

УДК 69.001.5

**ФАЛИКМАН Вячеслав Рувимович**, д-р материаловедения, академик Российской инженерной академии, профессор ФГБОУ ВПО «МГСУ»; Газетный пер. 9, стр. 4, г. Москва, Россия, 125009, [vfalikman@yandex.ru](mailto:vfalikman@yandex.ru);

**ВАЙНЕР Александр Яковлевич**, д-р хим. наук, консультант, Научно-исследовательский центр «Строительство»; 2-я Институтская ул., д. 6, г. Москва, Россия, 109428

## НОВЫЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ НАНОДОБАВКИ ДЛЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ БЕТОНОВ: СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ

Нанотехнологии открывают широкие перспективы для создания фотокатализаторов, которые все чаще находят применение для решения проблем защиты окружающей среды. Их поведение прямо связано с уникальными физико-химическими свойствами, которые обусловлены квантово-размерными эффектами, а также большой удельной поверхностью.

Известно, что всё более заметным становится присутствие фотокатализаторов в строительном сегменте наноматериалов. Одним из знаковых достижений последних лет является получение фотокаталитически активных цементных композитов, в том числе цементов и бетонов, изготавливаемых с использованием наночастиц диоксида титана  $\text{TiO}_2$ . Они получили широкое практическое распространение при производстве самоочищающихся конструкций и обеспечении чистоты воздушного бассейна мегаполисов.

Весьма актуальными представляются дальнейшие исследования по созданию новых высокоэффективных фотокатализаторов на основе наночастиц  $\text{TiO}_2$ , которые смогли бы существенным образом повысить технические характеристики фотокаталитических цементов и бетонов.

В работе предложен усовершенствованный способ получения фотокатализаторов на основе наночастиц  $\text{TiO}_2$ , нанесенных на различные инертные носители с развитой удельной поверхностью, включая нанодиоксид кремния. Впервые показана возможность использования таких продуктов в качестве высокоэффективных фотокатализаторов в составе цементных и гипсоцементных систем для конверсии оксидов азота и летучих органических веществ. Установлено, что эффективность синтезированных образцов в 1,5...3,0 раза выше, чем у коммерческого образца фотокаталитического нанодиоксида титана.

Применение равновесной механической смеси нанодиоксида титана и инертного носителя менее эффективно и, в целом, подчиняется закону «разбавления».

**Ключевые слова:** диоксид титана, наночастицы, инертный носитель, фотокаталитические свойства, цементные строительные материалы, загрязнители.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28)

**Н**анотехнологии открывают широкие перспективы для создания нанокатализаторов, которые все чаще находят применение для решения проблем защиты окружающей среды. Их поведение прямо связано с уникальными физико-химическими свойствами, которые обусловлены квантово-размерными эффектами, а также большой удельной поверхностью [1]. В частности, все более заметным становится присутствие фотокатализаторов в строительном сегменте наноматериалов [2]. Одним из знаковых достижений последних лет являются фотокаталитически активные цементные композиты, в том числе цементы и бетон, приготовленные с использованием наночастиц диоксида титана  $\text{TiO}_2$ . Например, широкое практическое распространение при производстве самоочищающегося бетона и улучшении экологии мегаполисов нашли фотокаталитические цементы TX Active производства Italcementi, Tio Cem производства Heidelberg Cement и другие продукты [3].

В связи с вышеизложенным представляются весьма актуальными дальнейшие исследования по созданию новых высокоэффективных фотокатализаторов на основе наночастиц  $\text{TiO}_2$ , которые смогли бы существенно образом повысить технические характеристики фотокаталитических цементов и бетонов.

Недавно мы показали возможность использования наночастиц анатазного мезопористого  $\text{TiO}_2$  с высокой удельной поверхностью порядка  $300 \text{ м}^2/\text{г}$  в составе цементных, гипсовых и гипсоцементных композитов (бетонов, растворов, красок) для реализации процесса конверсии оксидов азота и летучих органических веществ (ЛОВ). При этом было установлено, что эффективность синтезированных мезопористых наночастиц  $\text{TiO}_2$  в 1,5...1,7 раз выше, чем у коммерческого образца нанодиоксида титана [4, 5].

В развитие наших уже упомянутых предыдущих работ в области фотокаталитически активных строительных материалов нами разработан синтез новых фотокатализаторов на основе наночастиц  $\text{TiO}_2$ , размещенных на наноразмерных инертных носителях. Параллельно были исследованы их фотокаталитические свойства в контексте защиты

окружающей среды, как в модельных опытах, так и на примере конкретных цементных композитов.

Выбор подобных объектов для исследования был продиктован следующими обстоятельствами. Скорость инициирования гетерогенных реакций на полупроводниковых частицах обычно зависит от концентрации участвующего в процессе вещества, причем, чем меньше концентрация последнего, тем меньше скорость реакции. Это особенно четко прослеживается в случае использования фотокатализаторов на основе наночастиц  $\text{TiO}_2$ . Так, было показано, что нанесение подобных наночастиц на инертные наноразмерные подложки, способные адсорбировать то или иное вещество, существенно увеличивает скорость фоторазложения поглощенного вещества [6].

В качестве инертных подложек для слоя наноразмерного  $\text{TiO}_2$  были использованы: диоксид кремния  $\text{SiO}_2$  марки 200CF (Japan Aerosil), активированный углерод (Wako Pure Chemicals), морденит марки TSZ-640NAA (Tozoh), цеолит X-типа марки Zeolum (Tozoh).

Еще один адсорбент, мезопористый диоксид кремния  $\text{SiO}_2$  (шифр МДК-15), был синтезирован в работе по адаптированной методике [7]. Для этого тетраэтилортосиликат гидролизовали в реакционной смеси, куда входили: темплат Pluronic P-123 производства BASF (коммерческий триблочный сополимер EO20PO20EO20 с молекулярной массой  $M_{\text{cp}} = 5800$ , состоящий из звеньев оксида этилена и оксида пропилена), мезитилен в качестве агента набухания, хлорид калия KCl и соляная кислота. Темплат удаляли при кальцинировании полученного золя при  $550^\circ\text{C}$  в течение 5 часов. В процессе синтеза были получены мезопористые сферические частицы  $\text{SiO}_2$  с диаметром 6 мкм, удельной поверхностью  $700 \text{ м}^2/\text{г}$  и размером пор 9 нм.

Нанесение слоя  $\text{TiO}_2$  на инертные сорбенты осуществляли следующим образом. 3,7 мл тетраизопропилата титана добавляли по каплям к 15 мл 1 М водного раствора  $\text{HNO}_3$ , затем смесь перемешивали 2 часа, получая прозрачный золь  $\text{TiO}_2$ . Водородный показатель полученного коллоидного раствора после его предварительного разбавления 50 мл дистиллированной воды доводили до значения  $\text{pH} = 3$ , добавляя 1 М раствор NaOH. Затем в полученный коллоид вводили соответствующее количество адсорбента, полученную суспензию перемешивали при комнатной температуре в течение 1 часа, центрифугировали и промывали осадок дистиллированной водой. Операцию центрифугирования

и промывки повторяли несколько раз до достижения рН верхнего слоя нейтрального значения. Адсорбент со слоем  $\text{TiO}_2$  после этого отделяли фильтрацией и сушили катализатор в вакууме, после чего подвергали его термообработке при  $300^\circ\text{C}$  в течение 1 часа. Количество  $\text{TiO}_2$ , нанесенного на адсорбент, определяли колориметрически, используя натриевые производные 1,2-дигидроксибензол-3,5-дисульфонов в качестве комплексообразующего агента [6].

Нанодиоксид титана был приготовлен по вышеописанной методике, за исключением стадии добавления адсорбента.

Полученные катализаторы были охарактеризованы с применением методик, описанных ранее [4]. Так, их удельную поверхность  $S_{\text{БЭТ}}$  (табл. 1) определяли по традиционной методике термодесорбции аргона по четырем точкам сорбционного равновесия на приборе «СОРБИ-М» фирмы «МЕТА» (Россия). Рентгенофазовый анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН-3 (Россия) с монохроматизированным  $\text{Cu K}_\alpha$ -излучением. Размеры областей когерентного рассеяния анатазной и рутильной фазы определяли по формуле Шеррера по полуширине дифракционных отражений анатаза (101) и рутила (110). Следует отметить, что синтезированный нанодиоксид титана и  $\text{TiO}_2$ , нанесенный на адсорбент, во всех изученных случаях характеризуются наличием только анатазной

Таблица 1

## Удельная поверхность адсорбентов и катализаторов

Адсорбент	$S_{\text{БЭТ}}, \text{ м}^2/\text{г}$	$S_{\text{БЭТ}}^*$ адсорбента со слоем $\text{TiO}_2, \text{ м}^2/\text{г}$	Рассчитанная** $S_{\text{БЭТ}}$ смеси $\text{TiO}_2$ и адсорбента, $\text{ м}^2/\text{г}$
$\text{TiO}_2$	178	–	–
Zeolum	548	367	381
$\text{SiO}_2$	200	228	189
Морденит	375	293	277
Активированный углерод	1130	623	654
МДК-15	700	548	562

\* – Содержание  $\text{TiO}_2$  – 53% массы адсорбента;

\*\* – Смесь  $\text{TiO}_2$  и адсорбента в соотношении 1:1 по массе.

модификации. Кроме того, проведенный методом электронной сканирующей микроскопии с использованием микроскопа Hitachi S-4700 (Япония) анализ полученных образцов показал, что частицы  $\text{TiO}_2$  распределены на поверхности всех адсорбентов очень однородно.

Для предварительной оценки фотокаталитической эффективности синтезированных образцов по сравнению с промышленным нанодиоксидом титана марки P 25 производства компании Evonik Degussa GmbH (Германия) и ранее полученным нами мезопористым образцом фотокатализатора с шифром  $\text{TiO}_2$ -45 [4] использовали методику [8], основанную на разложении водного раствора красителя «Родамин 6G» (табл. 2).

Таблица 2

Оценка эффективности образцов фотокатализаторов

Образец	$S_{\text{БЭТ}}$ , м <sup>2</sup> /г	k, мин <sup>-1</sup>
P 25	51	0,017
$\text{TiO}_2$ – 45	284	0,029
$\text{TiO}_2$ – Zeolum	367	0,034
$\text{TiO}_2$ – $\text{SiO}_2$	228	0,035
$\text{TiO}_2$ – морденит	293	0,032
$\text{TiO}_2$ – активированный уголь	623	0,043
$\text{TiO}_2$ – МДК-15	548	0,054

Эксперименты проводили в стеклянном реакторе (стакан с широким горлом) объемом 150 мл, снабженном магнитной мешалкой со скоростью вращения 500 об/мин и УФ-лампой Sylvania BLB (США) с диапазоном излучения 315–400 нм мощностью 18 Вт, которую помещали непосредственно под раствором на расстоянии 15 см от образца. Измеренная интенсивность света составляла  $5 \times 10^{-5}$  Вт/см<sup>2</sup>. Для осуществления фотокаталитической реакции к 40 мл раствора красителя с концентрацией 10 мг/л добавляли 0,1 г  $\text{TiO}_2$ . Изменение концентрации красителя фиксировали фотометрически на полосе  $\lambda = 530$  нм на спектрометре UniCam 8700 (Голландия).

Можно полагать, что фотокаталитическое разложение «Родамина 6G» подчиняется уравнению реакции первого порядка:

$$\ln \left( \frac{A_0}{A} \right) = kt, \quad (1)$$

где  $A_0$  – начальное поглощение красителя;  $A$  – поглощение красителя через время  $t$ ;  $k$  – константа скорости реакции.

Скорость фотокаталитического разложения «Родамина 6G» при использовании катализатора  $\text{TiO}_2$  – МДК-15 более, чем в 3 раза превышает скорость его исчезновения в присутствии фотокатализатора Р 25. Так, в первом случае краситель в условиях указанного эксперимента разлагается полностью примерно за 6 мин, а во втором – через 40 мин.

Эффективность полученных фотокатализаторов в цементных системах применительно к деградации оксидов азота проводили с учетом стандарта ISO 22197-1:2007 [9], рекомендаций рабочей группы WG 33 ISO 206/SCN и по методикам работы [4]. Исходное содержание оксида азота в воздухе составляло 1 ppm при относительной влажности воздуха 50%, температуре 25°C и скорости воздушного потока 3 л/мин. Интенсивность освещения при этом была равна 10 Вт/м<sup>2</sup> при полихроматическом облучении с диапазоном волн 300...400 нм и максимумом испускания 365 нм. Продолжительность облучения составляла 30 мин. Контроль содержания NO в воздушной смеси вели с использованием газоанализатора MX6 Multi-Gas Monitor фирмы ISC (США).

При исследовании цементосодержащих составов с фотокатализаторами использовали портландцемент класса ЦЕМ I 42,5 по ГОСТ 31108 Белгородского цементного завода с нормируемым химическим составом (ПЦ 500 Д0). Фактическая активность всех проб цемента соответствовала классу и составляла более 50 МПа при испытаниях в стандартном растворе по ГОСТ 310.4. В качестве крупного заполнителя использовался щебень из изверженных пород (гранитный) карьера «Лобское» (Республика Карелия) фракции 5–10 мм по ГОСТ 8267. В качестве мелкого заполнителя для приготовления бетона и растворов использовался кварцевый песок Мансуровского месторождения с  $M_{кр} = 2,5$  (насыпная плотность 1632 кг/м<sup>3</sup>), удовлетворяющий требованиям ГОСТ 22263. Состав бетона назначали с учетом требований ГОСТ 27006 и ГОСТ 30459, строительных растворов – с учетом требований ГОСТ 28013. Дозировка  $\text{TiO}_2$ , как правило, составляла 5% массы цемента в расчете на содержание в фотокатализаторе  $\text{TiO}_2$ .

Синтезированные в работе фотокатализаторы на основе  $\text{TiO}_2$  показали значительно более высокую эффективность превращения NO по

сравнению с классическим коммерческим продуктом Р 25 и полученным ранее  $\text{TiO}_2 - 45$  (табл. 3).

Можно заметить, что эффективность фотопревращения NO несколько уменьшается с возрастом образцов бетона, что, скорее всего, связано с протеканием в цементной матрице процессов гидратации и частичной карбонизации, причем в случае коммерческого образца  $\text{TiO}_2 - \text{P} 25$  эти различия минимальны. Вместе с тем, в присутствии нового катализатора  $\text{TiO}_2 - \text{МДК-15}$  скорость конверсии максимальна.

Высокая активность синтезированных фотокатализаторов была подтверждена при разложении летучих органических соединений (ЛОВ) – паров бензина и ацетона, причем в качестве матрицы для фотокатализаторов использовали штукатурные растворы и цементные краски.

В процессе измерений по стандартной газохроматографической методике определяли изменение содержания загрязнителей на поверхности образца, облучаемого «мягким» ультрафиолетом [4]. В экспериментах использовали цилиндрические образцы диаметром 15 см и высотой 5 см, покрытые цементной краской или штукатурным раствором с содержанием фотокатализатора  $\text{TiO}_2 - \text{МДК-15}$  1,9 ... 3,8% (в расчете на  $\text{TiO}_2$ ). Анализировали газоздушные смеси, содержащие атмосферный воздух и пары загрязнителя при концентрации последнего  $5 \times 10^{-4}$  г/л. Скорость потока составляла 1,1 л/мин, относительная влажность – 64%, продолжительность фотокаталитической реакции в каждом экс-

Таблица 3

Сравнительная оценка фотокаталитической эффективности  $\text{TiO}_2$  в бетонах на портландцементе при конверсии NO

Катализатор	Время выдерживания бетона, сут	Конверсия NO, %
P 25	3	25
	7	24
	28	23
$\text{TiO}_2 - 45$	3	42
	7	39
	28	35
$\text{TiO}_2 - \text{МДК-15}$	3	62
	7	57
	28	51

перименте – 6 часов. «Свободная» емкость реакционной камеры – 1,3 л. Экспонирование проводили при интенсивности освещения 10 Вт/м<sup>2</sup>. Температура поверхности образца – 26°C.

Предварительные эксперименты по оптимизации концентрации фотокатализатора в изученных образцах показали, что фотокаталитическая активность наночастиц TiO<sub>2</sub> – МДК-15 растет с увеличением их содержания в цементных композитах до 3,8%, после чего она стабилизируется. Так, образцы штукатурных растворов при содержании TiO<sub>2</sub> – МДК-15 1,9% и 3,8% позволяют реализовать в указанных выше условиях разложение бензина на 52,3% и 73,2%, соответственно. Введение синтезированных продуктов в цементные матрицы взамен коммерческого Р 25 повышает скорость разложения использованных ЛОВ в 1,5...2,1 раза.

Что касается паров ацетона в воздушной среде, то штукатурные растворы, содержащие 2,2% TiO<sub>2</sub>, нанесенного на инертный носитель, обеспечивают за 2 часа экспозиции степень конверсии 78%, что в 1,9 раз больше, чем при использовании Р 25.

Таким образом, предложен усовершенствованный способ получения фотокатализаторов на основе наночастиц TiO<sub>2</sub>, нанесенных на инертные носители с высокой удельной поверхностью. Впервые показана возможность использования подобных продуктов в качестве высокоэффективных фотокатализаторов в составе цементных и гипсоцементных композитов для конверсии оксидов азота и летучих органических веществ. Рассмотрено влияние различных физико-химических факторов на фотокаталитические процессы разложения. Установлено, что эффективность синтезированных образцов в 1,5...3,0 раза выше, чем у коммерческого образца нанодиоксида титана. Важно отметить, что, как было показано в параллельных опытах, применение равновесной механической смеси нанодиоксида титана и инертного носителя менее эффективно и в целом подчиняется закону «разбавления».

---

### **Библиографический список:**

1. Yang J., Chen Ch., Ji H., Ma W., Zhao J. Mechanism of TiO<sub>2</sub>-Assisted Photocatalytic Degradation of Dyes under Visible Irradiation: Photoelectrocatalytic Study by TiO<sub>2</sub>-Film Electrodes // J. Phys. Chem. B, 2005, 109 (46), pp. 21900–21907.

2. *Фаликман В.Р., Вайнер А.Я.* Фотокаталитически активные строительные материалы с наночастицами диоксида титана – новая концепция улучшения экологии мегаполисов // Вопросы применения нанотехнологий в строительстве: Сб. докл. участников круглого стола. – М.: МГСУ, 2009. – С. 35–49.
3. *Cassar L., Beeldens A., Pimpinelli N., Guerrini G. L.* Photocatalysis of cementitious materials // International RILEM Symposium on Photocatalysis, Environment and Construction Materials. 2007, pp. 131–145.
4. *Falikman V., Vajner A., Zverev I.* New photocatalytic cementitious composites containing modified titanium dioxide nanoparticles // Proceedings of the 3rd Int. Symposium on High Performance Concrete and Nanotechnology for High Performance Construction Materials (Hipermat), 7–9 March 2012, Kassel, Germany, pp. 147–152.
5. *Фаликман В.Р., Вайнер А.Я.* Фотокаталитические цементные композиты, содержащие мезопористые наночастицы диоксида титана // Нанотехнологии в строительстве. – Том 6, № 1. – С. 14–26. – URL: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU/](http://nanobuild.ru/ru_RU/) (дата обращения: 25.12.2014).
6. *Takeda N., Torimoto Ts., Sampath S., Kuwabata S., Yoneyama H.* Effect of Inert Supports for Titanium Dioxide Loading on Enhancement of Photodecomposition Rate of Gaseous Propionaldehyde // J. Phys. Chem., 1995, v. 99, № 24, pp. 9986–9991.
7. *Schlossbauer A., Schaffert D., Kecht J., Wagner E., Bein Th.* Click Chemistry for High-Density Bio-functionalization of Mesoporous Silica // J. Am. Chem. Soc., 2008, 130 (38), pp. 12558–12559.
8. *Beyers E., Cool P., Vansant E.F.* Anatase formation during the synthesis of mesoporous titania and its photocatalytic effect // J. Phys. Chem. B. 2005. V. 109 №20, pp. 10081–10086.
9. ISO 22197-1:2007 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials – Part 1: Removal of nitric oxide.

**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛА ДАННОЙ СТАТЬИ  
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:**

*Фаликман В.Р., Вайнер А.Я.* Новые высокоэффективные нанодобавки для фотокаталитических бетонов: синтез и исследование // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 1. – С. 18–28. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28).

**DEAR COLLEAGUES!**

**THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

*Falikman V., Vajner A.* New high performance nanoadditives for photocatalytic concrete: synthesis and study. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 1, pp. 18–28. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28).

UDC 69.001.5

**FALIKMAN Vyacheslav Ruvimovich**, Doct. of Mat. Sci., Full member of Russian Engineering Academy, Professor of MSUCE; bld. 4, Gazetny per. 9, 125009, Russia, Moscow, [vfalikman@yandex.ru](mailto:vfalikman@yandex.ru)

**VAINER Alexander Yakovlevich**, Doct. of Chem., Consultant, Scientific Research Center «Construction»; 61, Ryazansky Prospect, 109428, Russia, Moscow

---

## NEW HIGH PERFORMANCE NANOADDITIVES FOR PHOTOCATALYTIC CONCRETE: SYNTHESIS AND STUDY

---

Nanotechnologies open up broad prospects for the creation of nanocatalysts, which are being more and more used in solving many problems associated with the protection of environment. Their behavior is directly related to the unique physical and chemical properties that are provided by quantum size effects, as well as the large specific surface area.

It is known that the presence of photo catalysts in the construction segment of nanomaterials is becoming more prominent. One of the most significant achievements of the last years are photo catalytic active cement composites, including cements and concretes produced with the use of nanoparticles of titanium dioxide  $\text{TiO}_2$  sensibilized through a nanotechnology. Currently they are widely used in practice to produce self-cleaning structures and to make clean an air of megacities.

Further research in the field of development of new high-performance photo catalysts based on  $\text{TiO}_2$  nanoparticles seems to be very relevant, because such R&D could significantly improve the technical characteristics of photo catalytic cements and concrete.

In this paper an improved method to produce photo catalysts has been proposed. New synthesized products are based on  $\text{TiO}_2$  nanoparticles applied on different inert carriers, including nanosilica. It was showed that these products can be used as a high performance photo catalyst in cement and cement-gypsum composites suitable for the conversion processes of nitric oxide and volatile organic substances, and air purification. It was determined that performance of the cementitious composites containing synthesized samples is 1,5...3,0 times higher than that for the commercial sample of the nanotitanium dioxide.

The use of mechanical mixture of nanotitanium dioxide and inert supports is less effective and subjected to the «dilution law», in general.

**Key words:** titanium dioxide, nanoparticles, inert support, photo catalytic properties, cementitious building materials, pollutants.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28)

## References:

1. Yang J., Chen Ch., Ji H., Ma W., Zhao J. Mechanism of TiO<sub>2</sub>-Assisted Photocatalytic Degradation of Dyes under Visible Irradiation: Photoelectrocatalytic Study by TiO<sub>2</sub>-Film Electrodes. *J. Phys. Chem. B*, 2005, 109 (46), pp. 21900–21907.
2. Falikman V.R., Vainer A.Y. Fotokataliticheski aktivnye stroitel'nye materialy s nanochasticami dioksida titana – novaja koncepcija uluchsheniya jekologii megapolisov [Photocatalytically active building materials with nanoparticles of titanium dioxide – a new concept to improve the ecology of big cities]. *Voprosy primeneniya nanotekhnologij v stroitel'stve: Cb. dokl. uchastnikov kruglogo stola* [The problems of implementation of nanotechnologies in construction: proc. of the round table]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, 2009. pp. 35–49.
3. Cassar L., Beeldens A., Pimpinelli N., Guerrini G.L. Photocatalysis of cementitious materials. *International RILEM Symposium on Photocatalysis, Environment and Construction Materials*. 2007, pp. 131–145.
4. Falikman V., Vajner A., Zverev I. New photocatalytic cementitious composites containing modified titanium dioxide nanoparticles. *Proceedings of the 3rd Int. Symposium on High Performance Concrete and Nanotechnology for High Performance Construction Materials (Hipermat)*, 7–9 March 2012, Kassel, Germany, pp. 147–152.
5. Falikman V.R., Vainer A.Y. Photocatalytic cementitious composites containing mesoporous titanium dioxide nanoparticles. *Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2014, Vol. 6, no. 1, pp. 14–26. Available at: [http://nanobuild.ru/en\\_EN/](http://nanobuild.ru/en_EN/) (date of access: 25.12.14). (In Russian).
6. Takeda N., Torimoto Ts., Sampath S., Kuwabata S., Yoneyama H. Effect of Inert Supports for Titanium Dioxide Loading on Enhancement of Photodecomposition Rate of Gaseous Propionaldehyde. *J. Phys. Chem.*, 1995, v. 99, № 24, pp. 9986–9991.
7. Schlossbauer A., Schaffert D., Kecht J., Wagner E., Bein Th. Click Chemistry for High-Density Bio-functionalization of Mesoporous Silica. *J. Am. Chem. Soc.*, 2008, 130 (38), pp. 12558–12559.
8. Beyers E., Cool P., Vansant E.F. Anatase formation during the synthesis of mesoporous titania and its photocatalytic effect. *J. Phys. Chem. B*. 2005. V. 109 № 20, pp. 10081–10086.
9. ISO 22197-1:2007 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials – Part 1: Removal of nitric oxide.

### DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

*Falikman V., Vajner A.* New high performance nanoadditives for photocatalytic concrete: synthesis and study. *Nanotekhnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2015, Vol. 7, no. 1, pp. 18–28. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-18-28).