

## Energy-Saving Seamless Insulation Systems for Frame Buildings Using Foamed Polyethylene

Semenov V.S., Bessonov I.V., Ter-Zakaryan K.A., Zhukov A.D., Mednikova E.A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering; "TEPOFOL" Ltd.;  
Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction  
Sciences  
Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The purpose of the work was to substantiate the possibility of using rolled foamed polyethylene with a sheet thickness of 50 mm or more as thermal insulation for low-rise frame buildings. This goal was achieved by conducting experimental studies to determine the physical, mechanical and operational properties of foamed polyethylene, assessing the material's resistance to climatic influences and a full-scale assessment of the thermophysical characteristics of the material and the state of structures at the facility. The most significant results are: the results of determining the operating temperature range taking into account mechanical loading and tendency to creep; the results of assessing the effect of the reflective layer; the results of determining the tensile strength of the material on the surface and on the welded joint; field test results. It has been established that products based on foamed polyethylene are resistant to both climatic influences and mechanical loading, the material in the temperature range from minus 60 ° C to + 60 ° C has high operational resistance. The effect of the reflective layer applied to the foamed polyethylene on the mechanical characteristics of the material is insignificant, but it contributes to an increase in the thermal resistance of the insulating shell. Strength characteristics ensure the integrity of the seamless insulation envelope. The significance of the results obtained lies in the substantiation of the technical feasibility and economic feasibility of developing system solutions for the integrated insulation of frame buildings with rolled polyethylene foam.

**Keywords:** energy saving, wooden frame, low-rise building, rolled foamed polyethylene, insulating shell, heat transfer resistance, thermal uniformity.

**DOI:** 10.5281/zenodo.4018999

**UDC:** 691.175.2/6/8

### Sisteme cu izolație fără sudură cu funcție de economie de energie pentru clădiri cu carcasă care utilizează spumă de polietilenă

Semenov V.S., Ter Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Jukov A.D., Mednikova E.A.

Universitatea Națională de Cercetare de Inginerie Civilă de Stat din Moscova (NRU MGSU); TEPOFOL LLC  
Institutul de cercetare a fizicii clădirilor din Academia Rusă de Arhitectură și Științe a Construcțiilor (NIISF  
RAASN), Moscova, Federația Rusă

**Rezumat.** Construcția modernă cu înălțime mică tinde să utilizeze soluții de construcții ieftine, în special - sisteme de pereți încadrate din lemn. Scopul lucrării a fost de a studia principalele caracteristici fizice, mecanice și operaționale ale polietilenei spumate laminate și de a justifica posibilitatea aplicării sale ca izolație termică a clădirilor cu cadru mic. Acest obiectiv a fost atins prin efectuarea de studii experimentale pentru a determina proprietățile fizice, mecanice și operaționale ale spumei de polietilenă, evaluarea rezistenței materialului la influențele climatice și o evaluare la scară completă a caracteristicilor termofizice ale materialului și a stării structurilor la instalație. Testele climatice ale materialului au fost efectuate în diferite moduri, au fost efectuate studii pentru a evalua fluarea acestuia, au fost determinate rezistența la tracțiune și la compresiune a polietilenei laminate spumate, precum și rezistența cusăturii sudate. S-a stabilit că produsele pe bază de spumă de polietilenă sunt rezistente atât la influențele climatice, cât și la încărcarea mecanică, materialul în intervalul de temperatură de la minus 60 la 60°C are o rezistență operațională ridicată, echivalentă cu cincizeci de ani de funcționare. Cele mai importante rezultate sunt: determinarea intervalului de temperaturi de funcționare luând în considerare încărcarea mecanică și tendința de fluaj; evaluarea efectului stratului reflectorizant; determinarea rezistenței la tracțiune a materialului pe suprafață și pe îmbinarea sudată; testele pe teren. Semnificația rezultatelor obținute constă în fundamentarea fezabilității tehnice și a fezabilității economice a dezvoltării soluțiilor de sistem pentru izolarea integrată a clădirilor cu carcasă cu spumă de polietilenă laminată.

**Cuvinte-cheie:** conservare de energie, carcasă din lemn, clădire cu puține etaje, polietilenă de ruloiri, membrană izolantă, rezistență termică, omogenitate termică.

### Энергосберегающие бесшовные системы изоляции каркасных зданий с применением пенополиэтилена

Семенов В.С., Тер Закарян К.А., Бессонов И.В., Жуков А.Д., Медникова Е.А.

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); ООО ТЕПОФОЛ; Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)  
Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Современное малоэтажное строительство имеет тенденцию к использованию недорогих строительных решений, в частности – систем на деревянном каркасе. В таких системах в качестве теплоизоляции традиционно применяют минераловатные плиты в сочетании с пароизоляцией, гидро- и ветрозащитой. Альтернативным решением в части утепления может выступать вспененный полиэтилен, который является эффективным теплоизоляционным материалом, обладает низкой паро- и воздухопроницаемостью. Актуальность исследования и внедрения таких систем подтверждается необходимостью снижения энергопотребления зданий. Целью работы являлось обоснование возможности применения рулонного вспененного полиэтилена с толщиной листа от 50 мм в качестве теплоизоляции малоэтажных каркасных зданий. Поставленная цель достигнута путём проведения экспериментальных исследований по определению физико-механических и эксплуатационных свойств пенополиэтилена, оценки стойкости материала к климатическим воздействиям и натурной оценки теплофизических характеристик материала и состояния конструкций на объекте. Наиболее существенными являются: результаты определения интервала рабочих температур с учетом механического нагружения и склонности к ползучести; результаты оценки влияния отражающего слоя; результаты определения прочности на разрыв материала по глади и по сварному соединению; результаты натурных испытаний. Установлено, что изделия на основе пенополиэтилена стойки как к климатическим воздействиям, так и по механическому нагружению, материал в интервале температур от минус 60°C до +60°C имеет высокую эксплуатационную стойкость. Влияние отражающего слоя, наносимого на пенополиэтилен, на механические характеристики материала незначительно, но способствует увеличению термического сопротивления изоляционной оболочки. Прочностные характеристики обеспечивают целостность бесшовной изоляционной оболочки. Натурные испытания на утепленном объекте после 5 лет эксплуатации показали высокую теплотехническую эффективность системы, и целостность деревянного каркаса, отсутствие гнилостных повреждений. Значимость полученных результатов состоит в обосновании технической возможности и экономической целесообразности разработки системных решений по комплексной изоляции каркасных зданий рулонным пенополиэтиленом.

**Ключевые слова:** энергосбережение, деревянный каркас, малоэтажное здание, рулонный пенополиэтилен, изоляционная оболочка, термическое сопротивление, теплотехническая однородность.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Общие требования по повышению эффективности строительных объектов как комплексного критерия предполагают использование технических и технологических решений, позволяющих снизить затраты на строительство и эксплуатацию зданий до оптимального уровня. В этот же комплексный критерий входят и долговечность конструкций, и стабильность изоляционных систем во времени, энергоэффективность, снижение отрицательной нагрузки на окружающую среду, повышение комфортности среды обитания и т.д. Эти требования актуальны для любых видов строительства как жилых, общественных и производственных зданий. При этом важную роль выполняют изоляционные материалы и системы изоляции [1–3].

Эффективность систем определяется как технологией монтажа и качеством

выполняемых работ, так и характеристиками материалов, и стабильностью их свойств во времени на весь период эксплуатации. Значительным и успешно развивающимся сегментом строительного производства является малоэтажное строительство [4–6].

Современное малоэтажное строительство имеет тренд на использование недорогих строительных решений. По экономическим показателям считается целесообразным строительство каркасных зданий. Традиционные способы ведения работ предполагают заполнение каркаса теплоизоляционными плитами с пароизоляцией по внутреннему контуру и гидроизоляцией по внешнему контуру, с последующей отделкой. Использование современных материалов и инновационных технических решений позволяет повысить эффективность ведения строительных работ и улучшить параметры теплосбережения возводимых объектов. Одним из таких

решений является создание бесшовных изоляционных оболочек и применение материалов с отражающим покрытием [7–9].

В реальных конструкциях и реализованных строительных системах начинает проявляться присущая для них особенность: мостики холода, через которые тепло из изолированного помещения уходит в окружающую среду. Это снижает теплотехническую однородность конструкции. Использование каркасных систем с утеплением и паро- и гидроизоляцией позволяет повысить теплотехническую однородность изоляционной оболочки при реализации определенных условий [10–12].

Использование плитных изделий на основе минеральной (стеклянной, каменной) ваты в системах изоляции каркасных зданий предполагает обязательную пароизоляцию с внутренней стороны конструкции и гидроизоляцию с наружной стороны. Используются также рулонные материалы, которые позволяют снизить движение паровоздушной смеси через стену. Применение дополнительных изоляционных слоев усложняет конструкцию, а увеличение трудозатрат при монтаже дополнительно увеличивает и ее стоимость [13–15].

Пенополиэтилен толщиной до 10 мм применяется в строительстве и ЖКХ достаточно широко как тепло- и звукоизоляция. Отражающее покрытие (фольга, напыление и пр.) позволяет снижать его теплопроводность и паропроницаемость, увеличить прочность при растяжении. Специалистами НИИСФ РААСН совместно с ООО ЛИТ проведены обширные исследования по влиянию отражающего покрытия на теплоизолирующие свойства системы. Обосновано обязательное наличие воздушного пространства между отражающим слоем и интерьерной облицовкой [16–18]. Технология строительства с применением рулонного вспененного полиэтилена разработана специалистами ООО ТЕПОФОД при участии НИУ МГСУ и НИИСФ РААСН. Основой этой технологии является применение однослойной комплексной изоляции в виде листов (рулонов) толщиной от 50 мм, соединяемых в замок с последующей сваркой, позволяет оптимизировать затраты, а также повышает долговечность изоляционной системы [19–21].

Отличительной особенностью предлагаемой изоляционной оболочки является отсутствие в ней швов. Рулонный вспененный полиэтилен размещается с внешней стороны каркаса, закрепляется механически и сваривается горячим воздухом. Далее в изоляционной оболочке прорезают оконные и дверные проемы; по элементам каркаса устанавливается деревянная обрешетка, на которой закрепляется внешняя облицовка. Сравнительно небольшая масса стен, перекрытий и кровли, допускает применение ленточных фундаментов неглубокого заложения.

Однако, несмотря на успешный опыт реализации таких систем в реальных конструкциях, существует ряд вопросов, связанных с поведением рулонного вспененного полиэтилена под длительно действующей нагрузкой, применением таких систем в различных климатических зонах, долговечностью и эксплуатационной надежностью таких систем, отсутствием экспериментального и научного обоснования возможности их применения. Эти вопросы в литературе ранее не рассматривались и являются предметом изучения в данной статье.

Целью данной работы явилось исследование основных физико-механических и эксплуатационных характеристик рулонного вспененного полиэтилена с перспективой обоснования возможности его применения в качестве теплоизоляции малоэтажных каркасных зданий, исследование эффективности такой изоляции в существующих объектах, а также разработка принципиальных конструктивных решений изоляции зданий на деревянном каркасе рулонным пенополиэтиленом.

## **II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для оценки эффективности разработанной системы необходимо было провести исследования свойств изоляционного материала, в том числе его эксплуатационной стойкости, определить прочностные характеристики и надежность сварного шва, а также исследовать свойства строительной системы в условиях действующего объекта.

Экспериментальные исследования возможности применения рулонного вспененного полиэтилена в системах изоляции каркасных зданий проводились по следующим направлениям: оценка

эксплуатационной стойкости пенополиэтилена; определение теплофизических свойств материала; определение механических характеристик изделий; определение свойств изоляционных систем в построечных условиях.

Определение эксплуатационной стойкости включало изучение свойств материала в условиях температурно-влажностных воздействий и определение ползучести образцов. Оценка свойств пластмасс (в том числе газонаполненных) по их ползучести под постоянной нагрузкой достаточно часто применяется при исследовании их свойств, и полукристаллических и жидкокристаллических полимеров, поролон (мягкого пенополиуретана), полистирола и др. [22–24].

Особенностью методики, разработанной НИУ МГСУ совместно с Вильнюсским ТУ им Гедеминаса, заключается в том, что образцы предварительно подвергали климатическому воздействию, а потом исследовали на ползучесть.

Ползучесть при сжатии образцов несшитого пенополиэтилена с металлизированным покрытием и без него (методика ГОСТ EN 1606-2011) определялась до климатических испытаний и на образцах, прошедших климатические испытания.

Влияние климатических факторов на свойства различных полимеров активно изучалось в течении последних двух-трех десятилетий [25–27]

С учетом свойств пенополиэтилена, климатические испытания осуществлялись при 60 циклах испытаний по двум режимам. Режим 1: снижение температуры до минус 20°C – 1 час; изотермическая выдержка при минус 20°C – 1 час; подъем температуры от минус 20°C до +40°C – 1 час; изотермическая выдержка при +40°C – 1 час; снижение температуры от +40°C до минус 20°C – 1 час. Режим 2 имитировал условия Заполярья: снижение температуры до минус 60°C – 1 час; изотермическая выдержка при минус 60°C – 1 час; подъем температуры от минус 20 до +40 °C – 1 час; изотермическая выдержка при +40°C – 1 час; снижение температуры от +40 до минус 60°C – 1 час.

Преимущества бесшовной изоляционной оболочки достаточно очевидны и определяют, главным образом, увеличение

термического сопротивления изоляционного покрытия за счет минимизации мостиков холода. При этом было необходимо определить прочностные характеристики сварного шва и сравнить их с прочностными характеристиками изделия. Предел прочности при растяжении определяли в соответствии с методиками ГОСТ EN 1608-2011.

Оценка теплозащитных свойств наружной стены с утеплением бесшовным полотном на основе вспененного полиэтилена проводилась на объекте (коттеджном доме), находившемся в эксплуатации в течение 5 лет. Выборочно проводилось экспериментальное определение сопротивления теплопередаче при помощи датчиков температуры и тепловых потоков, установленных на внутренней и наружной поверхностях ограждающей конструкции, в соответствии с ГОСТ Р 54853-2011 и ГОСТ 25380-2014.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения влияния климатических факторов на изменение физико-механических характеристик образцов несшитого пенополиэтилена (НПЭ) представлены на рис. 1. и в табл. 1.

Было установлено, что изменение характеристик образцов, испытанных по режиму 1, практически не отличается от характеристик контрольной серии образцов, не проходивших обработку в климатической камере. В этих случаях кривые «деформации сжатия–прочность» практически совпадают.

Установлено, что естественные деформации пенополиэтилена в интервале температур от минус 60 до +40 °C незначительны. При охлаждении от 0 до минус 60 °C в ячейках пенополиэтилена происходит изменение состояния паровоздушной смеси.

При температурах близких к 0°C происходит переход паров воды в твердое состояние и выпадение мелкокристаллического льда на внутренних поверхностях ячеек.

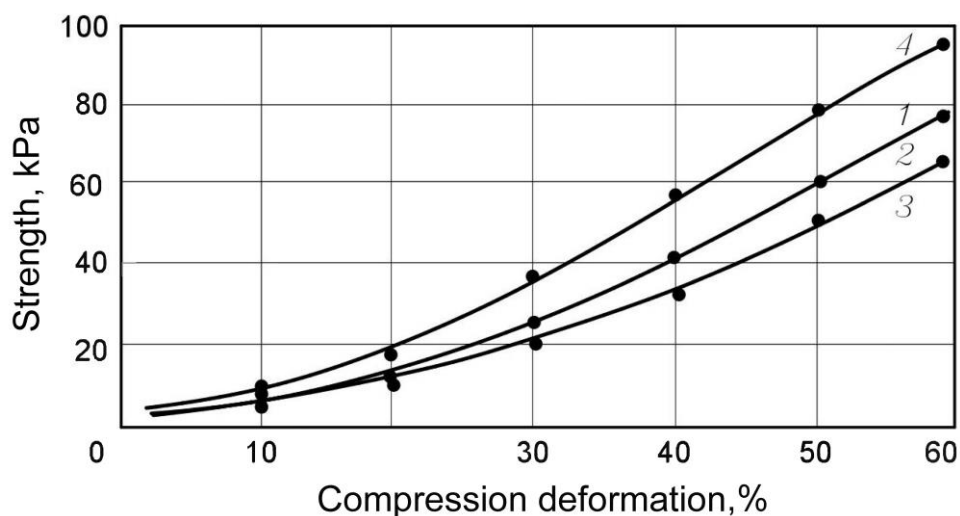
Изменяется давление газа в ячейках и начинается сжатие материала. При дальнейшем снижении температуры плотность воздуха повышается и сжатие материала усиливается.

Таблица 1<sup>1</sup>

Прочность образцов НПЭ при различных деформациях сжатия<sup>2</sup>

Серии образцов	Прочность (кПа) при деформации сжатия, %
----------------	--

(Sample series)		(Strength (kPa) at compression deformation, %)					
		10	20	30	40	50	60
Контрольная серия (Reference series)	без фольги (without foil)	4	6	22	33	56	79
	с фольгой (foiled)	4	6	23	34	56	78
Испытания после климатического воздействия по режиму 1 – от минус 20 до +40°C (Tests after climatic exposure according to mode 1 - from minus 20 to +40°C)	без фольги (without foil)	4	6	21	33	54	77
	с фольгой (foiled)	4	6	22	34	55	78
Испытания после климатического воздействия по режиму 2 – от минус 60 до +40°C (Tests after climatic exposure according to mode 2 - from minus 60 to +40°C)	без фольги (without foil)	4	6	20	30	50	70
	с фольгой (foiled)	4	6	21	32	53	75
Испытания в замороженном при минус 60 °С состоянии (Tests of samples frozen at minus 60°C)	без фольги (without foil)	7	20	30	50	75	92
	с фольгой (foiled)	8	21	32	53	79	96



1 – контрольная серия образцов; 2 – образцы, подвергнутые климатическим испытаниям по режиму 1; 3 – то же по режиму 2; 4 – образцы в замороженном состоянии (при минус 60 °С)

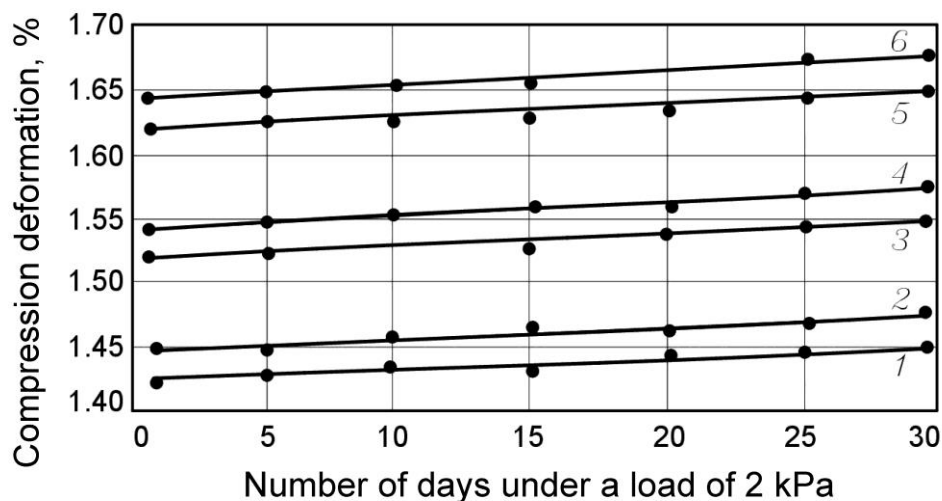
Рис. 1. Деформационные кривые образцов НПЭ.<sup>3</sup>

1,2,3 Appendix 1  
 При дальнейшем испытании при этой нагрузке во времени деформации изделия не происходит (или они настолько ничтожны, что не могут быть зафиксированы). Эффект отсутствия ползучести имел место и для контрольной серии образцов, и для образцов,

подвергнутых климатическим испытаниям и по режиму 1, и по режиму 2. В связи с этим, было решено увеличить прилагаемую нагрузку до 2...6 кПа. В этом случае после начальной деформации изменение размеров образца фиксировалось приборами; и некоторые результаты представлены на рис. 2, 3 и в табл. 2.

Результаты испытаний по определению деформаций сжатия под нагрузкой<sup>5</sup>

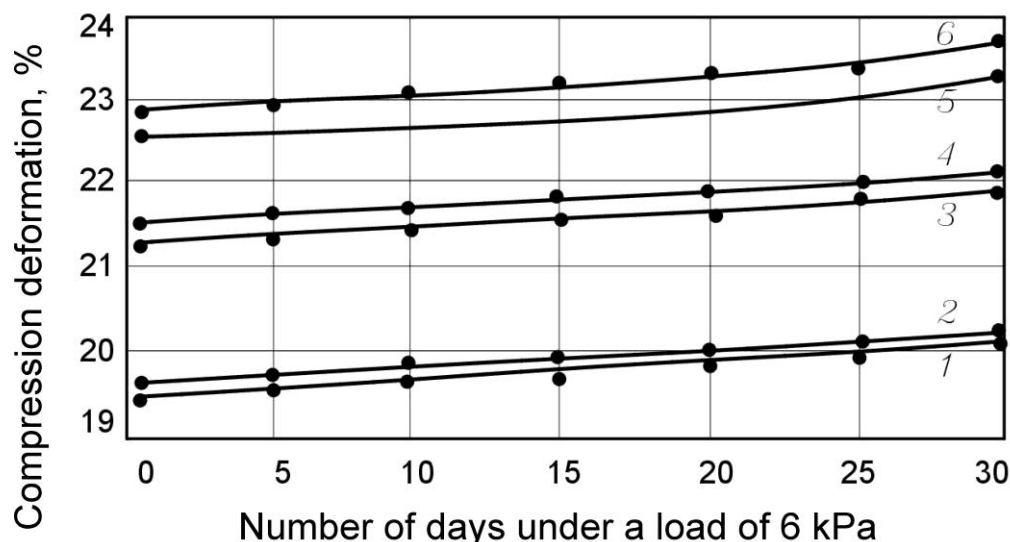
Серии образцов (Sample series)		Деформация сжатия (%) при количестве суток нагружения ( $\tau$ ) при постоянной нагрузке ( $\sigma$ , кПа) (Compression deformation (%) at the number of days of loading ( $\tau$ ) with a constant load ( $\sigma$ , kPa))					
		$\sigma = 2$ кПа		$\sigma = 4$ кПа		$\sigma = 6$ кПа	
		$\tau = 5$	$\tau = 30$	$\tau = 5$	$\tau = 30$	$\tau = 5$	$\tau = 30$
Контрольная серия (Reference series)	2без фольги (without foil)	1.45	1.47	9.7	10.0	19.7	20.3
	1с фольгой (foiled)	1.43	1.45	9.6	9.9	19.6	20.1
Испытания после климатического воздействия по режиму 1 (Tests after climatic exposure according to mode 1)	4без фольги (without foil)	1.55	1.57	10.1	10.3	21.7	22.1
	3с фольгой (foiled)	1.53	1.55	10.0	10.2	21.4	21.9
Испытания после климатического воздействия по режиму 2 (Tests after climatic exposure according to mode 2)	6без фольги (without foil)	1.65	1.67	10.4	10.7	22.9	23.6
	5с фольгой (foiled)	1.63	1.65	10.3	10.6	22.6	23.3



1, 2 – контрольные образцы; 3, 4 – образцы, испытанные после климатического воздействия по режиму 1; 5, 6 – образцы, испытанные после климатического воздействия по режиму 2; 1, 3, 5 – фольгированные образцы; 2, 4, 6 – образцы без фольги.

Рис. 2. Деформация сжатия под постоянной нагрузкой 2 кПа в зависимости от количества суток нагружения.<sup>6</sup>

<sup>4,5,6</sup> Appendix 1



1, 2 – контрольные образцы; 3, 4 – образцы, испытанные после климатического воздействия по режиму 1; 5, 6 – образцы, испытанные после климатического воздействия по режиму 2; 1, 3, 5 – фольгированные образцы; 2, 4, 6 – образцы без фольги

Рис. 3. Деформация сжатия под постоянной нагрузкой 6 кПа в зависимости от количества суток нагружения.<sup>7</sup>

Отсутствие деформаций при нормативных нагрузках, и незначительная деформация при больших нагрузках позволили сделать вывод что изделия на основе пенополиэтилена стойки как к климатическим воздействиям, так и к механическому нагружению, не превосходящему 50% от прочности на сжатие при 10 % деформации. По результату испытаний повреждений образцов выявлено не было.

Исследования показали, что при приложении нормативной нагрузки (в соответствии с рекомендациями ГОСТ EN 1606-2011) происходит сжатие материала на 8–10 % его толщины.

По результатам климатических испытаний снижение прочностных характеристик образцов пенополиэтилена не превышало 4...6%. Материал в интервале температур от минус 60 до +60 °С имеет высокую эксплуатационную стойкость, эквивалентную пятидесяти годам эксплуатации. При температурах выше 80°С применение изделий на основе пенополиэтилена не желательно, так как возможна деструкция полимера и значительные пластические деформации изделия. Нанесение отражающего покрытия на поверхность пенополиэтилена (фольгирование или нанесением металлизированного лавсана) на прочностные характеристики по сжатию влияния не оказывает. Влияние на теплотехнические характеристики изоляционной оболочки

менее однозначно. Исследования, проведенные специалистами различных исследовательских центров, показывают возрастание роли такого покрытия в системах изоляции с вентилируемым зазором, как за счет прямого отражения тепла покрытием, так и за счет процессов теплообмена в вентилируемом пространстве [16–18]. При расположении изоляционного материала с наружной стороны каркаса здания эффект отражения также имеет место, что увеличивает термическое сопротивление изоляционной оболочки.

Эластичная изоляционная оболочка деформируется вместе с основанием, на котором она закреплена механически. Таким основанием обычно является деревянный или металлический каркас. Температурные и влажностные (у древесины) деформации проявляются в конструкции в зависимости от параметров внешней среды. Эти деформации предполагают возникновение растягивающих напряжений в изоляционном покрытии. Сохранение свойств изоляционной оболочки (и в первую очередь ее целостности) является важным для обеспечения долговечности конструкции в целом. Экспериментальные исследования (рис. 4) показали, что предел прочности на растяжение вдоль полотна составляет 80...92 кПа и 80...87 кПа соответственно для образцов с металлизированным покрытием и без него, а

<sup>7</sup> Appendix 1

предел прочности на растяжение сварного шва составляет 29...32 кПа.

С точки зрения эксплуатации, защиты конструкций от атмосферных проявлений и создания благоприятных интерьерных условий, является важным сохранение теплофизических показателей конструкции, что также необходимо было подтвердить экспериментальными исследованиями. По результатам натурных испытаний установлено, что термическое сопротивление изоляционной оболочки составило 2,96 м<sup>2</sup>·°С/Вт, сопротивление теплопередаче (с учетом коэффициентов теплоотдачи) 3,12 м<sup>2</sup>·°С/Вт. Фактическая влажность соснового бруса каркаса составила 7,7...7,8%, что находится на уровне значений равновесной влажности. Гнилостных повреждений деревянного каркаса не обнаружено.

Полученные теплофизические показатели для конструкции после 5 лет ее эксплуатации подтвердили целесообразность использования данных систем изоляции для строительства малоэтажных каркасных жилых зданий. Утепление рекомендуется производить по внешнему периметру каркаса здания с последующей фасадной облицовкой.

Мониторинг построенных объектов и изучение свойств изделий на основе пенополиэтилена позволили осуществить сравнительную оценку систем с применением традиционного утепления каркасных зданий (когда плитная теплоизоляция размещается между стойками и элементами каркаса) и разработанной системы с применением рулонного пенополиэтилена.

Традиционным утеплителем в каркасных конструкциях являются мягкие минераловатные плиты, рекомендуемые для систем, работающих не под нагрузкой (в

данном случае нагрузку воспринимает каркас здания). Такие плиты имеют невысокую среднюю плотность, а их прочностные характеристики оцениваются сжимаемостью. В традиционных системах является обязательным использование гидроизоляционных слоев из рулонных битумно-полимерных материалов, располагаемых снаружи по периметру утепления и пароизоляции (как правило полиэтиленовой пленки или мембраны) изнутри. Теплотехническую однородность изоляционной оболочки снижают также возможные потери тепла на стыках плит и в местах прилеганий плит к несущему каркасу здания [19–20]. Этих особенностей лишена разработанная система, в которой изоляционная оболочка является одновременно паро-, тепло- и гидроизоляцией.

Было проведено сравнение стоимости систем утепления каркасных зданий с применением традиционных решений и с применением технологии формирования бесшовной оболочки, результаты приведены в табл. 3. Снижение затрат по работам обусловлено исключением операций гидро- и пароизоляции конструкции.

Лабораторные исследования и натурные испытания на объекте подтвердили, что система с применением рулонного пенополиэтилена долговечна и, с точки зрения теплосбережения, более перспективна по сравнению с традиционными системами утепления [21–23]. Пенополиэтилен не деформируется в процессе эксплуатации зданий, а также является одновременно тепло-, паро- и гидроизоляцией.

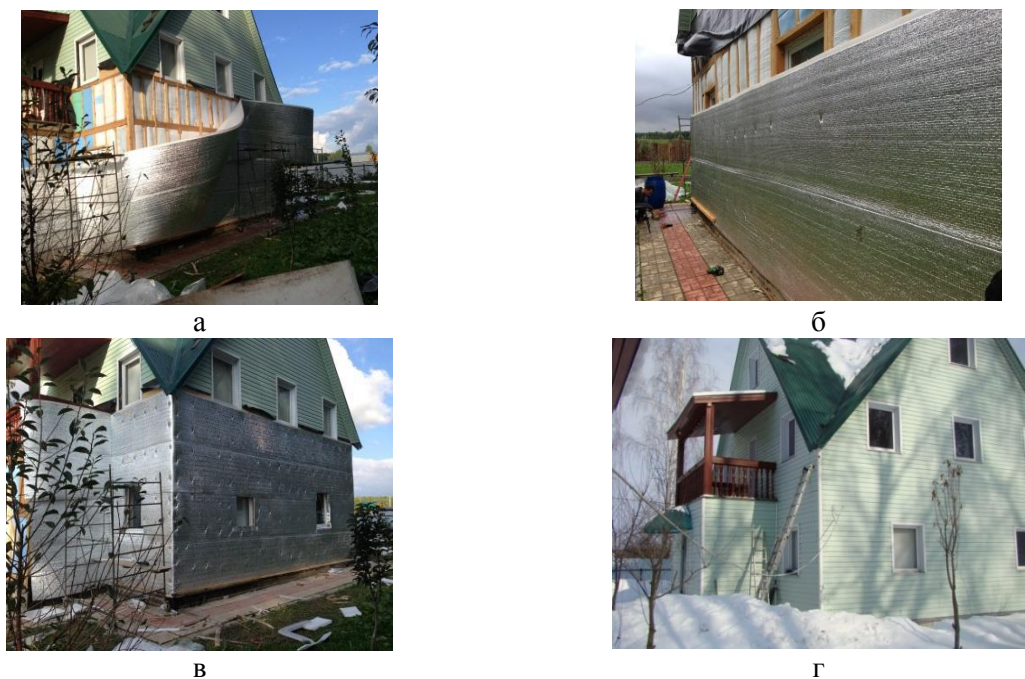
Таблица 3<sup>8</sup>

Сравнительная стоимость различных каркасных систем<sup>9</sup>

Тип каркасной системы (Frame system type)	Стоимость, Euro/m <sup>2</sup> (Cost, Euro/m <sup>2</sup> )		
	По материалам (Materials)	По работам (Work)	Всего (Total)
С минераловатным утеплением (With mineral wool insulation)	10...13	13...15	23...28
С изоляцией на основе рулонного пенополиэтилена (With insulation based on foamed polyethylene)	10...12	9...12	19...24

<sup>8,9</sup> Appendix 1





*а – разворачивание рулона пенополиэтилена; б – механическое закрепление теплоизоляции и сшивка рулона; в – формирование изоляционного контура и оконных проемов; г – коттедж после пяти лет постоянной эксплуатации*

**Рис. 5. Теплоизоляция коттеджа.<sup>10</sup>**

В результате проведенных исследований были разработаны системные решения по комплексной изоляции каркасных зданий рулонным пенополиэтиленом. Бесшовная изоляционная оболочка, формирующаяся за счет соединения отдельных листов в замок с последующей сваркой горячим воздухом, позволяет одновременно реализовывать тепло- паро- и гидроизоляцию конструкции. Эти решения нашли широкое практическое применение (рис. 5). Разработаны и реализованы рекомендации по ведению строительно-монтажных работ [21-23].

#### **IV. ВЫВОДЫ**

Утеплитель на основе рулонного пенополиэтилена – это долговечный материал, который также является тепло-, паро- и гидроизоляцией. изоляционные системы, разработанные по результатам исследований, уже нашли широкое практическое применение и имеется достаточные опыт реализации и эксплуатации подобных решений. Эксплуатационная стойкость изделий и долговечность конструкций соответствуют нормативным требованиям.

Общая энергетическая эффективность реализуемых в строительстве решений по системам изоляции деревянных каркасных

коттеджей складывается из следующих элементов. Во-первых, это затраты на приобретение материалов и на строительство. При реализации классических систем использование энергосберегающих решений удорожает строительство объектов. В данном случае этого не происходит, так как формирование бесшовной изоляционной оболочки практически сводит к минимуму потери тепла по глади стены.

Во-вторых, это обеспечение длительных эксплуатационных циклов без капитального ремонта. Проведенный мониторинг состояния объектов на деревянном каркасе показал, что все конструкции находятся в нормальном эксплуатационном состоянии без проявлений избыточной влажности и сопутствующим таковой появлению грибковых поражений, синевы или плесени.

В-третьих, это снижение эксплуатационных расходов на горячее водоснабжение и отопление. Здесь необходимо отметить, что эффективное снижение потерь тепла достигается применением рекуператоров, устанавливаемых в оконных проемах. Таким образом устраняется отрицательный для сбережения тепла эффект «открытой форточки», при этом обеспечивается приток

<sup>10</sup> Appendix 1

свежего воздуха для естественной вентиляции помещений.

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований, доказано, что бесшовные изоляционные оболочки из вспененного полиэтилена имеют высокие теплозащитные свойства, характеризуются высокой долговечностью и эксплуатационной надежностью, могут применяться в различных климатических регионах строительства, позволяют снижать эксплуатационные расходы, а также затраты на строительство и сокращать время выполнения строительно-монтажных работ.

#### APPENDIX 1 (ПРИЛОЖЕНИЕ 1)

<sup>1,2</sup>**Table 1.** Strength of non-cross-linked foamed polyethylene samples under various compression deformations.

<sup>3</sup>**Fig. 1.** Deformation curves of non-cross-linked foamed polyethylene samples (1 - reference samples; 2 - samples subjected to climatic tests in mode 1; 3 - the same one in mode 2; 4 - samples in a frozen state (at minus 60 ° C)).

<sup>4,5</sup>**Table 2.** Test results for determining compressive deformations under load.

<sup>6</sup>**Fig. 2.** Compression deformation under a constant load of 2 kPa depending on the number of days of loading (1, 2 - reference samples; 3, 4 - samples tested after climate exposure in mode 1; 5, 6 - samples tested after climatic exposure in mode 2; 1, 3, 5 - foiled samples; 2, 4, 6 - samples without foil).

<sup>7</sup>**Fig. 3.** Compression deformation under a constant load of 6 kPa depending on the number of days of loading (1, 2 - reference samples; 3, 4 - samples tested after climate exposure in mode 1; 5, 6 - samples tested after climatic exposure in mode 2; 1, 3, 5 - foiled samples; 2, 4, 6 - samples without foil).

<sup>8,9</sup>**Table 3.** The comparative cost of various frame systems.

<sup>10</sup>**Fig. 5** Thermal insulation of a cottage.

#### Литература (References)

- [1] Efimov B., Isachenko S., Kodzoev M.B., Dosanova G. and Ekaterina B. Dispersed reinforcement in concrete technology. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 110, pp. 01032.
- [2] Almusaed A., Almassad A., Alasadi A. Analytical interpretation of energy efficiency concepts in the housing design process from hot climate. *Journal of Building Engineering*, 2019, vol. 21, pp. 254-266.
- [3] Medvedev A., Bobrova E., Poserenin A. and Zarmanyan E. Evaluation of mineral fiber properties using x-ray fluorescence analysis and measurement of natural radioactivity. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 170, pp. 03018.
- [4] Umnyakova N, Gandzhuntsev M. To the determination of heat exchange conditions near the inner surface of walls with reflective thermal insulation from aluminum foil. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 196, pp. 02035.
- [5] Belussi L., Barozzi B., Bellazzi A., Danza L., Devitofrancesco A., Fanciulli C., Ghellere M., Guazzi G., Meroni I., Salamone F., Scamoni F., Scrosati C. A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. *Journal of Building Engineering*, 2019, vol. 25, pp. 100172.
- [6] Pyataev E.R., Medvedev A.A., Poserenin A.I., Burtseva M.A., Mednikova E.A. and Mukhametzhanov V.M. Theoretical principles of creation of cellular concrete with the use of secondary raw materials and dispersed reinforcement. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 251, pp. 01012.
- [7] Gnip I.J., Keršulis V.J., Vaitkus S.J. Analytical description of the creep of expanded polystyrene under compressive loading. *Mechanics of Composite materials*, 2005, vol. 41(4), pp. 357–364.
- [8] Ujma A., Pomada M. Analysis of the temperature distribution in the place of fixing the ventilated facade. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 97, pp. 01041.
- [9] Fayez Aldawi, Firoz Alam, Abhijit Date, Arun Kumar, Mohammad Rasul. Thermal Performance Modelling of Residential House Wall Systems. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 49, pp. 161-168.
- [10] Pilipenko A., Bobrova E. and Boris E. Simulation of thermal treatment of mineral wool blanket. *MATEC Web of Conferences*, 2019, vol. 298, pp. 00091.
- [11] Nardi L., Perilli S., De Rubeis T., Sfarra S., Ambrosini D. Influence of insulation defects on the thermal performance of walls an experimental and numerical investigation. *Journal of Building Engineering*, 2019, vol. 21, pp. 355-365.
- [12] Shen X., Li L., Cui W., Feng Y. Coupled heat and moisture transfer in building material with freezing and thawing process. *Journal of Building Engineering*, 2018, vol. 20, pp. 609–615.
- [13] Bauer E., Pavon E., De Castro E.K., Barreira E. Analysis of building façade defects using infrared thermography: laboratory studies. *Journal of Building Engineering*, 2016, vol. 6, pp. 93–104.
- [14] De Dear, R.J., Brager, G.S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 2002, vol. 34 (6), pp. 549-561.
- [15] Suarez C., Joubert P., Molina J.L., Sanchez F.J. Heat transfer and mass flow correlations for ventilated facades. *Energy and Buildings*, 2011, vol. 43 (12), pp. 3696-3703.

- [16] Umnyakova N. Influence of surface emissivity on the heat loss through the wall behind the heater. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 111, pp. 797-802.
- [17] Umnyakova N. Heat exchange peculiarities in ventilated facades air cavities due to different wind speed. *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies II - Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering Sciences and Technologies, ESaT 2016*, 2017, pp. 655-660.
- [18] Umnyakova N, Ujma A. Unventilated Air Layers with a Reflective Coating in the Building Envelope. *Materials Science Forum*, 2018, vol. 931, pp. 496–501.
- [19] Russian Federation Patent no. 2645190. Lock technology of thermal insulation material for seamless welding of connecting locks. Registered on February 16th, 2018.
- [20] Kozlov S., Efimov B., Bobrova E., Zinovieva E. and Zhukova E. Optimization of foamed plastic technology. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 97, pp. 06010.
- [21] Gudkov P., Kagan P., Pilipenko A., Zhukova E.Yu., Zinovieva E.A. and Ushakov N.A. Usage of thermal isolation systems for low-rise buildings as a component of information models. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 97, 01039.
- [22] Gnip I., Keršulis V., Vaitkus S., Vėjelis S. Assessment of Strength under Compression of Expanded Polystyrene (EPS) slabs. *Materials science (Medžiagotyra)*, 2004, vol. 10, № 4, pp. 326–329.
- [23] Carriere C.J., Bank D., Malanga M. Evaluation and modelling of the high-temperature short-term creep performance of selected glass-filled semicrystalline and liquid crystalline polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 1998, vol. 67, pp. 1177–1183.
- [24] Chacko S.R. and Sivakumar S.M. A procedure for correction of creep in foam in foam rubber optical pressure measurement techniques. *Experimental Mechanics*, 1999, vol. 39, No 2, pp. 125–132.
- [25] Kiselman A., Portnyagin D., Ibe E. and Shibaeva G. Estimation of influence of heat-conducting inclusions on thermal protection of filler constructions of buildings. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 97, pp. 04026.
- [26] Topchy D., Yurgaytis A., Manakhova A. and Mustafina K. The potential for implementation of liquid thermal insulation in organizational and technological solutions. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 97, 06039.
- [27] Gotlib E., Nguyen A., Yanov V. and Sokolova A. Study of resistance to climatic factors of epoxy coatings modified by plant oils and their functionalized derivatives. *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 97, pp. 02001.

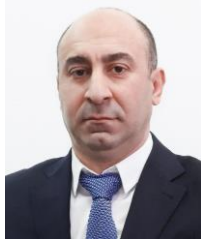
### Сведения об авторах.



**Семенов Вячеслав Сергеевич**  
Кандидат технических наук.  
НИУ МГСУ. Область научных интересов:  
полифункциональные строительные композиты.  
E-mail: [science-isa@yandex.ru](mailto:science-isa@yandex.ru)



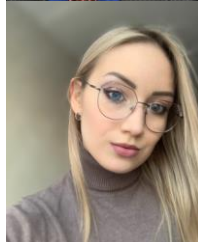
**Бессонов Игорь Вячеславович**  
Кандидат технических наук.  
НИИСФ РААСН. Область научных интересов:  
строительная теплофизика.  
E-mail: [bessonoviv@mail.ru](mailto:bessonoviv@mail.ru)



**Тер-Закарян Карпет Арменович.** Генеральный директор. ООО «ТЕПОФОЛ». Область научных интересов: системы на основе пенополиэтилена.  
E-mail: [karo73@mail.ru](mailto:karo73@mail.ru)



**Жуков Алексей Дмитриевич**  
Кандидат технических наук.  
НИУ МГСУ. Область научных интересов: изоляционные материалы и системы.  
E-mail: [lj211@yandex.ru](mailto:lj211@yandex.ru)



**Медникова Елизавета Андреевна.** Инженер. НИУ МГСУ. Область научных интересов: изоляционные материалы и системы.  
E-mail: [lisamednikova97@gmail.com](mailto:lisamednikova97@gmail.com)