

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОСТАВЕ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ

ПАСТУШКОВ П.П.¹, ПАВЛЕНКО Н.В.²

¹Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

***Аннотация.** Для моделирования условий эксплуатации основных видов теплоизоляционных материалов в составе различных фасадных систем был разработан и смонтирован экспериментальный стенд. Проведены отборы проб теплоизоляционных материалов для установления эксплуатационной влажности после летнего периода и в поздний осенний период года в начале отопительного периода. Показано, что моделирование подтопления в зоне стыка стены с грунтом, значительно сказывается на значениях и характере распределения эксплуатационной влажности внутри слоев утеплителя. По мониторингу параметров, определяющих теплозащитные свойства ограждающих конструкций, сделан вывод о том, что грунт в зоне сопряжения со стеной в результате промерзания в холодный период года не улучшает теплозащитных характеристик ограждающей конструкции, поэтому эта зона конструкции требует утепления. Подтверждена правильность внесенных изменений в нормативные документы, касающихся исследованных вопросов.*

***Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, фасадная система, эксплуатационные условия, эксплуатационная влажность, сопротивление теплопередаче*

MODELING OF THE CONDITIONS OF OPERATION OF THERMAL INSULATION MATERIALS IN THE COMPOSITION OF FACADE SYSTEMS

PASTUSHKOV P.P.¹, ZHEREBCOV A.V.²

¹Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

***Abstract.** To simulate the operating conditions of the main types of heat-insulating materials as part of various facade systems, an experimental stand was designed and installed. Sampling of heat-insulating materials was carried out to establish the operating humidity after the summer period and in the late autumn period of the year at the beginning of the heating period. It is shown that the modeling of flooding in the zone of the wall joint with the ground, significantly affects the values and nature of the distribution of operating humidity inside the insulation layers. By monitoring the parameters that determine the heat-shielding properties of the enclosing structures, it was concluded that the soil in the interface zone with the wall as a result of freezing in the cold period of the year does not improve the thermal protection characteristics of the building barrier, therefore this design zone requires insulation. Confirmed the correctness of the changes in the regulatory documents relating to the studied issues.*

***Keywords:** thermal insulation materials, facade system, operating conditions, operating humidity, heat transfer resistance*

Введение

В рамках НИОКР «Разработка методик прогнозирования эксплуатационных теплофизических показателей для определения коэффициентов условий эксплуатации теплоизоляционных материалов в составе ограждающих конструкций зданий» лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН проведен комплекс натурных исследований эксплуатационных

свойств различных типов теплоизоляционных материалов в составе фасадных систем. Для этого был разработан и смонтирован экспериментальный стенд, моделирующий условия эксплуатации основных видов теплоизоляционных материалов: минеральной ваты, формованного и экструзионного пенополистирола в составе различных фасадных систем: в системе со скрепленной теплоизоляцией и тонким штукатурным слоем (СФТК) и в навесной фасадной системе с вентилируемой прослойкой (НФС).

В процессе проведения эксперимента из фасадных систем в разные периоды года проводился отбор проб использованных типов теплоизоляционных материалов с целью установления эксплуатационной влажности [1] и теплопроводности. Также в отопительный период проводился мониторинг в режиме круглосуточной автоматической записи следующих параметров, определяющих теплозащитные свойства ограждающих конструкций: температуры на внутренней поверхности в разных зонах (в том числе в зоне сопряжения с грунтом), теплового потока через различные участки (с различными смонтированными с внешней стороны системами утепления и при отсутствии внешнего утепления), температуры воздуха на улице и внутри помещения. По полученным экспериментальным данным были проведены расчеты сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающих конструкций с различными типами эффективных утеплителей и анализ изменения сопротивления теплопередаче в процессе эксплуатации.

Настоящая статья посвящена описанию результатов проведенного комплекса исследований.

Описание эксперимента

Для моделирования условий эксплуатации основных видов теплоизоляционных материалов в составе различных фасадных систем на стене акустического корпуса НИИСФ РААСН был смонтирован экспериментальный стенд. Стена акустического корпуса представляет собой кладку из силикатного кирпича толщиной 510 мм. Для монтажа стенда был выбран фрагмент ограждающей конструкции, представляющий собой глухую стену с углом на южную и восточную стороны (рис. 1). За стеной находится зал акустических испытаний, отапливаемый в холодный период года, с параметрами микроклимата, соответствующими помещению общественного здания.



Рисунок 1 - Здание акустического корпуса до монтажа экспериментального стенда



Рисунок 2 - Экспериментальный стенд, смонтированный на стене акустического корпуса

Была разработана принципиальная схема экспериментального стенда – три фрагмента СФТК на южной стороне стены с разными типами утеплителей: минеральной ватой, формованным пенополистиролом (EPS) и экструдированным пенополистиролом (XPS), а также НФС с теплоизоляционным слоем из минеральной ваты, заходящая за угол на восточную сторону

здания. Экспериментальный стенд по устройству и используемым материалам полностью соответствовал современным фасадным системам [2]. Толщины слоев теплоизоляции были подобраны, исходя из нормативных значений приведенного сопротивления теплопередаче для жилых и общественных зданий в климатических условиях г. Москвы по СП 50.13330.2012 [3]: толщина минеральной ваты в СФТК и НФС – 150 мм, EPS в СФТК – 150 мм, XPS в СФТК – 120 мм. Также для СФТК была запроектирована специальная конструкция, которая на высоту 60 см от земли была заполнена грунтом со специальным лотком, наполняемым водой. Эта конструкция моделировала эксплуатацию теплоизоляционных фасадных систем ниже уровня грунта и подтопление водой в зоне стыка стены с грунтом в осенне-весенний период года. Для НФС был установлен лоток с водой, моделирующий подтопление в зоне стыка стены с грунтом в осенне-весенний период года (рис. 2).

Результаты исследований эксплуатационных показателей теплоизоляционных материалов

Были проведены отборы проб теплоизоляционных материалов после летнего периода (в первой половине сентября) и в поздний осенний период года в начале отопительного периода (в середине ноября). С середины сентября лоток с водой, моделирующий подтопление в зоне стыка стены с грунтом, смонтированный на конструкцию, заполненную грунтом, ежедневно наполнялся водой. Образцы из СФТК извлекались из зоны сопряжения грунта с теплоизоляцией – наиболее подверженной увлажнению в эксплуатационных условиях, из НФС – из нижнего слоя утеплителя, который при реальной эксплуатации также может подвергаться замачиванию. Для отбора проб лотки с водой были отодвинуты. При отборе всех типов теплоизоляционных материалов слой утеплителя условно делился на 3 части (внешняя – соприкасающаяся со штукатурным слоем, средняя, внутренняя – соприкасающаяся с кирпичной кладкой). Результаты натурных экспериментов по определению эксплуатационной влажности по методике из [4] теплоизоляционных материалов в различных фасадных системах после летнего периода представлены в табл. 1, в начале отопительного периода – в табл. 2.

Таблица 1 – Эксплуатационная влажность образцов теплоизоляционных материалов, отобранных из экспериментального стенда после летнего периода

Вид теплоизоляционного материала/ тип фасадной системы	Эксплуатационная влажность, w_z , %		
	внешняя часть	средняя часть	внутренняя часть
Минеральная вата/НФС	0,8	1,12	0,97
Минеральная вата/СФТК	0,60	0,79	0,72
EPS/СФТК	0,44	1,20	1,31
XPS/СФТК	0,69	0,83	0,53

Таблица 2 – Эксплуатационная влажность образцов теплоизоляционных материалов, отобранных из СФТК осенью

Вид теплоизоляционного материала	Эксплуатационная влажность, w_z , %		
	внешняя часть	средняя часть	внутренняя часть
Минеральная вата	3,04	0,73	1,53
EPS	8,56	1,52	1,19
XPS	1,30	1,23	1,08

Как видно, моделирование подтопления в зоне стыка стены с грунтом, которое может происходить в реальности, например, в результате проливных дождей перед началом отопительного периода, значительно сказалось на значениях и характере [5] распределения эксплуатационной влажности внутри слоев утеплителя. Для подтверждения полученных результатов по влиянию подтопления в зоне стыка стены с грунтом на эксплуатационную влажность разных типов теплоизоляционных материалов эксперимент с моделированием необходимо продолжить.

Результаты анализа показателей теплозащиты фасадных систем с применением различных типов теплоизоляционных материалов

Для определения сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающей конструкции [6] с разными типами смонтированных фасадных систем на внутренней поверхности стены были установлены датчики температур и тепловых потоков многоканального измерителя плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03. На каждом фрагменте ограждающей конструкции было закреплено по 2 датчика температуры и теплового потока – в нижней части конструкции (для СФТК заглубленной в грунт) и в средней части. Датчики в автоматическом режиме сохраняли показания температуры на поверхности и теплового потока с периодичностью 10 минут. Также в автоматическом режиме записывались показания температуры воздуха внутри помещения и наружного воздуха с помощью измерителей Testo 174-Н.

Для расчета средних значений показателей теплозащиты фрагментов ограждающей конструкции был выбран временной период с 28-го февраля по 4-е марта 2018 г., когда наружная температура была стабильно низкой (варьировалась от -11 °С до -16 °С), а температура воздуха внутри помещения практически не менялась (составляла от 25,1 °С до 25,6 °С), поэтому тепловой поток через ограждающую конструкцию установился стационарным.

В табл. 3 представлены измеренные температуры на внутренней поверхности фрагментов ограждающей конструкции и средняя температура воздуха внутри помещения.

Таблица 3 – Средние значения температуры на поверхности фрагментов ограждающей конструкции и внутреннего воздуха

Зона	Температура на внутренней поверхности стены, °С					Температура воздуха внутри помещения, °С
	НФС/ мин.вата	СФТК/ XPS	СФТК/ EPS	СФТК/ мин.вата	Кирпич. кладка без утепления	
Нижняя	22,2	25,0	24,4	22,8	18,3	25,4
Средняя	23,4	25,2	24,9	22,9	19,4	

В табл. 4 представлены осредненные за выбранный период времени значения сопротивления теплопередаче, R_o , м²·°С/Вт, фрагментов ограждающих конструкций, вычисленные по формуле:

$$R_o = \frac{t_a - t_u}{q},$$

где t_v и t_n – температуры внутреннего и наружного воздуха, °С, соответственно;
 q – плотность теплового потока через фрагмент ограждающей конструкции, Вт/м².

Таблица 4 – Средние значения сопротивлений теплопередаче фрагментов ограждающей конструкции

Зона	Сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции, R_o , м ² ·°С/Вт				
	НФС/мин.вата	СФТК/XPS	СФТК/EPS	СФТК/мин.вата	Кирпичная кладка без утепления
Нижняя	1,12	2,74	2,71	1,86	0,82
Средняя	1,07	2,61	2,57	1,79	0,76

Стоит отметить, что зафиксированные столь низкие значения сопротивления теплопередаче у НФС связаны, скорее всего, с расположением этой системы на углу здания, поэтому

их некорректно сравнивать с результатами, полученными на СФТК, смонтированной на южной стене [7].

Практический интерес представляет сравнение полученных значений сопротивления теплопередаче фрагментов ограждающей конструкции с СФТК в нижней и средней зоне – для этой системы снаружи был смонтирован резервуар с грунтом (в нижней зоне), моделирующий заглубленную в грунт часть конструкции [8]. Как видно по табл. 3 и 4 теплотехнические показатели в средней и нижней зоне близки между собой. При этом в более теплое время года для всех фрагментов СФТК сопротивление теплопередаче в нижней зоне было выше, чем в средней.

Из такого сравнения можно сделать вывод о том, что грунт в зоне сопряжения со стеной в результате промерзания в холодный период года не улучшает теплозащитных характеристик ограждающей конструкции, поэтому эта зона конструкции требует утепления [9].

Выводы

Моделирование подтопления в зоне стыка стены с грунтом значительно сказывается на значениях и характере распределения эксплуатационной влажности внутри слоев утеплителя. Этот факт является одним из подтверждений правильности внесения в п. 8.3.2 СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [10] следующего примечания: «В частях конструкций подвергающихся постоянным воздействиям грунтовой, дождевой или технологической воды, а также с повышенным риском повреждения защитных оболочек (фундаменты, первые и цокольные этажи) рекомендуется применять теплоизоляционные материалы с минимальными показателями эксплуатационной влажности, паропроницаемости (ГОСТ 25898), влагопроводности (ГОСТ Р 56504) и капиллярного всасывания (ГОСТ Р 56505), невосприимчивые к воздействию жидкой влаги».

Фактор «дополнительного утепления» от грунта, который иногда используется для обоснования отказа от утепления в заглубленной части конструкции, не подтвержден для холодного периода года для зоны сопряжения стены с грунтом, что, скорее всего, объясняется промерзанием грунта и, соответственно, увеличением его теплопроводности. Это, в свою очередь, является дополнительным доводом по обоснованию примечания к п. 5.2 в Изменении №1 к СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» [1, 11]: «Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче части стены, расположенной ниже уровня грунта на глубину не менее 1м, должно приниматься таким же, как для стены, расположенной выше уровня грунта».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 8. С. 28 - 33.
2. Гагарин В.Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2007. № 6. С. 82-90.
3. СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий». М.: Минрегион России. 2012. 96 с.
4. Пастушков П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов. Дисс... канд. техн. наук. Москва. 2013. 169 с.
5. Ройфе В.С. Расчет распределения влаги по толщине ограждающей конструкции в натуральных условиях // Строительные материалы. 2016. № 6. С. 36-39.
6. Крышов С.И., Курилюк И.С. Оценка теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий // Энергосбережение. 2018. № 3. С. 12-19.
7. Козлов В.В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 62-74.
8. Пастушков П.П., Жеребцов А.В. Об эффективности применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях первых и цокольных этажей // Строительные материалы. 2015. № 7. С. 68-71.
9. Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Архитектура и строительство России. 2009. № 5. С. 297.

10. СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты». М.: Минстрой России. 2017. 52 с.
11. Афонин А.О. Новое в нормировании тепловой защиты ограждающих конструкций и инженерных систем // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 6 (1006). С. 6-9.

REFERENCES

1. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of the calculated moisture content of building materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No 8. Pp. 28 - 33.
2. Gagarin V.G. Heat-insulating facades with a thin plaster layer. *AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2007. No. 6. P. 82-90.
3. SP 50.13330.2012 «SNiP 23-02-2003 Teplovaya zashchita zdaniy» [Thermal protection of buildings]. Moscow: Minregion Rossii. 2012. 96 p.
4. Pastushkov P.P. The influence of the moisture regime of enclosing structures with external plaster layers on the energy efficiency of thermal insulation materials. Cand. diss. (Engineering). Moscow. 2013. 169 p.
5. Royfe V.S. Calculation of the distribution of moisture in the thickness of the enclosing structure in natural conditions. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 6. P. 36-39.
6. Kryshov S.I., Kurilyuk I.S. Evaluation of thermal protection of external building envelope. *Energosberezhenie*. 2018. No 3. Pp. 12-19.
7. Kozlov V.V. Questions of accuracy of calculation of reduced resistance to heat transfer and temperature fields. *Building and Reconstruction*. 2018. No. 3 (77). Pp. 62-74.
8. Pastushkov P.P., Zherebcov A.V. On the effectiveness of extruded polystyrene in enclosing structures of the first and ground floors. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 7. Pp. 68-71.
9. Gagarin V.G. Thermophysical problems of modern wall enclosing structures of multi-storey buildings. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2009. No. 5. P. 297.
10. СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты» [Residential and public buildings. Rules for the design of thermal protection]. Moscow: Minstroj Rossii. 2017. 52 p.
11. Афонин А.О. New in the regulation of thermal protection of enclosing structures and engineering systems. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2018. No. 6 (1006). Pp. 6-9.

Информация об авторах:

Пастушков Павел Павлович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Тел.: 8 (926) 384-25-28,
E-mail: pavel-one@mail.ru

Павленко Наталья Викторовна

Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
Кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер,
Ph.: 8 (919) 774-14-33,
E-mail: 9103638838@mail.ru

Information about authors:

Pastushkov Pavel P.

Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow, Russia
Candidate of technical sciences, senior researcher
Тел.: 8 (926) 384-25-28
E-mail: pavel-one@mail.ru

Pavlenko Natalia V.

Institute of mechanics Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
Candidate of technical sciences, associate professor, leading engineer
Ph.: 8 (919) 774-14-33,
E-mail: 9103638838@mail.ru