

Н.Н. ФОМИНА¹, А.Р. ИСМАГИЛОВ¹, В.Г. ФОМИН¹¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

ДИСПЕРСНОСТЬ ПИГМЕНТНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА

Аннотация. Критерием, позволяющим оценить качество пигмента, может быть развернутая характеристика его дисперсности. Исследованы параметры дисперсности двух марок пигментного диоксида титана: из дорогого и доступного ценовых диапазонов. Применялся метод лазерной дифракции.

Установлено, что большая часть массы (объема) частиц исследованных пигментов имеет размеры вне эффективного с точки зрения рассеивающей способности диапазона. Пигменты имеют близкое количество частиц с размерами в эффективном диапазоне (в интервале 0,19-0,25 мкм). Наивероятнейший размер частиц более дешевого пигмента соответствует области оптимального размера частиц, а у дорогостоящего пигмента - ниже оптимальных значений. В обоих исследованных марках пигмента присутствуют наночастицы размерами менее 115 нм. Их объемное (или массовое) содержание не менее 1,5%; или не менее 7% от общей удельной поверхности всех частиц пигмента. Необходимы исследования зависимостей долговечности пигментированных лакокрасочных покрытий от наличия и содержания наноразмерных частиц.

Ключевые слова: пигментный диоксид титана, лазерная дифракция, дисперсность, рассеивающая способность, средний размер частиц.

N.N. FOMINA¹, A.R. ISMAGILOV¹, V.G. FOMIN¹¹ Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia

TITANIUM PIGMENT DIOXIDE DISPERSITY

Abstract. The criterion for assessing the quality of the pigment may be a detailed characteristic of its dispersion. The dispersion parameters of two grades of pigment titanium dioxide were studied: from an expensive and affordable price range. The method of laser diffraction was used.

It has been established that most of the mass (volume) of particles of the studied pigments has sizes outside the effective range from the point of view of scattering power. Pigments have a close number of particles with sizes in the effective range (in the range of 0.19-0.25 microns). The most probable particle size of the cheaper pigment corresponds to the region of the optimum particle size, while that of the expensive pigment is below the optimal values. In both investigated brands of pigment there are nanoparticles with sizes less than 115 nm. Their volumetric (or mass) content is not less than 1.5%; or at least 7% of the total specific surface area of all pigment particles. Studies are needed on the dependences of the durability of pigmented coatings on the presence and content of nanosized particles.

Keywords: pigment titanium dioxide, laser diffraction, dispersion, scattering power, average particle size.

1 Введение

Диоксид титана, предназначенный для пигментирования лакокрасочных материалов, выпускается промышленностью в виде микродисперсных порошков, различающихся содержанием основного компонента (TiO₂ рутильной модификации), наличием или отсутствием поверхностной обработки, степенью белизны, укрывистостью, разбеливающей способностью и рядом других параметров. Одной из важнейших характеристик пигментного диоксида титана является его дисперсность, которая указывается производителями или через наибольший и средний размеры частиц в мкм, или через остаток на сите с ячейкой 0,045 мм в процентах (по ГОСТ 9808). Производители лакокрасочных материалов при выборе белого пигмента принимают во внимание само наличие технической документации на него, а не на

значения перечисленных технических параметров, так как уровень их близок у разных производителей. Решение о выборе того или иного пигмента, в большинстве случаев, основывается на балансе между стоимостью, брендом и степенью доверия к нему, а также сложившимися отношениями между производителями пигмента и краски.

В результате, зачастую складывается такая ситуация, что в рядовую интерьерную краску вводится высококачественный пигмент, хотя и не предполагается длительной эксплуатации самого лакокрасочного покрытия, т.к. интерьер достаточно быстро морально устаревает. Бывает и обратная ситуация, когда в попытке сэкономить, в фасадную краску (например, для получения покрытий в системе «мокрых» фасадов) вводится низкокачественный пигмент. Декоративно-защитные свойства покрытий быстро ухудшаются, а ремонт фасадных систем обходится несоизмеримо дороже.

Необходимы критерии, позволяющие оценить качество пигмента, помимо доверия к бренду и вере «на слово» производителю. Таким критерием может быть развернутая характеристика дисперсности пигмента, т.к. именно она во многом определяет и реологию композиции, и укрывистость краски, и декоративные свойства и долговечность покрытия [1-5].

Представленная работа нацеливалась на исследование параметров дисперсности пигментного диоксида титана и анализе взаимосвязи этих параметров со свойствами лакокрасочных композиций и покрытий.

2 Методы

Пигментный диоксид титана представлен на российском рынке такими брендами, как Ti-Pure, Tiona, Tioxide, Kronos, Kemira, Lomon, TiOx и др. Пигмент получают переработкой по сульфатному или хлоридному способу титансодержащих минералов и руд.

В исследовании использовались две марки пигментов из различных ценовых диапазонов: в дорогом – $\text{TiO}_2\text{№1}$, в доступном - $\text{TiO}_2\text{№2}$. Оба образца, по данным производителей, имеют поверхностную неорганическую (Al_2O_3 и SiO_2) и органическую обработку. Дисперсность для $\text{TiO}_2\text{№1}$ указана производителем через средний размер частиц и составляет 0,2 мкм, а для $\text{TiO}_2\text{№2}$ - через остаток на сите с ячейкой 0,045 мм и составляет не более 0,003%. Из порошков пигментов приготавливались навески на аналитических весах.

Параметры дисперсности определялись с помощью метода лазерной дифракции, который в соответствии с ГОСТ Р 55723 рекомендован для анализа частиц диаметром более 40 нм, имеющих близкую к сферической форму. Исследование проводилось с помощью лазерного анализатора Horiba LA 300 (диапазон измерения частиц от 100 нм до 600 мкм). В качестве источника света использовался лазерный диод с длиной волны 650 нм. Расчет распределения частиц по размерам осуществлялся по измеренной зависимости интенсивности рассеянного излучения от угла рассеяния. Количество повторов составляло 30 измерений на каждый образец.

Подготовка образцов пигментов проводилась диспергированием в дистиллированной воде. Фиксировалось начальное распределение частиц (сразу после перемешивания в воде), а затем после с кратковременного (в течение 2...3 мин) ультразвукового (УЗ) воздействия, т.е. после стабилизации гистограммы рассеяния.

3 Результаты и обсуждение

Математическая обработка экспериментальных данных представлена в таблице 1. Рассчитаны:

- Суммарный процент частиц условно нанометрового диапазона (частицы размерами менее 0,115 мкм) (столбец 2);
- Суммарный процент частиц с оптимальными размерами с точки зрения рассеивающей способности (частицы размерами в диапазоне 0,197-0,259 мкм) (столбец 4);
- Средний размер частиц, с учетом неидеальности их геометрической формы, определяемый программным обеспечением прибора (приведено до скобок в столбце

- 7); также математическое ожидание среднего размера частиц, с предположением их идеальной шарообразной формы (приведено в скобках в столбце 7);
- Медиана, т.е. значение размера частиц, которое разделяет распределение точно на две равные части - 50% частиц меньше этого размера, а 50% - больше (столбец 8);
 - Мода, т.е. значение размера частиц, который в представлен в наибольшем количестве - максимальная точка кривой распределения, другими словами, вероятнейший размер частиц (значение, рассчитанное программным обеспечением прибора, приведено до скобок в столбце 9; там же в скобках приведены значения в соответствии с гистограммой распределения, причем, для бимодальных гистограмм указаны две максимальные точки);
 - Количество агломерированных частиц (столбец 10), которое рассчитывалось для гистограмм бимодального распределения, суммированием общего количества частиц с размерами, соответствующими правому максимуму на гистограмме распределения.

Обращаем внимание, что под процентным количеством частиц в этой работе мы будем иметь ввиду процент объема (или массы, так как плотность частиц в нашем случае - величина постоянная) частиц, по отношению к общему объему (массе).

Таблица 1 - Анализ распределения частиц по размерам

Вид пигмента и наличие диспергирующего воздействия	Количество частиц размерами, мкм, в % от общего объема (массы)					Среднее значение (мат. ожидание), мкм	Медиана, мкм	Мода, мкм	Агломераты, % от общего объема (массы)
	Менее 1,0				1,005-10,0				
	Менее 0,115	0,115- 0,197	0,197- 0,259	0,259- 1,005					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TiO ₂ №1, начальное (бимодальная гистограмма)	2,8	19,5	5,9	43,9	27,9	0,726 (0,777)	0,688	0,941 (0,150 и 1,005)	65,0
TiO ₂ №1, после УЗ воздействия	3,7	31,2	14,8	47,7	2,6	0,351 (0,375)	0,260	0,141 (0,150)	-
TiO ₂ №2 начальное (бимодальная гистограмма)	1,0	11,2	4,1	36,9	46,8	1,039 (1,112)	0,957	1,0756 (0,150 и 1,151)	79,0
TiO ₂ №2, после УЗ воздействия	1,5	22,6	14,4	56,4	5,1	0,421 (0,451)	0,325	0,241 (0,259)	-

Лакокрасочное покрытие является типичным матричным композитом, в котором теоретически мы можем идентифицировать: матрицу, состоящую из полимера, дисперсные фазы минеральных частиц – наполнителя и пигмента. Также возможно наличие еще одной дисперсной газообразной фазы – воздушных пор, которые могут образовываться при повышенной склонности к пенообразованию, например, при отсутствии пеногасителя в рецептуре лакокрасочной композиции.

Падающий на лакокрасочное покрытие свет одновременно и поглощается, и рассеивается покрытием. В соответствии с классической теорией Густава Ми рассеяние света частицей, встроенной в матрицу, обусловлено отражением, преломлением и дифракцией. Величина рассеяния зависит показателя преломления частицы и матрицы, размера частицы и длины волны падающего света. Причем рассеяние максимально, когда существует большая разница в показателях преломления и когда размер частиц и длина волны света близкого (но не равного) размера [6-8 и др.].

В структуре лакокрасочного покрытия полимерная матрица имеет показатель преломления, близкий к 1,5. У частиц дисперсных фаз показатели преломления следующие: у наполнителя - в интервале 1,45-1,75, у пигментного диоксида титана - 2,7 (для рутильной модификации), у воздушных пор – близкий к 1,0. Соответственно, рассеяние света в

покрытии обеспечивается преимущественно частицами пигмента. Дисперсность последнего во многом определяет величину рассеяния [1-5].

Полидисперсность. Полученные нами экспериментальные результаты свидетельствуют о полидисперсности исследованных пигментов, что согласуется с [2]. В то же время имеются данные, полученные при помощи электронной микроскопии [6], об узком диапазоне размеров частиц пигментного диоксида титана.

Склонность к агломерации. Рассеивающий объем пигментной частицы больше, чем ее физический объем из-за дифракционной составляющей рассеяния. Поэтому отдельные частицы, причем стоящие на некотором расстоянии друг от друга, эффективнее рассеивают свет, так как их рассеивающие объемы не перекрываются. С этой позиции очень важно, чтобы частицы пигмента были хорошо разделены, а не агломерированы [1, 6].

В нашем случае, при механическом диспергировании (перемешивании) пигментов в воде, очевидно, часть их агломерируется. При УЗ-воздействии на систему агломераты разбиваются. Функция распределения частиц пигментов на начальном этапе, без УЗ-воздействия, носит бимодальный характер, и большая часть пигмента находится в агломерированном состоянии (см. столбец 10 табл. 1). В процессе УЗ-воздействия гистограмма распределения образцов постепенно перестраивается, и функция распределения принимает уномодальный вид, а ее максимум сдвигается в область меньших размеров частиц. Если сравнивать склонность к агломерации двух исследованных пигментов между собой, то явно видна большая склонность к агломерации пигмента $\text{TiO}_2\text{№2}$.

Далее будем рассматривать полученные нами экспериментальные данные о характере распределения частиц по размерам только после УЗ-воздействия.

Средний размер частиц и % частиц в оптимальном диапазоне размеров. В научных источниках приводятся разнообразные данные о среднем размере частиц пигментного диоксида титана, что, вероятно, обусловлено различиями в исследуемых марках пигментов, а также в различных методиках исследований. Так, средний размер частиц пигментного диоксида титана, по данным [9], определенный с помощью лазерного анализатора HORIBA LA-950 (диапазон измерения от 10 нм до 3 мм), составил 8,52 мкм, а после УЗ диспергирования в воде в течение 5 минут – 2,04 мкм. В [10] указана дисперсность пигментного диоксида титана анатазной модификации – 0,28 мкм. Образец пигмента рутильной модификации, исследованный в [11], имеет средний диаметр частиц, измеренный методом электронной микроскопии, $0,23 \pm 0,02$ мкм.

В соответствии с полученными нами экспериментальными данными, у пигмента $\text{TiO}_2\text{№1}$ средний размер частиц 0,351 мкм против 0,2 мкм, указанных производителем. Мы ни в коей мере не опровергаем данные, указанные производителем, т.к. каждый метод определения размеров частиц основывается на измерении различных характеристик частицы: максимального или, наоборот, минимального линейного размера, объема, площади поверхности и др. Соответственно, и результаты будут разными. Очевидно, что можно сравнивать только результаты измерений, где один и тот же материал проанализирован одним и тем же методом. В нашем случае – средний размер частиц представляет собой математическое ожидание, рассчитанное с учетом естественной неидеальности формы частиц, и число 0,351 мкм в сущности говорит о том, что в среднем частицы пигмента по объему эквивалентны сфере с таким диаметром. Для пигмента $\text{TiO}_2\text{№2}$ средний размер частиц по нашим данным составляет 0,421 мкм (производителем средний размер частиц не указан).

Однако, так как мы имеем дело с пигментами, нас интересуют в первую очередь частицы, размеры которых близки к половине длины волны видимого света, потому что именно они обладают максимальной рассеивающей способностью [1, 6 и др.]. Частицы как большего, так и меньшего размера, будут менее эффективно рассеивать свет, т.е. хуже выполнять свою основную функцию. Т.к., длина волны видимого света 380-760 нм (наибольшая чувствительность глаза при 560 нм), соответственно, оптимальный размер

частиц пигментов – 0,19-0,38 мкм. В [1] указывается максимальная рассеивающая способность для частиц с размерами 0,25-0,33 мкм; в [6] – 0,25 мкм. В [6] выполнен расчет рассеивающей способности частицы пигментного диоксида титана как функции размера частицы, и приводится оптимальный размер частиц для рассеяния света – 0,25 мкм.

В нашем случае, для обоих исследованных пигментов количество частиц в этом, наиболее интересующем нас диапазоне, приблизительно равно: 14,8% - у пигмента $\text{TiO}_2\text{№1}$, 14,4% - у пигмента $\text{TiO}_2\text{№2}$. Для каждого из исследованных пигментов большая часть частиц крупнее оптимального размера, на что указывает значение медианы - 0,260 мкм - у пигмента $\text{TiO}_2\text{№1}$ и 0,325 мкм - у пигмента $\text{TiO}_2\text{№2}$. А вот вероятнейший размер частиц у пигмента $\text{TiO}_2\text{№2}$ как раз соответствует области оптимального размера частиц – значение моды для него составляет 0,241 мкм. Вероятнейший размер частиц у пигмента $\text{TiO}_2\text{№1}$ ниже оптимальных значений – 0,141 мкм.

Поэтому сам показатель среднего размера частиц, хотя и удобен для понимания, но не всегда корректно отражает оптимальность размера частиц. На наш взгляд, информативнее именно количество частиц с размерами в оптимальном диапазоне и вероятнейший размер частиц.

Наночастицы диоксида титана. Известно [1, 3, 12], что диоксид титана практически не поглощает видимый свет, но является сильным поглотителем ультрафиолетового, который лежит за пределами видимого спектра. Данный факт и обуславливает высокий показатель преломления диоксида титана в видимой области спектра. Это следует из закона аномальной дисперсии Кундта, в соответствии с которым показатель преломления материала на стороне с более короткой длиной волны сильной полосы поглощения является аномально низким, а на стороне с большей длиной волны - аномально высоким. Вследствие сильного поглощения ультрафиолета частицы диоксида титана в полимерной матрице могут вызывать фотокаталитическую деструкцию [13]. Применительно к лакокрасочному покрытию, с одной стороны, это крайне нежелательный процесс, приводящий к разрушению полимерной матрицы. С другой стороны – частицы диоксида титана, находясь в поверхностном слое покрытия и поглощая ультрафиолет, препятствуют проникновению его вглубь и защищая глубинные слои [6].

В [14-16] отмечается большая фотокаталитическая активность наночастиц диоксида титана, по сравнению с микродисперсными частицами.

В исследованных нами образцах пигментов присутствуют частицы диоксида титана нанодисперсного диапазона, размерами менее 115 нм. Их объемное (или массовое) содержание 3,7% - у пигмента $\text{TiO}_2\text{ №1}$; 1,5% - у пигмента $\text{TiO}_2\text{ №2}$. Но если рассматривать их удельную поверхность, то наночастицы пигмента $\text{TiO}_2\text{ №1}$ составят не менее 14%, а пигмента $\text{TiO}_2\text{ №2}$ – не менее 7% от общей удельной поверхности всех частиц этого пигмента. Важно отметить, что при УЗ-воздействии в процессе диспергирования пигмента в воде количество наночастиц существенно увеличивается, т.к. разбиваются не только крупные агломераты, но и все агломерированные частицы. Также следует отметить, что наночастицы могут выступать в роли разделителей микродисперсных частиц, улучшая рассеивающую способность последних. Однако, случайное распределение наночастиц малоэффективно для этих целей [6, 17].

4 Выводы

1. Исследованные пигментные марки диоксида титана полидисперсны.
2. При совмещении с водой без дополнительного диспергирующего воздействия частицы пигментов агломерируются, процент агломерированных частиц составляет не менее 65%, что зависит от качества поверхностной органической обработки, и в этом плане более дорогостоящий пигмент качественнее.
3. Большая часть массы (объема) частиц исследованных пигментов имеет размеры вне эффективного с точки зрения рассеивающей способности диапазона размеров.

4. Оба исследованных пигмента имеют близкое количество частиц с размерами в эффективном диапазоне, т.е. порядка 14,5% частиц размерами в интервале 0,19-0,25 мкм; несмотря на более низкое среднее значение размера частиц, вероятнейший размер частиц дешевого пигмента соответствует области оптимального размера частиц и составляет 0,241 мкм. Вероятнейший размер частиц у дорогостоящего пигмента ниже оптимальных значений – 0,141 мкм; необходимы исследования зависимостей укрупненности пигментов от размера частиц меньше и больше эффективного диапазона.

5. В обоих исследованных марках пигмента присутствуют наночастицы размерами менее 115 нм; при дополнительном диспергировании количество наночастиц увеличивается; необходимы исследования зависимостей долговечности лакокрасочных покрытий от их наличия и содержания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермилов П.И., Индейкин Е.А., Толмачев И.А. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы. - Л.: Химия, 1987. 200 с.
2. Мюллер Б., Пот У. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур. М.: ООО «ПэйнтМедиа», 2007. 237 с.
3. Фрейтаг В., Стойе Д. Краски, покрытия и растворители: состав, производство, свойства и анализ. Пер. с англ. Изд. 2-е перераб.; под ред. Э.Ф. Ицко. - СПб.: Профессия, 2007. 526 с.
4. Loganina V.I. Increasing the Durability of Paint and Varnish Coatings in Building Products and Construction (Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering). Woodhead Publishing, 2019. 202 p.
5. Oyarzún J.M. Pigment Processing. Physico-Chemical Principles. - Hanover: Vincentz Network, 2015. 234 p.
6. Diebold M.P. Optimizing the benefits of TiO₂ in paints // Journal of Coatings Technology and Research. 2020. Vol. 17. pp. 1-17.
7. Jacucci G., Bertolotti J., Vignolini S. Role of Anisotropy and Refractive Index in Scattering and Whiteness Optimization // Advanced Optical Materials. 2019. 1900980.
8. Liang Y., Qiao B., Wang T.J., Goa H.Yu.K. Effects of Porous Films on the Light Reflectivity of Pigmentary Titanium Dioxide Particles // Applied Surface Science. 2016. Vol. 387 (581).
9. Морозова Н.Н., Майсурадзе Н.В., Галиев И.И. Исследование влияния среды на степень диспергирования диоксида титана // Вестник технологического университета. 2017. Т.20. №6. С. 71-75.
10. Лукутцова Н.П., Постникова Н.П., Соболева Г.Н., Ротарь Д.В., Оглоблина Е.В. Фотокаталитическое покрытие на основе добавки нанодисперсного диоксида титана // Строительные материалы. 2015. №11. С. 5-7.
11. Farrokhpay S., Morris G.E., Fornasiero D. Titania Pigment Particles Dispersion in Water-Based Paint Films // Journal of Coatings Technology and Research. 2006. Vol. 3. No. 4. pp. 275-276.
12. Горощенко Я.Г. Химия титана. - Киев: Наукова думка, 1972. 415 с.
13. Андрищенко Е.А. Светостойкость лакокрасочных покрытий. - М.: Химия, 1986. 192 с.
14. Глухова О.Е., Гороховский А.В., Жуков Н.Д., Климов Б.Н., Штыков С.Н., Щёголев С.Ю. Основы наноиндустрии - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2009. 374 с.
15. Морозов А.Н., Михайличенко А.И. Исследование влияния геометрических размеров нанотрубок TiO₂ на их фотокаталитическую активность // Химическая промышленность сегодня. 2013. №10 С. 3-9.
16. Хела Р., Боднарова Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа TiO₂ в бетоне // Строительные материалы. 2015. №2. С. 77-81.
17. Diebold M.P. A Monte Carlo Determination of the Effectiveness of Nanoparticles as Spacers for Optimizing TiO₂ Opacity // Journal of Coatings Technology and Research. 2011. Vol. 8 (5). pp. 541-552.

REFERENCES

1. Ermilov P.I., Indeikin E.A., Tolmachev I.A. Pigmenty i pigmentirovannye lakokrasochnye materialy [Pigments and pigmented paints]. Leningrad: Chemistry, 1987. 200 p. (rus)
2. Myuller B., Pot U. Lakokrasochnye materialy i pokrytiya. Principy sostavleniya receptur [Paints and coatings. Recipe Guidelines] Moscow: PejntMedia, 2007. 237 p. (rus)
3. Frejtag V., Stojе D. Kraski, pokrytiya i rastvoriteli: sostav, proizvodstvo, svoystva i analiz [Paints, Coatings and Solvents: Composition, Production, Properties and Analysis]. St. Petersburg: Professiya, 2007. 526 p. (rus)
4. Loganina V.I. Increasing the Durability of Paint and Varnish Coatings in Building Products and Construction (Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering). Woodhead Publishing, 2019. 202 p.
5. Oyarzún J.M. Pigment Processing. Physico-Chemical Principles. Hanover: Vincentz Network, 2015. 234 p.
6. Diebold M.P. Optimizing the benefits of TiO₂ in paints. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2020. Vol. 17. Pp. 1-17.

7. Jacucci G., Bertolotti J., Vignolini S. Role of Anisotropy and Refractive Index in Scattering and Whiteness Optimization. *Advanced Optical Materials*. 2019. 1900980.
8. Liang Y., Qiao B., Wang T.J., Goa H.Yu.K. Effects of Porous Films on the Light Reflectivity of Pigmentary Titanium Dioxide Particles. *Applied Surface Science*. 2016. Vol. 387 (581).
9. Morozova N.N., Majsuradze N.V., Galiev I.I. Issledovanie vliyaniya sredy na stepen dis-pergirovaniya dioksida titana [Study of the influence of the medium on the degree of dispersion of titanium dioxide]. *University of Technology Herald*. 2017. Vol.20. No6. Pp. 71-75. (rus)
10. Lukutcova N.P., Postnikova N.P., Soboleva G.N., Rotar' D.V., Ogloblina E.V. Fotokatali-ticheskoe pokrytie na osnove dobavki nanodispersnogo dioksida titana [Photocatalytic coating based on the addition of nanosized titanium dioxide]. *Stroymaterialy*. 2015. No 11. Pp. 5-7. (rus)
11. Farrokhpay S., Morris G.E., Fornasiero D. Titania Pigment Particles Dispersion in Water-Based Paint Films. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2006. Vol. 3. No. 4. Pp. 275-276.
12. Goroshchenko Ya.G. Himiya titana [Chemistry of titanium]. - Kiev: Naukova dumka, 1972. 415 p. (rus)
13. Andryushchenko E.A. Svetostojkost' lakokrasochnyh pokrytij [Lightfastness of paint coatings]. Moscow: Chemistry, 1986. 192 p. (rus)
14. Gluhova O.E., Gorohovskij A.V., Zhukov N.D., Klimov B.N., Shtykov S.N., Shchyogolev S.Yu. Os-novy nanoindustrii [Nanoindustry basics]. Saratov: Saratov State University, 2009. 374 p. (rus)
15. Morozov A.N., Mihajlichenko A.I. Issledovanie vliyaniya geometricheskikh razmerov nano-trubok TiO₂ na ih fotokataliticheskuyu aktivnost' [Study of the effect of the geometric dimensions of TiO₂ nanotubes on their photocatalytic activity]. *Chemical industry today*. 2013. No10. Pp. 3-9. (rus)
16. Hela R., Bodnarova L. Issledovanie vozmozhnosti testirovaniya effektivnosti fotokata-liza TiO₂ v betone [Study of the possibility of testing the effectiveness of TiO₂ photocatalysis in concrete]. *Stroymaterialy*. 2015. No2. Pp. 77-81. (rus)
17. Diebold M.P. A Monte Carlo Determination of the Effectiveness of Nanoparticles as Spacers for Optimizing TiO₂ Opacity. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2011. Vol. 8 (5). Pp. 541-552.

Информация об авторах

Фомина Наталья Николаевна

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
г. Саратов, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии».
E-mail: fominanani@yandex.ru

Исмагилов Артур Расельевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
г. Саратов, Россия, аспирант.
E-mail: art-mill94@mail.ru

Фомин Владимир Геннадиевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
г. Саратов, Россия,
кандидат физико-математических наук, доц., доцент кафедры «Прикладная математика и системный анализ».
E-mail: foma777@rambler.ru

Information about authors

Fomina Natalya N.

Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the dep. of building materials and technology.
E-mail: fominanani@yandex.ru

Ismagilov Arthur R.

Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia,
graduate student.
E-mail: art-mill94@mail.ru

Fomin Vladimir G.

Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov, Russia,
candidate in phys.-math. sc., docent, associated prof. of the dep. of applied mathematics and systems analysis.
E-mail: foma777@rambler.ru