рис. 3. График затухания интенсивности свечения фотолюминесцентных пигментов в бетоне, введенных в смесь в количестве 10 % от массы портландцемента, после зарядки при ясной погоде

Выводы. Результатами исследований подтверждено, что одним из основных критериев выбора портландцемента для светящихся архитектурно-декоративных бетонов является цвет цемента: серый портландцемент приглушает эффект свечения, в то время как использование белого портландцемента позволяет получать образцы с высокой интенсивностью свечения. Также установлено, что максимальное свечение образцов обеспечивается зарядкой при естественном освещении и солнечном свете с освещенностью в 50.000 Лк. Также определено, что на интенсивность свечения фотолюминесцентного пигмента в бетоне влияет и цветовая температура источника освещения. Пигмент лучше заряжается при искусственном освещении холодной цветовой температуры. Результаты экспериментов подтвердили, что интенсивность свечения увеличивается при повышении содержания фотолюминесцентного пигмента в бетоне, однако установлено, что интенсивность свечения образцов с содержанием пигмента выше 10 % при зарядке в различных источниках освещения изменяется незначительно. Доказано, что размер частиц пигмента не оказывает существенного влияния на интенсивность свечения бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашников В.И. Бетоны нового поколения и реологические матрицы // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов. Пенза. 2011. С. 25–41.
2. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Крушельницкая Е.А. Высокопрочные декоративные бетоны // В сборнике: Наука и инновации в строительстве международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г.

Шухова). Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. С. 422–425.

3. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи: монография // 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 219 с.

4. Vorobchuk V., Matveeva M., Peshkov A. Decorative concrete on white cement: Resource provision, technology, properties and cost-effectiveness // In MATEC Web of Conferences (Vol. 212). EDP Sciences. 2018. С. 110–117.

5. Сулейманова Л.А., Гридчин А.М., Малюкова М.В., Морозова Т.В. Повышение архитектурной выразительности плит бетонных тротуарных. // В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 347–353.

6. Хольберг Ресснер, Ed. Zuedlin AG. Новые возможности в области дизайна архитектурных фасадов // CPI Международное бетонное производство. 2013. №6. С. 152–155.

7. Сулейманова Л. А., Лесовик В. С., Сулейманов А. Г. Технология бетона строительных изделий и конструкций // Лабораторный практикум. Белгород, 2009.

8. Федоров В.В., Давыдов В. А., Скибина Е.В. Малые формы в структуре архитектурного текста // Архитектура и строительство России. 2013. № 6. С. 24–29.

9. Кузнецова Н.В., Яковлева К.Е. Проблемы организации общественно-коммуникативных точек в сложившейся жилой застройке города // Творчество и современность. 2018. № 1 (5). С. 102–107.

10. Yan Li, Shuxia Ren. Building Decorative Materials // Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 2011, Pp. 10–24.

11. Volkov A.A., Sedov A.V., Chelyshkov P. D. The concept of "smart city" // M-vo obrazovaniya i nauki Ross. Russian Federation, 2015. Pp. 50–54.

12. Нехуженко Н.А. Основы ландшафтного проектирования и ландшафтной архитектуры // 2-е изд. Санкт-Петербург: ИД «Нева», 2011. 192 с.

13. Зверев В.М., Мельников Б.Н., Шерстюков М.С. Бетоны для изделий малых архитектурных форм // Журнал труды псковского политехнического института. 2011. № 14.2. С. 117–121.

14. Нурмухаметов Р.Н., Волкова Л.В., Кунавин Н.И., Клименко В.Г. Применение люминесцентных материалов для дорожных знаков и разметок // Известия МГТУ «МАМИ» № 2(4), 2007. С. 199–203.

15. Сулейманова Л. А., Малюкова М. В., Корякина А.А. Светящиеся декоративные бетоны с использованием отходов камнедробления горных пород // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. С.115–126.

16. Lusvardi G., Malavasi G., Menabue L., Smargiassi M. Systematic investigation of the parameters that influence the luminescence properties of photoluminescent pigments // J. Lumin. 2016. Pp. 70–74.

17. Filikman V.R., Sorokin Y.V., Kalashnikov O.O. Construction-technical properties particularly high strength quickly hardening concrete // Bet. i Zhelezobet. 2004. Pp. 170–174.

18. Купчикова Н.В., Жилияева Е.А., Кукушкина Л.О. Производство энергосберегающих самосветящихся отделочных плиток и бордюрных камней для строительства зданий и сооружений // Фундаментальные и прикладные исследования университетов, интеграция в региональный инновационный комплекс: Международная научно-практическая конференция. Доклады молодых ученых в рамках программы «У.М.Н.И.К.». Т. 4. Секция: «Машиностроение, электроника, приборостроение». Астрахань: ИП Сорокин Р.В., 2010. С. 139–141.

19. Архитектурное освещение фасада здания: [Электронный ресурс] URL: http://fasadoved.ru/osveshhenie_arhitekturnoezdaniya.html (дата обращения: 11.02.2021)

20. Tunali A., Selli N.T. Influence of the photoluminescent Pigments' particle size distribution on the after glow duration // Acta Physica Polonica A. 2014. Pp. 89–96.

Информация об авторах

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

Малюкова Марина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: arbetlab@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Корякина Алина Александровна, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: alina-koryakina.arch@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 26.03.2021 г.

© Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Корякина А.А., 2021

***Suleymanova L.A., Maliukova M.V., Koryakina A.A.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
*E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

RESEARCH OF PHOTOLUMINESCENT PIGMENT FOR USE IN LUMINOUS ARCHITECTURAL AND DECORATIVE CONCRETE

Abstract. Architectural and decorative concrete with the use of photoluminescent pigment accumulates solar energy, which is converted into light in the dark. The use of products with the glow effect provides an increase in safety in the dark. It is an additional mean of signaling on dangerous and poorly lit sections of roads, parking lots, bike paths. In addition, it allows to characterize this material as functional (the possibility of manufacturing a wide range of products), aesthetically expressive (highly decorative in the daytime), eco-friendly (the possibility of manufacturing with the use of man-made waste). Concrete with the use of photoluminescent pigments should not lose the properties of the glow, while the intensity of the glow should be maintained for a sufficiently long period. The criterion for choosing Portland cement for luminous architectural and decorative concretes is not only the aspect of decorative concrete, but also the effect of luminescence. An

experiment is conducted to determine the degree of luminescence of photoluminescent pigment in concrete using white and grey Portland cement. A preliminary analysis of the literature and authors' own research has shown that in order to enhance the effect of the photoluminescent pigment glow in concrete, the surface of the products must be sanded, which is also advisable for creating highly decorative surfaces of concrete products. The optimally selected materials and the method of surface treatment of the products ensure the decorative effect of architectural concrete even in the daytime.

Keywords: architectural and decorative concrete, photoluminescent pigment, luminous concrete, white portland cement, luminous intensity.

REFERENCES

1. Kalashnikov V.I. New generation concretes and rheological matrices [Betony novogo pokoleniya i reologicheskie matricy]. New energy-and resource-saving high-tech technologies in the production of building materials. Penza, 2011. Pp. 25-41. (rus)
2. Suleymanova L.A., Malyukova M.V., Krushelnitskaya E.A. High-strength decorative concrete [Vysokoprochnye dekorativnye betony]. Science and Innovation in construction of the international scientific and practical conference (to the 165th anniversary of the birth of V. G. Shukhov). Belgorod: BSTU Publishing House, 2018. Pp. 422-425. (rus)
3. Lesovik V.S. Geonika. Subject and tasks [Geonika. Predmet i zadachi]. Belgorod: BSTU Publishing House, 2014. 219 p. (rus)
4. Vorobchuk V., Matveeva M., Peshkov A. Decorative concrete on white cement: Resource provision, technology, properties and cost-effectiveness. MATEC Web of Conferences EDP Sciences, 2018. Vol. 212. Pp. 110-117.
5. Suleymanova L.A., Gridchin A.M., Malyukova M.V., Morozova T.V. Improving the architectural expressiveness of concrete paving slabs [Povyshenie arhitekturnoj vyrazitel'nosti plit betonnykh trotuarnykh]. High-tech technologies and innovations Anniversary International Scientific and Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of BSTU named after V. G. Shukhov (XXI scientific readings). 2014. Pp. 347-353. (rus)
6. Holberg Ressler, Ed. Zuedlin AG. New opportunities in the field of architectural facade design. CPI International Concrete Production. 2013. No. 6. Pp. 152-155.
7. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Suleymanov A.G. Technology of concrete construction products and structures [Tekhnologiya betona stroitel'nykh izdelij i konstrukcij]. Belgorod: BGTU, 2009. 218 p. (rus)
8. Fedorov V.V., Davydov V.A., Skibina E.V. Small forms in the structure of architectural text [Malye formy v strukture arhitekturnogo teksta]. Architecture and Construction of Russia. 2013. No. 6. Pp. 24-29. (rus)
9. Kuznetsova N.V., Yakovleva K.E. Problems of the organization of social and communicative points in the existing residential development of the city [Problemy organizacii obshchestvenno-kommunikativnykh toчек v slozhivshejsya zhiloj zastrojke goroda]. Creativity and modernity. 2018. No. 1 (5). Pp. 102-107. (rus)
10. Yan Li, Shuxia Ren. Building Decorative Materials. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. 2011. Pp. 10-24.
11. Volkov A., Sedov A., Chelyshkov P. The concept of "smart city". M-vo obrazovaniya i nauki Ross. Russian Federation, 2015. Pp. 50-54.
12. Nekhuzhenko N.A. Fundamentals of landscape design and landscape architecture. 2nd ed. St. Petersburg: Publishing House "Neva", 2011. 192 p.
13. Zverev V.M., Melnikov B.N., Sherstyukov M. S. Concrete for products of small architectural forms [Betony dlya izdelij malyh arhitekturnykh form]. Journal Proceedings of the Pskov Polytechnic Institute. 2011. No. 14.2. Pp. 117-121. (rus)
14. Nurmukhametov R.N., Volkova L. V., Kunavin N. I., Klimenko V. G. Application of luminescent materials for road signs and markings [Primenenie lyuminescentnykh materialov dlya dorozhnykh znakov i razmetok]. Izvestiya MSTU "MAMI". 2007. No. 2 (4). Pp. 199-203. (rus)
15. Suleymanova L.A., Malyukova M.V., Koryakina A.A. Luminous decorative concretes with the use of rock crushing waste. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Pp.115-126.
16. Lusvardi G., Malavasi G., Menabue L., Smargiassi M. Systematic investigation of the parameters that influence the luminescence properties of photoluminescent pigments. J. Lumin. 2016. Pp. 70-74.
17. Filikman V.R., Sorokin Y.V., Kalashnikov O. O. Construction-technical properties particularly high strength quickly hardening concrete. Bet. i Zhelezobet. 2004. Pp. 170-174.
18. Kupchikova N.V., Zhilyaeva E.A., Kukushkina L.O. Production of energy-saving self-luminous finishing tiles and curb stones for the construction of buildings and structures [Proizvodstvo energosberegayushchih samosvetyashchihsya otdelochnykh plitok i bordyurnykh kamnej dlya stroitel'stva zdaniy i sooruzhenij] Fundamental and applied research of universities, integration into the regional innovation complex: International Scientific and practical conference. Reports of young scientists in the framework of the program "U. M. N. I. K.".Section: "Me-

chanical engineering, electronics, instrument making". Astrakhan: IP Sorokin R. V. 2010. Vol. 4. Pp. 139–141. (rus).

19. Architectural lighting of the facade of the building. URL: <http://fasadoved.ru/osveshhenie/arhitekturnoe-zdaniya.html> (accessed: 11.02.2021).

20. Tunali A., Selli N.T. Influence of the photoluminescent Pigments' particle size distribution on the after glow duration. Acta Physica Polonica A. 2014. Pp. 89–96.

Information about the authors

Suleymanova, Lyudmila A. DSc, Professor. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Maliukova, Marina V. Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor. E-mail: arbetlab@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Koryakina, Alina A. Postgraduate student. E-mail: alinakoryakina.arch@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 26.03.2021

Для цитирования:

Сулейманова Л.А., Малиюкова 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

For citation:

Suleymanova L.A., Maliukova M.V., Koryakina A.A. Research of photoluminescent pigment for use in luminous architectural and decorative concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 6. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-8-18