

УДК 691.54:666.962

*АНИКАНОВА ЛЮБОВЬ АЛЕКСАНДРОВНА, канд. техн. наук, доцент,  
alasmitt@mail.ru*

*ВОЛКОВА ОЛЬГА ВИТАЛЬЕВНА, ассистент,  
v.olga.nikitina@gmail.com*

*ХУТОРНОЙ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,  
khantgs@mail.ru*

*ДОРОШЕНКО ЛЕВ ОЛЕГОВИЧ, студент,  
20trest@mail.com*

*КУРМАНГАЛИЕВА АННА ИЛЬЯСОВНА, аспирант,  
puma3027@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРПРОНИЦАЕМОСТИ РАСТВОРОВ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

Представлены результаты комплексного исследования фторангидритового сырья для получения отделочных сухих строительных смесей.

Разработаны составы штукатурных, реставрационных и колеровочных сухих строительных смесей с использованием фторангидрита, свойства которых определяются областью их применения. Установлено, что введением в состав смеси кирпичной пыли и пигментов можно получить составы, которые подходят к цвету кирпичной кладки, обладают хорошими эксплуатационными характеристиками и оптимальным значением паропроницаемости. Такие составы рекомендуются для реконструкции зданий старой застройки.

**Ключевые слова:** фторангидрит; отвалный фторангидрит; реставрационные сухие строительные смеси; штукатурные сухие строительные смеси; паропроницаемость.

*LUBOV A. ANIKANOVA, PhD, A/Professor,  
alasmitt@mail.ru*

*OLGA V. VOLKOVA, Instructor,  
v.olga.nikitina@gmail.com*

*ANDREI N. HUTORNOI, PhD, A/Professor,  
khantgs@mail.ru*

*LEV O. DOROSHENKO, Student,  
20trest@mail.com*

*ANNA I. KURMANGALIEVA, Research Assistant,  
puma3027@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,  
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

## **VAPOR PERMEABILITY OF DRY MIX MORTARS**

The article presents investigation results of raw acid fluoride binder for the production of dry mix mortars. The compositions of plasters and colour pastes are suggested. It is shown that

the addition of brick dust and pigments to the composition creates mortars suitable for making masonry. They possess the required in-use performance and the optimum vapor permeability. Such compositions are recommended for the old building reconstruction.

**Keywords:** acid fluoride; acid fluoride waste; dry mix mortar; plasters; vapor permeability.

В настоящее время большое внимание уделяется сухим строительным смесям на цементной основе. Гипсовые сухие строительные смеси являются маловостребованными, особенно в Сибирском регионе, в связи с отсутствием природного сырья для получения вяжущего, недостаточной прочностью и водостойкостью полученных материалов. Последние научные достижения в области сухих строительных смесей, связанные с исследованием гипсосодержащих смесей и растворов на их основе, показали возможность их использования в отделочных и реставрационных фасадных работах благодаря высокой декоративности, паропроницаемости и невысокой плотности [1, 2].

Сырьевую базу производства гипсосодержащих вяжущих в регионах с отсутствием гипсового сырья можно существенно расширить с привлечением побочных продуктов различных производств, в том числе и фторангидрита [3, 4]. Отделочные материалы на основе фторангидрита имеют необходимые эксплуатационные характеристики, регулируют микроклимат в помещении, обладают высокой стойкостью против гниения, огнестойкостью. По результатам проверки Госсанэпиднадзора, по содержанию природных радионуклидов материалы относятся к первому классу строительных материалов и могут использоваться во всех видах строительства.

Комплексный подход к использованию фторангидрита позволяет утилизировать побочные продукты производства фторидов различных производств как до стадии нейтрализации, так и после нейтрализации щелочными компонентами для получения отделочных материалов, которые могут быть использованы для внешней и внутренней отделки зданий. Неисследованными в настоящее время остаются вопросы обеспечения комфортности помещений: поддержания влажностного режима, сохранения теплоизоляционных свойств, паропроницаемости. Особые требования предъявляются к сухим смесям для реконструкции и реставрации, для обеспечения которых важным условием является соблюдение закона сродства структур, который предусматривает разработку составов, при твердении которых создается структура, аналогичная матрице конструкции, на поверхности которой за счет направленного процесса структурообразования создаются условия для совместной работы покрытия и конструкции [5].

В качестве основных материалов выбраны штукатурные, реставрационные и колеровочные сухие строительные смеси, разработанные на кафедре строительных материалов и технологий ТГАСУ по принципу «сродства структур» и предназначенные для отделки и восстановления кирпичной кладки зданий старой застройки. Основными проблемами традиционных строительных растворов являются несовместимость с материалом подложки и более высокая плотность растворов, что вызывает их отслоение от поверхности и уменьшает срок службы. Исследования литературных данных по реставрационным смесям показали, что в зависимости от размера и вида дефекта

необходимо применять реставрационные смеси, отличающиеся по прочности, плотности, пластичности, удобоукладываемости. Поэтому выбор компонентов для разработки сухих строительных смесей (ССС) обусловлен следующими положениями:

- химическим сродством к подложке;
- образованием при твердении компонентов, по плотности соответствующих плотности кирпича;
- хорошей адгезией полученного состава к основанию;
- идентичной кирпичу паро- и воздухопроницаемостью.

Исходя из химического состава ФТА, технологических режимов подготовки вяжущего, режимов твердения следует, что данное вяжущее имеет высокую плотность, прочность, является безусадочным вяжущим и может выполнять функцию дополнительного вяжущего вещества и микронаполнителя в ССС. По литературным данным [6–9], в таких системах не исключается возможность образования этрингитоподобных фаз, при этом рядом авторов установлено, что присутствующие в системе ионы фтора, в виде примеси фторида кальция, замедляют расширение в поздние сроки схватывания.

Оптимальное соотношение компонентов растворных смесей и их эксплуатационные характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Рациональные составы растворов для восстановления кирпичной кладки**

№ п/п	Соотношение, масс. %					В/Т	Эксплуатационные характеристики		
	Известь-пушонка	Кирпичная пыль	ПЦ	ФТА	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		K <sub>разм</sub>	W <sub>m</sub> , %	ρ <sub>m</sub> , кг/м <sup>3</sup>
1	15,1	45,7	7,8	31	0,4	0,5	0,85	28	1640
2	12,4	74	–	13	0,6	0,4	0,6	26	1400
3	11,5	66	–	22	0,5	0,34	0,7	20	1400
4	9	54,3	–	36	0,7	0,35	0,6	17	1900
5	8	45,2	–	46	0,8	0,35	0,6	15	1700

Водотвердое отношение получено в результате проведения исследований, исходя из назначения смеси и рекомендаций по их применению, при стандартной осадке конуса 8–9 см.

По результатам экспериментальных данных установлено, что полученные смеси являются медленнотвердеющими, резкий набор прочности начинается с 7-суточного возраста образцов. Максимальные прочностные характеристики имеют составы с содержанием 31 % фторангидридного вяжущего в возрасте 28 сут и составляют 12,5 МПа. Разработанные растворы из реставрационных сухих строительных смесей отличаются хорошими эксплуатационными характеристиками, однако требуют применения тонирующих грунтовок на фасадах здания, т. к. их цвет не соответствует цвету старого кирпича. Исследовано влияние пигментов в виде охры и сурика железного на эксплуатационные характеристики растворных смесей и растворов. Основные составы и их эксплуатационные характеристики представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2

**Рациональные составы растворных смесей из колеровочных сухих строительных смесей**

№ п/п	Соотношение, масс. %							В/Т
	Известь-пушонка	Кирпичная пыль	Железный сурик	Охра	ПЦ	ФТА	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
1	22,2	–	66,6	–	11,2	–	–	0,44
2	22,2	33,3	33,3	–	11,2	–	–	0,31
3	22,3	33,4	16,6	16,6	11,1	–	–	0,31
4	18,1	27,2	13,6	13,6	9,0	18,1	0,4	0,55
5	17,9	25,5	14,0	14,0	10,3	17,9	0,4	0,60

Таблица 3

**Эксплуатационные характеристики разработанных растворов из колеровочных сухих строительных смесей**

№ п/п	Коэффициент размягчения, $K_{разм}$	Водопоглощение, $W_m$ , %	Средняя плотность, $\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	Марка по морозостойкости, $F$
1	0,57	29	1139	15
2	0,36	37	1120	10
3	0,85	35	1039	25
4	0,80	35	1500	35
5	0,63	35	1300	35

Для восстановления утраченных мест с добавками пигментов в виде сурика железного и охры по цвету ССС идеально подходят к цвету кирпичной кладки и обладают хорошими эксплуатационными характеристиками. Поэтому разработанные составы реставрационных и колеровочных сухих строительных смесей рекомендуются для реконструкции зданий старой застройки.

С целью снижения стоимости смесей при отсутствии природного сырья в Западно-Сибирском регионе нами использован отвалный фторангидрит АГК, состоящий, в основном, из двухводного гипса. Дополнительно присутствующие гидросиликаты и фторид кальция могут обеспечить повышение прочности и растворимости исходных продуктов.

При проведении исследований количество отвального фторангидрита варьировалось от 0 до 30 %. По результатам исследований установлено, что оптимальная степень наполнения отвальным фторангидритом составляет 20 %. По результатам проведенных исследований разработан оптимальный состав штукатурных сухих строительных смесей и определены его эксплуатационные характеристики (табл. 4, 5).

Особенностью разработанных штукатурных составов является максимальное использование фторангидритового сырья и местного заполнителя в виде песка, однако применение полимерных добавок является обязательным для получения смесей с хорошими эксплуатационными характеристиками.

Таблица 4

**Рациональный состав штукатурной сухой строительной смеси**

№ п/п	Соотношение, масс. %					
	Песок	ФТА	Отвальный ФТА	Строительный гипс	МЦ	Виннапас RI 551 Z
1	30,0	34,1	20,0	15,0	0,15	0,75

Таблица 5

**Эксплуатационные характеристики раствора из штукатурной сухой строительной смеси**

№ п/п	Эксплуатационные характеристики		
	Прочность сцепления с основанием, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа
1	1,0	5,0	1,8

В качестве основного критерия, характеризующего комфортность помещений, поддержание определенного влажностного режима, обеспечение морозостойкости и долговечности материала покрытий, выбрана величина паропроницаемость.

Паропроницаемость в настоящее время определяют в соответствии со следующими нормативными документами: ГОСТ 25898 «Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию», ГОСТ 28575 «Конструкции бетонные и железобетонные. Испытание паропроницаемости защитных покрытий», ГОСТ 26589 «Мастики кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний», ГОСТ 1285.2 «Бетон ячеистый. Методы определения паропроницаемости», ГОСТ 33355–2015 «Материалы лакокрасочные. Определение характеристик паропроницаемости. Метод чашки». В качестве основных показателей паропроницаемости строительных материалов и изделий используются две характеристики: сопротивление паропроницанию и паропроницаемость материала. Сопротивление паропроницанию ( $R, R_w$ ) – это величина, численно равная разности парциального давления водяного пара противоположных сторон изделия, под действием которого через площадь  $1 \text{ м}^2$  проходит  $1 \text{ мг}$  водяного пара в течение  $1 \text{ ч}$  при условии равенства температуры воздуха с противоположных сторон слоя. Паропроницаемость – это величина, численно равная количеству водяного пара, проходящего через слой материала площадью  $1 \text{ м}^2$  и толщиной  $1 \text{ м}$  в течение  $1 \text{ ч}$  при разности парциального давления водяного пара  $1 \text{ Па}$  ( $\mu, \delta_0$ ). Методы определения заключаются в создании стационарного потока паров воды через стандартный образец и определении величины этого потока. При проведении испытаний по национальным стандартам применяется мокрый и сухой методы, целью которых является определение скорости изменения массы паров воды, проходящих через слой материала.

При мокром способе происходит уменьшение массы ячейки за счет диффузии паров воды через слой материала во внешнюю среду с пониженной

относительной влажностью, а при сухом методе пары воды из внешней среды диффундируют внутрь измерительной ячейки с влагопоглощающим веществом, вызывая увеличение ее массы. Во всех случаях требуется обеспечить поддержание определенной относительной влажности и температуры окружающей среды. Это достигается применением различных солевых растворов – регуляторов влажности. Насыщенный раствор азотнокислого магния позволяет поддерживать относительную влажность окружающей среды  $(54 \pm 1) \%$  при температуре  $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$  (мокрый метод по ГОСТ 25898). Насыщенный раствор хлористого калия применяется для поддержания относительной влажности на уровне  $85 \%$  (сухой метод по ГОСТ 26589).

Измерения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию дают возможность количественной оценки поведения материала по отношению к диффузионному потоку паров воды, однако получаемые значения характеристик не объединены в параметр, учитывающий влияние двух таких взаимосвязанных свойств, как паропроницаемость и капиллярное водопоглощение, что сделано, например, в стандарте DIN 18550 на штукатурные растворы [6].

В связи с высокой значимостью величины паропроницаемости для строительных конструкций и отделочных материалов проведены исследования паропроницаемости растворов из отделочных, реставрационных и колеровочных ССС. Способ подготовки образцов представлен на рис. 1.



Рис. 1. Образцы, подготовленные для определения паропроницаемости

Методика проведения исследований по определению коэффициента паропроницаемости заключается в создании стационарного потока паров воды через исследуемый образец и определении величины этого потока. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 25898–83 по мокрому способу. Схема для определения паропроницаемости представлена на рис. 2. Методика проведения исследований по определению коэффициента паропроницаемости заключается в создании стационарного потока паров воды через исследуемый образец и определении величины этого потока. Испытания проводились на образцах, имеющих в сечении форму квадрата, со стороной

100 мм и высотой 15 мм. Боковые поверхности каждого образца покрывались слоем разогретой смеси парафина и канифоли (3:1) толщиной 2 мм.

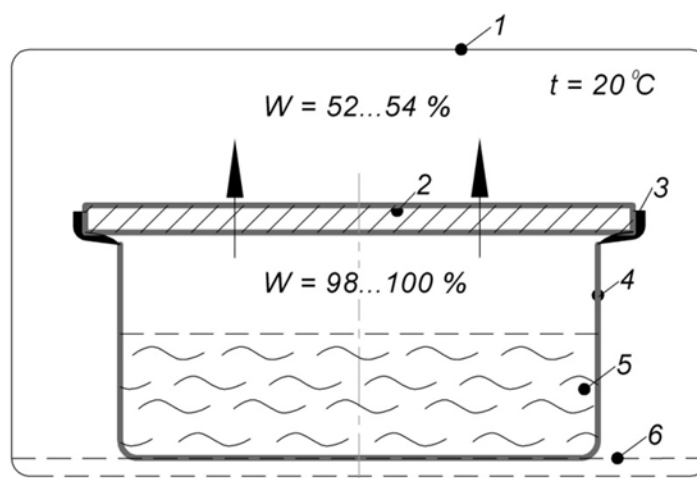


Рис. 2. Схема определения паропроницаемости:

1 – термостатируемый шкаф с контролируемой влажностью; 2 – испытуемый образец; 3 – герметик; 4 – стеклянный сосуд; 5 – водный раствор; 6 – полка шкафа

Образец помещался на металлическую обойму, промежутки между боковой поверхностью образца и верхней гранью металлической обоймы также заполнялись разогретой смесью парафина и канифоли.

Образцы помещались на перфорированную полку шкафа, относительная влажность воздуха в нем составляла  $(54,5 \pm 1) \%$ . Один раз в 7 сут температура и относительная влажность воздуха в шкафу измерялись аспирационным психрометром, а также взвешивались стеклянные чаши выпаривания (ЧВ) с дистиллированной водой, которые располагались в металлических обоймах с образцами.

По результатам взвешивания по данной методике вычислялась первоначально плотность потока водяного пара через образец в  $\text{мг/ч} \cdot \text{м}^2$  по формуле

$$q = \frac{\delta_m}{\delta_\tau \cdot F}, \quad (1)$$

где  $\delta_m$  – уменьшение массы чашки ЧВ с дистиллированной водой за время  $\delta_\tau$ , мг;  $\delta_\tau$  – время между двумя последовательными взвешиваниями, ч;  $F$  – площадь образца,  $\text{м}^2$ .

Сопrotивление паропроницанию слоя материала определялось по формуле

$$R = \frac{P_1 - P_2}{q} - \frac{\delta_b}{\mu_b}, \quad (2)$$

где  $P_1$  – парциальное давление насыщенных паров воды при температуре испытания, Па;  $\delta_b$  – толщина воздушного слоя, равная расстоянию от уровня воды в стеклянной чашке ЧВ до нижней грани образца в обойме при последнем взвешивании, м;  $\mu_b$  – паропроницаемость воздуха в металлической обойме

с образцом, равная  $1,01 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ ;  $P_2$  – парциальное давление паров воды над образцом, Па, которое вычислялось по формуле

$$P_2 = \frac{\varphi \cdot P_1}{100 \%}, \quad (3)$$

где  $\varphi$  – среднее значение относительной влажности воздуха в шкафу с образцами за последние 7 сут испытания, %.

Паропроницаемость материала каждого образца вычислялась по формуле

$$\mu = \frac{\delta}{R}, \quad (4)$$

где  $\delta$  – толщина образца, м.

Расчетные значения определяемых величин и коэффициента паропроницаемости представлены в табл. 6.

Таблица 6

### Расчетные значения коэффициента паропроницаемости

Температура испытания $t_{\text{нас}}, \text{ }^\circ\text{C}$	Среднее значение относительной влажности воздуха $\varphi, \%$	Плотность потока водяного пара через образец $q, \text{ мг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	Парциальное давление насыщенных паров воды над образцом $P_2, \text{ Па}$	Сопротивление паропроницанию слоя материала $R, \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$	Коэффициент паропроницаемости образца $\mu, \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$
Образец из штукатурной сухой строительной смеси					
22,3	78,1	4 422	2030	0,297	0,044
23,5	78,8	3 620			
24,2	75,3	2 376			
24,2	76,6	1 836			
24,4	78,2	3 887			
Образец из реставрационной сухой строительной смеси					
22,3	78,1	4 492	2030	0,043	0,07
23,5	78,8	3 131			
24,2	75,3	2 915			
24,2	76,6	2 592			
24,4	78,2	2 969			
Образец из колеровочной сухой строительной смеси					
22,3	78,1	4 022	2030	0,0428	0,05
23,5	78,8	3 185			
24,2	75,3	2 645			
24,2	76,6	1 944			
24,4	78,2	3 455			

По результатам полученных значений коэффициента паропроницаемости растворов из сухих строительных смесей установлено, что введение кирпичной пыли в реставрационный состав обеспечивает величину коэффициента паро-



проницаемости, составляющую 0,07 мг/м·ч·Па, сопоставимую с величиной паропроницаемости керамического кирпича. Введение в состав смеси тонкодисперсных пигментов в виде сурика железного и охры снижает величину коэффициента паропроницаемости до 0,05 мг/м·ч·Па. Использование приема создания минимальной межзерновой пустотности с применением заполнителя в виде песка в отделочных сухих строительных смесях обеспечивает минимальное значение коэффициента паропроницаемости, равное 0,04 мг/(м·ч·Па). Таким образом, направленное структурообразование смесей за счет рационального подбора состава с использованием химического средства обеспечивает покрытие определенные физические свойства, в том числе и паропроницаемость, идентичные материалу подложки, что позволяет прогнозировать и получать материалы с заданными свойствами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ферронская, А.В.* Развитие теории и практики в области гипсовых вяжущих веществ / А.В. Ферронская // Строительные материалы. – 2000. – № 2. – С. 26–29.
2. *Рахимов, Р.З.* Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов / Р.З. Рахимов, М.И. Халлиулин // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – С. 44–46.
3. *Беляев, Е.В.* Производство сухих строительных смесей: проблемы и перспективы / Е.В. Беляев // Сухие строительные смеси. – 2014. – № 4. – С. 8–9.
4. *Федорчук, Ю.М.* Исследование свойств строительных изделий на основе техногенного ангидрита / Ю.М. Федорчук, Т.П. Малинникова // Технические науки. Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3. – С. 46–49.
5. *Лесовик, В.С.* Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк // Строительные материалы. – 2014. – № 7. – С. 82–85.
6. *Корнеев, В.И.* Сухие строительные смеси (состав, свойства) / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля. – М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2010. – 320 с.
7. *The influence of polymer-silicate liquid on water resistance of composite binders of acid fluorides* / L.A. Anikanova, A.I. Kudyakov, O.V. Nikitina, E.V. Mitrokhina // Weimarer gipstagung, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht, 26–27. März, 2014. – S. 183–190.
8. *Исследование фторангидритового сырья для получения композиционных вяжущих* / Л.А. Аниканова, О.В. Волкова, А.И. Курмангалиева, К.С. Волков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 4. – С. 160–170.
9. *Волкова, О.В.* Отделочные сухие строительные смеси с использованием модифицированного вяжущего / О.В. Волкова // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сб. материалов Международной научно-практической конференции. Т. 1. – Тюмень: Изд-во ТюмГАСУ, 2015. – С. 92–96.

#### REFERENCES

1. *Ferronskaya A.V.* Razvitie teorii i praktiki v oblasti gipsovykh vyazhushchikh veshchestv [The development of the theory and practice in the field of gypsum binders]. *Construction Materials*. 2000. No. 2. Pp. 26–29. (rus)
2. *Rakhimov R.Z., Khalliulin M.I.* Sostoyanie i tendentsii razvitiya promyshlennosti gipsovykh stroitel'nykh materialov [Status and trends of development of the industry of gypsum building materials]. *Construction Materials*. 2010. No. 12. Pp. 44–46. (rus)
3. *Belyaev E.V.* Proizvodstvo sukhikh stroitel'nykh smesei: problemy i perspektivy [The production of dry building mixtures: problems and prospects]. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2014. No. 4. Pp. 8–9. (rus)

4. Fedorchuk Yu.M., Malinnikova T.P. Issledovanie svoystv stroitel'nykh izdelii na osnove tekhnogenного ангидрита [The study of the properties of construction products on the basis of technogenic anhydrite]. *Fundamental Research*. 2014. No. 3. Pp. 46–49. (rus)
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk Kh. Effektivnye sukhie smesi dlya remontnykh i vosstanovitel'nykh rabot [Effective dry mixes for repair and restoration works]. *Construction Materials*. 2014. No. 7. Pp. 82–85. (rus)
6. Korneev V.I., Zozulya P.V. Sukhie stroitel'nye smesi (sostav, svoystva): uchebnoe posobie [Dry building mixtures (composition, properties): tutorial]. Moscow : Stroimaterialy Publ., 2010. 320 p. (rus)
7. Anikanova L.A., Kudyakov A.I., Nikitina O.V., Mitrokhina E.V. The influence of polymer-silicate liquid on water resistance of composite binders of acid fluorides. Weimarer gipstagung, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht, 2014. Pp. 183–190.
8. Anikanova L.A., Volkova O.V., Kurmangalieva A.I., Volkov K.S. Issledovanie ftorangidritovogo syr'ya dlya polucheniya kompozitsionnykh vyazhushchikh [Raw acid fluoride for composite binder production]. *Vestnik TSUAB*. 2010. No. 4. Pp. 160–170. (rus)
9. Volkova O.V. Otdelochnye sukhie stroitel'nye smesi s ispol'zovaniem modifitsirovannogo vyazhushchego [Finishing dry mixes using modified binder]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Architecture, Construction, Ecology and Energy Saving'*. Tyumen': TyumGASU Publ., 2015. V. 1. Pp. 92–96. (rus)