Системы изоляции каркасных коттеджей

А.Д.Жуков, НИУ МГСУ, Москва
К.А.Тер-Закарян, ООО ТЕПОФОЛ, Москва
И.В.Бессонов, НИИСФ РААСН, Москва
В.С.Семенов, НИУ МГСУ, Москва
А.В.Старостин, НИИСФ РААСН, Москва

В статье изложены результаты исследований эксплуатационных характеристик материала, результаты натурного обследования жилого частного дома, утепленного вспененным полиэтиленом, а также показаны основные проектные решения изоляции каркасного коттеджа.

Рассмотрены особенности систем изоляции малоэтажных зданий, в том числе с каркасной несущей системой. Обосновано, что применение в качестве теплоизоляции минераловатных плит, используемых на ненагружаемых конструкциях, предполагает обязательное размещение пароизоляции (как правило, полиэтиленовой плёнки) с внутренней стороны изолируемой поверхности и ветрозащитной мембраны снаружи. Применение в качестве теплоизоляционного материала рулонного вспененного полиэтилена позволяет реализовать изоляционную оболочку без дополнительных слоёв.

Представлены результаты экспериментальных определений диффузионного влагопоглощения, водопоглощения при частичном погружении в воду, водопоглощения при полном погружении в воду, прочности при растяжении в продольном направлении, прочности сцепления (адгезии) клеящего слоя к металлу. Установлено, что диффузионное объёмное влагопоглощение образцов пенополиэтилена составляет 0,51–0,75%, а с учётом наличия сварного шва – 0,70–0,75%. Водопоглощение образцов при полном погружении в воду не превышает 0,96% по объёму. Прочность на растяжение в продольном направлении для изделий с металлизированным покрытием составляет 80–92 кПа, без металлизированного покрытия – 80–87 кПа, а для сварного шва – 29–32 кПа.

Натурное обследование показало, что влажность соснового бруса находится в пределах нормативной. Обоснована целесообразность утепления только наружным полотном пенополиэтилена расчётной толщины без заполнения каркаса, что при нормативном воздухообмене и соблюдении условий кондиционирования будет достаточным для поддержания микроклимата в помещении.

Ключевые слова: вспененный полиэтилен, системы изоляции, сварка полимеров, фасадные системы, каркасные конструкции, малоэтажное строительство, рулонная теплоизоляция, эксплуатационные характеристики.

Insulation Systems of Frame Cottages

A.D.Zhukov, MGSU, Moscow
K.A.Ter-Zakaryan, OOO "TEPOFOL", Moscow
I.V.Bessonov, NIISF RAACS, Moscow
V.S.Semenov, MGSU, Moscow
A.V.Starostin, NIISF RAACS, Moscow

The article presents studies of the exploitation characteristics of the material, the results of a full-scale survey of a residential private house insulated with expanded polyethylene, as well as the main design solutions for the insulation of a frame cottage.

The features of insulation systems of low-rise buildings, including those with a frame-bearing carrier system, are considered. It has been substantiated that the use as thermal insulation of mineral-wool plates used on non-loaded structures assumes the mandatory placement of vapor barrier (usually plastic film) from the inside of the insulated surface and the windproof membrane outside. The use of a rolled foamed polyethylene as an insulating material makes it possible to realize an insulating sheath without additional layers.

Experimental determinations of diffusion moisture absorption, water absorption upon partial immersion in water, water absorption upon full immersion in water, tensile strength in the longitudinal direction, and adhesion strength of the adhesive layer to metal were performed. It was established that the diffusion moisture absorption of samples of expanded polyethylene is 0.51–0.75%, and taking into account the weld it is 0.70–0.75%. Water absorption of samples when fully immersed in water does not exceed 0.96% by volume. The tensile strength in the longitudinal direction for products with a metallized coating is 80–92 kPa, without a metallized coating – 80–87 kPa, and for a weld – 29–32 kPa.

A field survey showed that the humidity of the pine timber is within the normative. The expediency of warming only the outer coating of expanded polyethylene of the calculated thickness without filling the frame is justified, which, with standard air exchange and observance of the conditioning conditions, will be sufficient to maintain the microclimate in the room.

Keywords: expanded polyethylene, insulation systems, polymer welding, facade systems, frame structures, low-rise construction, roll insulation, exploitation characteristics.

Каркасные конструкции нашли широкое применение в строительстве малоэтажных зданий. Подобные решения позволяют обеспечить необходимую несущую способность каркаса здания, сохраняют возможность выполнения работ с применением средств только малой механизации, ремонт-топригодны и надёжны [1]. К преимуществам данной системы относят также сравнительно небольшой вес [2]. Относительно малая нагрузка на фундамент делает возможным применение фундаментов ленточных неглубокого заложения или свайных, что также снижает стоимость сооружения.

Каркас может выполняться из древесины или металлических профилей, а в качестве теплоизоляции традиционно применяют минераловатные плиты. Ширина минераловатных плит адаптирована под стандартный шаг несущих элементов. Для деревянных конструкций из пиломатериалов толщиной 50 мм проём 550 мм заполняется плитами с шириной 565 мм. В каркасах из двутавровых деревянных балок с применением ОСП 600-миллиметровая полость заполняется плитами шириной 610 мм. Далее к каркасу крепят паро- и гидроизоляционные материалы, контробрешётку и наружную и внутреннюю обшивку.

Системы изоляции каркасных конструкций отличаются от штукатурных систем и вентилируемых фасадов тем, что теплоизоляционные элементы не воспринимают механическую нагрузку. Это делает возможным применение материалов низкой средней плотности с минимальной нагрузкой на основание и низкой теплопроводностью. Прочность этих изделий невысока, что предполагает защиту изоляционных слоёв не только от потоков воздуха и паровоздушной смеси, но и от механических нагрузок. В противном случае возможны эмиссия волокон и деструкция связующего, что приводит к усадке и деформации этих изделий, то есть нарушению сплошности изоляционного покрытия.

Рис. 1. Образцы теплоизоляционного материала из вспененного полиэтилена: рулоны и плиты с металлизированным покрытием и без него

В последнее время для таких конструкций широкое применение находят материалы на основе вспененных пластмасс [3–9]. Существует группа вспененных, или вспенивающихся, полимеров, которые позволяют сформировать бесшовную изоляционную оболочку. Соединение изоляционной оболочки с несущей конструкцией осуществляется либо адгезионно, либо механическим креплением [1].

Системой с механическим креплением изоляции, позволяющей сформировать бесшовную изоляционную оболочку, является конструкция с применением изделий из вспененного полиэтилена (НПЭ), который закрепляется на каркасе механическим способом, а листы соединяются в замок с последующей сваркой горячим воздухом. Эта система, как и сам теплоизоляционный материал, разработаны компанией ТЕПОФОЛ. На замковое соединение и формирование бесшовной оболочки за счёт сварки горячим воздухом получен патент на изобретение РФ № 2645190¹, зарегистрированный 16.02.2018 [3].

Различные аспекты применения пенополиэтилена в фасадных системах изучались в процессе проведения совместных работ НИУ МГСУ (кафедра строительных материалов и материаловедения) и НИИСФ РААСН (лаборатория «Стройфизика-ТЕСТ»). Исследования касались типовых проектных решений, определения эксплуатационных характеристики материала (рис. 1), а также проведения натурного обследования жилого частного дома, утеплённого вспененным полиэтиленом.

Определение диффузионного влагопоглощения вспененного полиэтилена марки ТЕПОФОЛ®, проведённое в соответствии с ГОСТ EN 12088-2011 «Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения диффузионного объёмного влагопоглощения в течение длительного времени» показало, что для образцов без покрытия диффузионное влагопоглощение составляет 0,71% для сплошного образца и 0,75% для образца со швом; а для образцов с металлизированным покрытием 0,51% и 0,70% соответственно. Водопоглощение образцов (с покрытием и без покрытия) при частичном погружении (ГОСТ EN 1609-2011 «Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Методы определения водопоглощения при кратковременном частичном погружении») составляет 0,012–0,013 кг/м², а при полном погружении в воду за 28 суток (ГОСТ EN 12087-2011 «Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Методы определения водопоглощения при длительном погружении») не превышает 0,96 % по объёму.

Изделия из пенополиэтилена закрепляются на конструкции, как правило, с помощью дюбелей, скоб, омеднённых штифтов и пр. Кроме того, изделия в процессе эксплуатации испытывают растягивающие нагрузки, обусловленные их температурными деформациями. Для целостности изоляционной

¹ Автор изобретения – Тер-Закарян К.А. Патент РФ № 2645190; приоритет от 26.09.2016.

оболочки важна также прочность сварного соединения между отдельными полотнищами теплоизоляции.

Определение прочности при растяжении в продольном направлении проводили в соответствии с ГОСТ EN 1608-2011 «Изделия теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Метод определения прочности при растяжении параллельно лицевым поверхностям» (рис. 2). Установлено, что прочность при растяжении в продольном направлении для изделий с металлизированным покрытием составляет 80–92 кПа, без металлизированного покрытия – 80–87 кПа, а для сварного шва – 29–32 кПа.

Учитывая, что для теплоизоляционных изделий нет стандарта по определению прочности сцепления материала с основанием, определение прочности сцепления (адгезии) металлической пластины к вспененному полиэтилену с клеевым слоем осуществлялось в соответствии с ГОСТ 28574-90 «Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий» (рис. 3). Металлические пластины размерами 100×100 мм закреплялись посредством клеевого слоя к листу пенополиэтилена. Установлено, что характер разрушения когезионный по клеевому слою, а разрушающее напряжение составило 12–17 кПа.

Каркасная система с теплоизоляцией по внешнему контуру применяется при теплоизоляции коттеджей. В качестве каркаса рекомендуются изделия из древесины, пропитанные антипиренами и антисептиками. Рулоны НПЭ (длина рулона может изготавливаться любая в соответствии с техническими требованиями) разматываются по периметру здания и фик-

сируются к деревянным стойкам саморезами со шляпками (рис. 4). Рулоны по поверхностям контакта соединяют встык и сваривают горячим воздухом. Пенополиэтилен по периметру проёмов дополнительно механически закрепляют. Длина соединительного элемента равна длине изоляционного слоя из НПЭ плюс 10–20 мм в зависимости от типа несущей конструкции. Далее в изоляционной оболочке прорезают оконные и дверные проёмы, устанавливают оконное оформление.

Целью натурного обследования явилась оценка влажностного состояния деревянного каркаса и утеплителя – пенополиэтилена, а также теплозащитные свойства наружной стены. Жилой дом на момент обследования эксплуатировался круглогодично в течение пяти лет. Отопление осуществляется посредством дизельного котла. Кондиционирование воздуха в обследуемом помещении осуществляется посредством приточно-вытяжной системы вентиляции с рекуперацией. Стена дома снаружи по полотну из пенополиэтилена обшита фанерой толщиной 10 мм с последующей облицовкой пластиковым сайдингом.

Натурное обследование жилого частного дома проведено в период с 02.03.2018 г. по 05.03.2018 г. (рис. 5). Март является завершающим месяцем зимнего отопительного периода и, соответственно, может быть принят как месяц наибольшего влагонакопления строительных материалов, эксплуатируемых в наружных ограждающих конструкциях.

Температура наружного воздуха составляла -12 ± 2 °C, относительная влажность 80%, содержание водяных паров (абсолютная влажность) 1,7 г/м³. Температура воздуха в помещении составляла $+23 \pm 2$ °C, относительная влажность 20%, содержание водяных паров (абсолютная влажность) 4,7

Рис. 2. Определение прочности вспененного полиэтилена при растяжении в продольном направлении

Рис. 3. Подготовка и проведение эксперимента по определению прочности сцепления (адгезии) металлической пластины к вспененному полиэтилену с клеевым слоем

Рис. 4. Каркасная система с теплоизоляцией по внешнему контуру: 1 – несущая конструкция: деревянный (показан) или металлический каркас; 2 – теплоизоляция (рулонный НПЭ); 3 – деревянный брусок (контррейка); 4 – крепление облицовки (саморезы); 5 – крепление бруска; 6 – облицовка; 7 – крепление теплоизоляции на несущей стене

г/м³. Каркасная конструкция наружных стен обследуемого дома состоит из соснового бруса 150×150 мм, заполненного разноразмерными кусками пенополиэтилена, снаружи каркас обернут состыкованным полотном вспененного полиизтилена марки ТЕПОФОЛ® толщиной 50 мм с металлизированным покрытием. Стыки полотна сварены строительным феном по технологии производителя.

Проведены замеры влажности сосновой вагонки (внутренняя отделка) экспресс-измерителем влажности и теплопроводности ИВТП-12 по ГОСТ 8.621-2006. Влажность в среднем составила около 14% по массе, что удовлетворяет

Рис. 5. Внешний вид частного жилого дома в период проведения натурного обследования

Рис. 6. Место обора проб и фрагмента соснового бруса в наружной стене здания

Рис. 7. Установка датчиков температуры и тепловых потоков

требованиям СП 50.13330.2012. Для оценки влажностного состояния строительных материалов, составляющих наружную стену здания, были отобраны пробы пенополиэтилена и фрагмента соснового бруса (рис. 6). Пробы помещены в герметичные пакеты и транспортированы в лабораторию для термогравиметрического определения влажности.

В процессе послойного демонтажа материалов наружной стены при визуальном осмотре выявлены зоны увлажнения внутренней поверхности пенополиэтиленового полотна, окутывающего каркас дома. Увлажнение обнаружено в зонах, где утеплитель в каркасе состоял из разрозненных кусков и был уложен с заметными швами и неплотным примыканием. Плесени и гнили на деревянных элементах каркаса не обнаружено.

Для оценки теплозащитных качеств наружной стены из деревянного каркаса с утеплением полотном вспененного полиизтилена марки ТЕПОФОЛ на выбранном участке стены проведено экспериментальное определение сопротивления теплопередаче в соответствии с ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» и ГОСТ 25380-2014. «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции». Датчики были установлены как на внутренней, так и на наружной поверхности стены (рис. 7).

Определённая влажность соснового бруса по массе составила 7,7–7,8%; наружный слой вспененного полиизтилена имел влажность 13,9%; внутренние слои пенополиэтилена – 0,17–0,25%. Следует отметить, что увлажнение наружного слоя вспененного полиизтилена происходит не в массе, а с внутренней поверхности. Влага на поверхности образуется за счёт конденсации и накапливается, не имея возможности свободно испаряться, поскольку слой закрыт фрагментами внутреннего утепления. Рекомендуется производить утепление лишь наружным полотном пенополиэтилена расчётной толщины без заполнения каркаса. Таким образом, при нормативном воздухообмене и соблюдении условий кондиционирования для поддержания микроклимата в помещении, отвечающего требованиям ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», условия для систематического влагонакопления и отсыревания древесины будут отсутствовать.

В результате экспериментальных исследований установлены следующие характеристики вспененного полиизтилена марки ТЕПОФОЛ:

- средняя плотность 18–20 кг/м³;
- диффузионное влагопоглощение без покрытия 0,44 кг/м²;
- диффузионное влагопоглощение с металлизированным покрытием 0,37 кг/м²;
- водопоглощение при частичном погружении в воду на 24 часа – 0,013 кг/м²;
- водопоглощение по объёму при полном погружении в воду на 28 суток 0,96%.

Проведено натурное обследование жилого частного дома, утеплённого вспененным полиизтиленом марки ТЕПОФОЛ,

которое показало, что влажность соснового бруса находится в пределах нормативной, установленной в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Термическое сопротивление стены составило $2,96 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Для поддержания микроклимата в помещении, отвечающего требованиям ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», рекомендовано производить утепление лишь наружным полотно пенополиэтилена расчетной толщины без заполнения каркаса при нормативном воздухообмене и соблюдении условий кондиционирования.

Литература

1. Системы строительной изоляции с применением пенополиэтилена / А.Д. Жуков, К.А. Тер-Закарян, И.В. Бессонов [и др.] // Строительные материалы. – 2018. – № 9. – С. 58–61.
2. Системы изоляции скатных крыш / А.Д. Жуков, К.А. Тер-Закарян, А.В. Заяфаров [и др.] // Крыши и кровли. – 2017. – № 6. – С. 27–29.
3. Патент РФ № 2645190 «Замковая технология теплоизоляционного материала для бесшовной сварки соединительных замков» зарегистрирован 16 февраля 2018 г.
4. Жук, П.М. Нормативная правовая база экологической оценки строительных материалов: перспективы совершенствования / П.М. Жук, А.Д. Жуков // Экология и промышленность России. – 2018. – № 4. – С. 52–57.
5. Experimental analysis of mechanical behavior and damage development mechanisms of PVC foams in static tests / I. Gimenez, M.-K. Farooq, A. El Mahi [et al.] // Materials Science (Medžiagotyra). – 2004. – No 10 (1). – Pp. 34–39.
6. Федюк, Р.С. Тенденции развития норм по тепловой защите зданий в России / Р.С. Федюк, А.В. Мочалов, В.А. Симонов // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2012. – № 2 (11). – С. 39–44.

7. Wang, Y. Cost-effectiveness / Y. Wang, Z. Huang, L. Heng // International Journal of Project Management. – 2007. – No. 25 (2). – Pp. 143–149.

8. Гнип, И.Я. Доверительные интервалы, прогнозирующие деформацию ползучести пенополистирола / И.Я. Гнип, В.И. Керчулис, С.Я. Вайткус // Строительные материалы. – 2012. – № 12. – С. 40–44.

9. Gnyp, I.J. Analytical description of the creep of expanded polystyrene under compressive loading / I.J. Gnyp V.J. Keršulis, S.J. Vaitkus // Mechanics of Composite materials. 2005. No 41(4). Pp. 357–364.

Literatura

1. Sistemy stroitel'noj izolyatsii s primeneniem penopolietilena / A.D. Zhukov, K.A. Ter-Zakaryan, I.V. Bessonov [i dr.] // Stroitel'nye materialy. – 2018. – № 9. – S. 58–61.
2. Sistemy izolyatsii skatnykh krysh / A.D. Zhukov, K.A. Ter-Zakaryan, A.V. Zayafarov [i dr.] // Kryshi i krovli. – 2017. – № 6. – S. 27–29.
3. Patent RF № 2645190 «Zamkovaya tehnologiya teploizolyatsionnogo materiala dlya besshovnoj svarki soedinitel'nykh zamkov» zaregistrirovano 16 fevralya 2018 g.
4. Zhuk P.M. Normativnaya pravovaya baza ekologicheskoy otsenki stroitel'nykh materialov: perspektivy sovershenstvovaniya / P.M. Zhuk, A.D. Zhukov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. – 2018. – № 4. – S. 52–57.
5. Fedjuk R.S. Tendentsii razvitiya norm po teplovoj zashchite zdaniy v Rossii / R.S. Fedjuk, A.V. Mochalov, V.A. Simonov // Vestnik inzhenernyj shkoly DVFU. – 2012. – № 2 (11). – S. 39–44.
6. Gnyp I.Ya. Doveritel'nye intervaly, prognoziruushhie deformatsiyu polzuchesti penopolistirola / I.Ya. Gnyp V.I. Kerchulis, S.Ya. Vajtkus // Stroitel'nye materialy. – 2012. – № 12. – S. 40–44.

Жуков Алексей Дмитриевич (Москва). Кандидат технических наук, академический советник РИА. Доцент кафедры строительных материалов и материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26. НИУ МГСУ). E-mail: lj211@yandex.ru.

Тер-Закарян Карпет Арменович (Москва). Исполнительный директор ООО «ТЕПОФОР» (105318, Москва, ул. Щербаковская, д. 3, оф. 810). E-mail: karo73@mail.ru.

Бессонов Игорь Вячеславович (Москва). Кандидат технических наук, советник РААСН. Старший научный сотрудник ФГБУ «Научно-исследовательского института строительной физики РААСН» (127238, Москва, Локомотивный проезд, д. 21. НИИСП РААСН). E-mail: bessonoviv@mail.ru.

Семёнов Вячеслав Сергеевич (Москва). Кандидат технических наук, доцент. Заведующей кафедрой Строительных материалов и материаловедения (СМиМ), заместитель директора Института строительства и архитектуры НИУ МГСУ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. НИУ МГСУ). E-mail: science-isa@yandex.ru

Старостин Алексей Владимирович (Москва). Младший научный сотрудник ФГБУ «Научно-исследовательского института строительной физики РААСН» (127238, Москва, Локомотивный проезд, д. 21. НИИСФ РААСН). E-mail: alstar72@bk.ru.

Zhukov Alexey Dmitrievich (Moscow). Candidate of Technical Sciences, Academic Advisor of the RIA. Associate Professor at the Department of Building Materials and Materials Science of the Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337. MGSU). E-mail: lj211@yandex.ru.

Ter-Zakaryan Karapet Armenovich (Moscow). Executive Director of OOO "ТЕПОФОЛ" (3 Shcherbakovskaya St., off. 810, Moscow, 105318). E-mail: karo73@mail.ru.

Bessonov Igor Vyacheslavovich (Moscow). Candidate of Technical Sciences, Advisor of RAACS. Senior Researcher at the Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences (21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238. NIISF RAACS). E-mail: bessonoviv@mail.ru.

Semenov Vyacheslav Sergeevich (Moscow). Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Department of Construction Materials and Materials Science (SMiM), Deputy Director of the Institute of Construction and Architecture of the Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337. MGSU). E-mail: science-isa@yandex.ru

Starostin Alexey Vladimirovich (Moscow). Junior researcher at the Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences (21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238. NIISF RAACS). E-mail: alstar72@bk.ru.