УДК 699.82

П.П. ПАСТУШКОВ[1], канд. техн. наук (pavel-one@mail.ru); А.В. ЖЕРЕБЦОВ[2], нач. техн. отдела

[1] Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)
[2] ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб» (191014, г. Санкт-Петербург, ул. Маяковского, 31)

Об эффективности применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях первых и цокольных этажей

Описаны теплотехнические и микологические проблемы, возникающие при эксплуатации первых и цокольных этажей здания. Рассматривается эффективность применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях с целью решения описанных проблем. Проведены численные расчеты нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций с использованием экструдированного пенополистирола в климатических условиях различных городов РФ. Рассчитаны значения эксплуатационной влажности в слое экструдированного пенополистирола для различных вариантов конструкций. Представлено сравнение по значениям эксплуатационной влажности для аналогичных конструкций с минеральной ватой и формованным пенополистиролом (пенопластом). Описана зависимость теплопроводности от эксплуатационной влажности. Исследовано влияние влажностного состояния на показатели энергоэффективности теплоизоляционных материалов. Изучен вопрос утраты биостойкости увлажненных слоев теплоизоляции.

Ключевые слова: влажностный режим, теплоизоляционные материалы, эксплуатационная влажность, энергоэффективность, биостойкость.

P.P. PASTUSHKOV[1], Candidate of Sciences (Engineering)(pavel-one@mail.ru); A.V. ZHEREBTSOV[2], Head of Technical Department
[1] Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivny Passage, 127238, Moscow Russian Federation)
[2] OOO «PENOPLEX» SPb (31, Mayakovskogo Street, 191014, Saint-Petersburg, Russian Federation)

About Efficiency of Using Extruded Foam Polystyrene in Enclosing Structures of First and Socle Floors

Thermal and mycological problems arising in the course of operation of the first and socle floors of buildings are described. The efficiency of using the extruded foam polystyrene in enclosing structures with the purpose to solve problems described is analyzed. Numerical calculations of non-stationary humidity conditions of enclosing structures with the use of extruded foam polystyrene under climatic conditions of various cities of the Russian Federation have been done. Values of the operational humidity in the layer of extruded foam polystyrene for various variants of structures have been calculated. A comparison on the values of operational humidity for analogous structures with the mineral wool and molded foam polystyrene (foam plastic) is presented. The dependence of heat conductivity on the operational humidity is described. The influence of humidity conditions on the values of energy efficiency of heat insulating materials has been investigated. The issue of loss of biological stability of damp layers of heat insulation has been studied.

Keywords: humidity conditions, heat insulating materials, operational humidity, energy efficiency, bio-stability.

При возведении здания особое внимание всегда уделяется прочности и надежности его заглубленных конструкций, которым приходится не только выдерживать массу всей постройки, но и постоянно подвергаться воздействию негативных факторов окружающей среды: давлению грунта, действию грунтовых вод и сил морозного пучения. Однако, выбрав надежные и высокопрочные материалы для фундамента дома, при проектировании цокольной части и первых этажей здания стоит учитывать, что и они подвергаются экстремальным нагрузкам на протяжении всего срока эксплуатации.

Кроме основных механизмов увлажнения – сезонного движения влаги внутри конструкции, сорбции водяного пара из наружного воздуха, увлажнения косыми дождями конструкции первых и цокольных этажей подвергаются и другим влажностным воздействиям – капиллярному всасыванию воды из грунта, технологической мойке, длительному погружению в воду вследствие подтопления здания или затопления подвала и т. д. Ограждающие конструкции первых этажей даже без учета влажностных воздействий требуют дополнительной теплозащиты, так как через них повышена инфильтрация воздуха по сравнению с верхними этажами здания из-за большего перепада давления. При этом повышенная эксплуатационная влажность теплоизоляционного слоя может привести не только к ухудшению теплозащитных свойств, но и к развитию плесневых грибов в процессе эксплуатации.

Для исключения этих проблем необходимо правильно подходить к выбору теплоизоляционного материала для первых и цокольных этажей. Одним из решений, встречающихся в практике строительства, является применение экструдированного пенополистирола как материала с минимальным водопоглощением [1]. Расчету эффективности такого решения с различных точек зрения посвящена настоящая статья.

В лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН была проведена серия расчетов влажностного режима четырех типов ограждающих конструкций первых и цокольных этажей с применением экструдированного пенополистирола. Расчеты проводились по нестационарной методике согласно ГОСТ 32494–2013 «Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций» для климатических условий шести городов РФ.

Рассмотренные конструкции стен первых или цокольных этажей зданий представляют собой системы со скрепленной теплоизоляцией (СФТК) в виде слоя экструдированного пенополистирола (XPS), смонтированного на основании из: монолитного бетона (конструкция № 1), пустотелого кирпича (конструкция № 2), автоклавного газобетона (конструкция № 3) соответственно, а также стены из монолитного бетона (конструкция № 4) и слоя XPS, облицованного кирпичом [2]. При расчетах принималось, что температура и влажность в помещении остаются постоянными в течение года и согласно ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» равны +20°С и 55% соответственно. Температура

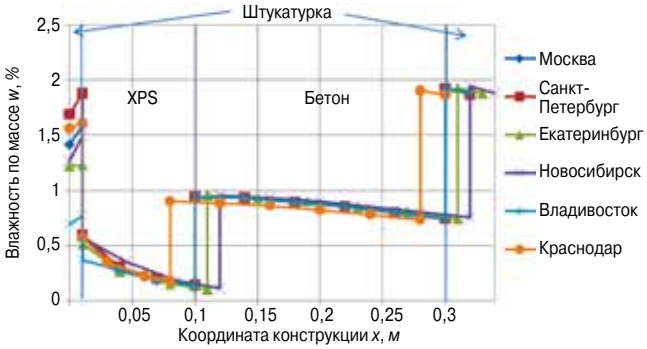

Рис. 1. Распределение влажности внутри конструкции № 1

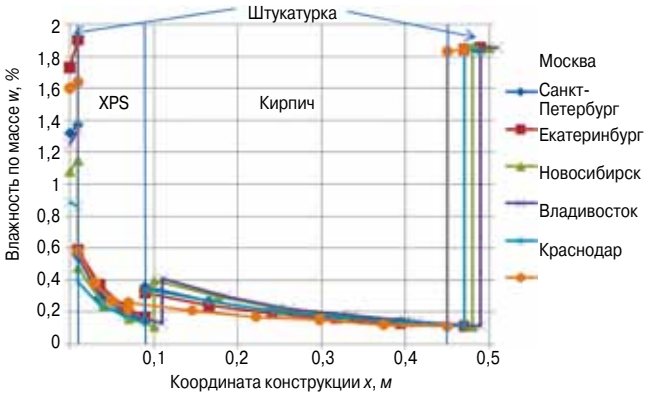

Рис. 2. Распределение влажности внутри конструкции № 2

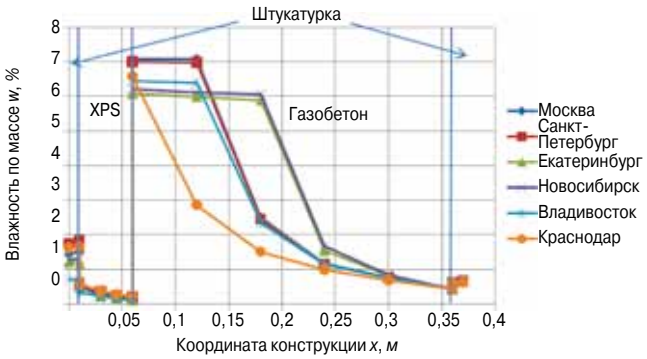

Рис. 3. Распределение влажности внутри конструкции № 3

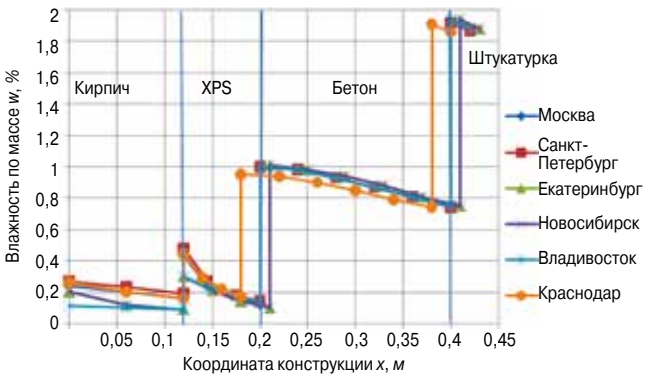

Рис. 4. Распределение влажности внутри конструкции № 4

и относительная влажность воздуха снаружи конструкции задавались в соответствии с данными из СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01–99* «Строительная климатология» [3].

На рис. 1–4 представлены графики распределения влажности внутри конструкций после трех лет эксплуатации зданий. Графики приведены после периода наибольшего влагонакопления в конструкции (для условий различных городов эти периоды разные, от конца января до начала марта).

По результатам расчетов нестационарного температурно-влажностного режима рассмотренных вариантов конструкций были вычислены значения эксплуатационной влажности экструдированного пенополистирола для климатических условий выбранных городов строительства. В табл. 1 представлены значения эксплуатационной влажности (по массе) XPS после периода наибольшего влагонакопления в годичном цикле.

Для анализа того, насколько обоснованно с точки зрения температурно-влажностного режима применение экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях первых и цокольных этажей, было также проведено сравнение с вариантами утепления минеральной ватой и формованным пенополистиролом (пенопластом) на примере конструкции № 3 (штукатурного фасада со скрепленной теплоизоляцией на основании из газобетона) [4]. Распределения влажности приведены в работе [5]. В табл. 2 представлены значения эксплуатационной влажности рассмотренных теплоизоляционных материалов после периода наибольшего влагонакопления на третий год эксплуатации здания при различных климатических условиях строительства.

Полученные значения эксплуатационной влажности позволяют точно определить расчетную теплопроводность утеплителя для каждых климатических условий по формуле:

$$\lambda=\lambda_0+\Delta\lambda\cdot w_э=\lambda_0\left(1+\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}\cdot w_э\right)=\lambda_0\left(1+\eta\cdot w_э\right), \qquad (1)$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С); $\Delta\lambda$ – приращение теплопроводности на 1% влажности, Вт/(м·°С·%); $w_э$ – эксплуатационная влажность материала по массе, %; η – коэффициент теплотехнического качества*, 1/%.

Экспериментально установлено, что значение коэффициента теплотехнического качества приблизительно постоянно для каждого вида материалов [1]. Согласно осредненным данным лабораторных исследований НИИСФ РААСН коэффициент теплотехнического качества для экструдированного пенополистирола (XPS) составляет 0,035 (1/%); для минеральной ваты – 0,04 (1/%); для формованного пенополистирола (пенопласта) – 0,03 (1/%).

Таким образом, зная значение теплопроводности в сухом состоянии и подставляя рассчитанные значения эксплуатационной влажности, по формуле (1) можно вычислить, насколько увеличится теплопроводность теплоизоляционного материала (или уменьшится критерий энергоэффективности [6]) в различных климатических условиях. Согласно значениям эксплуатационной влажности из табл. 2 составлена табл. 3 со значениями приращений теплопроводности теплоизоляционных материалов после периода наибольшего влагонакопления (конец зимы) при различных климатических условиях строительства.

Как отмечалось выше, ограждающие конструкции первых и цокольных этажей относятся к наиболее уязвимым с точки зрения теплозащиты и защиты от переувлажнения. Ограждающие конструкции с применением экструдированного пенополистирола отличаются ма-

* По определению д-ра техн. наук, проф. В.Г. Гагарина.

Таблица 1

Эксплуатационная влажность XPS после периода наибольшего влагонакопления

Конструкция	Эксплуатационная влажность по массе $w_э$, %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Конструкция № 1	0,29	0,31	0,24	0,26	0,3	0,33
Конструкция № 2	0,29	0,34	0,24	0,25	0,29	0,36
Конструкция № 3	0,32	0,35	0,24	0,28	0,23	0,38
Конструкция № 4	0,24	0,27	0,21	0,19	0,26	0,28

Таблица 2

Эксплуатационная влажность утеплителей после периода наибольшего влагонакопления

Материал	Эксплуатационная влажность $w_э$, %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Минеральная вата	0,79	0,87	0,8	1,11	0,53	0,75
Пенополаст	2,59	2,62	3,58	4,49	2,3	1,82
Экструдированный пенополистирол	0,32	0,35	0,24	0,28	0,23	0,38

Таблица 3

Приращение теплопроводности (уменьшение критерия энергоэффективности) в конце зимы

Материал	Приращение теплопроводности (уменьшение критерия энергоэффективности), %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Минеральная вата	3,16	3,48	3,2	4,44	2,12	3
Пенопласт	7,77	7,86	10,74	13,45	6,9	5,46
Экструдированный пенополистирол	1,12	1,23	0,84	0,98	0,8	1,33

лыми значениями эксплуатационной влажности слоя утеплителя – менее 0,4% и соответственно малыми приращениями теплопроводности в зимний период – около 1%. Эти значения существенно меньше, чем в случаях применения других типов теплоизоляционных материалов. Данные факторы подтверждают обоснованность с точки зрения тепловой защиты здания конструктивных решений первых и цокольных этажей зданий с применением экструдированного пенополистирола.

Как отмечалось в предисловии к статье, переувлажнение конструкций первых этажей также может привести к проблемам, связанным с утратой должной биостойкости слоем теплоизоляции фасадной системы. В микологическом исследовательском центре ООО «Микосфера» была определена устойчивость ватных утеплителей к поражению микроскопическими (плесневыми) грибами в соответствии с ГОСТ 9.049–91 «Единая система защиты от коррозии и старения. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов». Утеплитель заражали суспензией грибов в соответствующих средах и выдерживали в условиях высокой относительной влажности (соизмеримой с эксплуатационной влажностью), оптимальных для их развития. Инкубировали при температуре 22–25°С в течение 30 сут. Через 30 сут (срок промежуточного осмотра) образцы осматривали и оценивали грибостойкость по интенсивности развития грибов. По методу 2 ГОСТ 9.049–91 материал заражали спорами плесневых грибов в водном растворе минеральных солей. Плесневые грибы растут за счет солей минеральной среды и питательных веществ, содержащихся в материале. Метод имитирует загрязнение материала минеральными веществами, т. е. частично воспроизводили возможный состав влаги, поступающей в слой теплоизоляции.

В результате проведенных работ можно сделать вывод, что материал содержит питательные вещества или загрязнен в такой степени, что это способствует незначительному развитию грибов. Присутствие минеральных и/или органических веществ, поступающих с влажной средой в невлагостойкие утеплители, стимулирует развитие грибов в конструкции, т. е. невлагостойкие утеплители не обладают фунгицидностью, достаточной для применения в фасадных системах цокольных и первых этажей. В дальнейшем такое естественное биологическое воздействие может привести к биокоррозии всей конструкции. Но если даже биокоррозия не появляется, то после подобного контакта с грибными колониями материал подлежит дальнейшей эксплуатации после промывки и очистки. Следовательно, эффективные утеплители, имеющие свойство водопоглощения, являются потенциальной матрицей для развития вредоносных микроорганизмов-деструкторов в отличие от экструдированного пенополистирола с практически нулевым водопоглощением.

Комплекс проведенных исследований с точки зрения строительной теплофизики и микологического анализа доказывает высокую эффективность применения экструдированного пенополистирола в ограждающих конструкциях цокольных и первых этажей зданий.

Список литературы

1. Пастушков П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизо-

ляционных материалов. Дисс... канд. техн. наук. Москва, 2013. 169 с.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Крышов С.И., Пономарев О.И. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2009. № 5. С. 48–56.
3. Пастушков П.П, Гринфельд Г.И., Павленко Н.В., Беспалов А.Е., Коркина А.В. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства // *Вестник МГСУ*. 2015. № 2. С. 60–69.
4. Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 297–305.
5. Пастушков П.П., Лушин К.И., Павленко Н.В. Отсутствие проблемы выпадения конденсата на внутренней поверхности стен со скрепленной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 42–44.
6. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 7–9.

References

1. Pastushkov P.P. Influence of humidity conditions walling with external plaster layer on the energy efficiency of thermal insulation materials. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2013. 169 p. (In Russian).
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Kryshov S.I., Ponomarev O.I. Thermal protection of external walls of buildings with facing brickwork. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2009. No. 5, pp. 48–56. (In Russian).
3. Pastushkov P.P, Grinfel'd G.I., Pavlenko N.V., Bespalov A.E., Korkina A.V. Calculated certain operating humidity of AAC in different climatic zones of construction. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 2, pp. 60–69. (In Russian).
4. Gagarin V.G. Thermal and physical problems of modern wall walling multi-storey buildings. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 5, pp. 297–305. (In Russian).
5. Pastushkov P.P., Lushin K.I., Pavlenko N.V. No problem of condensation on the interior surface of the walls with bonded insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 42–44. (In Russian).
6. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Quantitative evaluation of energy saving measures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).

НОВОСТИ

Первый в России завод Armstrong запущен в Татарстане

9 июня 2015 г. заработал завод по производству навесных потолочных плит из минерального волокна американской компании Armstrong World Industries в особой экономической зоне «Алабуга», Республика Татарстан. В торжественной церемонии приняли участие временно исполняющий обязанности Президента Республики Татарстан Р.Н. Минниханов и президент компании Мэтт Эспе.

Производственная мощность завода – свыше 20 млн м^2 потолочных плит в год. По словам представителей компании Armstrong, общая сумма инвестиций в строительство предприятия составила 3,6 млрд р. Основная цель проекта – импортозамещение в области стройматериалов: до сих пор выпускаемая заводом продукция завозилась в Россию из-за рубежа. Теперь же ее планируется реализовывать на всей территории России, а также в Беларуси и Казахстане.

Потолочные плиты состоят из минеральной ваты, глины, перлита, целлюлозы и крахмала. Все отходы производства подлежат вторичной переработке и используются для выпуска готовой продукции. Потребляемая вода проходит через собственные водоочистные сооружения завода, после чего повторно используется в производстве.

Рынок России и стран СНГ, по расчетам маркетологов, составляет около 40 миллионов квадратных метров потолочных плит. Пока в штате завода 136 работников. После выхода на полную мощность численность персонала составит 200 человек.

Компания Armstrong и ранее поставляла в республику потолочные плиты при строительстве объектов Универсиады и ряда объектов здравоохранения.

По материалам пресс-службы Президента Республики Татарстан