

ОРЛОВА Я. А., НИЗИНА Т. А., НИЗИН Д. Р., СПИРИН И. П.

**ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА РАЗРАБОТКИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ**

Аннотация. Рассмотрены два основных направления разработки строительных материалов с фотокаталитическим эффектом – составы покрытий с эффектом самоочищения, а также модификация существующих материалов путем введения в их состав фотокатализаторов. Приведены примеры использования различных видов фотокатализаторов при разработке материалов, характеризующихся эффектом самоочищения, а также примеры их реального внедрения.

Ключевые слова: строительные материалы, загрязнение, фотокатализатор, самоочищающиеся материалы, фотокаталитический эффект.

ORLOVA YA. A., NIZINA T. A., NIZIN D. R., SPIRIN I. P.

**AN OVERVIEW OF RUSSIAN AND INTERNAIONAL EXPERIENCE IN THE
DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS WITH PHOTOCATALYTIC EFFECT**

Abstract. Two main directions of the development of building materials with a photocatalytic effect are considered. These are compositions of coatings with a self-cleaning effect and modification of existing materials by introducing photocatalysts into their composition. The paper gives examples of the use of various types of photocatalysts in the development of materials characterized by the effect of self-cleaning and examples of their real life implementation.

Keywords: building materials, pollution, photocatalyst, self-cleaning materials, photocatalytic effect.

В урбанистических системах нашего времени тесно соседствуют друг с другом промышленные предприятия, жилые здания, административные и культурные объекты. Близкое расположение промышленных зон к жилым районам приводит к увеличению содержания токсичных и вредных веществ, загрязняющих воздух и наносящих вред здоровью людей. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха проживает 50,6 млн чел., что составляет 46% городского населения [1].

Основными загрязняющими веществами являются диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды. Они поступают в атмосферный воздух вместе с выбросами загрязняющих веществ предприятий различных отраслей промышленности и транспорта. Источники загрязняющих веществ делятся на передвижные и стационарные. К передвижным

источникам относятся автомобильный, железнодорожный, авиационный и водный виды транспорта. К стационарным относят все объекты, которые производят выброс вредных веществ в атмосферу и не подлежат перемещению. По данным [1], общий объем выбросов загрязняющих веществ в 2021 году увеличился на 0,3%, а выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников увеличились на 1,5% по сравнению с уровнем 2020 года.

Приоритетными факторами риска являются взвешенные частицы, которые находятся в воздухе [2]. Они поступают в атмосферный воздух вместе с выбросами предприятий различных отраслей промышленности и транспорта. Со временем эти частицы оседают на поверхность зданий. Если поверхности не очищаются, пыль, влага и пятна становятся благоприятной средой для роста микроорганизмов и бактерий. Таким образом, увеличивается опасность для здоровья человека.

Накопившиеся со временем частицы пыли, смешиваясь с водой, под действием силы тяжести, начинают перемещаться вдоль поверхности фасада, образуя разводы. В некоторых случаях загрязняющие вещества способны проникать в структуру покрытия. Например, в работах [3; 4] описано влияние пыли на конструкции вентилируемых фасадов. Это может привести не только к потере эстетического вида здания, но и к изменению физико-механических свойств строительных материалов, использованных при отделке фасада.

Применение самоочищающихся фотоактивных покрытий способствует рациональному использованию природных ресурсов в области строительства. В основе механизма действия таких поверхностей лежит принцип гетерогенного фотокатализа. К фотокаталитическим реакциям в гетерогенных системах относят реакции превращения исходных реагентов в продукты реакции под действием квантов света на поверхности фотокатализатора при условии его неизменности в конце цикла превращений. В большинстве случаев твердое тело является фотокатализатором, поглощающим свет, а фотокаталитические реакции протекают на границе раздела «твердое тело – газ» или «твердое тело – жидкость» [5]. В условиях городской среды этот процесс может протекать следующим образом: под воздействием солнечного света на поверхности, покрытой фотокатализатором, происходит процесс окисления загрязняющих веществ, осевших на поверхность; затем продукты реакции удаляются при помощи дождевой воды под действием силы тяжести.

Одним из самых известных объектов, при строительстве которого был использован бетон с самоочищающимися свойствами, является церковь Dives in Misericordia в Риме (проект был реализован в 2003 году). Для сохранения белого цвета в бетон был добавлен диоксид титана. Фотокаталитические цементы были использованы при строительстве таких объектов, как: Cité de la Musique в Шамбери (Франция, 2003 год), школы в городе Мортара (Италия, 1999 год), многоэтажных жилых комплексах в Остенде (Бельгия) [6].

В настоящее время во всем мире ведутся разработки строительных материалов, модифицированных фотокаталитическими добавками. Наиболее распространены фотокатализаторы на основе диоксида титана. Составы на его основе характеризуются высокой фотокаталитической активностью, низкой стоимостью, высокой химической стабильностью и отсутствием токсичности. Диоксид титана существует в трех модификациях: анатаз, брукит, рутил; в качестве фотокатализатора преимущественно используется в анатазной форме. Однако, как фотокатализатор, диоксид титана имеет и ряд недостатков, основным из которых является и то, что под действием видимого излучения эффективность его работы составляет менее 10% [5–9].

Анализ научной литературы показал, что можно выделить два основных направления разработки строительных материалов с фотокаталитическим эффектом. Первая группа объединяет исследователей, работающих над получением составов с эффектом самоочищения, которые можно наносить на различные поверхности в качестве тонких покрытий. Вторая группа нацелена на модификацию существующих материалов путем введения в состав фотокатализатора.

В работе [10] рассматривается процесс получения добавки нанодисперсного диоксида титана. Установлено, что диспергирование пигментного порошка диоксида титана анатазной формы в водной среде олеата натрия способствует получению более устойчивой суспензии. На основе экспериментальных исследований была доказана способность покрытия к деструкции красителей на поверхности образцов.

В [11] представлены результаты исследования влияния добавки фотокаталитического композиционного материала системы $\text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$ на свойства цементного камня. Фотокаталитический композит $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ был получен золь-гель методом, где в качестве прекурсора использовали тетрабутоксититан, а в качестве кремнеземного сырья как подложки – диатомитовый тонкодисперсный порошок. Было выявлено, что при сохранении прочности при сжатии, образцы с синтезированной добавкой характеризуются способностью к самоочищению на уровне, близком к образцу с промышленным наноразмерным фотокатализатором.

В работе [12] исследованы самоочищающиеся покрытия с регулируемой, посредством прокаливания и воздействия ультрафиолетового излучения, адгезионной и гидрофобной способностью. Аморфные микросферы SiO_2 (A- SiO_2) и наночастицы TiO_2 (N- TiO_2) были использованы для изготовления композитов A- SiO_2 /N- TiO_2 , которые после модификации полидиметилсилоксаном были распылены на поверхности подложек из стекла, дерева, пенопласта, бетона и кирпича. Выявлено, что под воздействием фотокатализа наблюдается разложение красителя (раствор метилового оранжевого) на сформированных покрытиях.

Более того, покрытие сохраняет самоочищающиеся свойства после пребывания на открытом воздухе в течение 3 месяцев, что свидетельствует о хорошей адаптивности к условиям внешней среды.

В [13] были изучены самоочищающиеся свойства различных облицовочных материалов, покрытых золь-гелевыми продуктами на основе диоксида титана. Для оценки характеристик самоочищающихся покрытий использовались как лабораторные экспериментальные методы, так и натурные исследования. В рамках этой работы были выявлены различия в полученных результатах между северным и южным фасадами, что объясняется наличием прямого облучения в последнем случае, которое, вероятно, увеличивает скорость фотокаталитической реакции и, следовательно, облегчает самопроизвольную очистку во время дождя.

Помимо диоксида титана в качестве фотокатализаторов могут выступать различные полупроводниковые соединения: халькогениды, галогениды, различные природные материалы, другие оксиды [5, 14]. Например, в работе [15] предлагается использовать оксид висмута (Bi_2O_3) в его кристаллических формах: моноклинной (α) и тетрагональной (β), а также гетероструктур $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ в качестве фотокатализаторов для покрытий и растворов. В качестве базового материала для этих покрытий использовалась щелочно-активированная летучая зола, которая является отходом промышленности. Было доказано, что полученные покрытия обладают фотоактивными и антибактериальными свойствами, а также способны обеззараживать воздух.

Таким образом, урбанизация, как мировая тенденция, приводит к повышению требований к уровню строительных конструкций и материалов. Теперь недостаточно возвести здание большой этажности или большой протяженности с выразительным архитектурным фасадом. Здание должно быть экологичным и экономически эффективным на стадии эксплуатации. Поэтому все более широкое применение приобретают multifunctionальные покрытия, способные к самоочищению, или обладающие гидрофобными и обеззараживающими свойствами. Работы, приведенные в данной статье, показывают целесообразность научных изысканий в данной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. – 685 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. – 760 с.

3. Умнякова Н. П. Влияние загрязнений воздушной среды городов на конструкции вентилируемых фасадов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3. – С. 221–227.
4. Умнякова Н. П. Методика определения скорости движения частиц в воздушном потоке в конструкции вентфасада // Строительные материалы. – 2018. – № 6. – С. 4–7.
5. Артемьев Ю. М., Рябчук В. К. Введение в гетерогенный фотокатализ. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та., 1999. – 304 с.
6. Фаликман В. Р. Нанопокрyтия в современном строительстве // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 5–11.
7. Хела Р., Боднарoва Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа TiO_2 в бетоне // Строительные материалы. – 2015. – № 2. – С. 77–81.
8. Горбачев С. А., Осовская И. И. Диоксид титана. Повышение его фотокаталитической активности. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – 24 с.
9. Лукyтцова Н. П., Постникова О. А., Соболева Г. Н., Ротарь Д. В., Оглоблина Е. В. Фотокаталитическое покрытие на основе добавки нанодисперсного диоксида титана // Строительные материалы. – 2015. – № 11. – С. 5–8.
10. Chudakova O. A., Lukutcova N. P., Hotchenkov P. V. Nanoparticles of titanium dioxide in the conditions of various stabilizers. Problems of innovative biospherecompatible social and economic development in the construction, housing and communal and road complex // Proceedings of the 2-nd International Scientific and Practical Conference. – Brjansk: BGITA, 2010. – Vol. 1. – Pp. 273–278.
11. Лабyзова М. В., Губарева Е. Н., Огурцова Ю. Н., Строкова В. В. Использование фотокаталитического композиционного материала в цементной системе // Строительные материалы. – 2019. – № 5. – С. 16–21.
12. Xuan Wang, Weihua Ao, Sijia Sun, Han Zhang, Run Zhou, Yangzi Li, Jie Wang, Hao Ding Tunable Adhesive Self-Cleaning Coating with Superhydrophobicity and Photocatalytic Activity [Электронный ресурс] // Nanomaterials. – 2021. – Vol. 11. – Is. 6. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/nano11061486> (дата обращения 07.03.2023).
13. Andaloroa A., Mazzucchellia E. S., Lucchinia A., Pedeferrib M. P. Photocatalytic self-cleaning coatings for building facade maintenance. Performance analysis through a case-study application // Journal of Facade Design and Engineering. – 2016. – No. 4. – Pp. 115–129.
14. Спирин И. П., Низин Д. Р., Низина Т. А., Орлова Я. А. Перспективы использования самоочищающихся фотокаталитических покрытий для защиты строительных конструкций зданий и сооружений // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы XVII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В. И. Калашникова

(26-28.10.2022). – Пенза, 2022. – С. 91–95.

15. Mercedes Sharon Vega Mendoza Desarrollo de recubrimientos fotoactivos fabricados a partir de heteroestructuras α - β - $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ y materiales cementantes alternativos: Maestría thesis [Электронный ресурс]. – Universidad Autónoma de Nuevo León, 2020. – 112 p. – Режим доступа: <http://eprints.uanl.mx/21990/>(дата обращения 07.03.2023).