

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-13-20

**\*Крушельницкая Е.А.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: ekaterina.yakovleva2710@yandex.ru

## ОЦЕНКА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БЕТОНА

**Аннотация.** На основе изменения цвета органического красителя – родамина Б на поверхности бетона под действием ультрафиолетового излучения была проведена теоретическая и экспериментальная оценка фотокаталитической активности бетона. Фотокаталитическая активность рассчитывалась по полученным координатам колориметрии  $L^* a^* b^*$ . Для возможности оценки работы фотокатализатора во времени проводился тест с образцами бетона в возрасте 7 и 28 суток. В качестве фотокатализатора в исследовании использовался диоксид титана трех видов анатазной модификации зарубежного производителя. Показано, что введение диоксида титана в бетон способствует самоочищению его поверхности. Получены значения обесцвечивания красителя на поверхности бетона в зависимости от его состава и от времени воздействия ультрафиолетового излучения. Определено, что значение величины удельной поверхности диоксида титана влияет на фотокаталитическую активность. Отмечено, что с возрастом бетонных образцов происходит заметное снижение фотопревращения. Выявлена закономерность: чем выше фотокаталитическая активность в образцах изначально, тем сильнее эти образцы подвержены влиянию процессов гидратации, что приводит к более резкому снижению фотокаталитической активности с возрастом бетона. Так же установлено, что высокая удельная поверхность диоксида титана позволяет ему проявлять свои фотокаталитические свойства со временем.

**Ключевые слова:** фотокаталитические свойства, самоочищение, диоксид титана, органический пигмент, ультрафиолетовое излучение.

**Введение.** Требования к эстетическим характеристикам архитектурных зданий и сооружений в последние годы заметно возросли [1–5]. Большое внимание уделяется качеству используемых материалов при производстве изделий и строительстве, так как подобранный состав влияет не только на внешнюю декоративность, но и на эксплуатационные свойства. Качественный состав и отделка дает гарантию не только на долговечность изделий, но и возможность минимизировать расходы на их содержание и уход.

Для улучшения технических свойств и долговечности бетонов используются химические добавки [6–8].

Модифицирование бетона фотокатализатором позволяет разлагать загрязняющие вещества на его поверхности, вследствие чего данный бетон становится менее подвержен разрушению под влиянием окружающей среды. Возможность самоочищаться способствует сохранению его естественного цвета, предотвращению размножения микроорганизмов и уменьшению содержания вредных веществ в воздухе примерно на 70 % [9, 10].

В роли фотокатализаторов широко используются полупроводниковые оксиды или сульфиды на основе металлов ( $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $CdS$ ,  $Fe_2O_3$  и др.) [8]. Диоксид титана ( $TiO_2$ ) на сегодняшний день является одним из перспективных материалов в качестве активного фотокатализатора [11].

Данный материал получил наибольшее распространение в силу своей относительной дешевизны и высокой эффективности.

Добавление  $TiO_2$  в бетон позволит не только сэкономить на отделке зданий, но и избавит от необходимости постоянной очистки фасадов. Все это будет способствовать сохранению декоративности внешнего вида здания, что в свою очередь даст гарантию долговечности изделий.

Использование белого цемента с  $TiO_2$  на поверхности зданий и сооружений способствует повышению долговечности визуального облика здания [11].

Наибольший коммерческий интерес представляет диоксид титана анатазной модификации в связи с его высокой фотокаталитической активностью [12–14].

Целью исследования является определение эффективности действия  $TiO_2$  в бетоне в качестве фотокатализатора и оценка его способности к самоочистке.

**Материалы и методы.** Для оценки фотокаталитической активности бетонных образцов автором проведен тест на самоочистку согласно итальянскому стандарту UNI 11259-2016 [15].

Эффективность оценки по стандарту заключается в измерении фотокаталитической активности в бетоне с помощью колориметрического метода, который заключается в нанесении на поверхность бетонных образцов органического красителя – родамина Б [16]. После образцы подвер-

гают воздействию ультрафиолетового (УФ) излучения в течение 26 часов, с контролем колориметрического измерения во времени.

Для проведения данного теста применялись следующие материалы и оборудование: герметичный контейнер, колориметр, ультрафиолетовая лампа – А, родамин Б и образцы бетона.

В качестве вяжущего вещества в исследовании применялся портландцемент СЕМ I 52,5 R (белый) EN 197-1:2011 ГОСТ 965-89, Aalborg White (быстротвердеющий), Египет. В качестве

мелкозернистого наполнителя использовали отсева дробления мрамора.

В качестве фотокатализатора в работе использовались три вида диоксида титана анатазной модификации зарубежного производителя. Фотокатализатор вводился в объем бетона в процессе производства в количестве 5 % от массы цемента. Физико-химические характеристики и общий вид  $\text{TiO}_2$  представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Таблица 1

### Физико-химические характеристики диоксида титана

$\text{TiO}_2$	Физико-химические показатели			
	Содержание $\text{TiO}_2$ , %	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Кристаллическая фаза	Внешний вид (при 20 °С)
А	94,1	82	анатаз	Твердый мелкокристаллический белый порошок
Б	99,5	10,1	анатаз	Твердый мелкокристаллический белый порошок, наноматериал
В	92,7	282	анатаз	Твердый мелкокристаллический белый порошок, наноматериал

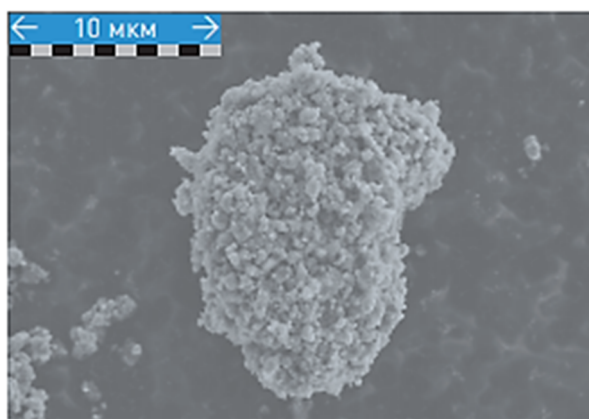


Рис. 1. Вид и типичный размер частицы диоксида титана

**Основная часть.** Для оценки фотокаталитической активности было изготовлено 2 партии образцов бетона – кубики размером  $50 \times 50 \times 50$  мм (рис. 2) - три образца бетона с  $\text{TiO}_2$  различных видов и контрольный образец. Для первой партии

образцов тест проводился в возрасте 7 суток, для второй – в возрасте 28 суток. Образцы испытывались в разном возрасте для возможной оценки работы фотокатализатора во времени.



Рис. 2. Образцы бетона для испытания

Для окраски приготовлен раствор красителя родамина Б, который наносился на подготовленную поверхность образцов.

Затем образцы помещались в деревянный шкаф под ультрафиолетовую лампу (УФ-А,

315-400 нм), установленную на высоте около 20 см от кубиков на 26 часов. Фото образцов сразу после нанесения раствора, через 4 и 26 часов представлены на рис. 3.

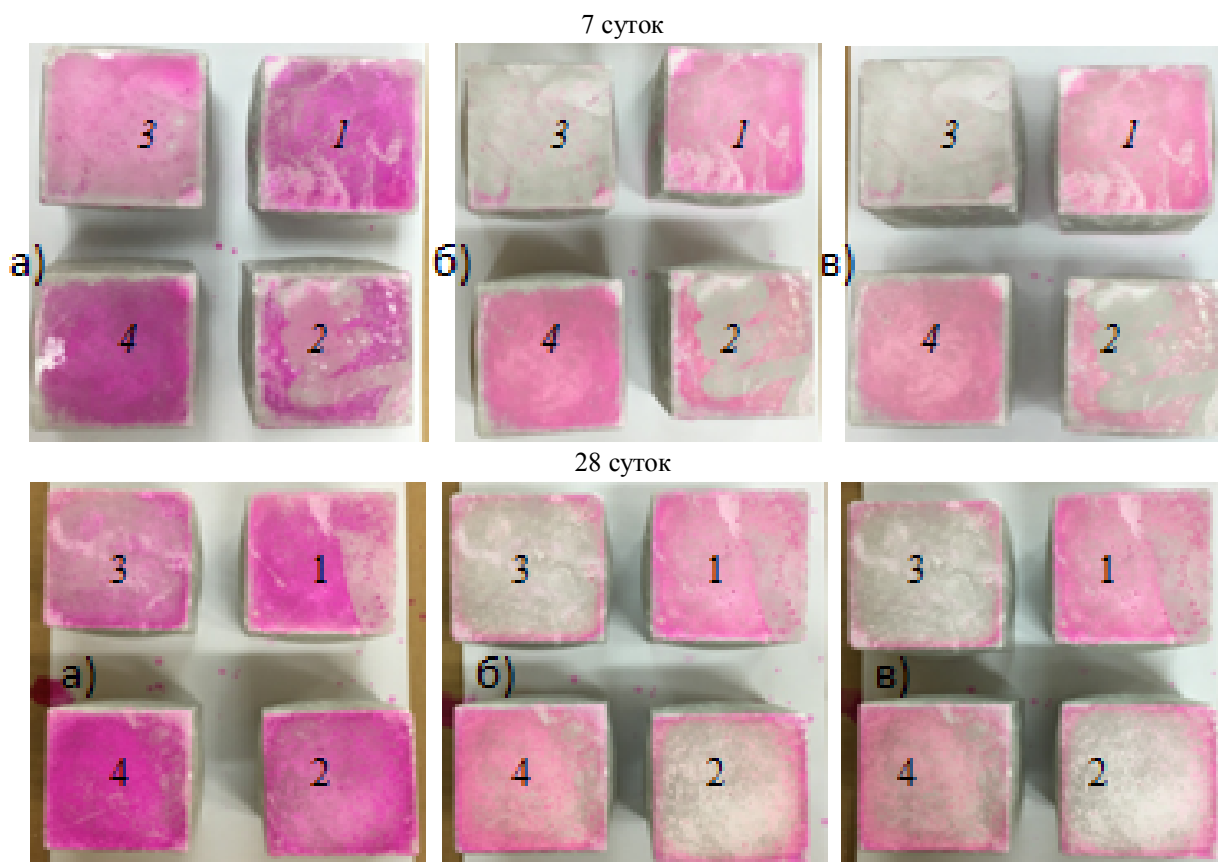


Рис. 3. Поверхность образцов после нанесения родамина Б: а – сразу после нанесения; б – через 4 часа; в – через 26 часов; 1 – контрольный образец; 2 – образец с  $\text{TiO}_2 \text{ A}$ ; 3 – образец с  $\text{TiO}_2 \text{ B}$ ; 4 – образец с  $\text{TiO}_2 \text{ B}$

После нанесения красителя проведено измерение цвета поверхности (с помощью визуального наблюдения и фотографирования) по системе CIELAB с использованием цветовых координат  $L^* a^* b^*$ , где  $L^*$  – светимость,  $a^*$  и  $b^*$  – координаты колориметрии, которые представляют собой измерение цветового тона в двухмерной плоскости. Анализ цифровых данных изображений произведен с помощью программного обеспечения ImageJ. Оценка фотокаталитической активности рассчитывалась по формулам [15] через 4 и 26 часов:

$$R_4 = \frac{a_0 - a_4}{a_0} \cdot 100 > 20\%, \quad (1)$$

$$R_{26} = \frac{a_0 - a_{26}}{a_0} \cdot 100 > 50\%, \quad (2)$$

где  $a_0$  – значение цветовой координаты в нулевой момент времени;

$a_4$  – значение цветовой координаты после 4 часов УФ излучения;  $a_{26}$  – значение цветовой координаты после 26 часов УФ излучения.

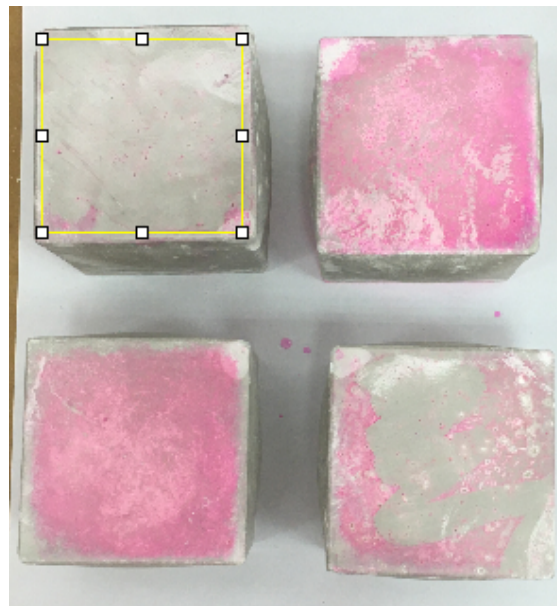
Значения R должны быть более 20 % спустя 4 часа и более 50 % спустя 26 часов воздействия УФ излучения, согласно стандарту UNI 11259, который определяет, проявляет ли бетон фотокаталитическую активность,

На рис. 4 представлены этапы обработки изображения в программе ImageJ.

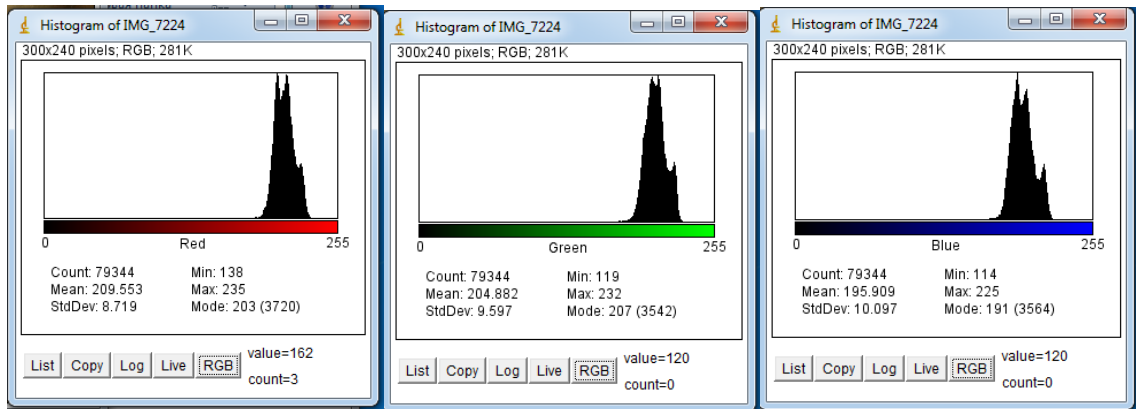
По полученным координатам рассчитывается фотокаталитическая активность. Результаты анализа отражены в диаграмме, представленной на рис. 5.

Исследуемый материал является фотокаталитическим по отношению к родамину Б, если он соответствует требованиям выражений 1 и 2, согласно стандарту UNI 11259.

а)



б)



в)

С помощью универсального конвертер цветов вы можете легко перевести цвет из одной цветовой модели в ряд других.

В первую очередь, калькулятор служит для удобной работы с современными форматами CSS3-цветов. Поддерживается конвертация из HEX в RGB/RGBA и HSL/HSLA, RGB в CMYK, XYZ, LAB, и обратно.

А также специальный функционал для замещения альфа-канала при переводе цвета из RGBA в RGB (и HSLA в HSL).

Цветовая модель: **RGB**

Цвет фона для заполнения альфа-канала (RGBA в RGB): **3**

Точность округления (кол-во знаков после запятой): **3**

R: **209,553** G: **204,882** B: **195,909**

HEX	#d1ccc3	WEBSAFE	#CCC
RGB	rgb(209, 204, 195);	RGBA	rgba(209, 204, 195, 1);
% RGB	rgb(81.961%, 80%, 76.471%);	% RGBA	rgb(81.961%, 80%, 76.471%, 1);
HSL	hsl(39, 13.208%, 79.216%);	HSLA	hsla(39, 13.208%, 79.216%, 1);
CMYK	0%, 2.392%, 6.699%, 18.039%	HSB/HSV	39, 6.699%, 81.961%
XYZ	57.738, 60.681, 60.299	LAB	<b>82.207, 0.153, 5.082</b>

Рис. 4. Этапы обработки изображений с помощью программного обеспечения: а – выделение области для анализа; б – получение значений в пространстве RGB; в – перевод в координаты  $L^* a^* b^*$

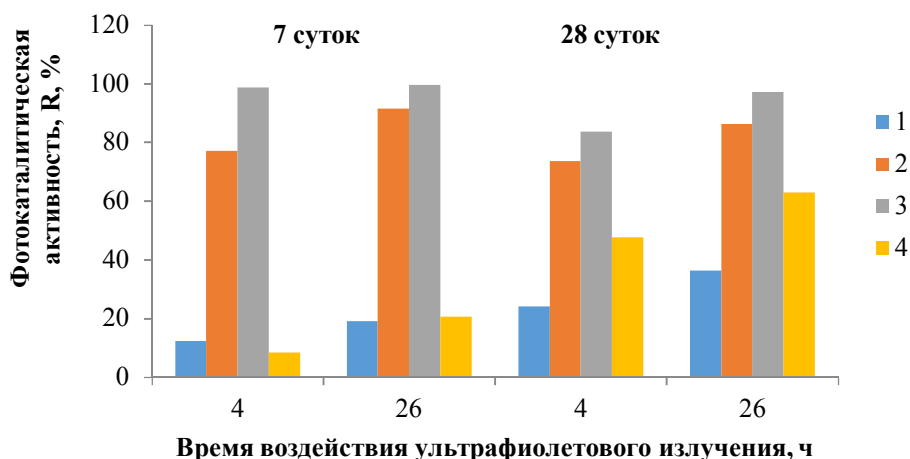


Рис. 5. Результаты обесцвечивания родамина Б для каждого образца

Визуальные наблюдения (рис. 6) также показывают, что обесцвечивание красителя существенно отличается с течением времени. Образцы 2 и 3 с добавками  $\text{TiO}_2$  А и Б соответственно, показали лучший результат по удалению красителя, поверхность образцов практически обесцвечена. Однако с возрастом эта активность снижается, на что влияет процесс гидратации [8]. При визуальной оценке между образцами 1 и 4 не наблюдается существенной разницы в изменении цвета поверхности. Однако полученные координаты колориметрии при анализе цифровых данных изображений в программном обеспечении ImageJ, позволяют определить точное значение фотокаталитической активности (рис. 5).

Установлено, что контрольный образец без добавления диоксида титана не проявил своей фотокаталитической активности, так как полученные значения R не соответствуют требованиям стандарта. Образец 4 с добавкой  $\text{TiO}_2$  В не проявил своей активности в возрасте 7 суток, но показал хороший результат через 28 суток. По результатам расчета образец 4 в возрасте 28 суток считается фотокаталитически активным по отношению к удалению красителя родамина Б, так как полученные значения R более 20 % спустя 4 часа и более 50 % спустя 26 часов воздействия УФ излучения, что соответствует требованию стандарту UNI 11259,

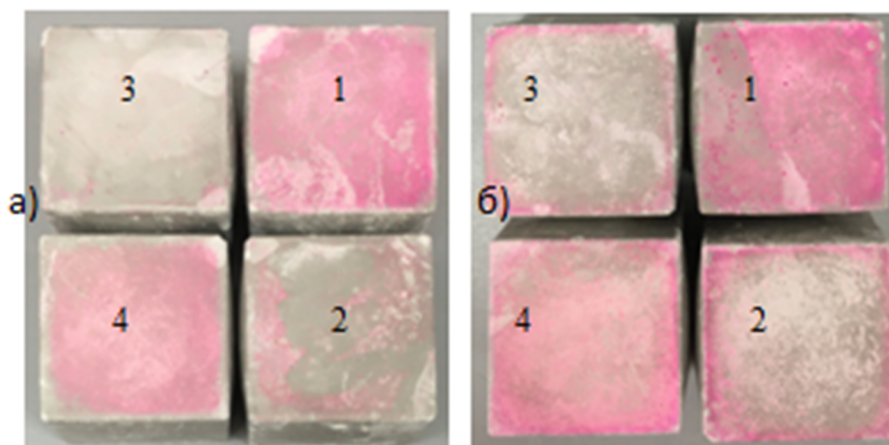


Рис. 6. Вид образцов после УФ-излучения: а – в возрасте 7 суток; б – в возрасте 28 суток

Добавление  $\text{TiO}_2$  со средним размером 10-15 нм частиц в бетонную смесь ускоряет образование геля C-S-H, что приводит к высокому количеству  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Образование этих продуктов способствует блокировке активных центров на поверхности  $\text{TiO}_2$ , в результате химической реакции диоксида титана и гидроксида кальция происходит снижение фотокаталитической активности. Из этого можно выявить закономерность:

чем выше фотокаталитическая активность в образцах изначально, тем сильнее эти образцы подвержены влиянию химической реакции между продуктами гидратации, что способствует более резкому снижению фотокаталитической активности с возрастом бетона.

**Выводы.** По результатам проведенного исследования оценки фотокаталитической активности добавок можно сделать следующие выводы:

– введение диоксида титана в бетон способствует самоочищению его поверхности по сравнению с контрольным образцом;

– образцы без диоксида титана не проявили своей фотокаталитической активности, несмотря на то, что со временем в результате высушивания небольшое обесцвечивание красителя все же наблюдалось;

– наибольшая фотокаталитическая активность наблюдается у образцов 2 и 3, из чего можно заключить, чем ниже значение удельной поверхности частицы фотокатализатора, тем выше его способность к самоочищению;

– лучший результат по обесцвечиванию красителя отмечен у образца 3. Уже спустя 4 часа после воздействия УФ излучения отмечено практически полное обесцвечивание красителя, что можно охарактеризовать более высоким содержанием  $TiO_2$  и низкой величиной удельной поверхности частицы;

– образец 4 с добавкой  $TiO_2$  В не проявил своей активности к самоочищению в возрасте 7 суток, однако в возрасте 28 суток по результатам оценки наблюдается способность к обесцвечиванию красителя, из чего можно сделать вывод, что высокая удельная поверхность частицы способна проявлять свои фотокаталитические свойства со временем;

– влияние химической реакции между продуктами гидратации способствует снижению фотокаталитической активности, чем выше активность на ранних сроках, тем сильнее образцы подвержены этим реакциям, что приводит к более резкому снижению фотокаталитической активности с возрастом бетона.

Выполненные исследования показали эффективность используемых в работе добавок в качестве фотокатализатора, обеспечивая их высокую фотокаталитическую активность в бетоне. Однако результаты теста показали неоднозначные результаты во времени, что, вероятнее всего, связано с протеканием процессов гидратации в цементной матрице, что требует дальнейших исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашников В.И. Бетоны старого и нового поколений. Состояние и перспективы // Наука: 21 век. 2012. №1. С 60–67.
2. Chen J., Poon CS. Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications. *Build. Environ.* 2009. Vol. 44. Pp. 1899–1906.
3. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Погорелова И.А., Яковлева Е.А., Корякина А.А. Декоративные элементы как способ эстетического осмысления пространства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 7–13.
4. Сулейманова Л.А., Гридчин А.М., Малюкова М.В., Морозова Т.В. Повышение архитектурной выразительности плит бетонных тротуарных // В сборнике: Научно-технологические инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 347–353.
5. Антоненко М.В., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В., Губарева Е.Н. Фотокаталитически активные самоочищающиеся материалы на основе цемента. Составы. Свойства. Применение // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 3. С. 16–25
6. Лукотцова Н.П., Постникова О.А., Соболева Г.Н., Ротарь Д.В., Оглобина Е.В. Фотокаталитическое покрытие на основе добавки нанодисперсного диоксида титана // Строительные материалы. 2015. №11. С. 5–8.
7. Лабузова М.В., Губарева Е.Н., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В. Свойства фотокаталитического композиционного материала на основе кремнеземного сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 8. С. 85–92.
8. Lackhoff M., Prieto X., Nestle N., Dehn F., Niessner R. Photocatalytic activity of semiconductor-modified cement - Influence of semiconductor type and cement ageing. *Appl. Catal. B.* 2003. Vol. 43. Pp. 205–216.
9. Mills A, Elouali S. The nitric oxide ISO photocatalytic reactor system: measurement of NOx removal activity and capacity. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.* 2015. Vol. 305. Pp. 29–36.
10. Puzenat E. Photocatalytic self-cleaning materials: Principles and impact on atmosphere. *Eur. Phys. J. Conferences* 1. 2009. Pp. 69–74.
11. Shen S., Burton M., Jobson B., Haselbach L., Pervious concrete with titanium dioxide as a photocatalyst compound for a greener urban road environment. *Construction and Building Materials.* 2012. Vol. 35. Pp. 874–883.
12. Wang X, Hu Z, Chen Y, Zhao G, Liu Y, Wen Z. A novel approach towards high-performance composite photocatalyst of  $TiO_2$  deposited on activated carbon. *Appl Surf Sci.* 2009. Vol. 255. Pp. 3953–3958.
13. Shen W.G., Zhang C., Li Q., Zhang W.S., Cao L., Ye J.Y. Preparation of titanium dioxide nano particle modified photocatalytic self-cleaning concrete. *J. Clean. Prod.* 2015. Vol. 87. Pp. 762–765.
14. Anpo M., Takeuchi M. The design and development of highly reactive titanium oxide photocatalysts operating under visible light irradiation. *Journal of Catalysis.* 2003. Vol. 216. Pp. 505–516.

15. UNI 11259:2016. Photocatalysis - Determination of the photocatalytic activity of hydraulic binders - Rodamina test method.

16. Folli A., Jakobsen U.H., Guerrini G.L., Macphee D.E., Rhodamine B. Discolouration on

TiO<sub>2</sub> in the Cement Environment: A Look at Fundamental Aspects of the Self-cleaning Effect in Concretes. J. Adv Oxid Technol. 2009. Vol. 12 (1). Pp. 126–133.

*Информация об авторах*

**Крушельницкая Екатерина Александровна**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: [ekaterina.yakovleva2710@yandex.ru](mailto:ekaterina.yakovleva2710@yandex.ru). Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 25.03.2021 г.

© Крушельницкая Е.А., 2021

**\*Krushelnitskaya E.A.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*\*E-mail: [ekaterina.yakovleva2710@yandex.ru](mailto:ekaterina.yakovleva2710@yandex.ru)*

## EVALUATION OF PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF CONCRETE

**Abstract.** *A theoretical and experimental assessment of the photocatalytic activity of concrete is carried out based on the change in the color of an organic dye – rhodamine B, on the surface of concrete under the action of ultraviolet radiation. Photocatalytic activity is calculated using the obtained coordinates of colorimetry  $L^* a^* b^*$ . To assess the performance of the photocatalyst over time, a test is carried out with concrete samples at the age of 7 and 28 days. Titanium dioxide of three types of anatase modification of a foreign manufacturer is used as a photocatalyst in the study. It is shown that the introduction of titanium dioxide into concrete promotes self-cleaning of its surface. The values of discoloration of the dye on the concrete surface are obtained depending on its composition and on the time of exposure to ultraviolet radiation. It is determined that the value of the specific surface area of titanium dioxide affects the photocatalytic activity. It is noted that with the age of concrete samples, there is a noticeable decrease in phototransformation. A regularity is revealed: the higher the photocatalytic activity in the samples initially, the more they are subject to the influence of hydration processes, which leads to a sharper decrease in the photocatalytic activity with the age of concrete. In addition, it is found that the high specific surface area of titanium dioxide exhibits its photocatalytic properties over time.*

**Keywords:** *photocatalytic properties, self-cleaning, titanium dioxide, organic pigment, ultraviolet radiation.*

### REFERENCES

1. Kalashnikov V.I. Old and new generation concretes. State and prospects. [Betony starogo i novogo pokolenij. Sostoyanie i perspektivy]. Science: 21st century. 2012. Vol. 1. Pp. 60–67. (rus)

2. Chen J., Poon CS. Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications. Build. Environ. 2009. Vol. 44. Pp. 1899–1906.

3. Suleimanova L.A., Malyukova M.V., Pogorelova I.A., Yakovleva E.A., Koryakina A.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. 7–13. (rus)

4. Suleimanova L.A., Gridchin A.M., Malyukova M.V., Morozova T.V. Increasing the architectural expressiveness of concrete sidewalk slabs.

[Povyshenie arhitekturnoj vyrazitel'nosti plit betonnyh trotuarnyh]. V sbornike: Naukoemkie tekhnologii i innovacii YUbilejnaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 60-letiyu BGTU im. V.G. SHuhova (XXI nauchnye chteniya). 2014. Pp. 347–353. (rus)

5. Antonenko M.V., Ogurtsova Yu.N., Strokova V.V., Gubareva E.N. Cement-based photocatalytically active self-cleaning materials. Compositions. Properties. Application. [Fotokataliticheski aktivnye samoochishchayushchiesya materialy na osnove cementsa. Sostavy. Svoystva. Primenenie]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 3. Pp. 16–25. (rus)

6. Lukottsova N.P., Postnikova O.A., Soboleva G.N., Rotar D.V., Oglobina E.V. Photocatalytic coating based on the addition of nanodispersed titanium dioxide. [Fotokataliticheskoe pokrytie na osnove dobavki nanodispersnogo dioksida titana]. Building materials. 2015. Vol. 11. Pp. 5–8. (rus)

7. Labuzova M.V., Gubareva E.N., Ogurtsova Yu.N., Strokova V.V. Properties of a photocatalytic composite material based on silica raw materials. [Svoystva fotokataliticheskogo kompozitsionnogo materiala na osnove kremnezemnogo syr'ya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov 2018. Vol. 8. Pp. 85–92. (rus)
8. Lackhoff M., Prieto X., Nestle N., Dehn F., Niessner R. Photocatalytic activity of semiconductor-modified cement - Influence of semiconductor type and cement ageing. Appl. Catal B. 2003. Vol. 43. Pp. 205–216.
9. Mills A., Elouali S. The nitric oxide ISO photocatalytic reactor system: measurement of NO<sub>x</sub> removal activity and capacity. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2015. Vol. 305. Pp. 29–36.
10. Puzenat E. Photocatalytic self-cleaning materials: Principles and impact on atmosphere. Eur. Phys. J. Conferences 1. 2009. Pp. 69–74.
11. Shen S., Burton M., Jobson B., Haselbach L. Pervious concrete with titanium dioxide as a photocatalyst compound for a greener urban road environment. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 35. Pp. 874–883.
12. Wang X, Hu Z, Chen Y, Zhao G, Liu Y, Wen Z. A novel approach towards high-performance composite photocatalyst of TiO<sub>2</sub> deposited on activated carbon. Appl Surf Sci. 2009. Vol. 255. Pp. 3953–3958.
13. Shen W.G., Zhang C., Li Q., Zhang W.S., Cao L., Ye J.Y. Preparation of titanium dioxide nano particle modified photocatalytic self-cleaning concrete. J. Clean. Prod. 2015. Vol. 87. Pp. 762–765.
14. Anpo M., Takeuchi M. The design and development of highly reactive titanium oxide photocatalysts operating under visible light irradiation. Journal of Catalysis. 2003. Vol. 216. Pp. 505–516.
15. UNI 11259:2016. Photocatalysis - Determination of the photocatalytic activity of hydraulic binders - Rodamina test method.
16. Folli A., Jakobsen U.H., Guerrini G.L., Macphee D.E., Rhodamine B. Discolouration on TiO<sub>2</sub> in the Cement Environment: A Look at Fundamental Aspects of the Self-cleaning Effect in Concretes. J. Adv Oxid Technol. 2009. Vol. 12 (1). Pp. 126–133.

*Information about the authors*

**Krushelnitskaya, Ekaterina A.** Postgraduate student. E-mail: [ekaterina.yakovleva2710@yandex.ru](mailto:ekaterina.yakovleva2710@yandex.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 25.03.2021*

**Для цитирования:**

Крушельницкая Е.А. Оценка фотокаталитической активности бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 4. С. 13–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-13-20

**For citation:**

Krushelnitskaya E.A. Evaluation of photocatalytic activity of concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 4. Pp. 13–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-13-20