

УДК 666.94

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 81.09.00

Научная специальность ВАК: 2.6.17 Материаловедение (технические науки)

EDN xixwvp

DOI 10.62980/2076-0655-2024-323-332

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТОВ ВИСМУТА ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Козлова И.В.¹, Дударева М.О.¹, Сеньюшкин Д.С.¹, Сергеев М.А.¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

АННОТАЦИЯ

В России наблюдается стремительный рост объемов строительства, который по итогам 2023 года составил 110 млн 438,5 тысячи кв. м. жилья, что на 7,5% больше, чем годом ранее. Работы ведутся с применением высокотехнологичных инновационных строительных материалов, обладающих уникальными эксплуатационными свойствами, долговечностью, не вредят окружающей среде и человеку. Однако, помимо вышеперечисленных достоинств, современные строительные материалы должны быть финансово доступны, их применение не должно приводить к неоправданному удорожанию реализуемого проекта. В данной статье авторы анализируют экономическую эффективность применения полифункциональной добавки на основе оксидной системы $TiO_2-Bi_2O_3$, используемой для создания бетонных смесей, самоочищающихся цементных штукатурок, затирочных растворов для межплиточных швов, обладающих стойкостью к обрастанию микроскопическими плесневыми грибами. В результате комплекса проведенных расчетов и исследований авторы пришли к заключению, что полифункциональная добавка на основе оксидной системы $TiO_2-Bi_2O_3$ может применяться для получения широкого спектра строительных материалов и расширить их номенклатуру.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цемент, добавка, титанат висмута, штукатурка, бетонная смесь, затирочный раствор, экономическая эффективность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Козлова И.В., Дударева М.О., Сеньюшкин Д.С., Сергеев М.А. Эффективность применения полифункциональной добавки на основе титанатов висмута для цементных композиций // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, № 4. – С. 323-332, DOI 10.62980/2076-0655-2024-323-332, EDN xixwvp

Type of article - scientific article

OECD 2.05 Materials engineering

PM MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY

EDN xixwvp

DOI 10.62980/2076-0655-2024-323-332

THE EFFECTIVENESS OF USING A POLYFUNCTIONAL ADDITIVE BASED ON BISMUTH TITANATES FOR CEMENT COMPOSITIONS

Kozlova I.V.¹, Dudareva M.O.¹, Senushkin D.S.¹, Sergeev M.A.¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering

ABSTRACT

In Russia, a rapid growth in construction sphere is observed, which by the end of 2023 amounted to 110 million 438.5 thousand square meters. m. housing, which is 7.5% more than a year earlier. The construction process is carried out using high-tech innovative building materials with unique properties, durability, friendly to the environment and humans. However, in addition to the advantages, modern building materials should be financially accessible, their application should not lead to an unjustified increase in the cost of the project. In this article, the authors analyze the economic efficiency of using a polyfunctional additive based on the $TiO_2-Bi_2O_3$ oxide system in order to create concrete mixtures, self-cleaning cement plasters, grout solutions for ceramic tile resistant to fouling by microscopic mold fungi. As a result of the research, the authors concluded that a polyfunctional additive based on the $TiO_2-Bi_2O_3$ oxide system can be used to obtain a wide range of building materials.

KEY WORDS: cement, additive, bismuth titanate, plaster, concrete mixture, grout, economic efficiency

FOR CITATION: Kozlova I.V., Dudareva M.O., Senushkin D.S., Sergeev M.A. The effectiveness of using a polyfunctional additive based on bismuth titanates for cement compositions // Technique and technology of silicates. – 2024. Vol. – 31, No4. – Pp. 323 – 332, DOI 10.62980/2076-0655-2024-323-332, EDN xixwvp

ВВЕДЕНИЕ

С развитием человечества открывались и создавались различные строительные материалы. Первыми из них были природные материалы, такие как камень, древесина, песок и глина, затем были открыты неорганические вяжущие вещества. Эволюционные процессы, происходящие в науке и технике, приводят к внедрению синтетических и природных компонентов в различные строительные материалы, работающих в их структуре совместно, а не в качестве простой суперпозиции отдельных свойств применяемых добавок, что позволяет получать новые композиционные материалы с уникальными характеристиками.

Одним из наиболее востребованных, универсальных и многофункциональных строительных материалов на сегодняшний день можно назвать бетон и материалы на основе цемента, которые обладают высокими эксплуатационными характеристиками. Цемент используют на разных этапах строительства при возведении жилых и промышленных сооружений, подземных и гидротехнических конструкций, в качестве основного компонента в составе отделочных, тепло- и звукоизоляционных строительных материалов, для создания разнообразных архитектурных и дизайнерских решений и малых архитектурных форм.

Разработана широкая номенклатура различного рода модифицирующих добавок, способных эффективно влиять на физико-механические характеристики цементного камня, или придать ему новые уникальные свойства: ускорители (NaCl , Na_2SO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) [1-3] и замедлители схватывания (органические кислоты, Na_3PO_4) [4-6], пластифицирующие добавки (современные супер- и гиперпластификаторы: сульфированные нафталинформальдегиды, сульфированные меламиноформальдегидные смолы, модифицированные лигносульфонаты, поликарбоксилатные эфиры) [7-9], гидрофобизирующие (кремнийорганические жидкости; добавки, коагулирующие поры (тонкодисперсные минеральные добавки, добавки с пуццолановой активностью, водорастворимые смолы и соли алюминия, железа и кальция) [10-13] и воздухоовлекающие (алкиларилсульфонаты, соли, получаемые из древесной смолы, соли нефтяных кислот; соли, получаемые из протеинов; соли органических сульфокислот; абиегат натрия; винсоловая смола) [14,15], пуццолановые [16], фотокаталитические [17,18], биоцидные присадки [19-22].

В настоящее время уделяется внимание экологическим аспектам строительства. Население Земли ежедневно производит около 3,5 миллионов тонн отходов. Одним из вариантов решения существующих проблем загрязнения воздушного бассейна в крупных городах можно считать введение в состав традиционных строительных материалов фотокатализаторов - соединений, на активной поверхности которых под воздействием солнечного излучения протекают фотокаталитические процессы разложения адсорбированных загрязнителей до нетоксичных веществ. Наиболее распространенным фотокатализатором на сегодняшний день принято считать наноразмерный диоксид титана анатазной модификации [23], однако исследователи изучают и другие перспективные соединения, например оксиды переходных и редкоземельных металлов и их сочетания (CeO_2 , CuO , SnO , ZnO , WO_3), сложные слоистые структуры, сочетающие неорганическую и полимерную составляющие ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$, $\text{CuBi}_2\text{O}_4/\text{полианилин}$) [24-27].

Стоит также уделить внимание такой немаловажной проблеме, как снижение долговечности материала

INTRODUCTION

With the development of mankind, various building materials were discovered and created. The first of these were natural materials such as stone, wood, sand and clay, then mineral binders were discovered. The evolutionary processes taking place in science and technology lead to the introduction of synthetic and natural components into various building materials that work sinergetically, not only as a simple superposition of individual properties of the additives used, which makes it possible to obtain new composite materials with unique characteristics.

One of the most popular, versatile and multifunctional building materials today can be called concrete and cement-based materials that have high performance characteristics. Cement is used at various stages of construction in the construction of residential and industrial structures, underground and hydraulic structures, it is a main component in the composition of finishing, heat and sound insulation building materials, to create a variety of architectural and design solutions and small architectural forms.

A wide range of various modifying additives has been developed that can effectively affect physical and mechanical characteristics of cement stone, or provide it with new unique properties: setting accelerators (NaCl , Na_2SO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) [1-3] and retarders (organic acids, Na_3PO_4) [4-6], plasticizing additives (modern super- and hyperplasticizers: sulfonated naphthalene formaldehydes, sulfonated melamine formaldehyde resins, modified lignosulfonates, polycarboxylate esters) [7-9], hydrophobic (organosilicon liquids; additives, colmatating pores (fine mineral additives, additives with pozzolan activity, water-soluble resins and salts of aluminum, iron and calcium) [10-13] and air-entraining (alkylaryl sulfonates, salts obtained from wood resin, salts of petroleum acids; salts obtained from proteins; salts of organic sulfonic acids; sodium abietate; vinsol resin) [14,15], pozzolanic [16], photocatalytic [17,18], biocidal additives [19-22].

Nowadays, attention is being paid to the environmental aspects of construction. The problem of air pollution in large cities can be solved by the introduction of photocatalysts into the composition of traditional building materials - compounds which promote the photocatalytic processes of oxidation of adsorbed pollutants to non-toxic substances under the influence of solar radiation. Currently, nanoscale titanium dioxide of anatase modification is considered to be the most common photocatalysts [23], but researchers are also studying other promising compounds, such as transition and rare earth metal oxides and their combinations (CeO_2 , CuO , SnO , ZnO , WO_3), complex layered structures combining inorganic and polymer components ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$, $\text{CuBi}_2\text{O}_4/\text{polyaniline}$) [24-27].

It is also worth paying attention to a special type of material destruction, caused by aggressive action of microorganisms - biological deterioration. Additives such as metal oxides (CuO , Fe_3O_4 , MnO_2 , ZnO , Ag_2O), composite and doped oxide systems, phenols, chlorophenols, formalin, latex biocides, salts of higher fatty amines, polyalkylguanidines can inhibit the vital activity of microorganisms, contributing to the preservation of the integrity of the material structure [19-22, 28].

вследствие коррозионного разрушения, которое развивается под воздействием микроорганизмов - биологической коррозии. Такие добавки, как оксиды металлов (CuO , Fe_3O_4 , MnO_2 , ZnO , Ag_2O), композитные и допированные оксидные системы, фенолы, хлорфенолы, формалин, латексные биоциды, соли высших жирных аминов, полиалкилгуанидины способны угнетать жизнедеятельность микроорганизмов, способствуя сохранению целостности структуры материала [19-22, 28].

К сожалению, введение в состав цементного композита модифицирующих добавок приводит к существенному росту цены, так, стоимость добавки может зачастую достигать 70-80% от суммарной стоимости сырья, необходимого для создания материала. Так, цена наиболее известного фотокатализатора зарубежного производства Aeroxide P25 колеблется в пределах 2600 [29] - 6000 [30] руб за 100 г вещества. Антисептические составы для пропитки бетона коммерчески более доступны для приобретения (цена за 1 л пропитки на известных маркетплейсах начинается от 250 руб и может доходить до 2000 руб). Однако зачастую требуется их повторное нанесение, кроме того, к уже разработанным составам развивается резистентность микроорганизмов, что вызывает необходимость постоянного поиска и синтеза новых безопасных для человека и окружающей среды биоцидов.

Таким образом, требуется создание отечественных альтернатив зарубежным полифункциональным добавкам, в частности, фотокаталитическим и биоцидным, которые были бы конкурентоспособны на рынке добавок и могли бы использоваться для создания высококачественных строительных материалов с несложной технологией изготовления и доступными в различном ценовом сегменте для потребителя.

Известно, что ряд соединений на основе оксидной системы $\text{TiO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3$ обладают фотокаталитическим эффектом в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра [31], а применение добавки на основе титанатов висмута для цементных систем, обладающих способностью к самоочищению, было рассмотрено авторами в работах [32]. Кроме того, за счет олигодинамического эффекта частицы добавки оказывают угнетающее воздействие на рост и развитие микроскопических плесневых грибов на поверхности искусственного каменного материала.

Таким образом, **целью данной статьи** является анализ экономической эффективности применения полифункциональной добавки на основе оксидной системы $\text{TiO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3$ для цементных систем, полученной по твердофазной и цитратной технологии, определение наиболее экономически выгодного способа синтеза добавки и выявление результатов об экономической целесообразности использования данного вида добавки для получения инновационных функциональных цементных материалов.

Материалы и методы исследования

Для проведения анализа эффективности применения разработанной добавки на основе титаната висмута, обладающей фотокаталитическими и биоцидными свойствами [33-38], в строительных материалах различного назначения использовалось сырье среднего ценового сегмента по РФ в 2024 г. В работах [34-36] подробно описано получение данной добавки двумя способами: по твердофазной (рисунок 1) и цитратной технологии (рисунок 2).

Unfortunately, the introduction of modifying additives into the cement composition leads to a significant increase in the price of the building material. Thus, the cost of an additive can often reach 70-80% of the total cost of the raw materials needed to create the composite. Thus, the price of the most common photocatalyst, Aeroxide P25, ranges from 2600 [29] - 6000 [30] rub per 100 g of the substance. Commercially available antiseptics for concrete are more affordable to purchase (the price for 1 l of antifouling liquid on a well-known marketplaces starts from 250 rub and can reach up to 2000 rub). However, their repeated application is often required, in addition, resistance of microorganisms develops to the existing formulations, which promotes the constant search and synthesis of new biocides that are safe for humans and the environment.

Thus, it is necessary to create Russian alternatives to foreign polyfunctional additives, in particular, photocatalytic and biocidal, which would be competitive in the market and could be used to create modified building materials, would be of high quality, would have a simple manufacturing technology and available in a different price segment for the consumer.

It is known that a number of compounds based on the $\text{TiO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3$ oxide system exhibit photocatalytic effect in the ultraviolet and visible ranges of the spectrum [30], and the use of the additive based on bismuth titanates for self-cleaning cement materials was considered by the authors in [31]. In addition, due to the oligodynamic effect, the additive particles display biocidal effect on the growth and development of microscopic fungi on the surface of artificial stone material.

Thus, **the purpose of this article** is to analyze the economic efficiency of using a polyfunctional additive based on the $\text{TiO}_2\text{-Bi}_2\text{O}_3$ oxide system for cement composites obtained using solid-state and citrate-based technology, to determine the most cost-effective synthesis method and to identify the results on the economic feasibility of using this type of additive to obtain innovative functional cement materials.

Materials and methods of research

To analyze the effectiveness of the developed bismuth titanate additive with photocatalytic and biocidal properties [33-38] for the designing of building materials for various purposes, raw materials of the average price were used on the territory of the Russian Federation in 2024. In [34-36] the authors discuss the preparation of bismuth titanate additives by two methods: by solid-state (Figure 1) and citrate-based technology (Figure 2).

РИСУНОК 1

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВКИ ПО ТВЕРДОФАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Figure 1

Technology for obtaining the additive using solid-state technology

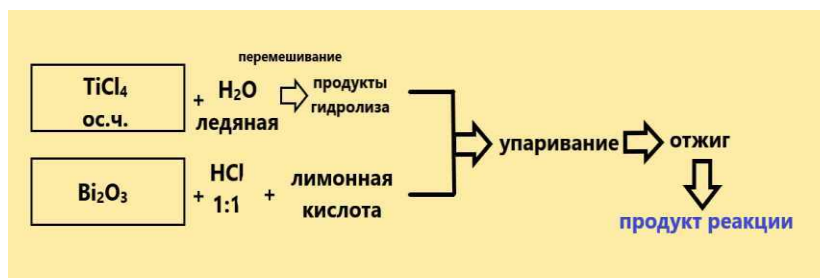


РИСУНОК 2

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВКИ ПО ЦИТРАТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Figure 2

Technology for obtaining the additive using citrate-based technology



Проводимые исследования и обсуждение результатов

Проведенные ранее исследования [35-37] позволили сделать вывод, что синтезированная добавка в составе цементных композиций обеспечивает стойкость к биобрастанию плесневыми грибами и способствует самоочищению поверхности.

Расчет себестоимости материалов на производство титаната висмута в лабораторных условиях по двум технологиям представлен в табл. 1 и 2.

В результате анализа эффективности применения полифункциональной добавки на основе оксидной системы TiO₂-Bi₂O₃ было выявлено, что себестоимость 20 г добавки титаната висмута, синтезированного по цитратной технологии составляет 115 руб., по твердофазной технологии – 223 руб. Полученные результаты показали, что синтез добавки по цитратной технологии является более эффективным.

Conducted research and discussion of the results

Previous studies [35-37] allow to conclude that the synthesized additive in the structure of cement compositions provides resistance to fouling by mold fungi and promotes self-cleaning of the surface.

The calculation of the materials cost for the laboratory production of bismuth titanate via two technologies is presented in Table. 1 and 2.

The analysis of the polyfunctional TiO₂-Bi₂O₃ additive application effectiveness demonstrates that the cost of 20 g of the additive synthesized via citrate-based technology is 115 rubles, compared to solid-state technology which is 223 rubles. The results showed that the synthesis of the additive using citrate-based technology is more effective.

ТАБЛИЦА 1. РАСХОД И СЕБЕСТОИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОИЗВОДСТВО 20 Г ДОБАВКИ ТИТАНАТА ВИСМУТА, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ТВЕРДОФАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Table 1. Consumption and cost of materials for the production of 20 g of bismuth titanate additive obtained via solid-state technology

Материал Material	Ед.изм. Units	Норма расхода на 20 г добавки Amount per 20 g of the additive	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub
Bi ₂ O ₃	kg	0,0042	5000	21,00
TiO ₂	kg	0,016	2000	31,60
Затраты на электроэнергию Energy costs	kW·h	33,13	5,15123	170,63
Итого Total				223,23

ТАБЛИЦА 2 РАСХОД И СЕБЕСТОИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОИЗВОДСТВО 20 Г ДОБАВКИ ТИТАНАТА ВИСМУТА, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ЦИТРАТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Table 2 Consumption and cost of materials for the production of 20 g of bismuth titanate additive obtained via citrate-based technology

Материал Material	Ед.изм. Units	Норма расхода на 20 г добавки Amount per 20 g of the additive	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub
Bi ₂ O ₃	kg	0,011	5000	55,00
TiCl ₄	l	0,01	2500	25,00
Лимонная кислота Citric acid	kg	0,045	450	20,25
Соляная кислота HCl	l	0,025	272,5	6,82
Вода дистиллированная Distilled water	l	0,025	195	4,88
Затраты на электроэнергию Energy costs	kW·h	0,58	5,15123	2,99
Итого Total				114,94

Далее сравнивалась себестоимость материалов на 1 м³ бетонной смеси, применяемой в заводских условиях (таблица 3) и предлагаемой к внедрению с добавкой титаната висмута, синтезированной по твердофазной технологии и по цитратной технологии (таблица 4). Расчет показал, что себестоимость материалов возросла незначительно, но при этом полученный бетон с добавкой титаната висмута обладает повышенной прочностью, грибоустойкостью и фотокаталитической активностью.

Проведенные исследования показали, что наиболее актуально применять добавку титаната висмута в получении самоочищающейся штукатурки и цветного затирочного раствора для межплиточных швов.

ТАБЛИЦА 3 РАСХОД И СЕБЕСТОИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА 1 М³ БЕТОННОЙ СМЕСИ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В ЗАВОДСКИХ УСЛОВИЯХTable 3 Consumption and cost of materials per 1 m³ of concrete mixture produced in factory

Материал Material	Ед.изм. Unit	Норма расхода на 1 м ³ Amount per 1 m ³	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub
Цемент 500 Д0 Cement	ton	0,53	7400	3922
Песок Sand	ton	0,65	450	292,5
Щебень Crushed stone	ton	1,12	1465	1640,8
Вода Water	m ³	0,169	12,33	2,08
ЛСТ Lignosulfonate plasticizer	kg	1,06	54	57,24
Итого Total				5914,62

Для получения более выраженного фотокаталитического эффекта установлено [32], что добавку рекомендуется вводить в виде сухого компонента в количестве 5-10% от содержания сухой смеси. Для расчета состава самоочищающейся штукатурки использовалась сухая добавка в количестве 5%. Расчеты себестоимости материалов для получения 2 кг самоочищающейся штукатурки с добавкой, синтезированной по твердофазной и цитратной технологиям, приведены в Таблице 5. Далее был проведен расчет себестоимости материалов на 1 м² самоочищающейся штукатурки с использованием синтезированной по двум технологиям добавки. Результаты представлены в таблице 6.

The conducted studies revealed that it is most relevant to apply bismuth titanate additive in the production of self-cleaning plaster and colored grout for ceramic tile.

Next, the cost of materials per 1 m³ of concrete mix, modified with the additive, produced in the factory (Tables 3, 4) and proposed for realization was compared. The calculation showed that the cost of materials increased slightly, but at the same time the resulting modified concrete has increased strength, mold fouling resistance and photocatalytic activity.

To achieve the most significant photocatalytic effect, it is recommended to introduce the additive in an amount of 5-10 wt.% by dry mixing [32]. To calculate the composition of self-cleaning plaster, a dry additive in the amount of 5 wt.% was used. Calculations of the materials costs for the production of 2 kg of self-cleaning plaster with an additive synthesized via solid-state and citrate-based technologies are shown in Table 5. Next, the cost of materials per 1 m² of self-cleaning plaster was calculated using an additive synthesized using two technologies. The results are presented in table 6.

ТАБЛИЦА 4 РАСХОД И СЕБЕСТОИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА 1 м³ БЕТОННОЙ СМЕСИ, ПРЕДЛАГАЕМОЙ К ВНЕДРЕНИЮTable 4 Consumption and cost of materials per 1 m³ of concrete mixture, suggested for realization

Материал Material	Ед.изм. Units	Добавка титаната висмута, синтезированная по твердофазной технологии The additive, obtained via solid-state technology			Добавка титаната висмута, синтезированная по цитратной технологии The additive, obtained via citrate-based technology		
		Норма расхода на 1 м ³ Amount per 1 m ³	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub	Норма расхода на 1 м ³ Amount per 1 m ³	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub
Цемент 500 Д0 Cement	ton	0,53	7400	3922	0,53	7400	3922
Песок Sand	ton	0,65	450	292,5	0,65	450	292,5
Щебень Crushed stone	ton	1,12	1465	1640,8	1,12	1465	1640,8
Суспензия титаната висмута: Bismuth titanate suspension							
Титанат висмута Bismuth titanate	kg	0,027	11161,5	301,36	0,027	5747	155,20
Вода Water	m ³	0,169	12,33	2,08	0,169	12,33	2,08
Sika	kg	0,001	395	0,41	0,001	395	0,41
Итого (для суспензии): Total (for suspension)				303,85			157,69
Итого Total				6463,00			6170,68

ТАБЛИЦА 5 СЕБЕСТОИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА 2 КГ САМООЧИЩАЮЩЕЙСЯ ШТУКАТУРКИ
Table 5 Cost of materials per 2 kg of self-cleaning plaster

Материал Material	Ед. изм. Units	Добавка титаната висмута, синтезированная по твердофазной технологии The additive, obtained via solid-state technology			Добавка титаната висмута, синтезированная по цитратной технологии The additive, obtained via citrate-based technology		
		Норма расхода на 2 кг Amount per 2 kg	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub	Норма расхода на 2 кг Amount per 2 kg	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub
Цемент белый White cement	kg	0,5	106,7	53,35	0,5	106,7	53,35
Песок (0,01-04 мм) Sand (0,01-04 mm)	kg	1,5	78	117	1,5	78	117
Титанат висмута The additive	kg	0,1	11161,5	1116,15	0,1	5747	574,7
Вода Water	l	0,8	0,012	0,01	0,8	0,012	0,01
Итого Total				1286,51			745,06

Для получения затирочного раствора для межплиточных швов использовалась стабилизированная суспензия синтезированной добавки. Расчет себестоимости состава затирочного раствора, содержащего добавку, синтезированную по твердофазной технологии и по цитратной технологии представлен в таблице 7.

Произведенные расчеты показали, что добавка титаната висмута, синтезированная по цитратному методу, имеет более низкую себестоимость, чем добавка, синтезированная по твердофазной технологии.

A stabilized suspension of the synthesized additive was used to obtain a grout mortar for ceramic tile. The cost calculation of the grout with the additive synthesized via solid-state and citrate-based technology is shown in Table 7.

The calculations show that the bismuth titanate additive synthesized via citrate-based method has a lower cost than the additive synthesized by solid-state technology.

ТАБЛИЦА 6 СЕБЕСТОИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА 1 М² САМООЧИЩАЮЩЕЙСЯ ШТУКАТУРКИ
Table 6 Cost of materials per 1 m² of self-cleaning plaster

Материал Material	Ед. изм. Units	Добавка титаната висмута, синтезированная по твердофазной технологии The additive, obtained via solid-state technology			Добавка титаната висмута, синтезированная по цитратной технологии The additive, obtained via citrate-based technology		
		Норма расхода на 2 кг Amount per 2 kg	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub	Норма расхода на 2 кг Amount per 2 kg	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub
Цемент белый White cement	ton	0,088	20600	1812,8	0,088	20600	1812,8
Песок (0,01-04 мм) Sand (0,01-04 mm)	ton	0,27	18000	4860	0,27	18000	4860
Вода Water	m ³	0,085	12,33	1,05	0,085	12,33	1,05
Титанат висмута The additive	kg	0,0044	11161,5	49,11	0,0044	5747	25,3
Sika	kg	0,0002	395	0,08	0,0002	395	0,08
Итого: Total				6723,04			6699,23

ТАБЛИЦА 7 СЕБЕСТОИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА 2 КГ ЗАТИРОЧНОГО РАСТВОРА ДЛЯ МЕЖПЛИТОЧНЫХ ШВОВ
Table 7 Cost of materials per 2 kg of grout for ceramic tile

Материал Material	Ед. изм. Units	Добавка титаната висмута, синтезированная по твердофазной технологии The additive, obtained via solid-state technology			Добавка титаната висмута, синтезированная по цитратной технологии The additive, obtained via citrate-based technology		
		Норма расхода на 2 кг Amount per 2 kg	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub	Норма расхода на 2 кг Amount per 2 kg	Цена, руб. Price, rub	Стоимость, руб. Cost, rub
Цемент белый White cement	kg	0,5	106,7	53,35	0,5	106,7	53,35
Песок (0,01-04 мм) Sand (0,01-04 mm)	kg	1,5	78	117	1,5	78	117
Суспензия титаната висмута Bismuth titanate suspension	1	0,8	558,88	447,10	0,8	288,15	230,52
Колер Color	1	0,027	1390	37,53	0,027	1390	37,53
Итого: Total				654,98			438,4

Однако при расчете расхода строительных материалов на производство 1 м³ бетонной смеси или 1 м² самоочищающейся штукатурки стоимость различается незначительно. Себестоимость на 1 м³ бетонной смеси, содержащей добавку титаната висмута, синтезированного по твердофазной технологии, составляет 6463,00 руб; по цитратному методу – 6170,68 руб. Себестоимость 1 м² самоочищающейся штукатурки составляет 6723,04 руб. и 6699, 23 руб., соответственно.

Исходя из вышеизложенного можно отметить, что введение титаната висмута, независимо от способа получения в состав цементных композиций позволяет не только получать строительные материалы с повышенными прочностными, фотокаталитическими и биоцидными свойствами, но и способными конкурировать на строительном рынке.

Закключение

В данной статье авторы производили расчет экономической эффективности получения и применения полифункциональной добавки на основе оксидной системы TiO₂-Bi₂O₃, используемой для создания бетонных смесей, самоочищающихся цементных штукатурок, затирочных растворов для межплиточных швов, обладающих стойкостью к

However, calculating the consumption of building materials for the production of 1 m³ of concrete mix or 1 m² of self-cleaning plaster, the cost varies slightly. The cost per 1 m³ of a concrete mixture containing the additive of bismuth titanate synthesized via solid-state technology is 6463.00 rub; according to the citrate-based method - 6170.68 rub. The cost of 1 m² of self-cleaning plaster is 6723.04 rub and 6699, 23 rub, respectively.

According to the calculations, it can be concluded that the introduction of bismuth titanate into the cement composition, regardless of the synthesis method, allows to obtain building materials with increased strength, photocatalytic and biocidal properties capable of competing in the construction market.

Conclusions

In this article, the authors calculated the economic efficiency of obtaining a polyfunctional additive based on the TiO₂-Bi₂O₃ oxide system for designing concrete mixtures, self-cleaning cement plasters, grout mortars for ceramic tile that are resistant to fouling by microscopic mold fungi. It was revealed, that the bismuth titanate additive synthesized by the citrate-

обрастанию микроскопическими плесневыми грибами. Расчеты демонстрируют, что добавка титаната висмута, синтезированная по цитратному методу, имеет более низкую себестоимость, чем добавка, синтезированная по твердофазной технологии. При расчете расхода строительных материалов на производство 1 м³ бетонного состава или 1 м² самоочищающейся штукатурки стоимость различается незначительно, что позволяет использовать оба способа ее производства.

В результате комплекса проведенных расчетов и исследований авторы пришли к заключению, что полифункциональная добавка на основе оксидной системы TiO₂-Bi₂O₃ может применяться для получения широкого спектра строительных материалов и расширить их номенклатуру, тем самым, способствуя импортозамещению на российских рынках строительных материалов.

Литература:

1. Wang Y., Lei L., Liu J., Ma Y., Liu Y., Xiao Z., Shi C. Accelerators for normal concrete: A critical review on hydration, microstructure and properties of cement-based materials // *Cement and Concrete Composites*. - 2022. - Vol. 134. - DOI 10.1016/j.cemconcomp.2022.104762.
2. Barabanshchikov Y., Vasil'ev A.S. The effectiveness of setting and hardening accelerators for sprayed concrete // *Magazine of Civil Engineering*. - 2012. - 34. - p. 72-78. DOI: 10.5862/MCE.34.11.
3. Сердюкова А. А., Рахимбаев И. Ш. О механизме действия ускорителей схватывания и твердения цементной матрицы бетона // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. - 2013. - №2.
4. Белоус Н. Х., Кошевар В.Д., Креер Т.В. Влияние добавок кислотного типа на удобоукладываемость и прочностные свойства пластифицированных портландцементных систем // *Журнал прикладной химии*. - 2009. - Т. 82. - № 10. - С. 1700-1705.
5. Белоус Н. Х., Кошева В.Д., Родцевич С.П. Комплексные замедлители гидрофобно-структурирующего типа и их влияние на свойства пластифицированных бетонов // *Журнал прикладной химии*. - 2009. - Т. 82. - № 9. - С. 1566-1570.
6. Пашевская Н. В. Моносахариды как эффективные замедлители сроков схватывания тампонажных растворов // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. - 2017. - № 6. - С. 29-31.
7. Куделко, О.А. Использование химических добавок в монолитных бетонных и железобетонных конструкциях // *Вестник Полоцкого государственного университета*. - 2010. - №12. - 10 с.
8. Brykov A., Panfilov A.S., Medvedeva I.N., Mokeev M. Structure of modern commercial polycarboxylate plasticizers and their effect on the properties of portland cement materials // *Cement and its application*. - 2018. - №2. - С. 86-93.
9. Ben Aicha M. The superplasticizer effect on the rheological and mechanical properties of self-compacting concrete // *New Materials in Civil Engineering*. - 2020. - P. 315-331. DOI 10.1016/B978-0-12-818961-0.00008-9.
10. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Евсиков А.С. Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетонов // *Строительные материалы*. - 2017. - № 10. С. 10-17.
11. Богданов Р. Р., Мустафин А.А., Шебанова С.Н. Влияние гидрофобизирующих добавок на свойства цементных композиций // *Вестник технологического университета*. - 2015. - Т.18. - №21.
12. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н. Направления применения гидрофобизаторов в строительстве // *Construction materials*. - 2015. №7.
13. Дебелова Н.Н., Горленко Н.П., Нехороше В.П., Саркисов Ю.С., Завьялова Е.Н., Завьялов П.Б. Гидрофобизатор на основе окисленного атактического полипропилена // *Известия Томского политехнического университета*. - 2013. - Т. 322. - № 3. - С. 91-94.
14. Ватин Н.И., Барабаншико Ю.Г., Комаринский М.В., Смирнов С.И. Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей

based method has a lower cost than the additive synthesized by solid-state technology. The cost of materials for the production of 1 m³ of concrete or 1 m² of self-cleaning plaster differs slightly, which allows to apply both methods of its production.

As a result of calculations and studies, the authors concluded that a polyfunctional additive based on the TiO₂-Bi₂O₃ oxide system can be used to obtain a wide range of building materials and expand their range, thereby contributing to import substitution in the Russian construction materials markets.

References:

1. Wang Y., Lei L., Liu J., Ma Y., Liu Y., Xiao Z., Shi C. Accelerators for normal concrete: A critical review on hydration, microstructure and properties of cement-based materials. - 2022. Vol. 134. - DOI 10.1016/j.cemconcomp.2022.104762.
2. Barabanshchikov Y., Vasil'ev A.S. The effectiveness of setting and hardening accelerators for sprayed concrete // *Magazine of Civil Engineering* -2012. -34. -p. 72-78. DOI: 10.5862/MCE.34.11. (in Russian).
3. Serdjukova, A. A., Rahimbaev I. Sh. O mehanizme dejstvija uskoritelej shvatyvaniya i tverdeniya cementnoj matricy betona // *Vestnik BGTU imeni V. G. Shuhova*. - 2013. - №2. (in Russian).
4. Belous N. H., Koshevar V.D., Kreer T.V. Vlijanie dobavok kislotnogo tipa na udoboukladyvaemost' i prochnostnye svojstva plastificirovannyh portlandcementnyh sistem // *Zhurnal prikladnoj himii*. - 2009. - T. 82. - № 10. - p. 1700-1705. (in Russian).
5. Belous, N. H., Kosheva V.D., Rodcevich S.P. Kompleksnyye zamedliteli gidrofobno-strukturirujushhego tipa i ih vlijanie na svojstva plastificirovannyh betonov // *Zhurnal prikladnoj himii*. - 2009. - T. 82. - № 9. - p. 1566-1570. (in Russian).
6. Pashhevskaja N. V. Monosaharidy kak jeffektivnyye zamedliteli srokov shvatyvaniya tamponaznyh rastvorov // *Stroitel'stvo nefjanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more*. - 2017. - № 6. - p. 29-31. (in Russian).
7. Kudelko O.A. Ispolzovanie himicheskikh dobavok v monolitnyh betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcijah // *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta*. - 2010. - №12. (in Russian).
8. Brykov A., Panfilov A.S., Medvedeva I.N., Mokeev M. Structure of modern commercial polycarboxylate plasticizers and their effect on the properties of portland cement materials // *Cement and its application*. - 2018. - №2. - p. 86-93.
9. Ben Aicha M. The superplasticizer effect on the rheological and mechanical properties of self-compacting concrete // *New Materials in Civil Engineering*. - 2020. - P. 315-331. - DOI 10.1016/B978-0-12-818961-0.00008-9.
10. Fedosov S.V., Rumjanceva V.E., Konovalova V.S., Evsjakov A.S. Kol'matacija: javlenie, teorija, perspektivy primenenija dlja upravlenija processami korrozii betonov // *Construction materials*. - 2017. - № 10. - p. 10-17. (in Russian).
11. Bogdanov R. R., Mustafin A.A., Shebanova S.N. Vlijanie gidrofobizirujushhijh dobavok na svojstva cementnyh kompozicij // *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. - 2015. - T.18. - №21. (in Russian).
12. Vojtovich V.A., Hryapchenkova I.N. Napravlenija primenenija gidrofobizatorov v stroitel'stve // *Construction materials*. - 2015. -№7. (in Russian).
13. Debelova N.N., Gorlenko N.P., Nehoroshe V.P., Sarkisov Ju.S., Zav'jalva E.N., Zav'jalov P.B. Gidrofobizator na osnove okislenno atakticheskogo polipropilena // *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. - 2013. - T. 322. - № 3. - p. 91-94. (in Russian).
14. Vatin N. I., Barabanshiko Ju.G., Komarinskij M.V., Smirnov S.I. Modifikacija litoj betonnoj smesi vozduhovovlekajushhej dobavkoj // *Magazine of Civil Engineering*. - 2015. - №4 (56). DOI: 10.5862/MCE.56.1. (in Russian).

- добавкой // *Magazine of Civil Engineering*. - 2015. - №4 (56). DOI: 10.5862/MCE.56.1.
15. Вольф А. В., Козлова В.К., Маноха А.М. Влияние химических добавок на свойства мелкозернистых песчаных бетонов // *Ползуновский альманах*. - 2020. - Т. 1. - № 2. - С. 50-54.
16. Elyasigorji F., Farajiani F., Hajipour Manjili M., Lin Q., Elyasigorji S., Farhangi V., Tabatabai H. Comprehensive Review of Direct and Indirect Pozzolanic Reactivity Testing Methods // *Buildings*. - 2023. - 13. - DOI: 10.3390/buildings13112789.
17. Chouhan J., Chandrappa A. A systematic review on photocatalytic concrete for pavement applications: An innovative solution to reduce air pollution // *Innovative Infrastructure Solutions*. - 2023. - Vol.8(90). - DOI: 10.1007/s41062-023-01060-6.
18. Krushelnitskaya E.A. Evaluation of photocatalytic activity of concrete // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. - 2021. - №4. - P.13–20. - DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-13-20.
19. Мелешко А.А., Афиногенова А.Г., Афиногенов Г.Е., Спиридонова А.А., Толстой В.П. Антибактериальные неорганические агенты: эффективность использования многокомпонентных систем // *Инфекция и иммунитет*. - 2020. - №4. - С. 639-654.
20. Sharafutdinov K., Saraykina K., Kashevarova G., Erofeev V. The use of copper nanomodified calcium carbonate as a bactericidal additive for concrete // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. - 2022. - №18. - P. 143-155. - DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-155.
21. Svetlov D., Svetlova E., Svetlov D. et al. Research into Antibacterial Activity of Novel Disinfectants Derived from Polyhexamethylene Guanidine Hydrochloride // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2021. - №1079. - DOI:10.1088/1757-899X/1079/6/062017.
22. Гаврильчик, А.В. К вопросу о применении биоцидных добавок при изготовлении эффективных бетонных смесей и бетонов // Гродненский государственный университет им. Я. Купалы. С.41-42.
23. Самченко С.В., Козлова И.В., Коршунов А.В., Земскова О.В., Дударева М.О., Агафонова Н.З. Исследование физико-механических и фотокаталитических свойств цементных композитов, модифицированных промышленным диоксидом титана // *Техника и технология силикатов*. - 2023. - Т. 30, № -2. - С. 152-161.
24. Queiróz A., Santos A., Queiroz T. et al. Ciprofloxacin Photodegradation by CeO₂ Nanostructures with Different Morphologies / *Water Air Soil Pollut.* - 2023. Vol. 234. - DOI: 10.1007/s11270-023-06424-3.
25. Wang X., Deng M., Zhao Z. et al. Synthesis of super-hydrophobic CuO/ZnO layered composite nano-photocatalyst // *Materials Chemistry and Physics*. - 2021. -Vol. 276. - DOI: 10.1016/j.matchemphys.2021.125305.
26. Lannah M.J., Kunarti E., Santosa S. Synthesis of Fe₃O₄/TiO₂-S Composite and Its Activity Test as Photocatalyst on the Metanil Yellow Degradation // *Key Engineering Materials*. - 2023. - Vol. 944. - P. 191–200.
27. Ahmad N., Anae J., Khan M.Z. et al. A novel CuBi₂O₄/polyaniline composite as an efficient photocatalyst for ammonia degradation // *Heliyon*. - 2022. - Vol.8. - DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10210.
28. Erofeev V., Smirnov V., Dergunova A. et al. Development and Research of Methods to Improve the Biosustainability of Building Materials // *Materials Science Forum*. - 2019. - №974. - P. 305-311.- DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.305.
29. Электронный ресурс: https://rearus.ru/index.php?route=product/product&product_id=31266. Дата обращения: 05.09.2024.
30. Электронный ресурс: [https://www.mknano.com/Nanoparticles/Single-Element-Oxides/Titanium-Oxide-Nanopowder/TiO₂-Anatase-10-nm-Photocatalyst](https://www.mknano.com/Nanoparticles/Single-Element-Oxides/Titanium-Oxide-Nanopowder/TiO2-Anatase-10-nm-Photocatalyst). Дата обращения 05.09.2024.
31. Qin K., Zhao Q., Yu H., Xia X., Li J., He, S., Wei L. An. A review of bismuth-based photocatalysts for antibiotic degradation: Insight into the photocatalytic degradation performance, pathways and relevant mechanisms. *Environ. Res.* - 2021. - Vol. 199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111360>.
32. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Korshunov A.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O. Synthesis and Evaluation of Properties of an Additive Based on Bismuth Titanates for Cement Systems // *MDPI Materials*. - 2023. -№ 16(18). - p. 1-13. - DOI: 10.3390/ma16186262.
33. Kozlova I.V., Dudareva M.O. Perspektivnaja dobavka na osnove sistema TiO₂-Bi₂O₃ dlja cementnyh kompozitov // *Stroitel'nye*
15. Vol'f A. V., Kozlova V.K., Manoha A.M. Vlijanie himicheskikh dobavok na svojstva melkozernistyh peschanyh betonov // *Polzunovskij al'manah*. - 2020. -Т. 1. - № 2. - p. 50-54.
16. Elyasigorji F., Farajiani F., Hajipour Manjili M., Lin Q., Elyasigorji S., Farhangi V., Tabatabai H. Comprehensive Review of Direct and Indirect Pozzolanic Reactivity Testing Methods // *Buildings*. - 2023. - 13. - DOI: 10.3390/buildings13112789.
17. Chouhan J., Chandrappa A. A systematic review on photocatalytic concrete for pavement applications: An innovative solution to reduce air pollution // *Innovative Infrastructure Solutions*. - 2023. - Vol.8(90). - DOI: 10.1007/s41062-023-01060-6.
18. Krushelnitskaya E.A. Evaluation of photocatalytic activity of concrete // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. - 2021. - №4. - P.13–20. - DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-13-20.
19. Meleshko A.A., Afinogenova A.G., Afinogenov G.E., Spiridonova A.A., Tolstoj V.P. Antibakterial'nye neorganicheskie agenty: jeffektivnost' ispol'zovanija mnogokomponentnyh sistem // *Infekcija i immunitet*. - 2020. - №4. - p. 639-654. (in Russian).
20. Sharafutdinov K., Saraykina K., Kashevarova G., Erofeev V. The use of copper nanomodified calcium carbonate as a bactericidal additive for concrete // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. - 2022. - №18. - P. 143-155. - DOI: 10.22337/2587-9618-2022-18-2-143-155.
21. Svetlov D., Svetlova E., Svetlov D. et al. Research into Antibacterial Activity of Novel Disinfectants Derived from Polyhexamethylene Guanidine Hydrochloride // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2021. - №1079. - DOI:10.1088/1757-899X/1079/6/062017.
22. Gavril'chik, A.V. K voprosu o primenenii biocidnyh dobavok pri izgotovlenii jeffektivnyh betonnyh smesey i betonov // *Grodnenskiy gosudarstvennyj universitet im. Ja. Kupaly*. - С.41-42.
23. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Korshunov A.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O., Agafonova N.Z. Investigation of physico-mechanical and photocatalytic properties of cement composites modified with industrial titanium dioxide // *Technique and technology of silicates*. - 2023. Vol. - 30, No2. - Pp. 152 – 161.
24. Queiróz A., Santos A., Queiroz T. et al. Ciprofloxacin Photodegradation by CeO₂ Nanostructures with Different Morphologies / *Water Air Soil Pollut.* - 2023. Vol. 234. - DOI: 10.1007/s11270-023-06424-3.
25. Wang X., Deng M., Zhao Z. et al. Synthesis of super-hydrophobic CuO/ZnO layered composite nano-photocatalyst // *Materials Chemistry and Physics*. - 2021. -Vol. 276. - DOI: 10.1016/j.matchemphys.2021.125305.
26. Lannah M.J., Kunarti E., Santosa S. Synthesis of Fe₃O₄/TiO₂-S Composite and Its Activity Test as Photocatalyst on the Metanil Yellow Degradation // *Key Engineering Materials*. - 2023. - Vol. 944. - P. 191–200.
27. Ahmad N., Anae J., Khan M.Z. et al. A novel CuBi₂O₄/polyaniline composite as an efficient photocatalyst for ammonia degradation // *Heliyon*. - 2022. - Vol.8. - DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10210.
28. Erofeev V., Smirnov V., Dergunova A. et al. Development and Research of Methods to Improve the Biosustainability of Building Materials // *Materials Science Forum*. - 2019. - №974. - P. 305-311. - DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.305.
29. Electronic resource: https://rearus.ru/index.php?route=product/product&product_id=31266. Date of treatment 05.09.2024.
30. Electronic resource: [https://www.mknano.com/Nanoparticles/Single-Element-Oxides/Titanium-Oxide-Nanopowder/TiO₂-Anatase-10-nm-Photocatalyst](https://www.mknano.com/Nanoparticles/Single-Element-Oxides/Titanium-Oxide-Nanopowder/TiO2-Anatase-10-nm-Photocatalyst). Date of treatment 05.09.2024.
31. Qin K., Zhao Q., Yu H., Xia X., Li J., He, S., Wei L. An. A review of bismuth-based photocatalysts for antibiotic degradation: Insight into the photocatalytic degradation performance, pathways and relevant mechanisms. *Environ. Res.* - 2021. - Vol. 199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111360>.
32. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Korshunov A.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O. Synthesis and Evaluation of Properties of an Additive Based on Bismuth Titanates for Cement Systems // *MDPI Materials*. - 2023. -№ 16(18). - p. 1-13. - DOI: 10.3390/ma16186262.
33. Kozlova I.V., Dudareva M.O. Perspektivnaja dobavka na osnove sistema TiO₂-Bi₂O₃ dlja cementnyh kompozitov // *Stroitel'nye*

- Based on Bismuth Titanates for Cement Systems // *MDPI Materials*. - 2023. - № 16(18). - p. 1-13. - DOI: 10.3390/ma16186262.
33. Козлова И.В., Дударева М.О. Перспективная добавка на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$ для цементных композитов // *Строительные материалы*. - 2023. - № 11. - С. 100-103. - DOI: 10.31659/0585-430X-2023-819-11-100-103.
34. Козлова И.В., Земскова О.В., Самченко С.В., Дударева М.О. Варианты синтеза фотокаталитически активной добавки для цементных систем // *Техника и технология силикатов*. - 2023. - Т. 30. № 3. С. 206-216.
35. Дударева М.О., Козлова И.В., Земскова О.В., Самченко С.В., Коршунов А.В. Способ получения композиции с противогрибковыми свойствами // Патент на изобретение RU 2820534 C1, 05.06.2024. Заявка от 15.06.2023.
36. Самченко С.В., Козлова И.В., Земскова О.В., Дударева М.О. Коллоидно-химические аспекты стабилизации суспензий тонкодисперсных частиц титаната висмута для цементных систем // *Нанотехнологии в строительстве*. - 2023. - Т. 15. - № 5. - С. 397-407. - DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-397-407.
37. Самченко С.В., Козлова И.В., Земскова О.В., Дударева М.О. Методологическое обоснование выбора стабилизатора суспензий тонкодисперсных частиц титаната висмута // *Нанотехнологии в строительстве*. - 2023. - Т. 15. - № 2. - С. 97-109. - DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-2-97-109.
38. Козлова И.В., Дударева М.О. Варианты введения тонкодисперсной добавки на основе системы $TiO_2-Bi_2O_3$ в цементные композиции // *Нанотехнологии в строительстве*. - 2024. - Т. 16. - № 2. - С. 90-99. - DOI: 10.15828/2075-8545-2023-16-2-90-99.
- materialy. - 2023. - № 11. - P. 100-103. - DOI: 10.31659/0585-430X-2023-819-11-100-103.
34. Kozlova I.V., Samchenko S.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O. Methods of synthesis of a photocatalytic additive for cement systems. / *Technique and technology of silicates*. - 2023. Vol. - 30, No. 3 - Pp. 206-216.
35. Dudareva M.O., Kozlova I.V., Zemskova O.V., Samchenko S.V., Korshunov A.V. Sposob poluchenija kompozicii s protivogribkovymi svojstvami // Patent na izobretenie RU 2820534 C1, 05.06.2024. Zajavka ot 15.06.2023.
36. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O. Exploring the Surface Chemistry for the Stabilization of Bismuth Titanate Fine Particle Suspensions in Cement Systems // *Nanotechnology on construction*. - 2023. 15 (5). - Pp. 397-407. - DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-5-397-407.
37. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O. Methodological Substantiation of the choice of a stabilizer for bismuth titanate fine particles suspensions // *Nanotechnologies in construction*. - 2023. - № 15 (2). - Pp. 97-109. - DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-2-97-109.
38. Kozlova I.V., Dudareva M.O. Methods of introducing a fine additive based on the $TiO_2-Bi_2O_3$ system into cement compositions // *Nanotechnologies in construction*. - 2024. - 16(2). - Pp. 90-99. - DOI: 10.15828/2075-8545-2023-16-2-90-99.

Работа представлена на II Международном научно-практическом симпозиуме «Будущее строительной отрасли: Вызовы и перспективы развития».

Работа выполнена в НИУ МГСУ в рамках реализации Программы развития университета «ПРИОРИТЕТ 2030». Проект 3.1 «Научный прорыв в строительной отрасли – новые технологии, новые материалы, новые методы».

Козлова Ирина Васильевна – доцент кафедры строительного материаловедения, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), E-mail: KozlovaIV@mgsu.ru.

Дударева Марина Олеговна – аспирант, старший преподаватель кафедры строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), E-mail: DudarevaMO@mgsu.ru.

Сенюшкин Денис Сергеевич – студент группы 4-32 ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), E-mail: Denissenyushkin@mail.ru.

Сергеев Максим Андреевич – студент группы 4-32 ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), E-mail: Sergeev0501@gmail.com.

Kozlova Irina Vasilyevna - Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Building Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), E-mail: KozlovaIV@mgsu.ru

Dudareva Marina Olegovna - postgraduate, Senior Lecturer of the Department of Construction Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), E-mail: DudarevaMO@mgsu.ru.

Senushkin Denis Sergeevich - student of group 4-32, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), E-mail: Denissenyushkin@mail.ru

Sergeev Maxim Andreevich - student of group 4-32 National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MSCU), E-mail: Sergeev0501@gmail.com