

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 692.231.2: 691.311

*АНИКАНОВА ЛЮБОВЬ АЛЕКСАНДРОВНА, канд. техн. наук, доцент,
alasmit@mail.ru*
*ВОЛКОВА ОЛЬГА ВИТАЛЬЕВНА, аспирант,
v.olga.nikitina@gmail.com*
*РЕДЛИХ ВАЛЕНТИНА ВЛАДИМИРОВНА, аспирант,
redlih_v@mail.ru*
*САМОХВАЛОВА ИННА ВЛАДИМИРОВНА, ст. преподаватель,
innagolovnykh@mail.ru*
*САМОХВАЛОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ, зав. лабораторией,
tomsk117@mail.ru*
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФТОРАНГИДРИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ*

В статье представлены исследования однослойных и многослойных стеновых конструкций на основе фторангидрита, приведены основные свойства и технология получения конструкционных и теплоизоляционных материалов. На основе полученных стеновых материалов рассчитаны пять основных схем ограждающих конструкций, определена общая толщина конструкций для условий г. Томска. Рассчитанные схемы позволяют получать ограждающие конструкции с современными требованиями по теплозащите для малоэтажного строительства.

Ключевые слова: фторангидритовые стеновые материалы; ограждающие конструкции; теплозащита; толщина стены.

*LUBOV A. ANIKANOVA, PhD, A/Professor,
alasmit@mail.ru*
*OLGA V. VOLKOVA, Research Assistant,
v.olga.nikitina@gmail.com*

*Исследования выполнены при поддержке договора № 02 Ж 25.310022 от 20.01.2013 г. «Разработка и запуск в производство технологии строительства энергоресурсосберегающего жилья экономического класса на основе универсальной полносборной каркасной конструктивной системы».

*VALENTINA V. REDLIKH, Research Assistant,
redlih_v@mail.ru
INNA V. SAMOKHVALOVA, Senior Lecturer,
innagolovnykh@mail.ru
ALEKSANDR S. SAMOKHVALOV, Head of Laboratory,
tomsk117@mail.ru
Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

WALL STRUCTURES BASED ON FLUORINE-CONTAINING MATERIALS

The article presents the study of single- and multi-layer structures made of acid fluoride materials. The basic properties and technology of obtaining structural and heat insulating materials are described. Five main wall panel systems are designed on the basis of obtained wall materials, and the thickness of the whole structure is calculated for weather conditions of the Tomsk city. The structural design suggested in this paper allows obtaining the wall structures that meet modern requirements for thermal protection of low-rise construction.

Keywords: acid fluoride wall materials; wall structures; thermal protection; wall thickness.

Основным направлением инновационного развития в новой экономической ситуации России является разработка малоэнергоемких материалов с использованием сырьевой базы регионов. Такими материалами являются стеновые материалы на основе композиционных и многофазовых гипсосодержащих вяжущих веществ [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]. Томская область относится к региону, не располагающему природным гипсовым сырьем, но с развитой промышленностью. Так, на Сублиматном заводе Сибирского химического комбината (СХК) г. Северска ежегодно образуется и утилизируется в отвал около 14 тыс. т твердого сульфат-кальциевого отхода плавикового производства – фторангидрита.

За последние десятилетия проблема утилизации отходов в Томской области, как и в России в целом, приобретает все большее значение. Утилизация огромных отвалов фторангидрита, который в настоящее время накапливается в огромных количествах в отвалах, занимающих большую полезную площадь и наносящих экологический ущерб, окажет положительное влияние на окружающую среду [5, 6].

Исследования, проведенные на базе кафедры «Строительные материалы и технологии» ТГАСУ, позволили установить, что фторангидрит является перспективным с точки зрения использования в производстве строительных материалов. Стеновые материалы на основе фторангидрита имеют необходимые эксплуатационные характеристики, регулируют микроклимат в помещении, обладают высокой стойкостью против гниения, огнестойкостью. По заключению Госсанэпиднадзора по содержанию природных радионуклидов ма-

териалы 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 в производстве стеновых материалов. Благодаря своей структуре стеновые материалы могут быть использованы в качестве теплоизоляционных, теплоизоляционно-конструкционных, конструкционных материалов [7, 8].

На основе фторангидридных вяжущих разработаны составы для получения однослойных и многослойных стеновых изделий и конструкций, которые можно получить в заводских условиях и использовать при возведении стен в условиях строительной площадки. Расход материалов на 1 м³ блоков составляет: ФТА – 450–600 кг; заполнитель – 250–540 кг; Na₂SO₃ – 7–12 кг; вода – 200–250 кг.

Изготовление конструкционных стеновых материалов осуществляется с использованием традиционного оборудования, применяемого на предприятиях строительных материалов. По данной технологии подготовленный и отдозированный фторангидрит предварительно перемешивается в бетоносмесителе с заполнителями, затем с водным раствором активатора. Формование осуществляется за счет вибропрессования. Сушка изделий происходит в сушильных камерах при температуре не более 70 °С [8].

Технология получения конструкционно-теплоизоляционных и теплоизоляционных блоков основана на использовании фторангидрита до стадии нейтрализации. Процесс нейтрализации и порообразования происходит практически одновременно. Расход материалов на 1 м³ блоков составляет: ФТА – 205–280 кг; известняковая мука – 20–28 кг; строительный гипс – 115–250 кг; лимонная кислота – 2,3–5 кг.

Поризованные блоки получают заливочным способом в два этапа. На первом этапе происходит смешивание в типовом смесителе исходных компонентов с водой в течение 1–2 мин. Второй этап включает совместное перемешивание со строительным гипсом. Готовая смесь заливается бетоноукладчиком в разъемные формы согласно требуемой конструкции изделия. Твердение осуществляется в камерах при температуре 40–60 °С в течение 24 ч. Из полученного материала можно получать конструкционно-теплоизоляционные и теплоизоляционные стеновые блоки и панели [7, 8].

Физико-механические характеристики разработанных составов представлены в табл. 1.

Материалы конструктивных стен зданий в процессе эксплуатации работают в различных температурно-влажностных условиях. Внутренние слои, изолированные от внешней среды, эксплуатируются при положительных температурах, наружные слои – в условиях переменного температурно-влажностного режима. Неправильно подобранные материалы конструктивных стен приводят к снижению санитарно-гигиенических характеристик стены и всего помещения, повышению влажности и теплопроводности [9, 10].

Достаточный опыт использования многослойных конструкций в условиях эксплуатации Западно-Сибирского региона еще не накоплен, недоста-

точно изучен режим работы строительных материалов в составе слоистых стен, поэтому существуют примеры негативного опыта эксплуатации стен зданий.

Особенно плохо изучены вопросы, связанные с эксплуатацией гипсосодержащих одно- и многослойных стеновых материалов.

Таблица 1

Физико-механические характеристики стеновых материалов

Вид материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение, % (по массе)	Предел прочности при сжатии, МПа
1. Конструкционно-теплоизоляционный стеновой материал	0,13–0,25	510–1300	45–48	2,9–4,3
2. Теплоизоляционный стеновой материал	0,09–0,1	480–500	47–50	1,1–1,4
3. Стеновой материал водостойкий	0,15–0,21	850–1000	15–18	2,3–4,5
4. Стеновой материал с керамзитовой пылью	0,29–0,44	1550–1900	35–37	20–35
5. Стеновой материал с использованием композиционного вяжущего	0,26–0,29	1390–1540	38–40	19,7–28,5

Большое количество образующегося фторангидрита, разработка энергоэффективных технологий получения стеновых материалов, позволяющая получить строительные материалы с регулируемой прочностью и плотностью, заставляют находить новые возможности использования фторангидритовых материалов с целью выявления наиболее предпочтительных вариантов по эксплуатационной надежности, стоимости, долговечности. Анализ литературных данных показывает, что для климатических условий Томской области массовое применение находят следующие конструктивные решения теплоэффективных наружных стен:

- трехслойные стены на основе штучных стеновых материалов из кирпича, блоков, теплоизоляционного слоя и облицовочного слоя;
- трехслойные стены «вентилируемый фасад»;
- трехслойные стены с оштукатуриванием по сетке «мокрый фасад»;
- наружная стена на основе штучных материалов (кирпич, блоки).

Для определения эффективности использования фторангидритовых стеновых материалов проведены теплотехнические расчеты для различных компоновок стен. На основе полученных материалов и с учетом их характеристик рассчитаны 5 схем ограждающих конструкций для условий эксплуатации в г. Томске. Расчет проводился в такой последовательности:

- расчет толщины слоев в составе конструкции наружной стены;

– расчет приведенного сопротивления теплопередаче стен.

Принятые расчетные характеристики для климатических условий Томской области представлены в табл. 2.

Нормируемое сопротивление теплопередаче R_{req} определялось в зависимости от величины градусо-суток отопительного периода района строительства по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht}, \quad (1)$$

где t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, в интервале температур 20–22 °С, принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий по позиции 4 табл. 2 по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494–96; t_{ht} , z_{ht} – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут, отопительного периода, принимались по СНиП 23-01–99*.

Таблица 2

Расчетные характеристики для климатических условий Томской области

Характеристики	Показатели
1. Средняя температура наиболее холодной пятидневки	$-t_{ext} = -40$ °С
2. Среднемесячная температура наиболее холодного месяца	$t_n = -19,1$ °С
3. Средняя длительность отопительного периода	$z_{ht} = 236$ сут
4. Температура внутреннего воздуха	$t_{int} = 21$ °С
5. Относительная влажность внутреннего воздуха	$w_{iht} = 21$ °С
6. Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП = 6936 °С·сут

Нормируемое значение R_{req} определялось по формуле

$$R_{req} = a \cdot D_d + b, \quad (2)$$

где a , b – коэффициенты, значения которых принимались по СНиП 23-02–2003.

Термическое сопротивление R , м²·°С/Вт, однородного слоя многослойной ограждающей конструкции, а также однослойной ограждающей конструкции определялось по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3)$$

где δ – толщина слоя, м; λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°С), принимаемый по СП 23-101–2004, в зависимости от условий эксплуатации.

Термическое сопротивление ограждающей конструкции R_k , м²·°С/Вт, с последовательно расположенными однородными слоями, определялось как сумма термических сопротивлений отдельных слоев:

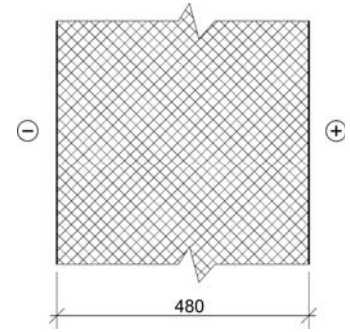
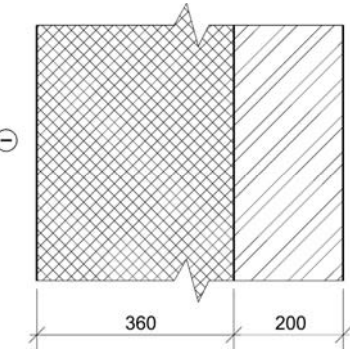
$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{al}, \quad (4)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; R_{al} – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, принимаемое в соответствии с СП 23-101–2004.

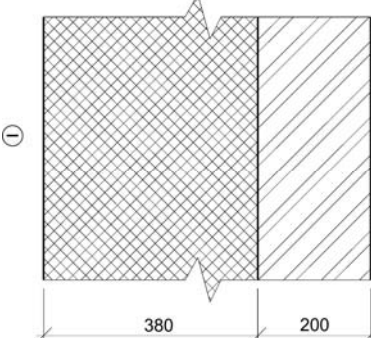
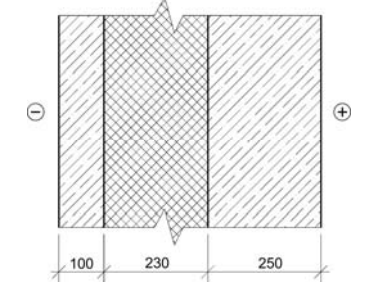
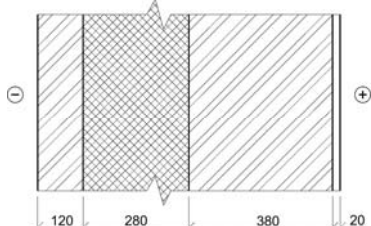
В соответствии с данными, представленными в табл. 3, рассчитана толщина стены конструкционно-теплоизоляционного стенового материала при создании однослойной конструкции (компоновка 1), толщина стены при создании двух двухслойных конструкций (компоновка 2, 3), трехслойной конструкции (компоновка 4), четырехслойной конструкции (компоновка 5).

Таблица 3

Компоновка стен с использованием фторангидритовых материалов

№ п/п	Компоновка, характеристики	Толщина слоя, δ , м	Расчетное сопротивление теплопередаче, R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
1	 <p>Однослойная конструкция стены из конструкционно-теплоизоляционного стенового материала</p>	$\delta_{\text{общ}} = 0,48$	3,20
2	 <p>Двухслойная конструкция стены из конструкционно-теплоизоляционного и водостойкого стенового материала</p>	$\delta_1 = 0,36$ $\delta_2 = 0,20$ $\delta_{\text{общ}} = 0,56$	3,85

Окончание табл. 3

№ п/п	Компоновка, характеристики	Толщина слоя, δ , м	Расчетное сопротивление теплопередаче, R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
3	 <p data-bbox="534 761 906 936">Двухслойная конструкция стены из конструктивно-теплоизоляционного стенового материала и стенового материала с использованием композиционного вяжущего</p>	$\delta_1 = 0,38$ $\delta_2 = 0,20$ $\delta_{\text{общ}} = 0,58$	3,87
4	 <p data-bbox="534 1243 906 1348">Трехслойная конструкция стены из теплоизоляционного стенового материала и стенового материала с керамзитовой пылью</p>	$\delta_1 = 0,25$ $\delta_2 = 0,10$ $\delta_3 = 0,23$ $\delta_{\text{общ}} = 0,58$	3,88
5	 <p data-bbox="534 1601 906 1780">Четырехслойная конструкция стены из керамического кирпича, теплоизоляционного материала, керамического кирпича с оштукатуренной внутренней поверхностью</p>	$\delta_1 = 0,02$ $\delta_2 = 0,38$ $\delta_3 = 0,28$ $\delta_4 = 0,12$ $\delta_{\text{общ}} = 0,80$	3,91

Данные табл. 3 показывают, что в климатических условиях г. Томска возможно применение четырех типов рассматриваемых теплоэффективных стен с использованием фторангидрита. Стеновая система – конструкционно-теплоизоляционные блоки – не обеспечивает требуемое сопротивление теплопередаче, поэтому не рекомендуется к применению.

Таким образом, рассчитаны и представлены основные схемы ограждающих конструкций, разработанные с целью повышения теплозащитных свойств, позволяющих конструировать различные варианты совмещения фторангидритовых стеновых материалов, которые благодаря своей структуре могут служить в качестве теплоизоляционных, теплоизоляционно-конструкционных, конструкционных материалов.

Стеновые блоки на основе фторангидрита применяются для строительства ограждающих и несущих конструкций жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий, в основном при малоэтажном строительстве, для садовых и дачных участков, усадебного домостроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик, В.С. Процессы структурообразования гипсосодержащих композитов с учетом генезиса сырья / В.С. Лесовик, Н.В. Чернышова, В.Г. Клименко // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 4. – С. 3–11.
2. Ферронская, А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций / А.В. Ферронская. – М. : Стройиздат. – 1984. – 254 с.
3. Модифицированные гипсовые безобжиговые композиты / В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова, Ю.Ю. Полеонова, А.Ф. Бурьянов // Строительные материалы. – 2013. – № 5. – С. 76–78.
4. Гипсовые и гипсошлаковые композиции на основе природного сырья и отходов промышленности / И.В. Недосенко, В.В. Бабков, С.С. Юнусова [и др.] // Строительные материалы. – 2012. – № 8. – С. 66–67.
5. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция / В.В. Белов, А.Ф. Бурьянов, Г.И. Яковлев, В.Б. Петропавловская, Х.-Б. Фишер, И.С. Маева, Т.Б. Новиченкова // М. : Изд-во «Де Нова», 2012. – 196 с.
6. Урханова, Л. Использование отходов авиационной промышленности Республики Бурятия для производства гипсовых вяжущих и изделий / Л. Урханова, Я. Щукина, Н. Архинчеева // Материалы 2-й Веймарской гипсовой конференции. – Веймар, 2014. – С. 457–465.
7. Влияние сульфата и сульфита натрия на процессы структурообразования фторангидритовых композиций / А.И. Кудяков, Л.А. Аниканова, В.В. Редлих, Ю.С. Саркисов // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 50–53.
8. Аниканова, Л.А. Стеновые материалы с использованием немодифицированного фторангидрита / Л.А. Аниканова, В.В. Редлих, О.В. Никитина // VI Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск : Изд-во Том. политех. ун-та, 2009. – С. 457–459.
9. Влияние полимерсиликатной жидкости на водостойкость композиционных фторангидритовых вяжущих / Л.А. Аниканова, А.И. Кудяков, О.В. Никитина, Я.В. Митрохина // Материалы 2-й Веймарской гипсовой конференции. – Веймар, 2014. – С. 183–190.
10. Эффективные пропитки для гипсосодержащих строительных материалов / О.В. Никитина, Л.А. Аниканова, А.И. Кудяков, Т.Е. Дизендорф, Т. Садык кызы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 3. – С. 153–160.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Chernyshova N.V., Klimenko V.G. Protsessy strukturoobrazovaniya gip-sosoderzhashchikh kompozitov s uchetom genezisa syr'ya [Processes of structure formation of gypsum-based composites allowing for raw materials genesis]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2012. No. 4. Pp. 3–11. (rus)
2. Ferronskaja A.V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdelij i konstrukcij [Durability of gypsum materials, products and structures]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1984. 254 p. (rus)
3. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Poleonova Yu.Yu., Bur'yanov A.F. Modifitsirovannye gipsovye bezobzhigovye kompozity [Modified gypsum unburned composites]. *Construction Materials*. 2013. No. 5. Pp. 76–78. (rus)
4. Nedosenko I.V., Babkov V.V., Yunusova S.S., et al. Gipsovye i gipsoshlakovye kompozitsii na osnove prirodnogo syr'ya i otkhodov promyshlennosti [Plaster and slag composition based on natural raw materials and waste industry]. *Construction Materials*. 2012. No. 8. Pp. 66–67. (rus)
5. Belov V.V., Bur'yanov A.F., Yakovlev G.I., Petropavlovskaya V.B., Fisher Kh.-B., Maeva I.S., Novichenkova T.B. Modifikatsiya struktury i svoistv stroitel'nykh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya [Modification of structure and properties of construction composites based on calcium sulphate]. Moscow : De-Nova Publ., 2012. 196 p. (rus)
6. Urkhanova L., Shchukina E., Arkhincheeva N. Ispol'zovanie otkhodov aviatsionnoi promyshlennosti Respubliki Buryatii dlya proizvodstva gipsovykh vyazhushchikh i izdelii [Air industry waste utilization in Republic of Buryatia for gypsum binders production and products therefrom]. *Proc. 2nd Weimar Gypsum Conf.* 2014. Pp. 457–465. (rus)
7. Kudyakov A.I., Anikanova L.A., Redlikh V.V., Sarkisov Yu.S. Vliyanie sul'fata i sul'fita natriya na protsessy strukturoobrazovaniya ftorangidritovykh kompozitsii [The effect of sodium sulfate and sulphite on structure formation of acid fluoride compositions]. *Construction Materials*. 2012. No. 10. Pp. 50–53. (rus)
8. Anikanova L.A., Redlikh V.V., Nikitina O.V. Stenovye materialy s ispol'zovaniem nemodifitsirovannogo ftorangidrita [Wall materials based on unmodified acid fluoride]. *Proc. 6th Int. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development'*. Tomsk: TPU Publ., 2009. Pp. 457–459. (rus)
9. Anikanova L.A., Kudyakov A.I., Nikitina O.V., Mitrohina E.V. Vliyanie polimersilikatnoi zhidkosti na vodostoikost' kompozitsionnykh ftorangidritovykh vyazhushchikh [The influence of polymer-silicate liquid on acid fluoride binders]. *Proc. 2nd Weimar Gypsum Conf.* Weimar. 2014. Pp. 183–190. (de)
10. Nikitina O.V., Anikanova L.A., Kudjakov A.I., Dizendorf T.E., Sadyk kyzy T. Effektivnye propitki dlya gip-sosoderzhashchikh stroitel'nykh materialov [Effective impregnation for gypsum-containing building materials]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 3. Pp. 153–160. (rus)