ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 699.86:691.175

DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.7

Системы тепло- и холодоизоляции

А.А. Григорян¹, К.А. Тер-Закарян², А.И. Панченко³, Н.А. Гальцева³, В.И. Кращенко³

¹ ООО «ГРИГОРЯНШИН»; г. Ереван, Республика Армения;

² ООО «ТЕПОФОЛ»; г. Москва, Россия;

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены различные аспекты применения вспененного полиэтилена на спортивных объектах Армении — это системы теплоизоляции кровли; реализация изоляционных систем для сохранения холода на территории открытых спортивных сооружений, в частности, для сохранения запасов снега на горнолыжных курортах. К теплоизоляционному материалу для таких сооружений предъявляют дополнительные требования. Материал, кроме высоких теплотехнических свойств, должен быть герметичным, легким, простым в монтаже и обслуживании, долговечным, устойчивым к заражению бактериями и грибами, легко переносить перепады температур.

Материалы и методы. Приведены результаты исследования свойств (плотность, теплопроводность, паропроницаемость, водопоглощение) и особенностей применения (стойкость к воздействиям температур, влажности, агрессивных компонентов, содержащихся в воздухе) рулонного несшитого пенополиэтилена при создании изоляционных полотен, защищающих снег от таяния.

Результаты. Установлено, что пенополиэтилен в изоляционной системе сохраняет стабильность механических и теплофизических свойств. С учетом всех функциональных особенностей использования изоляционных систем разработаны принципы защиты и сохранения (консервации) снегового покрытия, реализованные на горных склонах и плато горнолыжных объектов. Рулоны вспененного полиэтилена соединялись встык и закреплялись механически.

Выводы. Сформировано бесшовное изоляционное покрытие, покрывающее весь горный склон — «термоодеяло». Служба изоляционной системы осуществляется в межсезонье между мартом и сентябрем в период стабильных положительных температур. Теплоизоляционные изделия на основе вспененного полиэтилена экологически безопасны, просты в монтаже и эксплуатации, имеют высокую эксплуатационную стойкость и долговечность. Возможность создания бесшовного полотна минимизирует теплопроводящие мосты по глади поверхности сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пенополиэтилен, отражающая теплоизоляция, механическая фиксация, консервации снегового покрытия, термическое сопротивление изолирующей оболочки, диффузионное влагопоглощение, изолируемая поверхность, бесшовная изоляционная оболочка

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Григорян А.А., Тер-Закарян К.А., Панченко А.И., Гальцева Н.А., Кращенко В.И. Системы тепло- и холодоизоляции // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. Вып. 4. Ст. 7. URL: <http://ns-o-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.7

Heat- and cooling systems

Artak A. Grigoryan¹, Karapet A. Ter-Zakaryan², Alexander I. Panchenko³,
Nadezhda A. Galceva³, Vladislav I. Krashchenko³

¹ GRIGORYANSHIN; Yerevan, Republic of Armenia;

² TEPOFOL; Moscow, Russian Federation;

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article discusses the various aspects of the use of foamed polyethylene, implemented at sports facilities in Armenia. Firstly, it is a roof insulation system. Secondly, the implementation of insulation systems to preserve the cold in the territory of open sports facilities, in particular, to preserve snow reserves in ski resorts. Additional requirements are imposed on the thermal insulation material for such structures. The material, in addition to high thermotechnical properties, must be

airtight, lightweight, easy to install and maintain, durable, resistant to infection by bacteria and fungi, it is easy to tolerate temperature extremes.

Materials and methods. The article presents the results of a study of the properties (heat conductivity density, vapor permeability, water absorption) and application features (resistance to the effects of temperature, humidity, aggressive components contained in the air, that is, its high operational stability) of rolled non-cross-linked polyethylene foam when creating insulating sheets that protect snow from melting.

Results. It was found that polyethylene foam in the insulating system maintains the stability of mechanical and thermophysical properties. Taking into account all the functional features of the implementation of insulation systems, the principles of protection and preservation (conservation) of snow cover have been developed, implemented on the mountain slopes and plateau of ski facilities. Rolls of foamed polyethylene were joined end-to-end and mechanically fixed.

Conclusions. Thus, a seamless insulating coating was formed, covering the entire hillside — “thermal blanket”. The insulation system is operated during the off-season between March and September, during a period of stable positive temperatures.

KEYWORDS: polyethylene foam, reflective thermal insulation, mechanical fixation, conservation of snow cover, thermal resistance of the insulating shell, diffusion moisture absorption, insulated surface, seamless insulating shell

FOR CITATION: Grigoryan A.A., Ter-Zakaryan K.A., Panchenko A.I., Galceva N.A., Krashchenko V.I. Heat- and cooling systems. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2019; 9(4):7. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2019.4.7 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Основной функцией теплоизоляционных материалов и изделий является создание изоляционных оболочек, но с точки зрения результата применение теплоизоляции может быть детализировано [1–3]. Во-первых, создание теплоизоляционных оболочек направлено на снижение теплопотерь из помещений наружу. На этом функциональном решении основано проектирование и реализация большинства строительных систем. Во-вторых, это защита строительных конструкций и внутренних помещений от перегрева. В-третьих, сохранение холода в специальных установках и на специальных объектах, как то холодильниках, спортивных сооружениях и пр. [4–6].

Отметим, что эффективная защитная оболочка с высокоэффективным теплоизоляционным материалом, стабильным по своим свойствам, и с минимальным количеством плоскостей теплопередачи — «мостиков холода» позволяет на 40–60 % снизить энергетические расходы на работу холодильных установок, что и определяет целесообразность применения систем изоляции [7–9].

В статье рассматривается задача сохранения снегового покрытия на горнолыжных курортах. Для регионов, где высокогорный туризм — существенная статья дохода и экономической стабильности, важно максимальное увеличение времени эксплуатации горнолыжных объектов. Значительным подспорьем в этом служит «прошлогодний снег», сохраняемый весь теплый сезон и позволяющий открыть туристские маршруты на 2–3 недели раньше (с первых отрицательных стабильных темпера-

тур), т.е. до выпадения климатического снегового покрова.

Отметим, что в большинстве случаев в качестве изоляционных преград для сохранения снега от таяния все еще продолжают использовать древесную стружку и опилки (в качестве засыпки толщиной до 1000 мм). Это дает возможность на 60–80 % сохранять запасы снега, но возникают проблемы утилизации использованной стружки и низкого коэффициента полезного действия системы изоляции в целом [10–12].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Минимизация переноса тепла через изоляционные преграды или оболочки определяется следующими факторами. Во-первых, это свойства теплоизоляционного материала (плотность, теплопроводность, паропроницаемость, водопоглощение); во-вторых, наличие мостиков передачи тепла и теплопроводных включений; в-третьих, состояние оболочки на стыках отдельных листов теплоизоляции; в-четвертых, стабильность свойств изоляционного материала на весь период эксплуатации; в-пятых, долговечность изоляционной системы [13–15].

К теплоизоляционному материалу для таких сооружений предъявляют дополнительные требования. Материал, кроме высоких теплотехнических свойств, должен быть герметичным, легким, простым в монтаже и обслуживании, долговечным, устойчивым к заражению бактериями и грибами, и легко переносить перепады температур. В этом отношении перспективным представляется рулонный пенополиэтилен — эластичный материал, стойкий

к воздействиям температур, влажности, агрессивных компонентов, содержащихся в воздухе, что и определяет его высокую эксплуатационную стойкость [16–18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментально установлены следующие характеристики вспененного полиэтилена: прочность при растяжении в продольном направлении для пенополиэтиленовых изделий с металлизированным покрытием составляет 80–92 кПа, без металлизированного покрытия — 80–87 кПа, а для сварного шва — 29–32 кПа. Теплопроводность материала находится в интервале 0,026–0,034 Вт/(м·К).

Установлено, что пенополиэтилен при средней плотности 18–20 кг/м³ имеет диффузионное влагопоглощение без металлизированного покрытия 0,44 кг/м²; а с покрытием 0,37 кг/м² водопоглощение при частичном погружении в воду на 24 ч — 0,013 кг/м²; водопоглощение по объему при полном погружении в воду на 28 сут — 0,96 %. Пенополиэтилен может применяться в условиях отрицательных (от –60 °С) и знакопеременных температур. Выявлено, что изменение свойств пенополиэтилена в рассматриваемом интервале температур (от –60 до 80 °С) не превышает погрешности эксперимента.

Материал практически не изменяет свойства в условиях длительного знакопеременного изменения температур, в том числе и при одновремен-

ном влажностном воздействии. Как все вспененные пластмассы пенополиэтилен является горючим материалом. Это необходимо учитывать при разработке систем его применения.

Новизна материала и разработанной технологии Теплофол (патент РФ № 2645190) по сравнению с известными решениями заключается в разработке рулонного пенополиэтилена толщиной от 20 до 150 мм с замковым соединением, а также технологии бесшовного соединения отдельных теплоизоляционных полотен. Рулоны вспененного полиэтилена, изготовленные методом экструзии, закрепляются механическим способом и соединяются в замок (рис. 1). В свою очередь, замковая система на стыке двух рулонов сваривается между собой посредством строительного фена. В том случае, если сварка невозможна, предусматриваются механические системы соединения листов.

Системы изоляции различного профиля были реализованы на одном из курортных объектов. Во-первых, была реконструирована детско-юношеская стрелковая школа в г. Ереван. Объект был отремонтирован в 2009 г., и очень быстро начались как протечки крыши, так и псевдопротечки. После долгих профессиональных дискуссий было решено использовать Теплофол как лучший универсальный материал для теплоизоляции, пароизоляции, звукоизоляции и полного комплексного решения стоящей задачи (рис. 2, 3). Во-вторых, была опробована технология консервации снега.

Рис. 1. Схема формирования соединения «в замок»: 1 — отражающий слой; 2 — замковое соединение

Рис. 2. Внешний вид и интерьеры школы

Рис. 3. Теплоизоляция крыши

Рис. 4. Подготовительный этап устройства защитного покрытия с помощью рулонного пенополиэтилена: *a* — сбор снега под консервацию с помощью строительной техники и его уплотнение; *b* — доставка рулонов пенополиэтилена; *c* — подготовка рулонов

Применение рулонного пенополиэтилена с металлизированным покрытием и замковым соединением Теплофол технически оправдало себя при разработке технологии «консервации снега» в межсезонье (с весны до осени) с целью его раннего использования на горнолыжных курортах, или с целью формирования запасов снега для компенсации дефицита при недостаточном выпадении естественных осадков в зимний период на лыжных трассах любого типа.

Процесс реализации такой масштабной задачи включал два этапа. На первом этапе — тонны снега либо производят с помощью снежных пушек, либо сгребают со склонов в большие кучи и складывают на специальных площадках. Искусственный снег смешивают с натуральным снегом и уплотняют (рис. 4).

Если площадки для хранения снега расположены в труднодоступных участках, то теплоизоляцию в рулонах доставляют к месту складирования на

вертолетах, если складирование происходит в поле или в распадках (ярах, больших оврагах), то доставка осуществляется любым подходящим видом транспорта.

Рулоны пенополиэтилена подготавливают и раскладывают на изолируемой поверхности, затем соединяют для образования единого бесшовного полотна. Консервация запасов снега производится с помощью рулонного вспененного полиэтилена толщиной 20–50 мм с металлизированным покрытием. Для увеличения долговечности изоляционной системы и возможности ее повторного использования рекомендуется устройство тентового покрытия, закрепляемого по периметру хранилища снега и площади поверхности с помощью натяжных конструкций: тросов, закрепленных по периметру и формирующих сетку (рис. 5).

С точки зрения теплофизики и теплообменных процессов в данном случае имеют место быть

Рис. 5. Устройство защитного покрытия с помощью рулонного пенополиэтилена (консервация снега) и его эксплуатация: *a* — раскладка рулонов; *b* — соединение рулонов в бесшовную изоляционную оболочку; *c* — запасы снега, сохраняемые в межсезонье

следующие явления. Во-первых, пенополиэтилен имеет низкую теплопроводность, а также паропроницаемость и водопоглощение и его свойства практически не изменяются в рассматриваемых режимах эксплуатации. Во-вторых, замковое соединение рулонов позволяет свести до минимума мостики передачи тепла на стыках и формирует бесшовную изоляционную оболочку. В-третьих, снег имеет сам по себе сравнительно высокую теплоемкость (порядка 2080–2100 Дж/(кг·°C)) и относительно низкую теплопроводность. При плотности рыхлого снега 200 кг/м³ его теплопроводность равна 0,15 Вт/(м·K), а уплотненного плотностью 600–700 кг/м³ — 0,6–0,7 Вт/(м·K).

Металлизированная поверхность рулонного пенополиэтилена отражает солнечные лучи, а теплое покрытие так же рекомендуется выбирать светлых, отражающие солнечные лучи, тонов. Указанные факторы позволяют получить термическое сопротивление изолирующей оболочки («термоодеяла») порядка 1,3 м²°C/Вт, а с учетом термического сопротивления снежного массива — еще выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом всех функциональных особенностей реализации изоляционных систем для сохранения снега были разработаны принципы защиты и сохранения (консервации) снегового покрытия, и реализованы на горных склонах и на равнинных спортивно-туристических объектах.

Рулонный пенополиэтилен с металлизированным покрытием стал основой, и на его базе была разработана специальная технология консервации снега с помощью «термоодеяла». Таким образом, формировалось бесшовное изоляционное покрытие, покрывающее весь горный склон. Этим гигантским цельным теплоизоляционным полотном, для пере-

мещения которого пришлось задействовать даже авиацию, накрывались снежные холмы горнолыжного курорта.

Теплоизоляционные изделия на основе вспененного полиэтилена экологически безопасны, просты в монтаже и эксплуатации, имеют высокую эксплуатационную стойкость и долговечность. Возможность создания бесшовного полотна минимизирует теплопроводящие мосты по глади поверхности сооружений.

Системы на основе вспененного полиэтилена являются наглядным примером реализации принципов энергетической эффективности. Эти принципы, применительно к технологии сохранения снега, могут быть сформулированы следующим образом: сохранение холода в изолируемых объемах, достигаемое за счет создания изоляционной оболочки, обеспечивает сохранение снега без применения дополнительных источников холода, а, следовательно, способствует экономии энергетических ресурсов.

Использование материалов и конструкций в системе «Теплофол термоодеяло» допускает быстрое и неэнергоемкое возведение сооружений, создание оптимальных условий для сохранения изолируемых материалов и нахождения людей.

Установлено, что эксплуатационные характеристики пенополиэтилена, а также изоляционных оболочек на его основе вполне соответствуют требованиям к материалам и системам, работающим при отрицательных и знакопеременных температурах. Поддержанию температурного режима в изолируемом объеме служит формирование бесшовного стыка в результате замкового соединения отдельных рулонов пенополиэтилена. Технология «сохранения холода» опробована при строительстве специализированных объектов, при изоляции спортивных сооружений, а также в полевых условиях для консервации снега.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Zelenshchikov D.B., Mustafaev R.M., Khimich A.O. Insulation systems and green sustainable construction // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 1025–1026. Pp. 1031–1034. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1025-1026.1031
2. Rumiantcev B.M., Zhukov A.D., Zelenshchikov D.B., Chkunin A.S., Ivanov K.K., Sazonova Yu.V. Insulation systems of the building constructions // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. P. 04027. DOI: 10.1051/mateconf/20168604027
3. Rumiantcev B.M., Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Romanova I.P., Zelenshchikov D.B., Smirnova T.V. The systems of insulation and a methodology for assessing the durability // MATEC Web of Conferences. 2016. Vol. 86. P. 04036. DOI: 10.1051/mateconf/20168604036
4. Жук П.М., Жуков А.Д. Нормативная правовая база экологической оценки строительных материалов: перспективы совершенствования // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 4. С. 52–57. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-52-57
5. Пат. РФ № 2645190, МПК E04B 1/78. Замковая технология теплоизоляционного материала для бесшовной сварки соединительных замков / К.А. Тер-Закарян ; патентообл. К.А. Тер-Закарян. Заявл. № 2016138156 26. 09.2016; опубли. 16.02.2018. Бюл. № 5.
6. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S. Insulation systems with the expanded poly-

ethylene application // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. Issue 30. Pp. 803–807. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.191

7. Zhukov A.D., Konoval'tseva T.V., Bobrova E.Yu., Zinovieva E.A., Ivanov K.K. Thermal insulation: operational properties and methods of research // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 01016. DOI: 10.1051/mateconf/201825101016

8. Semenov V.S., Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Kozlov S.D., Zinovieva E.A., Fomina E.D. Insulation systems for buildings and structures based on expanded polyethylene // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. P. 01014. DOI: 10.1051/mateconf/201825101014

9. Pilipenko A., Bobrova E., Zhukov A. Optimization of plastic foam composition for insulation systems // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 02017. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102017

10. Bobrova E., Pilipenko A., Zhukov A. Insulating sheath system and energy efficiency of buildings // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 02019. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102019

11. Zhukov A., Dovydenko T., Kozlov S., Ter-Zakaryan K., Bobrova E. Innovative technologies for low-rise construction // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 02032. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102032

12. Zhukov A., Ter-Zakaryan A., Bobrova E., Bessonov I., Medvedev A., Mukhametzyanov V. et al. Evaluation of thermal properties of insulation systems in pitched roofs // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 02047. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102047

13. Zhukov A., Shokodko E., Bobrova E., Bessonov I., Dosanova G., Ushakov N. Interior acoustic materials and systems // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Pp. 740–747. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_72

14. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Семенов В.С., Старостин А.В. Системы изоляции каркасных коттеджей // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 1. С. 122–127. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-122-127

15. Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Бессонов И.В. Строительные системы и особенности применения теплоизоляционных материалов // Жилищное строительство. 2015. № 7. С. 49–51.

16. Жуков А.Д., Заяфаров А.В., Власенко В.А., Зиновьева Е.А. Системы изоляции для дома с пониженным энергопотреблением // Инновации в жизнь. 2017. № 2 (21). С. 244–250.

17. Жуков А.Д., Ефимов Б.А., Сазонова Ю.В., Жуков А.Ю. Пенополиэтилен как теплоизоляция для холодного климата // Научное обозрение. 2017. № 15. С. 10–14.

18. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Заяфаров А.В., Петровский Е.С., Тучаев Д.У. Системы изоляции скатных крыш // Кровельные и изоляционные материалы. 2017. № 6. С. 27–29.

19. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Тучаев Д.У., Петровский Е.С. Энергоэффективное утепление продовольственных складов и овощехранилищ // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 1 (361). С. 65–67.

Поступила в редакцию 4 апреля 2019 г.

Принята в доработанном виде 12 июня 2019 г.

Одобрена для публикации 26 ноября 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: Артак Араратович Григорян — директор; ООО «ГРИГОРЯНШИН»; 0096, Республика Армения, г. Ереван, ул. Д. Маляна, д. 4/1, оф. 30; grigoryanshin@gmail.com;

Карапет Арменович Тер-Закарян — генеральный директор; ООО «ТЕПОФОЛ»; 105318, г. Москва, ул. Щербаковская, д. 3, оф. 810; karo73@mail.ru;

Александр Иванович Панченко — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; PanchenkoAI@mgsu.ru ;

Надежда Алексеевна Гальцева — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; tvvib@mgsu.ru;

Владислав Ильич Кращенко — студент; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; isa@mgsu.ru.

INTRODUCTION

The existed thermotechnical standards and construction systems are oriented to the implementation of statutory requirements involving the increase of energy

efficiency of constructional, communal and technical objects as well as reduction of expenses for maintenance of preset temperature conditions in the insulated facilities. Envelope with highly-efficient thermal insulating material that minimizes heat transfer and is

characterized stable properties and minimum amount of heat transfer surface areas — cold bridges, allows reducing energy expenses on refrigerating plants operation by 40–60 % what determinates the reasonability of application of insulation systems [1, 2].

LITERATURE REVIEW

Analysis of normative documents and literature sources allows assuming that creation of insulating envelopes represents the basic function of thermal insulating materials and products, which may be detailed from the point of view of the result [3, 4]. Specific tasks could be the following. First, formation of thermal insulating envelopes is focused on the reduction of heat losses from inside outwards. The designing and implementation of the majority of construction systems is based on this functional solution. On the second hand, this includes protection of building structures and indoor premises from overheating. Thirdly, it is about cold conservation in special plants and at special facilities such as refrigerators, sports venues etc. [5, 6].

MATERIALS AND METHODS

This paper concentrates on conservation problem of snow covering at ski resorts. For regions, where alpine tourism serves as a significant income item and source of economic stability, the highest possible increase of ski resorts exploitation represents primary objective. The last year's snow being saved for the entire warm season and allowing touristic routes to become opened 2–3 weeks earlier (starting with the first stable negative temperatures), i.e. before climatic snow falling, is of a great help in this case.

Noteworthy is that in the most cases the woodchips and sawdust are continuing to be used in the quality of insulating barriers for protection the snow from melting (as a fill up to 1,000 mm in thickness). This provides the snow preservation by 60–80 %, but leads to the problem of recycling of used sawdust and low energy conversion efficiency of the insulation system as a whole [9, 10].

Minimization of heat transfer through the insulating barriers is determined by the following factors. First, these are the properties of a heat-insulating material (density, thermal conductivity, vapor permeability, water absorption); secondly, the presence of heat bridges and heat-conducting inclusions; thirdly, the condition of the coating at the joints of separate heat-insulating sheets; fourthly, the stability of insulation material properties for the entire exploitation period, and, fifthly, the durability of the insulation system [11, 12].

Additional demands are placed on thermal insulating material for suchlike constructions. Apart from high thermotechnical properties, the material should involve hermeticity, lightness, easy mounting and maintenance, durability, bacterial and fungal resistance and temperature differential resistance. In this regard, rolled polyethylene foam is worthwhile being an elastic material, resistant to the impacts of temperature, humidity, aggressive components contained in the air what determinates its high operational durability

Following characteristics of polyethylene foam have been experimentally proven: the longitudinal tensile strength of the polyethylene foam products with a metallized coating is 80–92 kPa, without metallized coating — 80–87 kPa, and 29–32 kPa of the weld seam. Thermal conductivity of the material lies within the range of 0.026–0.034 W/(m·K) [13, 14].

It has been established that the values of diffusion moisture absorption of polyethylene foam with an average density of 18–20 kg/m³ amounts to 0.44 kg/m² without a metallized coating and 0.37 kg/m² with a metallized coating; water absorption after partial immersion in water for 24 hours is equal to 0,013 kg/m²; water absorption by volume after complete water immersion for 28 days amounts to 0.96 %. Polyethylene foam is applicable under conditions of negative (from –60 °C) and alternating temperatures. It is found that the change of polyethylene foam properties within the frame of examined temperature interval (from –60 to +80 °C) does not exceed the experimental error.

The material practically does not change its properties under conditions of long-term alternating changes as well as by simultaneous humidity impact. Polyethylene foam is an inflammable material the same as other

Fig. 1. Schematic representation of the locking joint 1 — reflecting layer; 2 — locking joint

foamed plastics what should be necessarily taken into consideration by developing of its application systems [15, 16].

The originality of the material and developed Tepofol technology (RU Patent No. 2645190) in comparison with known solutions involves elaboration of rolled polyethylene foam of 20 to 150 mm in thickness with a locking joint as well as technology of seamless connection of separate thermal insulating canvases. Polyethylene foam rolls produced by means of extrusion are mechanically fixed and connected with the help of the lock joint (Fig. 1). The locking system in its turn is welded at the junction of two rolls by means of a hot air gun. In case the welding is not possible, provision is made for mechanical connection systems of sheets.

RESEARCH RESULTS

The insulation systems of various purposes have been implemented within the frame of one of the resort facilities. On the first hand, the Youth Sports School of Shooting of Yerevan was reconstructed. The building project has been renovated in 2009 but both roof leakages and pseudo roof leakages have occurred quite quickly. After long professional discussions the decision was made in favor of Tepofol as the best versatile material for thermal insulation, vapor barrier, soundproofing and as a comprehension solution of an assigned task

(Fig. 2, 3). Secondly, the snow conservation technology has been tested.

The application of Tepofol polyethylene foam rolls with a metallized coating and locking joint has technically proven its value when developing snow conservation technology in the off-season (from spring to fall) for the purpose of its early usage at ski resorts or aiming to preserve the snow in order to compensate its deficiency by insufficient natural snowfall in the winter period on the ski runs of any type.

Implementing of such a broad challenge has involved two stages. At the first stage tons of snow are either produced with the help of snow cannons, or banked from the flanks into large piles and stored at special sites. The artificial snow is mixed with the natural snow and then compressed (Fig. 4).

If snow storage sites are located in hard-to-reach areas, then thermal insulation is delivered in rolls to the storage area by helicopters, if storage takes place in the field or in glens (pits, large gullies), then delivery is accomplished by any suitable type of transport.

Polyethylene foam rolls are prepared and laid on the insulating surface being subsequently connected in order to achieve an integral seamless canvas. Conservation of snow storage is performed with the help of polyethylene foam rolls of 20–50 mm in thickness with metallized coating. In order to expand the durability of insulation system and enable its repeated use

Fig. 2. School's exterior and interior appearance

Fig. 3. Roof insulation

Fig. 4. Preparatory stage of installation of a protective coating with the help of rolled polyethylene foam: *a* — snow collecting for conservation by means of construction equipment and its compressing; *b* — delivery of polyethylene foam rolls; *c* — preparation of rolls

age, the arrangement of a tent is recommended, which is fixed along the perimeter of the snow storage and surface area with the help of tension structures: ropes that are also fastened along the perimeter and represent a net (Fig. 5).

From the point of view of thermophysics and heat-exchanging processes, following phenomena are in evidence in this case. First and foremost, polyethylene foam has a low thermal conductivity, as well as vapor permeability and water absorption and its properties do not practically change in the considered operating conditions. Secondly, the locking junction of the rolls allows minimizing the bridges of heat transfer at the joints and creates a seamless insulating coating. Thirdly, the snow

itself has a relatively high heat capacity (of about 2,080–2,100 J/(kg·°C) and relatively low thermal conductivity. By the density of soft snow of 200 kg/m³ its thermal conductivity is equal to 0.15 W/(m·K), and the density of compacted snow amounts 600–700 kg/m³ by thermal conductivity — 0.6–0.7 W/(m·K).

The metallized surface of the rolled polyethylene foam reflects the sun rays and it is also recommended to choose the tented covering in light tones in order to achieve the sun rays reflection as well. The specified factors allow obtaining the thermal resistance of the insulating coating (“thermal blanket”) of about 1.3 W/m²°C, and, taking the thermal resistance of the snow mass into account, even higher.

Fig. 5. Arrangement of a protective coating with the help of rolled polyethylene foam (snow conservation) and its exploitation: *a* — laying the rolls out; *b* — rolls junction in a seamless insulating coating; *c* — snow reserves kept during the off-season

Considering all the operational characteristics of the implementation of insulation systems for snow preservation, the principles of protection and preservation (conservation) of snow covering have been developed, implemented on the hillside and plain sports-touristic facilities.

Polyethylene foam rolls became the base, and a special technology was developed on its basis - snow conservation with the help of “thermal blanket”. Therefore, a seamless insulating coating was created which covered the entire hillside. The snowy hills of the ski resort have been covered with this giant integral insulating coating that had to be moved even with the help of aircraft.

Heat-insulating products based on the polyethylene foam are environmentally-friendly, easy-to-install and user-friendly and are also characterized by high operational durability. The possibility of creating a seamless coating minimizes the heat-conducting bridges along the smooth surface of constructions.

CONCLUSIONS

Systems based on polyethylene foam represent a clear example of the implementation of energy efficiency principles. In the context of snow conservation technology these principles can be formulated as follows: *cold conservation in insulating volumes achievable by means of creation of insulating coating, enables snow preservation without application of additional cold sources and consequently promote energy resources saving.*

Usage of material and structures based on “Tepofol Thermal blanket” system assumes realization of quick and non-energy intensive building process; creation of optimal conditions for maintenance of insulating materials and for people presence as well.

It has been established that the performance characteristics of polyethylene foam, as well as insulation coatings on its base, comply completely with the requirements to the materials and systems operating un-

der conditions of negative and alternating temperatures. Creation of a seamless joint as an effect of the locking connection of separate rolls of polyethylene foam enables maintaining the temperature conditions in the

insulating volume. Cold conservation technology was tested within the construction process of specialized facilities, when insulating sports venues, as well as in field conditions for snow conservation.

REFERENCES

1. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Zelenshchikov D.B., Mustafaev R.M., Khimich A.O. Insulation systems and green sustainable construction. *Advanced Materials Research*. 2014; 1025-1026:1031-1034. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1025-1026.1031
2. Rumiantcev B.M., Zhukov A.D., Zelenshchikov D.B., Chkunin A.S., Ivanov K.K., Sazonova Yu.V. Insulation systems of the building constructions. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 86:04027. DOI: 10.1051/mateconf/20168604027
3. Rumiantcev B.M., Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Romanova I.P., Zelenshchikov D.B., Smirnova T.V. The systems of insulation and a methodology for assessing the durability. *MATEC Web of Conferences*. 2016; 86:04036. DOI: 10.1051/mateconf/20168604036
4. Zhuk P.M., Zhukov A.D. Normative legal base of environmental assessment of building materials: prospects for improvement. *Ecology and Industry of Russia*. 2018; 22(4):52-57. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-52-57 (rus.).
5. Patent Russian Federation No. 2645190, IPC E04B 1/78. Lock technology of thermal insulation material for seamless welding of connecting locks / K.A. Ter-Zakaryan; proprietor K.A. Ter-Zakaryan. Application: 2016138156 26.09.2016; publ. 16.02.2018. Bull. No. 5. (rus.).
6. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S. Insulation systems with the expanded polyethylene application. *IFAC-PapersOnLine*. 2018; 51(30):803-807. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.191
7. Zhukov A.D., Konoval'tseva T.V., Bobrova E.Yu., Zinovieva E.A., Ivanov K.K. Thermal insulation: operational properties and methods of research. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:01016. DOI: 10.1051/mateconf/201825101016 (rus.).
8. Semenov V.S., Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Kozlov S.D., Zinovieva E.A., Fomina E.D. Insulation systems for buildings and structures based on expanded polyethylene. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 251:01014. DOI: 10.1051/mateconf/201825101014 (rus.).
9. Pilipenko A., Bobrova E., Zhukov A. Optimization of plastic foam composition for insulation systems. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:02017. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102017
10. Bobrova E., Pilipenko A., Zhukov A. Insulating sheath system and energy efficiency of buildings. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:02019. DOI: 1051/e3sconf/20199102019
11. Zhukov A., Dovydenko T., Kozlov S., Ter-Zakaryan K., Bobrova E. Innovative technologies for low-rise construction. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:02032. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102032
12. Zhukov A., Ter-Zakaryan A., Bobrova E., Bessonov I., Medvedev A., Mukhametzyanov V. et al. Evaluation of thermal properties of insulation systems in pitched roofs. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:02047. DOI: 10.1051/e3sconf/20199102047
13. Zhukov A., Shokodko E., Bobrova E., Bessonov I., Dosanova G., Ushakov N. Interior acoustic materials and systems. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019; 740-747. DOI: 10.1007/978-3-030-19868-8_72
14. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Semenov V.S., Starostin A.V. Insulation systems of frame cottages. *Academia. Architecture and Construction*. 2019; 1:122-127. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-1-122-127 (rus.).
15. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V. Construction systems and features of the use of heat-insulating materials. *Housing Construction*. 2015; 7:49-51. (rus.).
16. Zhukov A.D., Zayfarov A.V., Vlasenko V.A., Zinovyeva E.A. Insulation systems for house with red energy consumption. *Innovations in Life*. 2017; 2(21):243-249. (rus.).
17. Zhukov A.D., Efimov B.A., Sazonova Yu.V., Zhukov A.Yu. Polyethylene foam as heat insulation for cold climate. *Scientific Review*. 2017; 15:10-14. (rus.).
18. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Zayfarov A.V., Petrovsky E.S., Tuchaev D.U. Insulation system of pitched roofs. *Roofing and Insulating Materials*. 2017; 6:27-29. (rus.).
19. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Tuchaev D.U., Petrovsky E.S. Energy-efficient insulation of food warehouses and vegetable stores. *International Agricultural Journal*. 2018; 1(361):65-67. (rus.).

Received April 4, 2019.

Adopted in a revised form on June 12, 2019.

Approved for publication November 26, 2019.

B I O N O T E S: **Artak A. Grigoryan** — Director; **GRIGORYANSHIN**; of. 30, 4/1 D. Malyan st., Yerevan, 0096, Republic of Armenia; grigoryanshin@gmail.com;

Karapet A. Ter-Zakaryan — General Director; **TEPOFOL**; of. 810, 3 Shcherbakovskaya st., Moscow, 105318, Russian Federation; karo73@mail.ru;

Alexander I. Panchenko — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technologies of Cohesive Materials and Concretes; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; PanchenkoAI@mgsu.ru;

Nadezhda A. Galtseva — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies of Cohesive Materials and Concretes; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; tvvib@mgsu.ru;

Vladislav I. Krashchenko — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; isa@mgsu.ru.