



Оценка безопасности эксплуатации систем «теплый пол»

© И. Ю. Шелехов¹, К. Л. Кузнецов^{1,2}, Л. В. Рощупкина^{1,2}, К. Э. Чусикова¹

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

²Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория по Иркутской области», г. Иркутск, Россия

Резюме: Популярность систем «теплый пол» растет с каждым годом. Особое место среди этих систем занимают конструкции, созданные на основе пленочных нагревательных элементов, которые могут регулировать свое сопротивление в зависимости от температуры. Цель работы – изучить условия эксплуатации данных систем и разработать методику оценки степени их безопасности при различных условиях эксплуатации. На текущий момент для получения разрешения на использование систем «теплый пол» их исследуют стандартными методами. Применение новых технологий для оценки степени безопасности данных систем требует новых подходов, предполагающих максимальное приближение к реальным условиям эксплуатации. Авторами был изготовлен стенд с полимерным нагревательным элементом на теплоизолированном покрытии, который был закрыт линолеумом. Лабораторные исследования проводились прибором «ОВЕН» марки ТРМ 138, который фиксировал температуру по всему объему стенда. В результате исследования распределения температурных полей, которые фиксировались прибором при экстремальной эксплуатации системы «теплый пол», было показано, что при укрытии поверхности синтепоновым материалом и создании дополнительных механических воздействий создается опасная ситуация, которая может вызвать пожар. Также было установлено, что при недостаточной теплоотдаче происходит нарушение электрической изоляции, что может привести к поражению электрическим током. На текущий момент применение саморегулируемых полимерных нагревательных элементов должно осуществляться под дополнительным контролем, при исключении режима экстремальной эксплуатации. Проведенные эксперименты показали, что необходимо разрабатывать методические рекомендации для служб, которые монтируют и эксплуатируют подобные системы.

Ключевые слова: саморегулируемый нагреватель, система «теплый пол», надежность, пожароопасная ситуация, методика исследования, электрическое отопление

Для цитирования: Шелехов И. Ю., Кузнецов К. Л., Рощупкина Л. В., Чусикова К. Э. Оценка безопасности эксплуатации систем «теплый пол» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 3. С. 492–499. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-492-499>.

Assessing safety of "underfloor heating" systems

Igor Yu. Shelekhov, Konstantin L. Kuznetsov, Liliya V. Roshchupkina,
Kristina E. Chusikova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Forensic expert institution of the Federal Fire Service "Testing Fire Laboratory in the Irkutsk region",
Irkutsk, Russia

Abstract: Interest in underfloor heating systems has been increasing steadily. The structures based on film heating elements are of particular importance among these systems, as they can adjust their resistance depending on the temperature. In this paper, the operating conditions of underfloor heating systems are investigated, and a methodology for assessing their safety under various operating conditions is developed. Currently, in order to obtain licensing for the "underfloor heating" systems, they are examined by standard methods. Applying new technologies for assessing the safety of these systems requires novel approaches that imply conditions close to actual operation. The authors assembled a testing stand with a polymer heating element on a thermal insulation cover, closed with linoleum. Laboratory research was carried out using the TPM 138 "OVEN" device, which recorded the temperature

throughout the entire volume of the stand. The research results on the distribution of temperature fields recorded by the device during the extreme operation of the "underfloor heating" system are as follows. A dangerous situation is set, which can lead to a fire when the surface is covered with polyester batting material and exposed to additional mechanical stimuli. It was also found that, with insufficient heat transfer, electrical insulation was violated, leading to electric shock. Currently, self-regulating polymer heating elements should be used under additional control, avoiding extreme operation modes. Experiments demonstrated that it is necessary to develop guidelines for services, installation and operation of such systems.

Keywords: self-regulating heater, underfloor heating system, reliability, fire hazard situation, research methodology, electric heating

For citation: Shelekhov I. Yu., Kuznetsov K. L., Roshchupkina L. V., Chusikova K. E. Assessing safety of "underfloor heating" systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(3):492-499. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-3-492-499>.

Введение

Рассмотрим электрическую систему «теплый пол», созданную на основе пленочных нагревательных элементов. Данная система появилась в России благодаря корейским производителям и стала широко применяться в качестве локализованного источника тепловой энергии. Распространение систем «теплый пол» в нашей стране растет большими темпами, они используются в жилых и нежилых помещениях. Анализ научной литературы показал, что многие ученые считают данную систему отопления самой комфортной, имеющей наиболее благоприятную температуру для человеческого тела [1–5]. С помощью системы температурных датчиков и термостатов можно обеспечить зональное регулирование температуры по помещению, что позволяет сэкономить от 15 до 50% тепловой энергии. Пленочные нагревательные элементы легко масштабируются, их просто адаптировать к любым условиям эксплуатации. Целесообразность использования данных систем определяется стоимостью электрической энергии в конкретном регионе, например, Иркутской области. Впрочем, высокие тарифы, удаленность от стабильных источников электроэнер-

гии не являются препятствиями для их использования. За комфорт и удобство люди готовы платить, а с учетом того, что данные системы легко автоматизируются, в конечном итоге, их эксплуатация обходится не так и дорого [6]. Применение систем «теплый пол» осуществляется совместно с другими системами теплоснабжения, что должно учитываться при управлении ими [7–10].

Материал и методы

Основой пленочной системы «теплый пол» является полимерный нагревательный элемент с большой площадью теплопередачи. На рис. 1 представлен общий вид нагревательного элемента, который состоит из токоподводящих проводов (1), которые фиксируются на контактных площадках (2). Сам греющий слой изготавливается в виде параллельных полос из углерода (3), через медную шину (4) от контактной площадки напряжение подается на каждый греющий элемент. Основой нагревательного элемента является полиэтилентерефталатная (лавсановая) подложка (5), на которую наносятся маркеры (6), показывающие место разрыва греющего элемента или греющего сегмента.

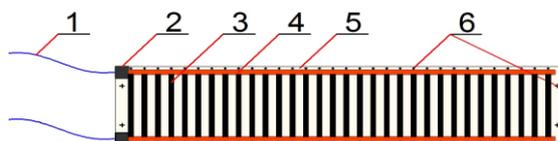


Рис. 1. Полимерный нагревательный элемент
Fig. 1. Polymer heating element

Большая площадь теплопередачи способствует равномерному нагреву помещения, автоматическое зонное регулирование позволяет обеспечивать подачу тепловой энергии в необходимом количестве в заданном про-

странстве в заданный промежуток времени. Стоимость автоматического электронного регулирования составляет значительную часть стоимости данных систем отопления, поэтому для снижения экономических затрат произво-

дители предлагают использовать нагревательные элементы с эффектом саморегуляции. Суть данного эффекта заключается в том, что греющий слой изготавливают из композиционных материалов, которые обеспечивают ему заданный термический коэффициент сопротивления (ТКС), причем современные технологии позволяют не только менять ТКС в широких пределах, но и задавать его в зависимости от теплотехнических характеристик внешней среды. Функция зависимости сопротивления от температуры может изменяться линейно или экспоненциально, а величина изменения может задаваться в зависимости от необходимости поддержания заданного интервала температур [11]. Это является одним из преимуществ использования пленочных саморегулируемых нагревательных элементов для систем теплых полов, которые могут обеспечить поддержание тепла без внешних регулирующих устройств и существенно сэкономить энергетические затраты [12].

За счет роста собственного сопротивления греющего слоя при увеличении температуры одновременно контролируется и регулируется локализованно каждый участок нагревательной системы, которая, как показано на рис. 1 маркерными точками, подставляет из себя группу параллельно подключенных нагревательных элементов. Нагревательные элементы, предназначенные для системы «теплый пол», представлены на рынке с шириной греющего слоя от 0,3 до 1,2 метров. С учетом того, что при такой ширине существует вероятность отличий в температурных условиях по длине греющего слоя (3), его также можно представить как группу последовательно соединенных нагревательных элементов, имеющих свое сопротивление. В соответствии с классическими законами физики, сила тока в любом участке цепи одинакова при последовательном соединении проводников, и до тех пор, пока участки цепи находятся в одинаковых условиях, падение напряжения на протяжении всего греющего слоя будет одинаково. Таким образом, будет происходить равномерный нагрев, зависящий от общего сопротивления проводника. Если температура одной части греющего слоя будет выше температуры другой части, то сопротивление более горячего участка будет выше сопротивления участка с меньшей температурой, соответ-

ственно, падение напряжения на более горячем участке будет выше, что обеспечит этому участку дополнительный нагрев. Данное явление может привести в дисбаланс греющую систему и создать аварийную ситуацию.

Целью нашего исследования является разработка методики оценки электрофизических и конструктивных свойств саморегулируемых нагревательных элементов, применяемых в системе «теплый пол», с помощью которой можно будет обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию данной системы.

В соответствии с ГОСТ Р 52161.1-2004 (МЭК 60335-1:2001)¹, ГОСТ Р 52161.2.96-2006 (МЭК60335-2-96:2005)² часть 2.96, оценка степени надежности и долговечности саморегулируемых нагревательных элементов, предназначенных для системы «теплый пол», должна осуществляться в следующем порядке: нагревательный элемент должен быть накрыт матом из минеральной ваты с термическим сопротивлением не менее 1,45 м² К/Вт. Площадь покрытия должна быть шириной не менее 0,8 м и располагаться в средней части испытуемого образца. После того, как на нагревательный элемент подается напряжение, величина потребляемой мощности нагревательного элемента должна составлять величину 1,15 от номинальной мощности, подъем температуры контролируется на нагревательном элементе, на токоподводящих элементах. Во время испытаний нагревательный элемент не должен терять работоспособность и вызывать пожароопасную ситуацию.

По нашему мнению, данные испытания не могут дать полного представления о ситуации, которая может возникнуть во время эксплуатации нагревательных элементов. Методика оценки безопасности эксплуатации любого прибора должна не только показывать реальную картину его работы, но и помогать разработчикам, производителям, монтажникам и эксплуатационным службам создать те условия, при которых экстремальные ситуации не возникнут. Для оценки реальных условий эксплуатации был подготовлен экспериментальный стенд, состоящий из деревянного основания с уложенным сверху листом ДСП. На лист ДСП поочередно укладывались фольгированный теплоизолятор, полимерный нагревательный элемент южнокорейского производства «Calio» и линолеум.

¹ГОСТ Р 52161.1-2004 (МЭК 60335-1:2001). Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Часть 1. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 98 с.

²ГОСТ Р 52161.2.96-2006 (МЭК60335-2-96:2005). Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Часть 2.96. Частные требования для гибких листовых нагревательных элементов для обогрева жилых помещений. М.: Стандартинформ, 2007. 28 с.

Для имитации реальных условий эксплуатации теплого пола в быту на поверхность линолеума была оперта ножка табурета (имитирующая локальное давление мебели), сиденье табурета (имитирующее площадное давление мебели) и синтепоновое изделие (в качестве имитации подушки либо иного изделия, способного к накоплению теплоты) (рис. 2). Под каждым элементом и рядом с ним между линолеумом и теплым полом были проложены термопары, которые были подключены к прибору фирмы «ОВЕН» марки ТРМ138. Полимерный нагревательный элемент был подключен через терморегулирующее устройство

с ограничением температуры 60 °С, чувствительный элемент термодатчика был расположен под линолеумом в свободной зоне над нагревательным элементом.

Результаты и их обсуждение

Как видно из представленных на рис. 3 графиков, распределение температурных зон не однородно. Наибольший тепловой эффект наблюдается под синтепоновым изделием и у его границы, за 2 ч 15 мин эксперимента температура под ним повысилась до 100 °С, в то время как в других зонах, благодаря терморегулятору, температура составляла от 58 до 69 °С, и ее рост в них был значительно ниже.



Рис. 2. Экспериментальный стенд для оценки надежности системы «теплый пол»
Fig. 2. Experimental stand for assessing the reliability of the "underfloor heating" system

— Датчик 1.1/Sig/1.1 — Датчик 1.2/Sig/1.2 — Датчик 1.3/Sig/1.3 — Датчик 1.4/Sig/1.4 — Датчик 1.5/Sig/1.5 — Датчик 1.6/Sig/1.6
— Датчик 1.7/Sig/1.7 — Датчик 1.8/Sig/1.8 — Датчик 1.9/Sig/1.9 — Датчик 1.10/Sig/1.10 — Датчик 1.11/Sig/1.11 — Датчик 1.12/Sig/1.12

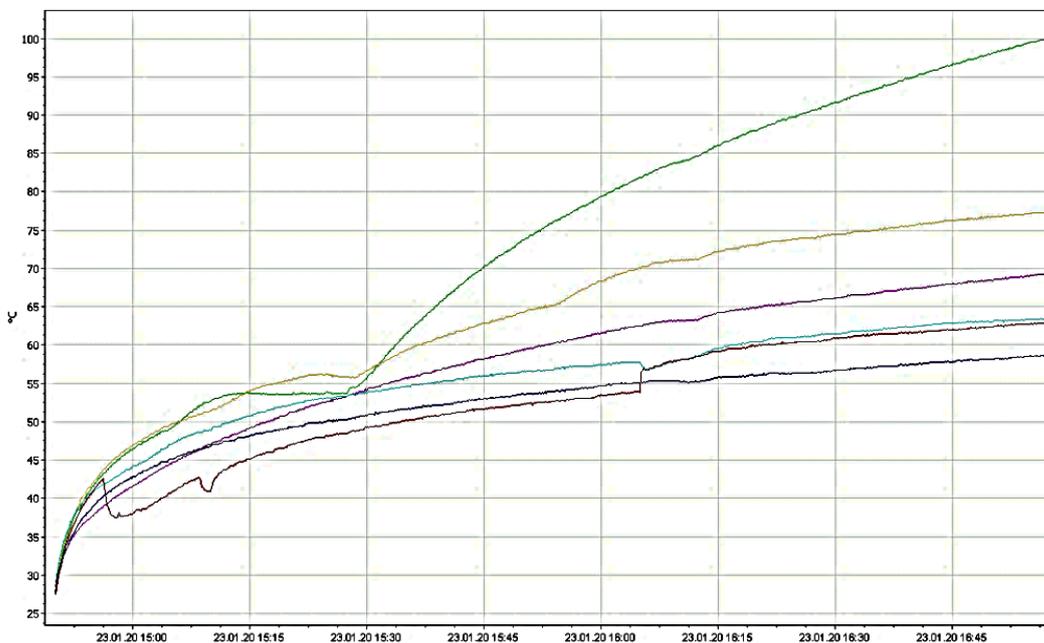


Рис. 3. Показания термопар:

1.2 – синтепоновое изделие; 1.3 – зона у границы синтепонового изделия; 1.4 – сиденье табурета; 1.5 – граница сиденья табурета; 1.6 – ножка табурета; 1.7 – граница ножки табурета

Fig. 3. Thermocouple readings:

1.2 – sintepon product; 1.3 – zone at the border of the sintepon product; 1.4 – stool seat; 1.5 – stool seat border; 1.6 – stool leg; 1.7 – stool leg border

После блокирования терморегулирующего устройства температура под синтепоновым изделием продолжила рост (рис. 4).

Через 7 часов эксперимента температура под синтепоновым изделием поднялась выше 120 °С, начал ощущаться специфический запах термораспада, эксперимент был прекращен. При этом следует отметить, что у границы зоны, покрытой линолеумом, температура поверхности пленочного теплого пола составляла около 50 °С.

В результате эксперимента было установлено, что из-за повышенных температур произошло оплавление фольгированного теплоизолятора (рис. 5), а достигнутой температуры вполне достаточно для разложения полимер-

ных элементов и создания пожароопасной ситуации. Из-за локализованного перегрева произошло проплавление ламинирующей пленки нагревательного элемента и фольгированного теплоизолятора (рис. 6). Кроме этого, необходимо отметить, что при оплавлении произошел лишь частичный разрыв полосы нагревательного элемента, электрическая цепь на данном участке не разомкнулась, соответственно, при нарушенной изоляции нагревательный элемент продолжал работать. При уменьшении сечения в результате частичного расплавления увеличилось сопротивление на данном участке, и, как следствие, возник повышенный тепловой эффект, обусловленный локальной токовой перегрузкой.

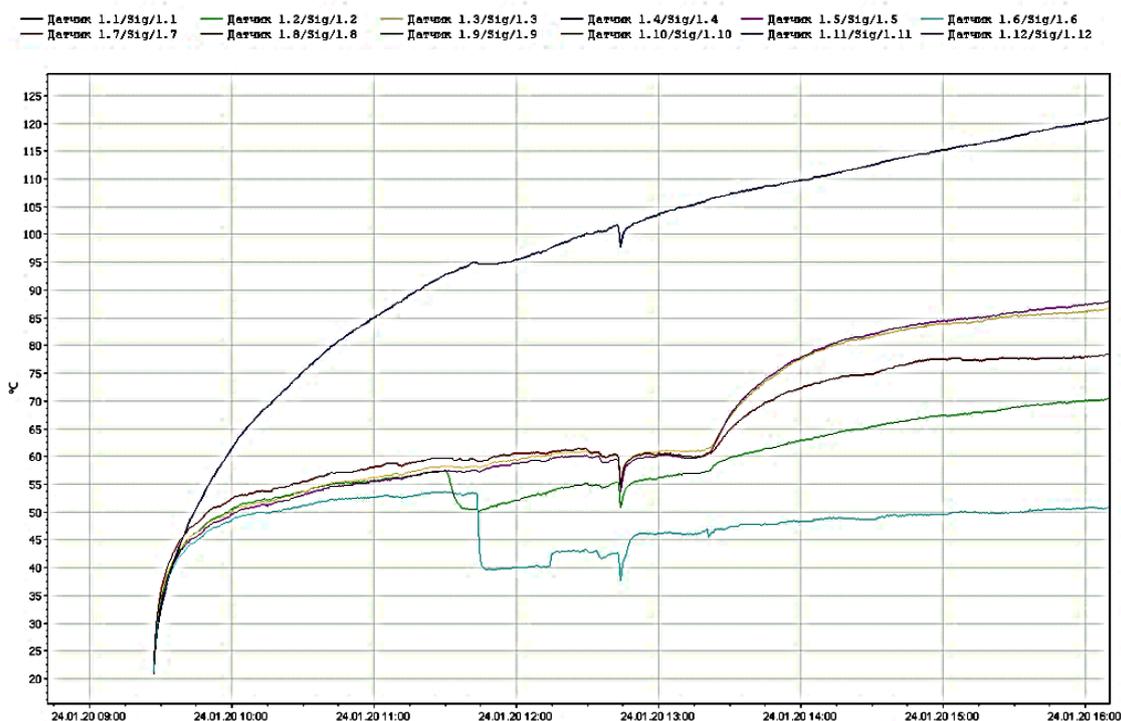


Рис. 4. Показания термодатчиков после блокирования терморегулирующего устройства: 1.2 – синтепоновое изделие; 1.3 – зона у границы синтепонового изделия; 1.4 – сиденье табурета; 1.5 – граница сиденья табурета; 1.6 – ножка табурета; 1.7 – граница ножки табурета

Fig. 4. Thermocouple readings after blocking the temperature control device: 1.2 – sintepon product; 1.3 – zone at the border of the sintepon product; 1.4 – stool seat; 1.5 – stool seat border; 1.6 – stool leg; 1.7 – stool leg border

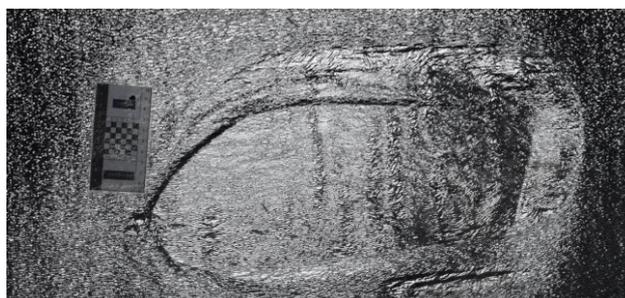


Рис. 5. Снимок расплавления фольгированного теплоизолятора
Fig. 5. A picture of the melting of the foil heat insulator



Рис. 6. Снимки локального расплавления ламинирующей пленки и нагревательного элемента, а также фольгированного теплоизолятора

Fig. 6. Images of local melting of the laminating film and the heating element, as well as the foil heat insulator

Заклучение

Представленная методика и проведенные эксперименты показали, что наиболее опасным является накрывание теплого пола материалом, способным к накоплению теплоты, при этом локальность данного воздействия практически исключает возможность отключения установки от командного сигнала термодатчика, и вероятность возникновения пожароопасной ситуации очень велика. Смоделированная ситуация опиралась на крайние факторы, был выбран один из самых широких типов нагревательных элементов, конструкция всей системы обладала малой теплоемкостью и теплопроводностью, что не давало возможности выйти в равновесное состояние. Кроме

этого, весь участок нагрева был лишен возможности естественной теплоотдачи в окружающую среду. Однако стоит учитывать, что жизненные ситуации могут быть разными, и никто не застрахован от возникновения одновременно всех неблагоприятных для эксплуатации теплого пола условий в одном месте и в одно время. Поэтому необходимо совершенствовать методики проведения экспериментов для обеспечения надежной и безопасной работы аналогичных систем. На основании проведенных экспериментов нужно разрабатывать методические рекомендации для тех, кто проектирует данные системы нагрева, производит их, монтирует и эксплуатирует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков Ю.Н., Новикова К.А., Макаридзе Г.Д. Оптимизация выбора и усовершенствование технологии устройства теплых полов // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 2 (79). С. 109–116. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-2-109-116>.
2. Белков И.Е., Савченков В.В. Сравнение эффективности систем отопления с теплым полом и радиаторами // ЭНЕРГИЯ-2018: Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 томах. Том. 1. Теплоэнергетика (Иваново, 03–05 апреля 2018 года). Иваново: ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2018. С. 64.
3. Мажидов Н.Н., Атамов А.А., Косимов Т.О. Особенности напольного отопления и систем теплых полов // Научное знание современности. 2017. № 3 (3). С. 203–207.
4. Шелехов И.Ю., Алтухов И.В., Очиров В.Д. Анализ использования саморегулируемых нагревательных элементов для систем «теплый пол» в сельской местности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (196). С. 113–120.
5. Ярков И.Д. Особенности проектирования теплых полов // Аллея науки. 2018. Т. 3. № 4 (20). С. 858–861.
6. Шелехов И.Ю., Янченко В.А. Особенности применения системы «теплый пол» в условиях Сибири // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 12. С. 156–159.
7. Pukhkal V., Taurit V. The study of compact convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 692. p. 379–390. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_40.
8. Pukhkal V. The study of flat convective stream formed by use of recessed flood convection heaters with natural air circulation in high height rooms with continuous glassing // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 692. p. 512–519. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_54.
9. Труфанова Н.М., Салаватов В.Э. Влияние различных условий обогрева на температурное поле в жилой комнате // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 208–211. <https://doi.org/10.24153/2079-5920-2017-7-4-208-211>.

10. Wang Q., Ploskic A., Holmberg S. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting—An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses // *Journal of Energy and Buildings*. 2016. Vol. 121. p. 250–264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.050>.
 11. Псарева Д.В. Особенности применения саморегулируемого кабеля в системе теплый пол

// *Инновации, технологии и бизнес*. 2018. № 1 (4). С. 60–66.
 12. Лезгина А.С., Коренькова Г.В. Теплый пол в жилых помещениях: конструкция, достоинства // *Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сборник научных статей Всероссийской научной конференции: в 4 т. Т. 3* (Курск, 17–18 октября 2018 года). Курск: ЮЗГУ, 2018. С. 269–272.

REFERENCES

1. Kazakov YuN, Novikova KA, Makaridze GD. Optimization of selection and technology improvement for under floor heating design. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2020;2(79):109-116. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2020-17-2-109-116>.
 2. Belkov IE, Savchenkov VV. Comparison of efficiency of heating systems with heated floor and radiators. *ENERGIYA-2018: Trinadtsataya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*: in 6 vol. Vol. 1. *Teploenergetika* (Ivanovo, 03–05 April 2018). Ivanovo: ISPU named after V.I. Lenin; 2018. p. 64. (In Russ.).
 3. Mazhidov NN, Atamov AA, Kosimov TO. Features of underfloor heating and underfloor heating systems. *Nauchnoe znanie sovremennosti*. 2017;3(3):203-207.
 4. Shelekhov IYu, Altukhov IV, Ochirov VD. Analysis of the use of self-regulating heating elements for heated floor systems in rural areas. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;2(196):113-120. (In Russ.).
 5. Yarkov ID. Features of the design of warm floors. *Alleya nauki*. 2018;3(4):858-861. (In Russ.).
 6. Shelekhov IYu, Yanchenko VA. Application features of the "warm floors" system in Siberia. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2011;12:156-160. (In Russ.).
 7. Pukhkal V, Taurit V. The study of compact convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017;692:379-390. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_40.

8. Pukhkal V. The study of flat convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation in high height rooms with continuous glassing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017;692:512-519. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_54.
 9. Trufanova NM, Salavatov VE. Influence of various heating conditions on the temperature field in the residential room. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya = Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2017;4:208-211. (In Russ.). <https://doi.org/10.24153/2079-5920-2017-7-4-208-211>.
 10. Wang Q, Ploskic A, Holmberg S. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retro-fitting—An investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses. *Journal of Energy and Buildings*. 2016;121:250-264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.050>.
 11. Psareva DV. Features of self-regulating cable application in the system of warm floor. *Innovatsii, tekhnologii i biznes*. 2018;1(4):60-66. (In Russ.).
 12. Legezina AS, Koren'kova GV. Warm floor in living quarters: design, advantages. *Problemy i perspektivy razvitiya Rossii: Molodezhnyi vzglyad v budushchee: sbornik nauchnykh statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii*: in 4 vol. Vol. 3 (Kursk, 17–18 October 2018). Kursk: SWSU; 2018. p. 269-272. (In Russ.).

Сведения об авторах

Шелехов Игорь Юрьевич,
 кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: promteplo@yandex.ru
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7677-3187>

Information about the authors

Igor Yu. Shelekhov,
 Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: promteplo@yandex.ru
 ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7677-3187>

Кузнецов Константин Леонидович,
кандидат химических наук, доцент кафедры
промышленной экологии и безопасности
жизнедеятельности,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
руководитель,
Судебно-экспертное учреждение
федеральной противопожарной службы
«Испытательная пожарная лаборатория по
Иркутской области»,
664007, г. Иркутск, ул. Култукская, 10, Россия,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8091-1247>

Рощупкина Лилия Владимировна,
инженер,
Судебно-экспертное учреждение
федеральной противопожарной службы
«Испытательная пожарная лаборатория
по Иркутской области»,
664007, г. Иркутск, ул. Култукская, 10, Россия,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: Roshchupkina73@mail.ru

Чусикова Кристина Эдуардовна,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kristina.nadiozhina@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4974-7012>

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 15.07.2021.
Одобрена после рецензирования 16.08.2021.
Принята к публикации 19.08.2021.

Konstantin L. Kuznetsov,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Industrial Ecology
and Life Safety,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
Director,
Forensic expert institution of the Federal Fire
Service "Testing Fire Laboratory in the Irkutsk
region",
10 Kultujskaya Str., Irkutsk, 664007, Russia,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8091-1247>

Lidiya V. Roshchupkina,
Engineer,
Forensic expert institution
of the Federal Fire Service "Testing Fire
Laboratory in the Irkutsk region",
10 Kultujskaya St., Irkutsk, 664007, Russia,
Undergraduate,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: Roshchupkina73@mail.ru

Kristina E. Chusikova,
Master's student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: kristina.nadiozhina@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4974-7012>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 15.07.2021.
Approved after reviewing 16.08.2021.
Accepted for publication 19.08.2021.