

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ / CONSTRUCTION MATERIALS

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.07.4>

Слесарев М.Ю.<sup>1</sup>, Попов К.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID:0000-0003-4528-2817, доктор технических наук, <sup>2</sup>ORCID:0000-0003-1583-3868, магистрант, Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ БЕТОНОВ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Аннотация*

*В работе на основе анализа методов определения эффективности фотокаталитических бетонов и результатов зарубежных и отечественных исследований выявлены наилучшие условия для применения данных строительных материалов. Анализ зарубежных результатов исследования показал, что эффективность фотокаталитических бетонов зависит во многом от условий эксплуатации данных материалов. В работе: - проанализированы результаты исследований зарубежных авторов по применению фотокаталитических бетонов на основе диоксида титана для очистки воздуха от загрязняющих веществ; - проведен сравнительный анализ методов испытаний и сделаны выводы об эффективности использовании стандартных методов; - дана оценка эффективности применения в городской среде и предложены технологические рекомендации и конструктивные решения по применению фотокаталитических бетонов в строительстве.*

**Ключевые слова:** фотокаталитический бетон, диоксида титана, загрязняющее вещество, очистка воздуха, городская среда.

Slesarev M.Y.<sup>1</sup>, Popov K.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ORCID:0000-0003-4528-2817, PhD in Engineering, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0003-1583-3868, Graduate Student, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

### **STUDY OF EFFICIENCY OF PHOTO-CATALYTIC CONCRETE APPLICATION IN URBAN CONSTRUCTION**

*Abstract*

*In the present work on the basis of the analysis of methods for determining the efficiency of photocatalytic concretes and the results of foreign and domestic research, the best conditions for the application of these building materials have been revealed. Analysis of foreign research results showed that the efficiency of photocatalytic concrete depends largely on the operating conditions of these materials. In work: - the results of foreign authors' studies on the use of photocatalytic concretes based on titanium dioxide for air purification from pollutants are analyzed; - a comparative analysis of the test methods was conducted and conclusions were drawn about the effectiveness of standard methods using; - the estimation of efficiency of application in urban environment is given and technological recommendations and constructive decisions on application of photocatalytic concretes in construction are offered.*

**Keywords:** photocatalytic concrete, titanium dioxide, pollutant, air purification, urban environment.

**Email авторов / Author email:** [slesarev@mgsu.ru](mailto:slesarev@mgsu.ru), [kvpopov93@gmail.com](mailto:kvpopov93@gmail.com)

**Ф**отокаталитические бетоны являются перспективным направлением в строительстве, благодаря возможности эффективного решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха в городах [1], [2] и самоочистки фасадов зданий. Технология изготовления таких бетонов не отличается от обычных бетонов и не требует дополнительного оборудования [3], [4]. Фотокаталитические бетоны могут оказаться выгодным экономическим решением по улучшению качества жизни в городах и поддержанию здоровья населения. Помимо загрязнения воздуха в больших городах существуют проблемы загрязнения фасадов зданий. Фотокаталитические бетоны могут обеспечить не только снижение концентрации загрязняющих веществ в воздухе, но также способствовать самоочищению поверхностей, на которых они применены [5]. Эти строительные материалы уже несколько лет используются при строительстве в Японии, Бельгии, Италии, Франции, США.

Факты использования фотокаталитических бетонов в реальных городских условиях на территории Российской Федерации не известны. Известны лишь лабораторные эксперименты по применению фотокаталитических бетонов при проведении натурных исследований по определению их эффективности [6]. В связи с перспективами использования и развитием фотокаталитических бетонов в 2016 году вышел нормативный документ ГОСТ Р 57255—2016 «Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия» [7], который разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им.А.А.Гвоздева - структурным подразделением АО НИЦ "Строительство". Методы испытаний по ГОСТ Р 57255—2016 не касаются определения эффективности использования фотокаталитических бетонов в реальной городской среде.

Из-за проблемы загрязнения воздуха в тоннелях выхлопными газами автотранспорта возникает необходимость создания специальных конструктивных мер по очистке воздуха. С этой целью целесообразно применение фотокатализа с использованием специальных строительных материалов, а именно, фотокаталитических материалов на основе цемента.

Использование фотокатализаторов, таких как диоксид титана TiO<sub>2</sub>, может существенно снизить концентрацию вредных веществ в окружающем воздухе при помощи специальных строительных материалов, а также может очищать от загрязнений различные поверхности, например, фасады зданий и сооружений.

Исследования показывают, что фотокаталитические бетоны обладают фотокаталитической активностью и могут очищать воздух, например, от окислов азота или летучих органических соединений. Добавление диоксида титана в цемент улучшает механические свойства получаемых бетонов. Несмотря на это преимущества, некоторые недостатки, к сожалению, все еще существуют:

- Иногда побочные продукты, образующиеся при фотокаталитическом разложении загрязнений, более токсичны, чем первичные. Это можно устранить путем сильной адсорбции побочных продуктов на поверхности фотокатализаторов до их общей минерализации;

- Некоторые фотокаталитические цементы активируются только при облучении ультрафиолетовым светом. Также существуют фотокатализаторы, например, диоксид титана, допированный атомами углерода, азота или серы, которые активны при облучении видимым светом;

- Увеличение массы фотокатализатора в цементе увеличивает его фотокаталитическую активность, но, когда добавление превышает 5% от общей массы, механические свойства модифицированного цемента ухудшаются.

- Цены на коммерческие фотокаталитические цементы и составы, такие как TioCEM®, Górażdże, Польша, TX Active®, Italcement Group, Италия, по-прежнему дороже простого цемента.

Однако, преимущества фотокаталитических бетонов, такие как, очистка атмосферного воздуха от загрязнений, повышенные механические свойства и свойства самоочистки, делают эти бетоны строительным материалом ближайшего будущего [5].

Были выработаны рекомендации по применению фотокаталитических бетонов в автодорожных туннелях: должно использоваться УФ-излучение, эквивалентное освещенности туннеля, и газовый поток с аналогичной концентрацией  $\text{NO}_x$  в туннеле; показатель шероховатости нанесенного фотокаталитического покрытия на поверхностях внутри туннеля, должен быть не более  $Ra < 50$  мкм (ГОСТ 2789 – 73 [8]), для сведения к минимуму адсорбции пыли; должна быть обеспечена интенсивность ультрафиолетового излучения мощностью около 10 Вт/м<sup>2</sup>, для предотвращения пассивации поверхности, в соответствии с ISO 14605:2013 [9]; относительная влажность воздуха в туннеле должна быть не выше 60%; определенная в лабораторных исследованиях скорость осаждения для NO на поверхности фотокаталитического материала должна быть не менее 0,1 см/с; средняя скорость потока воздуха в туннеле должна быть менее 2 м/с для обеспечения достаточного времени контакта воздуха с покрытием и осуществления реакции диоксида титана с загрязняющими воздух веществами.

Движение автомобилей в туннеле рекомендуется организовать двусторонним, чтобы избежать однонаправленного ламинарного потока воздуха в туннеле и образования турбулентного перемешивания воздуха, что способствует увеличению времени реакции с загрязняющими веществами.

Для достижения эффективных результатов снижения концентрации вредных веществ при использовании фотокаталитического материала активное соотношение площади поверхности к объему туннеля должно быть не менее 4/10 при длине туннеля более 300 м.

В туннелях должна производиться регулярная чистка фотокаталитического материала водой, ввиду загрязнения поверхностей и накопления на них продуктов реакции, которые препятствуют дальнейшим реакциям разложения вредных веществ. Фотокаталитическая активность бетонов на основе диоксида титана при регулярной чистке активной поверхности сохраняется спустя много лет после начала применения.

На основе анализа методов определения эффективности фотокаталитических бетонов выявлены наилучшие условия для их применения, а также сделаны выводы об использовании стандартных методов испытаний для фотокаталитических бетонов.

Основные выводы:

1. Эффективность фотокаталитических бетонов по очистке атмосферного воздуха и свойства самоочистки поверхности этих бетонов были доказаны множеством исследований. Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о высокой эффективности данных материалов при нейтрализации различных газообразных выбросов, загрязняющих воздух, таких как  $\text{NO}_x$ , CO и др. Также добавление в цемент фотокатализатора может значительно улучшить механические свойства бетонов, такие как прочность, морозостойкость, гидратация и др. Долговечность фотокаталитической активности покрытий остается неизменной в течение долгого времени при регулярной чистке поверхностей.

2. Стандартные методы испытаний фотокаталитических бетонов не дают качественной оценки об их эффективности применения в реальных условиях городской среды. Стандартные методы испытаний представляют только результаты о фотокаталитической активности материалов. Стандартными методами не учитываются конструктивные особенности поверхности и различные факторы внешней среды, такие как ветер, влажность, механическое загрязнение.

3. Эффективное фотокаталитическое разложение загрязняющего воздух  $\text{NO}_x$  в автодорожном туннеле без специально разработанных средств и методов очистки активной поверхности может быть реализовано лишь кратковременно на первоначальном этапе эксплуатации туннеля, так как в реальных природных условиях фотокаталитические материалы не справляются в процессе самоочистки с механическими загрязнениями, осаждающимися на фотокаталитически активной поверхности, и существенно снижают свою активность из-за её загрязнения.

**Список литературы / References**

1. Telichenko V.I., Slesarev M.Y., Kusovkina T.V. The analysis expected indicators of ecological safety of atmosphere air in the Moscow for 2010-2020 years. XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Procedia Engineering.153 (2016) s. 731 – 735.
2. Telichenko V.I., Slesarev M.Y., Kusovkina T.V. The analysis of mythology of the assessment and expected indicators of ecological air in the Russian Federation for 2010-2020 years. XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Procedia Engineering.153 (2016) s. 736 – 740.
3. Boonen E., Akylas V., Barmpas F., Boréave A. et al. / Photocatalytic de-pollution in the Leopold II tunnel in Brussels, Part I: Construction of the field site. // Journal of Environmental Management. 2015. 155. C. 136-144.
4. Gallus M., Akylas V., Barmpas F., Beeldens A. et al. / Photocatalytic de-pollution in the Leopold II tunnel in Brussels, Part II: NOx abatement results. // Building and Environment. 2015. 84. C. 125-133.
5. Magdalena J., Kamila Z. Concretes with Photocatalytic Activity, High Performance Concrete Technology and Applications. InTech. 2016. C. 141-161.
6. Фрайнт М.А. Разработка фотокаталитического бетона для очистки атмосферного воздуха и обоснование экологической безопасности строительных конструкций на его основе: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2016. 106 с.
7. ГОСТ Р 57255-2016 Бетоны фотокаталитически активные самоочищающиеся. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.
8. ГОСТ 2789 – 73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. М.: Стандартинформ, 2006. 7 с.
9. ISO 14605:2013. Тонкая керамика (специальная керамика, специальная техническая керамика). Источник света для испытаний фотокаталитических полупроводниковых материалов в условиях внутреннего освещения. 12 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Telichenko V.I., Slesarev M.Y., Kusovkina T.V. The analysis expected indicators of ecological safety of atmosphere air in the Moscow for 2010-2020 years. XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Procedia Engineering.153 (2016) s. 731 – 735.
2. Telichenko V.I., Slesarev M.Y., Kusovkina T.V. The analysis of mythology of the assessment and expected indicators of ecological air in the Russian Federation for 2010-2020 years. XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Procedia Engineering.153 (2016) s. 736 – 740.
3. Boonen E., Akylas V., Barmpas F., Boréave A. et al. / Photocatalytic de-pollution in the Leopold II tunnel in Brussels, Part I: Construction of the field site. // Journal of Environmental Management. 2015. 155. C. 136-144.
4. Gallus M., Akylas V., Barmpas F., Beeldens A. et al. / Photocatalytic de-pollution in the Leopold II tunnel in Brussels, Part II: NOx abatement results. // Building and Environment. 2015. 84. C. 125-133.
5. Magdalena J., Kamila Z. Concretes with Photocatalytic Activity, High Performance Concrete Technology and Applications. InTech. 2016. C. 141-161.
6. Frajnt M.A. Razrabotka fotokataliticheskogo betona dlja ochistki atmosfernogo vozduha i obosnovanie jekologicheskoy bezopasnosti stroitel'nyh konstrukcij na ego osnove [Development of photocatalytic concrete for cleaning atmospheric air and substantiation of ecological safety of building structures on its basis]: dis. ... of PhD in Engineering. Moskva, 2016. 106 p. [in Russian]
7. GOST R 57255-2016 Betony fotokataliticheski aktivnye samoochishhajushhiesja. Tehnicheskie uslovija [Concrete photocatalytically active self-cleaning. Technical conditions]. M.: Standartinform, 2016. 20 p. [in Russian]
8. GOST 2789 – 73. Sherohovatos' poverhnosti. Parametry i harakteristiki [Surface roughness. Parameters and characteristics]. M.: Standartinform, 2006. 7 p. [in Russian]
9. ISO 14605:2013. Tonkaja keramika (special'naja keramika, special'naja tehničeskaja keramika). Istochnik sveta dlja ispytanij fotokataliticheskix poluprovodnikovyx materialov v uslovijah vnutrennego osveshhenija [Thin ceramics (special ceramics, special technical ceramics). A light source for testing photocatalytic semiconductor materials under conditions of internal illumination]. 12 p. [in Russian]