

УДК 519.23:621.926.08:622.73

ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ В СИСТЕМАХ ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ КРОВЛИ
FOAMED PLASTIC IN SYSTEM OF OPERATED ROOFS

© **Аристов Д.И.**

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), г. Москва
Den93adi@mail.ru*

© **Aristov D.I.**

*National Research University Moscow state university of civil engineering
(NRU MSUCE), Moscow
Den93adi@mail.ru*

© **Глотова Ю.В.**

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), г. Москва
glotova_y@mail.ru*

© **Glotova Yu.V.**

*National Research University Moscow state university of civil engineering
(NRU MSUCE), Moscow
glotova_y@mail.ru*

© **Сазонова Ю.В.,**

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), г. Москва
iu.sazonowa@yandex.ru*

© **Sazonova Yu.V.**

*National Research University Moscow state university of civil engineering
(NRU MSUCE), Moscow
iu.sazonowa@yandex.ru*

Аннотация: в работе рассмотрены вспененные пластмассы, которые имеют низкую плотность и теплопроводность, удовлетворительную стойкость к растворам слабых кислот и щелочей. Отмечено, что их общим недостатком является горючесть.

Основные методы исследования основаны на нормативных требованиях и методиках испытаний, рекомендованных для вспененных пластмасс.

В процессе работы были получены результаты по свойствам пеноизоциануратов и изучены их показатели на соответствии требованиям, предъявляемым к кровельной теплоизоляции. Проанализированы перспективы использования этих материалов в качестве теплоизоляции в системах эксплуатируемой кровли.

Abstract. The paper discusses the foamed plastics which have a low density and thermal conductivity, satisfactory resistance to sol-frames weak acids and bases. It is noted that a common drawback is their flammability.

Basic research methods are based on regulatory requirements and test methods recommended for foamed plastics.

In the process, results were obtained on the properties of foam isocyanates and studied their performance on compliance with the requirements for roof insulation. The prospects of the use of these materials as insulation in systems operated roof.

<http://www.bulletennauki.com/>

Ключевые слова: вспененная пластмасса, теплоизоляция, эксплуатационная стойкость, огневое воздействие, кровельные системы.

Keywords: foamed plastic insulation, operational stability, fire exposure, roofing systems

Вспененные пластмассы, используемые в строительстве, обладают тремя общими свойствами: низкой теплопроводностью, обусловленной мелкоячеистой (и, как правило, замкнутой) пористостью, стойкостью в агрессивных полярных средах и горючестью [1, 2]. Низкая теплопроводность и стойкость к слабым неорганическим растворителям (например, водным растворам солей или кислот) делает эти материалы в высшей степени привлекательными для применения в качестве теплоизоляции [3, 4]. Горючесть вспененных пластмасс – накладывает определенные ограничения на их области применения и стимулирует исследования, направленные на улучшение «пожарных» свойств этих материалов.

Одной из реальных областей применения вспененных пластмасс, и в частности экструзионного модифицированного пенополистирола, являются инверсионные кровли. Создание теплоэффективных инверсионных кровель стало возможным в результате получения изделий на основе экструзионного пенополистирола (XPS-плит). Этот материал впервые появился в отечественной строительной практике в середине 70х годов, изготовление его в России началось в середине 90х, а сейчас, его производство освоено на десятках отечественных заводов.

Отечественные модификации, обладающие высокой прочностью (Таблица 1) позволяет использовать этот материал в нагружаемых конструкциях, и, в частности, под автомобильную, вертолетную нагрузку и при устройстве ВПП аэропортов. Для всех видов XPS-плит водопоглощение, по объему не превышает 0,2%, а температурный интервал применения составляет от -70 до +75°C. Как любая вспененная пластмасса материал горюч, но использование его в защищенных от прямого воздействия огня конструкциях допускается действующими нормами [5, 6].

Таблица.

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ XPS ПЛИТ

Показатели	XPS 30-200 Стандарт	XPS 30-250 Стандарт	XPS CARBON 30-280 Стандарт	XPS CARBON 35-300	XPS CARBON 45-500
Плотность, кг/м ³	не менее 25	27—29	28—30	30—35	38—45
Прочность на сжатие при 10 % деформации, менее, кПа	200	250	280	300	500
Предел прочности при изгибе, не менее, МПа	0,30	0,30	0,40	0,40	0,45
Теплопроводность при 25 °С Вт/(м·К)	0,029	0,029	0,028	0,028	0,031
Теплопроводность в условиях эксплуатации «А» и «Б», Вт/(м·К), не более	0,031	0,031	0,030	0,030	0,032
Паропроницаемость не менее мг/(м·ч·Па)	0,011	0,011	0,011	0,010	0,005
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)	1,45	1,45	1,45	1,45	1,50

При устройстве теплоизоляции инверсионных кровель применяются XPS-плиты: CARBON 30-280 СТАНДАРТ или CARBON 35-300 — для зеленых и эксплуатируемых крыш под пешеходную нагрузку; CARBON 45-500 — для эксплуатируемых крыш под автомобильную нагрузку.

<http://www.bulletennauki.com/>

Эксплуатируемые крыши подразделяют на крыши под пешеходную или под транспортную нагрузку, а также на зеленые крыши с применением легкого или интенсивного озеленения. Конструктивные решения предполагают не только учет особенностей формирования кровельного покрытия и кровельного «пирога», но и особенности работы несущих элементов, то есть, плоской крыши как единой системы [7, 8].

При разработке конструктивных решений для эксплуатируемых и зеленых крыш в качестве основы принята инверсионная система [9]. В отличие от традиционной эта система предусматривает устройство теплоизоляционного слоя поверх гидроизоляции.

Применение инверсионных систем устройства крыш дает следующие преимущества [10]:

- увеличение долговечности гидроизоляционного слоя, который надежно защищен от воздействия основных неблагоприятных факторов: высоких и низких температур, резких температурных перепадов, солнечного излучения, механических нагрузок;
- экономия на пароизоляционном слое;
- возможность укладки теплоизоляционных материалов и вышележащих слоев крыши при неблагоприятных погодных условиях;
- применение единой инверсионной системы позволяет легко комбинировать разные виды эксплуатируемых и зеленых крыш при проектировании и строительстве.

Реализация инверсионных систем стало оправданным и возможным после появления изоляционных материалов, обладающих достаточной стойкостью к механическим, атмосферным, тепловым нагрузкам и способным сохранять эти свойства в течение длительного времени, а также обладающим высокой биостойкостью.

Эксплуатируемые крыши под пешеходную нагрузку (Рисунок 1а.) применяются как отдельно, так и совместно с другими видами, например, зелеными крышами, при новом строительстве современных многофункциональных комплексов с целью эффективного и эстетического использования площади крыши, например, как дополнительного места для отдыха.

Эксплуатируемые крыши под транспортную нагрузку (Рисунок 1б.) широко распространены при строительстве современных многофункциональных комплексов, где крыша является эксплуатируемой зоной, подразумевающей постоянное движение автотранспорта, а также устройство парковочных мест.

Зеленые крыши с применением легкого озеленения (Рисунок 2а.) наиболее распространены. Это объясняется тем, что конструкция крыши, не требующая сложного технического обслуживания, позволяет применять ее на зданиях и сооружениях различного назначения.

Эксплуатируемые крыши с применением интенсивного озеленения (Рисунок 2б.) используются как отдельно, так и совместно с различными видами эксплуатируемых крыш при новом строительстве современных многофункциональных комплексов с целью эффективного и эстетического использования площади крыши, например, как дополнительного места для отдыха. Крыши с интенсивным озеленением требуют постоянного профессионального технического обслуживания.

Несущим основанием для эксплуатируемых и зеленых крыш могут служить пустотные или ребристые плиты перекрытий, а также перекрытия из монолитного железобетона. Для обеспечения быстрого отвода воды с поверхности гидроизоляционного слоя эксплуатируемых и зеленых крыш необходимо предусмотреть устройство уклонов основания, на которое укладывается кровельный ковер.

Уклоны основания под кровельный ковер составляют 1,5-3,0%. При уклонах менее 1,5% существует вероятность застоя воды на крыше, что может привести к ее заболачиванию и гибели

<http://www.bulletennauki.com/>

высаженных растений. При увеличении уклонов уменьшается водоудерживающая способность крыши. Это требует применения материалов с увеличенными водоудерживающими характеристиками либо использования растений, устойчивых к меньшему количеству влаги. Кроме того, при больших уклонах крыш может возникнуть необходимость в дополнительных мероприятиях, предотвращающих сдвиг слоев крыши.

Уклон, формирующийся несущими конструкциями крыши, является оптимальным вариантом, который может быть использован для всех видов крыш. Уклонообразующий слой из керамзитобетона с устройством по нему армированной цементно-песчаной стяжки подходит для эксплуатируемых крыш под пешеходную нагрузку. *Уклонообразующий слой из бетонной смеси* предпочтителен для эксплуатируемых крыш под автомобильную нагрузку.

Основанием под водоизоляционный ковер могут служить ровные поверхности:

- железобетонных несущих плит, швы между которыми заделаны цементно-песчаным раствором марки не ниже 100 или бетоном класса не ниже В 7,5;

- выравнивающих монолитных стяжек из цементно-песчаного раствора и асфальтобетона.

В выравнивающих стяжках должны быть предусмотрены температурно-усадочные швы шириной до 10 мм, разделяющие стяжку из цементно-песчаного раствора на участки размером не более 6х6 м, а из песчаного асфальтобетона — на участки не более 4х4 м. В холодных покрытиях с несущими плитами длиной 6 м эти участки должны быть 3х3 м.

Швы должны совпадать с торцевыми швами несущих плит сборных железобетонных оснований. По температурно-усадочным швам должна быть предусмотрена укладка полосок-компенсаторов шириной 150—200 мм из рулонных материалов с приклейкой по обеим кромкам на ширину около 50 мм.

Для устройства *гидроизоляционного слоя эксплуатируемых крыши* применяется рулонный битумно-полимерный материал Техноэласт ЭПП (Таблица), который укладывается в два слоя. Для устройства гидроизоляции зеленых крыш применяются Техноэласт ЭПП, который используется в качестве нижнего слоя кровельного ковра, и битумно-полимерный материал Техноэласт ГРИН — для устройства верхнего слоя кровельного ковра. В качестве альтернативного варианта вместо Техноэласта ЭПП может быть применен Техноэласт ЭМП 5,5.

Техноэласты — это СБС-модифицированные, наплавляемые кровельные и гидроизоляционные материалы повышенной надежности и биостойкости. Техноэласты изготавливаются путем нанесения на стекловолоконную или полиэфирную основу битумно-полимерного вяжущего, содержащего битум, термопласт СБС и наполнители. В качестве защитного слоя используется мелкозернистая посыпка и полимерная пленка.

Битумно-полимерный материал Техноэласт ГРИН обеспечивает *защиту от проникновения корней растений*. Нанесенная с верхней стороны материала толстая полимерная пленка является защитой от механического повреждения водоизоляционного слоя корнями растений. Наличие специального вещества, равномерно распределенного в материале, приводит к тому, что корни растений стелются по слою гидроизоляции, не повреждая его. При этом данное вещество не оказывает угнетающего воздействия на корневую систему растений и не уменьшает их жизненный цикл.

<http://www.bulletennauki.com/>

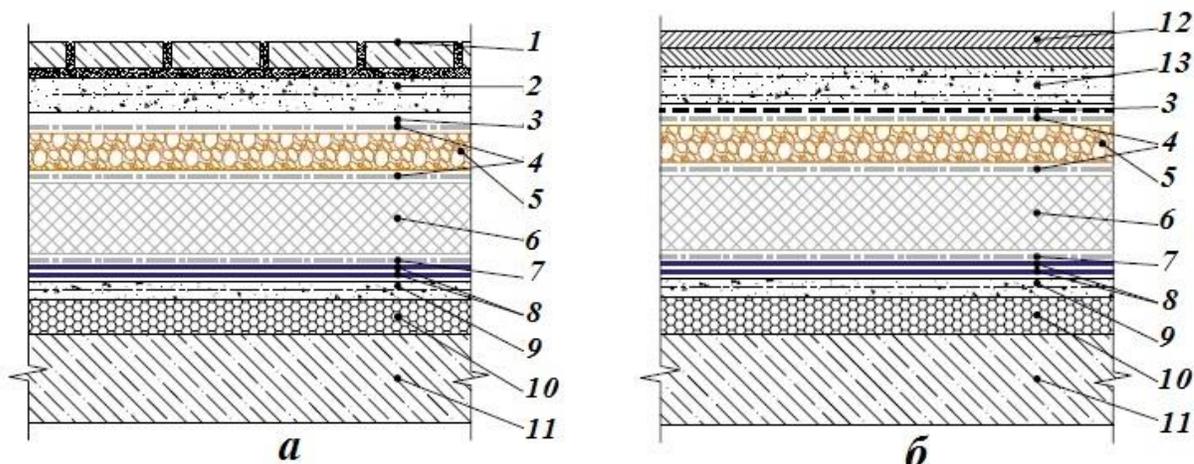


Рисунок 1. Схема эксплуатируемой крыши: а — под пешеходную нагрузку; б — под транспортную нагрузку:
1 — тротуарная плитка по цементно-песчаному раствору; 2 — армированная цементно-песчаная стяжка; 3 — кровельный картон (пергамин); 4 — термоскрепленный геотекстиль; 5 — дренажный слой из гравия; 6 — XPS-плиты; 7 — иглопробивной геотекстиль; 8 — рулонная гидроизоляция; 9 — армированная цементно-песчаная стяжка; 10 — уклонообразующий слой; 11 — плита перекрытия; 12 — асфальтобетон; 13 — железобетонная плита

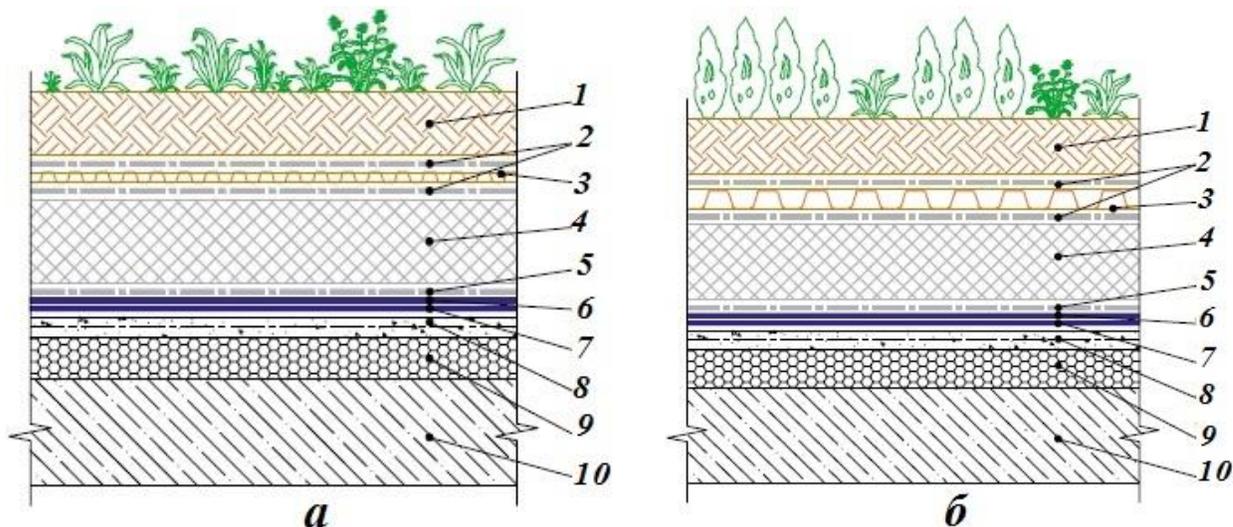


Рисунок 2. Схема эксплуатируемой крыши: а — с применением легкого озеленения;
б — с применением интенсивного озеленения:

1 — растительный субстрат с зелеными насаждениями; 2 — термоскрепленный геотекстиль развесом; 3 — дренажная мембрана; 4 — XPS-плиты; 5 — иглопробивной геотекстиль развесом; 6 — рулонная гидроизоляция усиленная; 7 — рулонная гидроизоляция; 8 — армированная цементно-песчаная стяжка; 9 — уклонообразующий слой; 10 — плита перекрытия

В качестве разделительного слоя между кровельным ковром и теплоизоляцией используется иглопробивной геотекстиль плотностью 300 г/м². Данный материал препятствует застаиванию воды на поверхности гидроизоляционного слоя. В качестве разделительного слоя между дренажным слоем, теплоизоляцией и растительным субстратом используется термоскрепленный геотекстиль плотностью 150 г/м². Данный материал не заливается и препятствует смыванию частиц растительного субстрата в водостоки.

Теплоизоляционные плиты рекомендуется укладывать в один слой с соединением в паз для предотвращения накопления просочившейся с поверхности крыши воды между слоями

<http://www.bulletennauki.com/>

теплоизоляции. Такой тонкий слой воды блокирует испарение влаги с поверхности нижележащего гидроизоляционного слоя, способствуя ее накоплению в конструкции кровельного пирога. При укладке теплоизоляционных плит в два слоя толщина верхнего слоя должна быть не меньше толщины нижнего слоя теплоизоляции. Данное условие необходимо выполнять для того, чтобы поверхность соприкосновения верхнего и нижнего слоев теплоизоляции находилась ниже «точки росы» («точка росы» обычно находится в верхней трети слоя теплоизоляции). В противном случае не исключено замерзание воды, находящейся между слоями теплоизоляционных плит.

В качестве дренажного слоя эксплуатируемых и зеленых крыш применяют гравий или профилированные мембраны, а также комбинацию из профилированной мембраны PLANTER и слоя гравия.

Профилированная мембрана (PLANTER) — это полотно из полиэтилена высокой плотности (HPDE) с отформованными округлыми выступами (шипами). Основная функция мембран PLANTER — защита гидроизоляционного слоя и организация пристенного дренажа. PLANTER обладает высокими прочностными характеристиками, а также стоек к химической агрессии, к воздействию плесени и бактерий, корней растений и УФ-излучению.

Гравий, фракцией 10—20 мм, укладывают между двумя слоями термоскрепленного геотекстиля. Минимальная толщина слоя гравия — 40 мм. Геотекстиль выполняет функции разделительного, укрепляющего и фильтрующего слоя. Профилированные мембраны PLANTER укладывают между двумя слоями термоскрепленного геотекстиля. Геотекстиль выполняет функции разделительного, укрепляющего и фильтрующего слоя.

Вегетативный слой зеленых крыш состоит из растений, высаженных в растительный субстрат, а также специальных слоев: дренажного, водоудерживающего и аэрационного. *Водоудерживающий слой* зеленых крыш обеспечивает сохранение влаги, необходимой для жизнедеятельности растений. Эту функцию наряду с функцией дренажа и аэрации выполняет профилированная мембрана из полиэтилена высокой плотности, уложенная между двумя слоями термоскрепленного геотекстиля.

Повышение стойкости вспененных пластмасс к огневому воздействию является приоритетом для многих организаций, специализирующихся в области технологии полимеров. Определенные успехи достигнуты в области технологии пенополиуретанов, и, в частности, получены материалы, имеющие порог возгорания от 150°C до 400°C. В случае интенсивного пожара (расчетная температура от 600°C) это не спасет от возгорания, но при меньших огневых нагрузках, или точечных воздействиях, применение таких материалов становится возможным.

Теплоизоляционный материал на основе пенополиизоцианурата (PIR) закрытой ячеистой структуры (не менее 95%) представляет собой изделия в виде плит, кашированных крафт-бумагой, картоном, стеклохолстом, алюминиевой фольгой или многослойным ламинатом в т.ч. фольгой на водостойкой бумажной основе, и бумагой кашированной полиэтиленом. Благодаря своей структуре и особенностям производства Плиты теплоизоляционные PIR обладают низкой теплопроводностью и водопоглощением, высокой прочностью и высокой устойчивостью к воздействию огня.

Плиты могут иметь края двух видов – с ровным краем и L-образный. Наличие «L»-края предотвращает появление «мостиков холода», улучшает стыковку материала друг с другом.

<http://www.bulletennauki.com/>

Физико-механические характеристики плит PIR

Плотность, кг/м ³	30—40
Теплопроводность, Вт/(м·К), не более:	
- при (25±5)°С	0,024
- при условиях эксплуатации А/Б	0,025/0,027
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, не менее, кПа	120
Водопоглощение по объему за 24 ч, %, не более	2
Температура эксплуатации, °С	от минус 65 до плюс 110
Группа горючести	Г1—Г2
Толщина/Длина/ Ширина, мм (25, 50, 75, 100)/(1200, 2400)/1150	

Плиты теплоизоляционные PIR являются конструкционным теплоизоляционным материалом, не подвержены воздействию агрессивных сред, гниению, имеют длительный срок эксплуатации (в т.ч. в агрессивных средах, и условиях повышенной влажности). Плиты при воздействии огня образуют на своей поверхности графитовый защитный слой, который предотвращает распространение пламени и служит надежной защитой от дальнейших воздействий огня.

Плиты теплоизоляционные PIR применяются в общегражданском и промышленном строительстве при устройстве систем плоских крыш по профилированным и бетонным основаниям, с покрытием гидроизоляционными рулонными материалами и другими видами гидроизоляционных материалов.

В системе неэксплуатируемой крыши по стальному профилированному настилу с кровельным ковром из полимерной мембраны использовано комбинированное утепление, что позволяет достичь максимального теплотехнического эффекта при сохранении пожарной безопасности конструкции. Система имеет класс пожарной опасности К0 (15) по ГОСТ 30403-96, что позволяет ее применять в качестве бесчердачных покрытий в зданиях II—V степени огнестойкости с любым классом пожарной опасности здания. Также эта система имеет предел огнестойкости RE 15 по ФЗ 123.

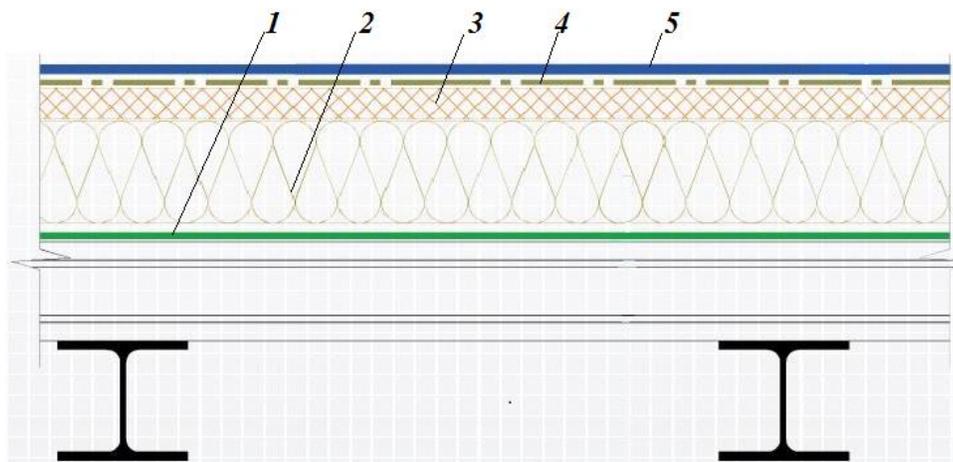


Рисунок 3. Система неэксплуатируемой крыши по стальному профилированному настилу:
1 — пленка парозащитная; 2 — минераловатный утеплитель; 3 — плиты теплоизоляционные PIR;
4 — стеклохолст; 5 — полимерная мембрана

В качестве нижнего слоя применяется негорючий минераловатный утеплитель толщиной не менее 50 мм, что обеспечивает системе высокие противопожарные характеристики. В качестве верхнего слоя теплоизоляции применяется утеплитель на основе жесткого пенополиизоцианурата

<http://www.bulletennauki.com/>

(PIR) (Рисунок 3.). Плиты теплоизоляционные PIR ФЛ/ФЛ, применяемые в системе имеют группу горючести Г2. Кровельный ковер выполнен из полимерной мембраны LOGICROOF с группой горючести Г1. Сочетание низкой группы горючести плит PIR и полимерной мембраны LOGICROOF позволяет применять эту кровельную систему на крышах с большими площадями до 10000 м².

Системные решения позволяют получить конструкцию, обладающую нормативными показателями качества при оптимальных затратах. Критериями эффективности кровельных систем могут быть приняты их теплофизические показатели, и сохранение эксплуатационных характеристик конструкции в течение длительного времени (на весь заявленный срок эксплуатации). Это достигается за счет применения сертифицированных материалов, прошедших нормативные испытания по свойствам и эксплуатационной стойкости, корректно спроектированных конструкций и квалифицированного монтажа.

Список литературы:

1. Андрианов Р.А. Защитно-покровные материалы на основе фенолформальдегидных олигомеров / Р.А. Андрианов, А.М. Орлова, С.Б. Аширбекова, О.В. Александрова // Конструкции из композиционных материалов. 2006. №2. С. 5—13.
2. Жуков А.Д. Экологические аспекты формирования изоляционной оболочки зданий / А.Д. Жуков, А.М. Орлова, Т.А. Наумова, Т.П. Никушкина, А.А. Майорова // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 209—212.
3. Румянцев Б.М. Оптимизация ячеистых структур / Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков, А.С. Чукин, Д.И. Аристов // Научное обозрение. 2015. № 13. С. 128-131.
4. Румянцев Б.М. Теплопроводность высокопористых материалов / Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова // Вестник МГСУ. 2012. № 3. С. 108—114.
5. Zhukov A.D. Thermal treatment of the mineral wool mat / A.D. Zhukov, T.V. Smirnova, D. V. Zelenshchikov, A.O. Khimich // «Advanced Materials Research» (Switzerland) Vols. 838—841 (2014) pp. 196—200.
6. Жуков А.Д. Локальная аналитическая оптимизация технологических процессов / А.Д. Жуков, А.В. Чугунков // Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 273—278.
7. Румянцев Б.М. Методология создания новых строительных материалов / Б.М. Румянцев, А.Д. Жуков / Учебное пособие. Москва. МГСУ. 2012. 172 с.
8. Жуков А.Д. Системы изоляции строительных конструкций / А.Д. Жуков, А.М. Орлова, Т.А. Наумова, И.Ю. Талалина, А.А. Майорова // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 213—217.
9. Соков В.Н. Комплексный парогидротеплоизоляционный материал / В.Н. Соков, А.Э. Бегляров, А.А. Солнцев, А.А. Журавлева, А.С. Журбин // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2014. №2. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>. Дата обращения 2015.05.10.
10. Zhukov A.D. Composite wall materials / A.D. Zhukov, I.V. Bessonov, A.N. Sapelin, N.V. Naumova, A.S. Chkunin // «Italian Science Review». Issue 2 (11); February 2014. P. 155—157.

References:

1. Andrianov R.A. Zashhitno-pokrovnye materialy na osnove fenolformal'degidnyh oligomerov / R.A. Andrianov, A.M. Orlova, S.B. Ashirbekova, O.V. Aleksandrova // Konstrukcii iz kompozitsionnyh materialov. 2006. №2. S. 5—13.
2. Zhukov A.D. Jekologicheskie aspekty formirovanija izoljacionnoj obolochki zdaniy / A.D. Zhukov, A.M. Orlova, T.A. Naumova, T.P. Nikushkina, A.A. Majorova // Nauchnoe obozrenie. 2015. № 7. S. 209—

<http://www.bulletennauki.com/>

212.

3. Rumjancev B.M. Optimizacija jacheistyh struktur / B.M. Rumjancev, A.D. Zhukov, A.S. Chkunin, D.I. Aristov // Nauchnoe obozrenie. 2015. № 13. S. 128-131.

4. Rumjancev B.M. Teploprovodnost' vysokoporystyh materialov / B.M. Rumjancev, A.D. Zhukov, T.V. Smirnova // Vestnik MGSU. 2012. № 3. S. 108—114.

5. Zhukov A.D. Thermal treatment of the mineral wool mat / A.D. Zhukov, T.V. Smirnova, D. B. Zelenshchikov, A.O. Khimich // «Advanced Materials Research» (Switzerland) Vols. 838—841 (2014) pp. 196—200.

6. Zhukov A.D. Lokal'naja analiticheskaja optimizacija tehnologicheskikh processov / A.D. Zhukov, A.B. Chugunkov // Vestnik MGSU. 2011. № 1-2. S. 273—278.

7. Rumjancev B.M. Metodologija sozdaniya novyh stroitel'nyh materialov / B.M. Rumjancev, A.D. Zhukov / Uchebnoe posobie. Moskva. MGSU. 2012. 172 s.

8. Zhukov A.D. Sistemy izoljatsii stroitel'nyh konstrukcij / A.D. Zhukov, A.M. Orlova, T.A. Naumova, I.Ju. Talalina, A.A. Majorova // Nauchnoe obozrenie. 2015. № 7. S. 213—217.

9. Sokov V.N. Kompleksnyj parogidroteploizoljacionnyj material / V.N. Sokov, A.Je. Begljarov, A.A. Solncev, A.A. Zhuravleva, A.S. Zhurbin // Internet-vestnik VolgGASU. 2014. №2. Rezhim dostupa: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>. Data obrashhenija 2015.05.10.

10. Zhukov A.D. Composite wall materiali / A.D. Zhukov, I.V. Bessonov, A.N. Sapelin, N.V. Naumova, A.S. Chkunin // «Italian Science Review». Issue 2 (11); February 2014. P. 155—157.