

Теплые полы как причина возникновения пожаров

© Г.В. Плотникова¹✉, К.Л. Кузнецов^{2,3}, С.С. Тимофеева³, Р.О. Морозов², А.А. Шеков¹

¹ Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации (Россия, 664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 110)

² Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Иркутской области (Россия, 664009, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Култукская, 10)

³ Иркутский национальный исследовательский технический университет (Россия, 664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность темы, отраженной в статье, обусловлена тем, что современные отопительные системы, такие как теплые полы, несмотря на улучшение их конструкций, остаются потенциальными источниками возникновения пожаров. Исходя из актуальности выбранной темы статьи, целями исследования явились установление причин возникновения пожаров при эксплуатации современных систем отопления «Теплые полы»; анализ и обобщение заключений пожарно-технических экспертов по пожарам, возникшим из-за эксплуатации рассматриваемых отопительных установок.

Материалы и методы. Для оценки зажигательной способности инфракрасного пленочного теплого пола был проведен экспертный эксперимент, в ходе которого в нормальных условиях окружающей среды, при комнатной температуре был смоделирован участок напольного покрытия.

Результаты и их обсуждение. Проведенный эксперимент показал, 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. При разборе конструкций было установлено, что непосредственно в зоне максимальных температур наблюдается оплавление фольгированного теплоизолятора. За 7 ч работы температура поднялась свыше 120 °С, после чего начал ощущаться специфический запах продуктов термического разложения синтетического изделия.

Выводы. Несмотря на все особенности современных систем «Теплые полы», их автоматизацию и модификацию, они остаются потенциально пожароопасными. Пожары современных отопительных систем «Теплые полы» могут возникнуть как в результате нарушения правил противопожарного режима при несоблюдении требований по эксплуатации отопительных приборов, так и в результате нештатного повышения температуры нагретых пленочных нагревателей, находящихся под напольными покрытиями.

Ключевые слова: отопительная система; пожарная опасность; нагревательный электрический кабель; пленочный электронагреватель; графитовая решётка; экспертный эксперимент; нормативные требования; терморегулятор

Для цитирования: Плотникова Г.В., Кузнецов К.Л., Тимофеева С.С., Морозов Р.О., Шеков А.А. Теплые полы как причина возникновения пожаров // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 3. С. 41–53. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.03.41-53

✉ Плотникова Галина Викторовна, e-mail: plotnikovagv@mail.ru

Underfloor heating as a cause of fire

© Galina V. Plotnikova¹✉, Konstantin L. Kuznetsov^{2,3}, Svetlana S. Timofeeva³, Ruslan O. Morozov², Anatoliy A. Shekov¹

¹ Eastern-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation (Lermontova St., 110, Irkutsk Region, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

² Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service “Testing Fire Laboratory” across the Irkutsk Region (Kultuuskaya St., 10, Irkutsk Region, Irkutsk, 664009, Russian Federation)

³ Irkutsk National Research Technical University (Lermontov St., 83, Irkutsk Region, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The relevance of the topic, addressed in the article, is backed by the fact that modern heating systems, such as the underfloor heating, remain potential sources of fire, despite the improvement in their designs. The purpose of the study is to identify the causes of fires that occur in the process of operation of

modern heating systems "Underfloor Heating"; to analyze and generalize the conclusions made by the fire safety experts in respect of the heating systems analyzed in the article.

Materials and methods. To assess the flammability of the infrared film underfloor heating, an experiment was conducted by the experts: the process of underfloor heating was simulated under normal environmental conditions at room temperature.

Results and discussion. The experiment has shown that the floor covering, made of the material capable of accumulating heat, is the most dangerous one, although its small area prevents its disconnection from the thermal sensor. When dismantling the construction, the co-authors found out that the foil insulator had been melting in the area of maximal temperatures. Over the course of seven hours of operation, the temperature exceeded 120 °C, and after that the odor of products of thermal decomposition of a synthetic product appeared.

Conclusions. Despite all the features of advanced underfloor heating systems, their automated operation and transformation, they remain potentially flammable. Modern underfloor heating systems can take fire both as a result of violation of the fire precautions in case of non-compliance with the requirements for the operation of heating devices, and as a result of overheated film heaters located under the floor covering.

Keywords: heating system; fire hazard; heating electric cable; film electric heater; graphite grid; experiment conducted by a team of experts; regulatory requirements; temperature controller

For citation: Plotnikova G.V., Kuznetsov K.L., Timofeeva S.S., Morozov R.O., Shekov A.A. Underfloor heating as a cause of fire. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(3):41-53. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.03.41-53 (rus).

✉ Galina Viktorovna Plotnikova, e-mail: plotnikovagv@mail.ru

Введение

В соответствии со статистическими данными в России в среднем за год случается около 150 тыс. пожаров, при которых погибает около 8 тыс. чел., количество травмированных достигает 10 тыс. чел., ежедневный материальный ущерб составляет около 33 млн руб. [1–2].

Пожар, представляющий собой неконтролируемое горение, причиняет материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства. Отопительные системы, применяемые для обогрева жилья, достаточно часто являются причиной пожара. Лидирующее место занимает традиционное для России печное отопление [3–9]. Проблема обеспечения пожарной безопасности от внутридомового отопления остается актуальной и до настоящего времени нерешенной. Большинство производителей считает, что пожарная опасность современных систем отопления снижена практически до нуля, так как системы снабжены автоматическими выключателями, датчиками контроля температуры, а трубы и другие элементы конструкции выполняются в основном из негорючих материалов высокого качества. В то же время ежегодно происходят пожары, уничтожается имущество, страдают люди, и причиной могут явиться и являются отопительные установки, в том числе теплые полы. Актуальность темы, отраженной в статье, обусловлена тем, что современные отопительные системы все чаще применяются в жилых домах, офисных помещениях, дачах и других помещениях, в то же время, несмотря на улучшение их конструкций, они остаются потенциальными источниками возникновения пожаров.

К современным системам отопления относят теплые полы, которые широко применяются для

обогрева помещений. Существуют две разновидности этой системы: водяные и электрические, которые отличаются друг от друга конструктивно [10–13]. При использовании в качестве теплоносителя нагревательного электрического кабеля, находящегося под несколькими слоями изоляции, электрические теплые полы могут быть конвекционными и инфракрасными. В конвекционных полах нагрев происходит за счет непосредственного контакта электрического кабеля и пола, а в случае инфракрасных полов обогрев происходит за счет теплового излучения [14–20].

Одним из основных вопросов, который возникает и волнует желающих установить данную систему отопления, является вопрос о пожарной опасности теплых полов.

Многие производители и специалисты считают, что этот достаточно новый способ отопления зданий не более пожароопасен, чем обычная электропроводка. По их мнению, так как нагревательные кабели зарекомендовали себя как надежные и безопасные в эксплуатации, следовательно, теплые полы тоже безопасны (рис. 1). Инфракрасные полы имеют целый ряд преимуществ, к которым относятся возможность осуществлять локальный обогрев, устойчивость перед низкими температурами, сохранение работоспособности даже при длительном отсутствии владельцев в зимний период.

Существует мнение, что сам по себе теплый пол не является причиной возникновения возгораний, а если говорить о его пожарной безопасности, то особое внимание следует уделять исправности электропроводки и возникновению дополнительной нагрузки на нее, которая появляется при подключении электрической системы обогрева. Принято считать, что риск использования теплых полов заключается

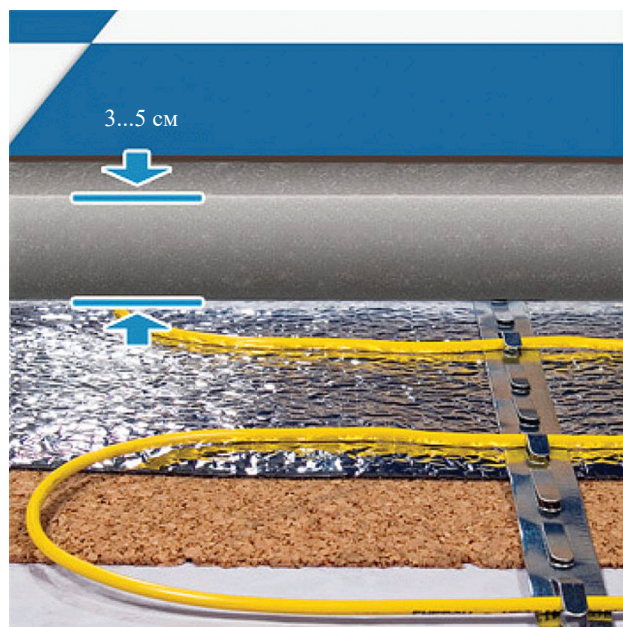


Рис. 1. Нагревательные кабели теплых полов

Fig. 1. Heating cables for underfloor heating

в системе обогрева, вмонтированной в пол, и проявляется в виде поражения человека электрическим током. Поэтому, чтобы обеспечить безопасность таких полов, необходимо выполнить их заземление. Возгорание же возможно только в случае неправильного монтажа системы или ее эксплуатации.

Разновидностью системы «Теплые полы» является пленочный электронагреватель (ПЛЭН). Одним из достоинств такого нагревателя является отсутствие жидкого теплоносителя [16–17]. Следовательно, отсутствует необходимость установки других сложных систем, исключаются всевозможные протечки, замерзание жидкости. По мнению авторов [18–20], пленочный нагреватель можно уложить по всей поверхности основания помещения, накрыв сверху ламинатом или любым другим видом покрытия. Нагревательным элементом является графитовая решетка, которая впаяна в плот-

ную пленку (рис. 2). По мнению разработчиков пленка, не только гибкая и не боится высоких нагрузок, но и абсолютно водонепроницаема, и ее можно смело использовать в ванной или бассейне, кроме того, она не воспламеняется.

Пленочные инфракрасные полы считаются пожаробезопасными, их можно устанавливать как на горизонтальные, так и на вертикальные поверхности, а в случае необходимости — и под углом. Нагрев происходит равномерно, что является преимуществом перед другими видами теплого пола.

Пленочный пол достаточно прост в установке, он легко поддается разборке. Разновидностью такого рода пленок является нагревательная инфракрасная пленка MARPE, в качестве нагревательного элемента в ней применяется карбоновая паста с добавлением углеродных трубок (которые в рекламах называют нанотрубками), задачей которых является обеспечение равномерного нагрева пола. Кроме нагрева, углеродные трубки служат для повышения прочности на изгиб и излом. Полученные таким образом карбоновые полосы имеют множество мелких отверстий, которые заполняются клеевым составом, за счет этого повышается прочность (рис. 3).

Выполненные одним из пользователей экспериментальные исследования¹ показали, что, если нагревать пленку с помощью электрического утюга, подошва которого нагрета до 140 °С, в течение 5 мин, то в результате пленка слегка коробится, и даже при росте температуры подошвы утюга до 160 °С возгорания не происходит (рис. 4).

При нагревании пленки с помощью паяльника, жало которого было нагрето до 200 °С, и при осуществлении контактного взаимодействия с пленкой произошло только прожигание пленки насквозь без последующего возгорания (рис. 5).

¹ STEM. Экспертиза: Испытываем инфракрасную пленку утюгом и паяльником. Пожаробезопасность. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ly-JkGIDjg> (дата обращения: октябрь 2020).



Рис. 2. Инфракрасная пленка теплых полов

Fig. 2. The infrared film of the underfloor heating



Рис. 3. Нагревательная инфракрасная пленка MARPE

Fig. 3. MARPE infrared film

По результатам этого эксперимента авторами был сделан вывод, что исследуемая инфракрасная пленка не является пожароопасной. По мнению экспериментаторов, представленные результаты показывают, что даже при температуре 200 °С (температуре, при которой происходит воспламенение разных видов материалов и изделий) и точечном источнике зажигания пожара не возникает. Пленка может из-

рядно покоробиться, но искры не возникают. Этими результатами авторами данного исследования было опровергнуто мнение, что при перегреве инфракрасная пленка может воспламениться.

В данном случае действие источника зажигания носит точечный характер, и воздействие его на пленку — непродолжительное. В результате не происходит аккумуляции тепла, поэтому делать выводы о невозможности возгорания было преждевременно.

В то же время практика исследований, выполненных при производстве пожарно-технических экспертиз, показывает, что причиной возникновения пожаров могут быть и отопительные системы «Теплые полы». В статье приведены только несколько примеров, хотя их значительно больше.

Например, пожар двухэтажного дома возник на балконе, на полу. Причиной возникновения пожара явился аварийный режим работы электрической системы «Теплые полы», а именно короткое замыкание² (рис. 6). По мнению дознавателя, при при-

² В новом жилом доме на Соловьиной загорелся теплый пол. URL: https://k1news.ru/news/incidents/v-novom-zhilom-dome-na-solovinoi-zagorelsya-teplyy-pol-/?sphrase_id=50837020 (дата обращения: 27.05.2021).

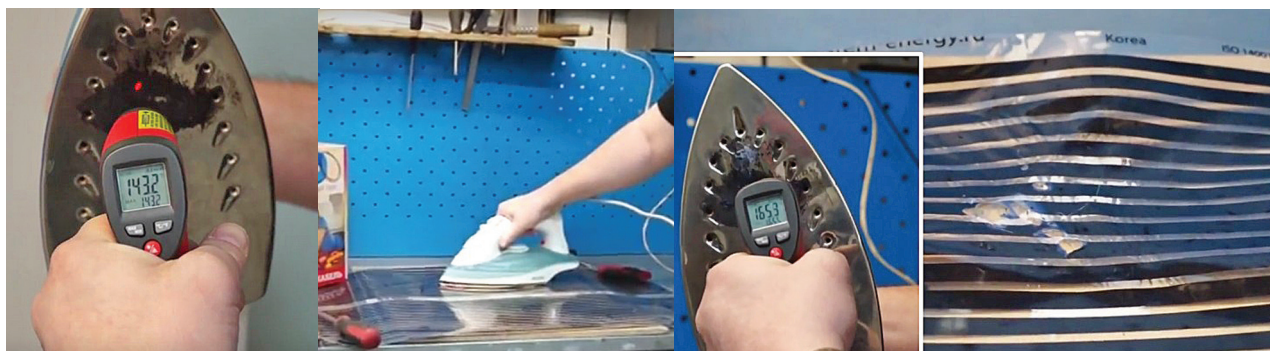


Рис. 4. Результат исследования инфракрасной пленки ПЛЭН

Fig. 4. The result of the study of the PL infrared film

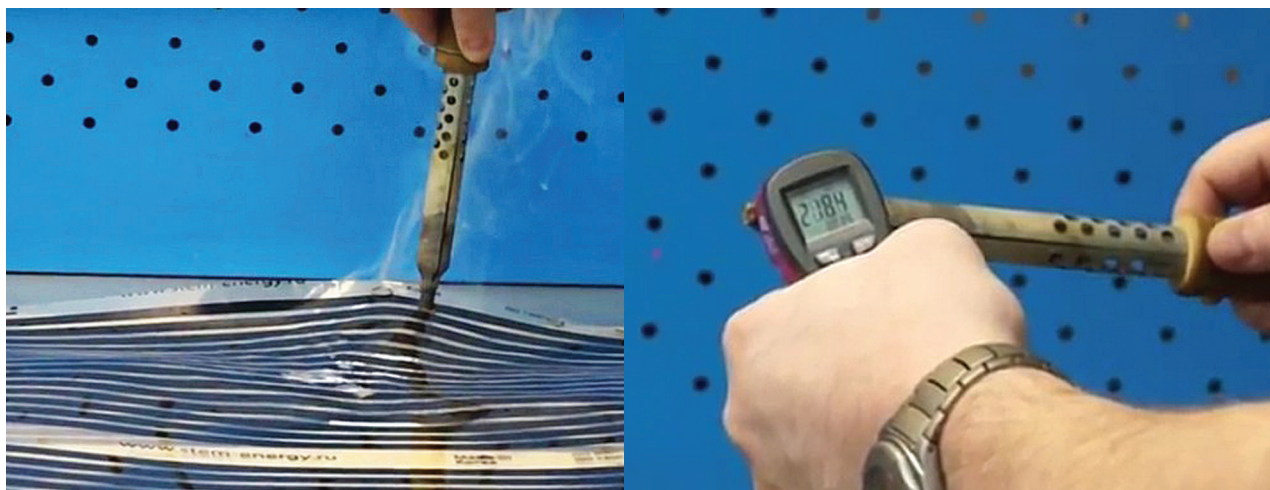


Рис. 5. Результат взаимодействия жала паяльника с пленкой

Fig. 5. The result of interaction between the soldering tip and the film

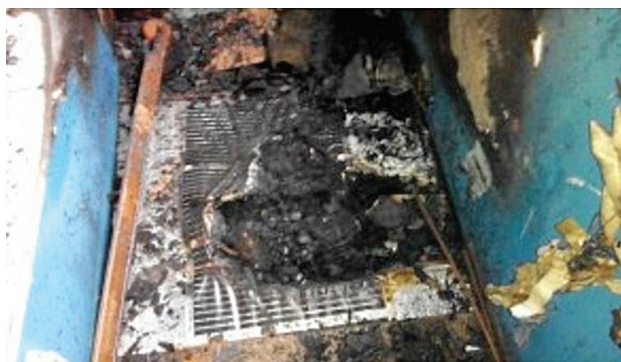


Рис. 6. Результат взаимодействия жала паяльника с пленкой
Fig. 6. The result of interaction between the soldering tip and the film

менении данных пленочных инфракрасных полов в сочетании с горючим покрытием — использовался ламинат — в результате аварийной работы этих полов произошло воспламенение горючих материалов с очень большим выделением дыма.

В коттедже, который был оборудован системой обогрева «Теплый пол», произошел пожар в результате сбоя в работе системы отопления и воспламенения изоляции электропроводки. Как следствие, загорелся пол, который представлял собой «сэндвич», состоящий из деревянных элементов, утеплителя и фольги. Основная версия возникновения пожара — аварийный режим работы электропроводки (рис. 7).

В большинстве проанализированных заключений экспертов по пожарам, связанным с теплыми полами, причиной возникновения пожара является аварийный режим работы электросети.

К недостаткам системы «Теплые полы» можно отнести потенциальную пожарную опасность, которая характерна для любых электроустановок. Теплый пол является непрерывной сетью, и повреждение одного участка автоматически может привести к неработоспособности других.

Исходя из актуальности выбранной темы, целью исследования, результаты которого представлены в статье, явилось выявление причин возникновения пожаров при эксплуатации современных систем отопления «Теплые полы» с пленочным электронагревателем.

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

- рассмотрены виды современных систем отопления «Теплые полы»;
- проанализированы особенности конструкции и пожарной опасности современных систем отопления «Теплые полы»;
- проанализированы основные причины возникновения пожаров при эксплуатации данных современных отопительных систем.



Рис. 7. Пожар дома в результате короткого замыкания в системе «Теплые полы»

Fig. 7. An indoor fire caused by the short circuit in the “Underfloor heating” system

Материалы и методы

По результатам одного из пожарно-технических исследований было установлено, что в полу кухонного помещения наблюдается сквозной прогар площадью около 1,5 м², выраженный в виде полного выгорания верхнего слоя пола, утеплителя и щелевых прогаров нижнего слоя пола. В других частях помещения пол подобных поражений не имеет (рис. 8).

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве системы отопления рассматриваемого строения был смонтирован инфракрасный пленочный теплый пол MARPE. Инфракрасный пленочный теплый пол состоит из следующих элементов: полос углеродного материала шириной около 1,5 см, соединенных между собой при помощи медных шин с серебряным покрытием, которые проводят электрический ток. Нагревательный элемент заламинирован с двух сторон плотным полимером, который не задерживает инфракрасное излучение и обеспечивает защитную функцию. При проведении пожарно-технического исследования



Рис. 8. Панорамный снимок внутреннего объема помещения кухни (овалом обозначен прогар в полу)

Fig. 8. A panoramic shot of a kitchen (an oval indicates a burnout in the floor)



Рис. 9. Этапы укладки элементов экспериментальной установки

Fig. 9. A snapshot of the elements of the unit used in the experiment

необходимо установить пожарную опасность данной отопительной системы.

Для оценки зажигательной способности данного электрообогревательного устройства был проведен экспертный эксперимент, в ходе которого в нормальных условиях окружающей среды, при комнатной температуре был смоделирован участок напольного покрытия. Для этого на деревянные доски был положен лист ДСП, имитирующий непосредственно пол, далее на него укладывался слой фольгированного теплоизолятора, на который, в свою очередь, укладывался сам теплый пол, покрытый слоем линолеума (рис. 9). Далее теплый пол посредством зажимов был подключен к терморегулятору с термодатчиком, включенным в положение 40 °С. (рис. 10).

Для имитации реальных условий использования теплого пола в быту на поверхность линолеума были оперты ножки табурета (имитирующие локальное

давление мебели) с грузом на сиденье (имитирующим площадное давление мебели) и синтепоновое изделие (в качестве имитации подушки либо иного изделия, способного к накоплению теплоты) (рис. 11). Под каждым элементом и рядом с ним, между линолеумом и теплым полом была проложена термопара для измерения температуры нагрева. Результаты приведены на соответствующих графиках (рис. 12, 13).

Как видно из представленных на рис. 12 графиков, температурные зоны не являются однородными. Наибольший тепловой эффект был отмечен под синтепоновым изделием и у его границы. Так, за 2 ч 15 мин эксперимента температура под ним повысилась до 100 °С, в то время как в других зонах температура изменялась в интервале от 58 до 69 °С, и рост температуры в них был значительно ниже. При этом следует отметить, что терморегулятор, термодатчик которого был проложен под линолеумом у листа теплого пола, в ходе всего проводимого испытания не отключился. Таким образом, проведенный эксперимент показал, 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.

Далее был выполнен эксперимент, в ходе которого определяли максимальную температуру разогрева установки, находящейся под синтепоновым изделием. Для этого была использована та же установка, с расположенным на ней синтепоновым изделием. Для измерения температуры на поверхности пленочного пола использованы шесть термопар. Результаты эксперимента приведены на рис. 13.

Как и в первом эксперименте, нагревание происходило неравномерно. Так, непосредственно

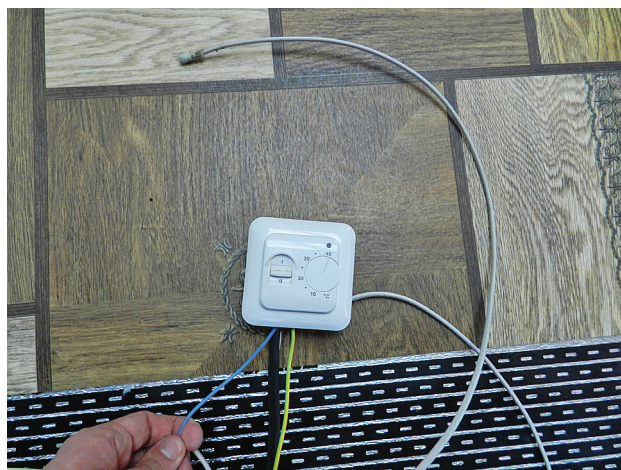


Рис. 10. Снимок терморегулятора экспериментальной установки

Fig. 10. A snapshot of the temperature controller of the experimental unit

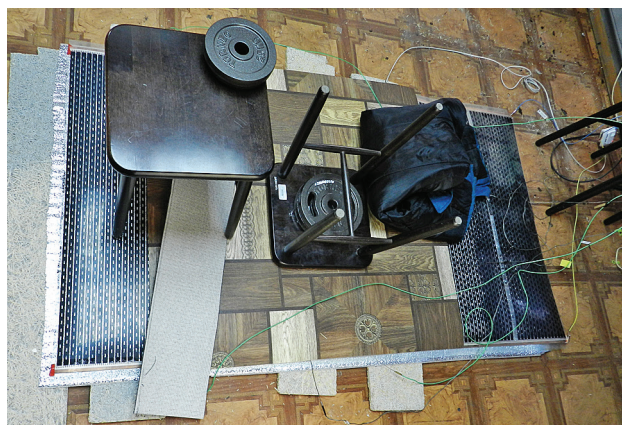


Рис. 11. Снимок расположения элементов при имитации использования пола в быту

Fig. 11. A snapshot of the layout of elements in the process of simulated day-to-day floor use

под синтепоновым изделием за 7 ч работы температура поднялась свыше 120 °С, после чего начал ощущаться специфический запах продуктов термического разложения синтетического изделия, и экс-

перимент был прекращен. При этом следует отметить, что у границы зоны, покрытой линолеумом, температура поверхности пленочного теплого пола составляла около 50 °С. В ходе всего эксперимента терморегулятор, термодатчик которого был проложен под линолеумом у листа теплого пола, в ходе всего проводимого испытания не отключился.

Далее при разборе конструкций было установлено, что непосредственно в зоне максимальных температур наблюдается оплавление фольгированного теплоизолятора, в результате которого произошло уменьшение сечения (рис. 14).

Уменьшение сечения привело к повышению сопротивления и, как следствие, к повышению температуры и локальному перегреву

Данный факт позволяет утверждать, что достигнутой температуры вполне достаточно для разложения полимерных элементов, что при увеличении длительности воздействия способно привести к возгоранию. Кроме того, была обнаружена локальная зона проплавления ламинирующей

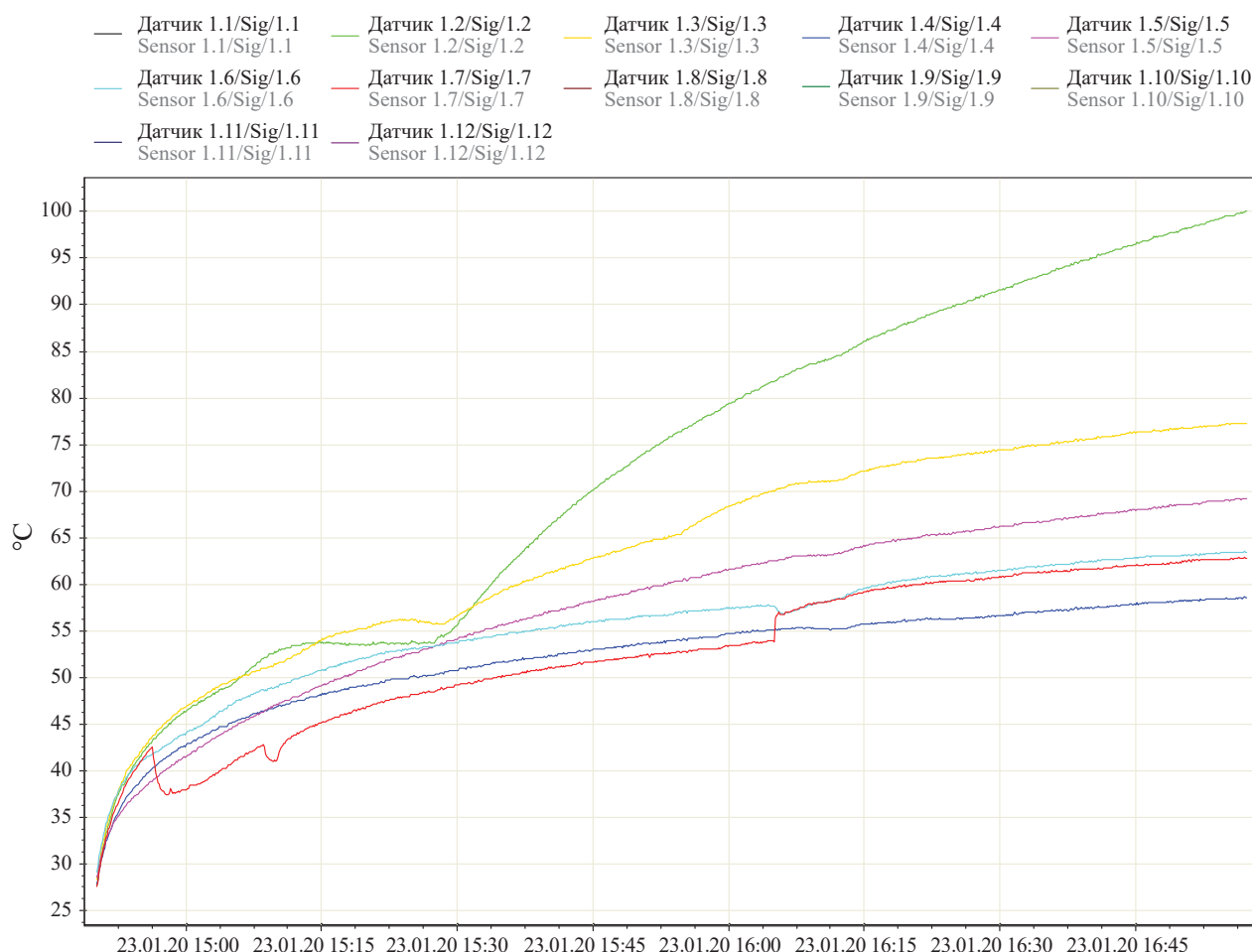


Рис. 12. Показания термопар: датчики 1.2, 1.3 — синтепоновое изделие и зона у его границы; датчики 1.4, 1.5 — сиденье табурета и его граница; датчики 1.6, 1.7 — ножка табурета и ее граница

Fig. 12. The readings of the thermocouple: sensor 1.2, 1.3 — the product made of polyester batting and its boundary; sensor 1.4, 1.5 — the stool seat and its boundary; sensor 1.6, 1.7 — the stool leg and its boundary)

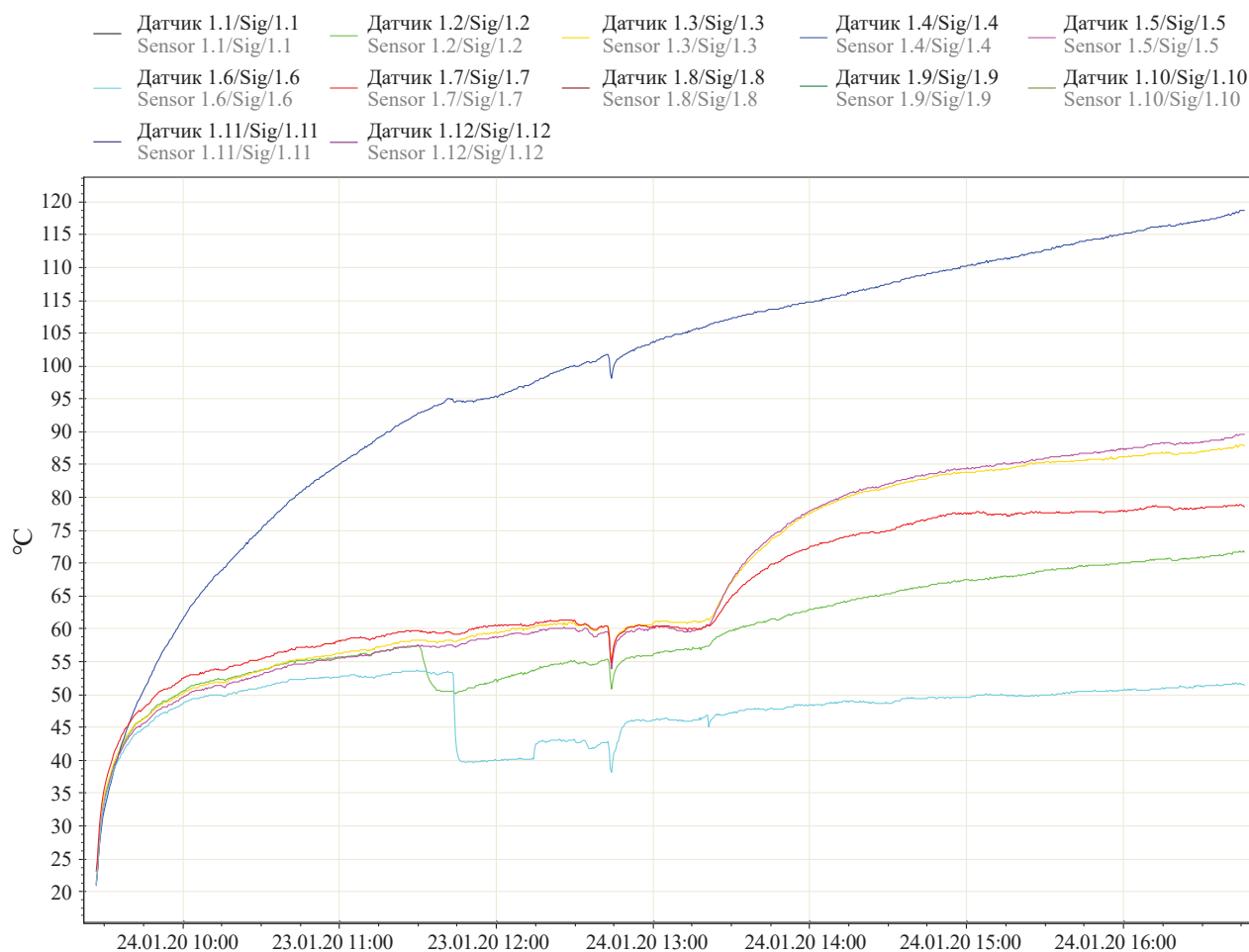


Рис. 13. Показания термопар: датчик 1.4 — синтепоновое изделие; датчики 1.2, 1.3, 1.5, 1.7 — зона непосредственно у синтепонового изделия; датчик 1.6 — зона у границы линолеума

Fig. 13. The readings of the thermocouple: sensor 1.4 — the product made of polyester batting; sensor 1.3, 1.5, 1.7, 1.2 — the area close to the product made of polyester batting; sensor 1.6 — the area at edge of the linoleum

пленки нагревательного элемента, проплавления фольгированного теплоизолятора, и на линолеуме над данной зоной наблюдалось оплавление внутренней поверхности (рис. 15). Можно предположить, что непосредственно в данной зоне ранее имелось механическое повреждение ламинирующей пленки, вследствие чего протекал локальный нагрев. Необходимо также отметить, что в данном



Рис. 14. Снимок расплавления фольгированного теплоизолятора

Fig. 14. The snapshot of the melting foil heat insulator

случае произошел лишь частичный разрыв полосы нагревательного элемента. Данный факт позволяет утверждать, что цепь на данном участке не разомкнулась, т.е. нагрев на данной, уже не защищенной ламинирующей пленкой нагревательной полосе продолжился.

Таким образом, приведенный выше эксперимент наглядно продемонстрировал, что тепловое воздействие электронагревательного прибора (теплый пол) может выступить в качестве источника зажигания. Поэтому наиболее вероятной причиной возникновения данного пожара послужило тепловое воздействие электронагревательной системы (теплый пол).

В качестве подтверждения данного вывода приведем пример еще одного пожара, связанного с инфракрасной нагревательной пленкой (рис. 16).

В одной из квартир возникли очаги интенсивного теплового воздействия на линолеум, которым был покрыт инфракрасный пленочный нагреватель MARPE, для обогрева помещения. Очаги были рас-



Рис. 15. Снимок локального расплавления ламинирующей пленки и нагревательного элемента, а также фольгированного теплоизолятора

Fig. 15. The snapshot of the melting laminating film and the heating element, as well as the foil heat insulator

положены в разных помещениях квартиры и появились практически в одно время.

При вскрытии напольного покрытия установлено, что инфракрасный пленочный нагреватель MARPE имеет следы термического повреждения (рис. 17). На одном из представленных на исследование кусков пленочного нагревателя остался прилипший к нагревателю остаток линолеума (рис. 17, *d*).

При исследовании изъятых терморегуляторов каких-либо следов отключения или аварийного режима работы не выявлено. Терморегулятор был установлен на температуру чуть выше 40 °С и не сработал при повышении температуры пленочного пола под линолеумом (рис. 18, 19).

Следовательно, можно сделать вывод: при повышении температуры терморегулятор не сработал, что привело к повреждению напольного покрытия в нескольких местах, не связанных между собой. Следует отметить, что на полу в местах термических повреждений никакой мебели не было.

Выводы

Выполненный модельный эксперимент и материалы исследования пожара показали, что причиной

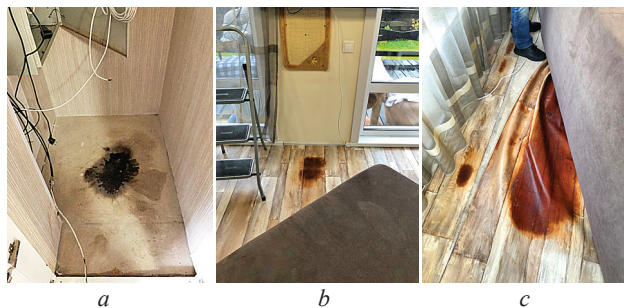


Рис. 16. Места повреждения линолеума в помещениях: *a* — коридор; *b* — веранда; *c* — спальня

Fig. 16. Damaged linoleum on the premises: *a* — hallway; *b* — veranda; *c* — bedroom

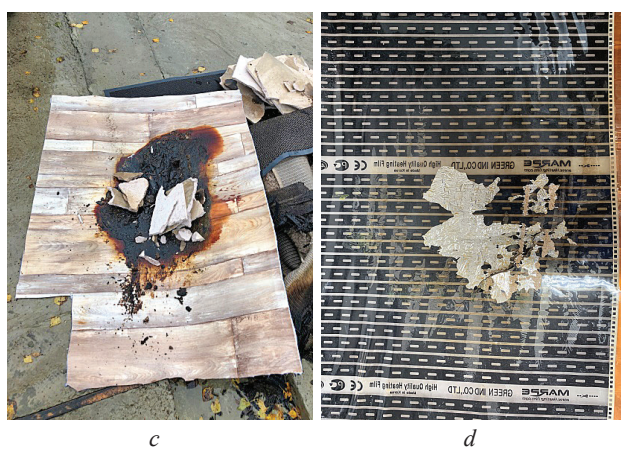


Рис. 17. Термические повреждения на изъятых с места происшествия образцах: на инфракрасной пленке (*a*, *b*, *d*) и на линолеуме (*c*)

Fig. 17. Thermally damaged samples: the infrared film (*a*, *b*, *d*) and the linoleum (*c*)

возникновения пожаров может стать не только аварийный режим работы электросети, но и сама инфракрасная нагревательная пленка теплого пола.

Таким образом, несмотря на все особенности современных систем «Теплые полы», их автоматизацию и модификацию, они остаются потенциально пожароопасными. Пожары современных отопительных систем «Теплые полы» могут возникнуть как в результате нарушения правил противопожарного режима при несоблюдении требований по эксплуатации отопительных приборов, так и в результате нештатного повышения температуры нагретых пленочных нагревателей, находящихся под напольными покрытиями.



Рис. 18. Терморегулятор для пленочного нагревателя

Fig. 18. The temperature controller of the film heater

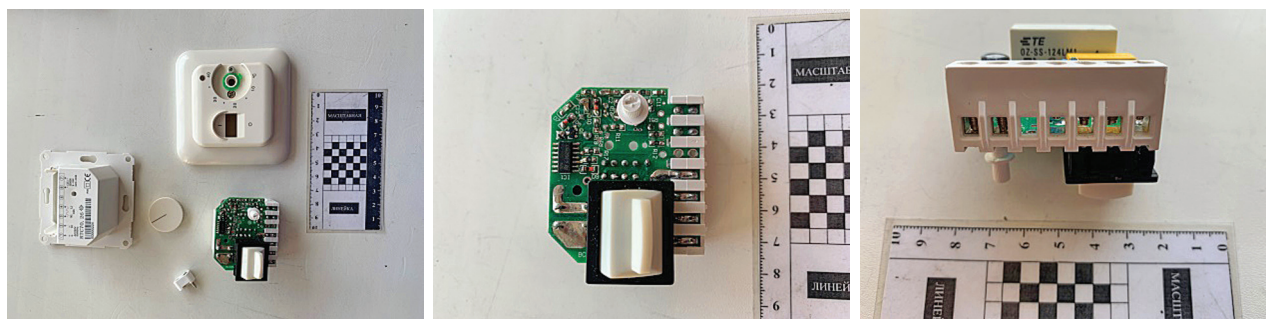


Рис. 19. Терморегулятор без признаков срабатывания или термических повреждений

Fig. 19. Temperature controller without signs of operation or thermal damage

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный надзор МЧС России в 2018 году. Информационно-аналитический сборник. М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2019. 125 с.
2. Статистика пожаров за 2019 год. Статистический сборник : Пожары и пожарная безопасность в 2019 году / под общ. ред. Гордиенко Д.М. М. : ФГБУ ВНИИПО. 2020. 82 с.
3. Шабловский Я.Р. Водяной теплый пол, как источник основного отопления жилых и производственных зданий с наивысшими показателями энергоэффективности, комфорта и эргономичности // Молодой ученый. 2014. № 11.1 (70.1). С. 28–29. URL: <https://moluch.ru/archive/70/12043/>
4. Лецинская Л.В., Малышев А.А. Отопление загородного дома. М. : Аделант. 2010. 384 с.
5. Papakostas K., Martinopoulou G., Papadopoulos A. A comparison of various heating systems in Greece based on efficiency and fuel cost // 17th International Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia At: Sokobanja. October 2015.
6. Berman A. The complete book of floors. London : Frances Lincoln Limited, 1997. 192 p.
7. Olesen B.W., Sommer K., D chting B. Control of slab heating and cooling systems studied by dynamic computer simulations // ASHRAE Transactions. 2000. Vol. 108 (2). Pp. 646–707.
8. Fazeli R., Davidsdottir B., Hallgr msson J.H. Residential energy demand for space heating in the Nordic countries: accounting for interfuel substitution // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 57. Pp. 1210–1226. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.184
9. Halawa E., Chang K.C., Yoshinaga M. Thermal performance evaluation of solar water heating systems in Australia, Taiwan and Japan — A comparative review // Renewable Energy. 2015. Vol. 83. Pp. 1279–1286. DOI: 10.1016/j.renene.2015.04.023
10. Kolarik J. Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperatures // Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. No. 11. Pp. 2988–2997. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.07.008
11. Водяной теплый пол. Проектирование, монтаж, настройка. VALTEC. 2020. 114 с. URL: https://valtec.ru/document/technical/techdoc/teplyj_pol_a5.pdf
12. Ziemele J., Gravelins A., Blumberga A., Blumberga D. Combining energy efficiency at source and at consumer to reach 4th generation district heating: economic and system dynamics analysis // Energy. 2017. Vol. 137. Pp. 595–606. DOI: 10.1016/j.energy.2017.04.123
13. Marcos J.D., Izquierdo M., Parra D. Solar space heating and cooling for Spanish housing: Potential energy savings and emissions reduction // Solar Energy. 2011. Vol. 85 (11). Pp. 2622–2641. DOI: 10.1016/j.solener.2011.08.006
14. Slini T., Giama E., Papadopoulos A.M. The impact of economic recession on domestic energy consumption // International Journal of Sustainable Energy. 2015. Vol. 34 (3-4). Pp. 259–270. DOI: 10.1080/14786451.2014.882335
15. Беарзи В. Теплые полы. Теория и практика // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2005. № 7. С. 70–82. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3020
16. Чупин В.Р., Шелехов И.Ю., Пожидаев В.В. Инфракрасные системы обогрева // European Scientific Conference : сб. ст. X междунар. науч.-практ. конф. 7 июня 2018 г., г. Пенза : в 2-х ч. Ч. 1. Пенза : МЦНС «Наука и просвещение, 2018. С. 50–54. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35039789&>

17. Пожидаев В.В., Шелехов И.Ю., Шишелова Т.И., Иноземцев В.П. Эффективная конструкция нагревательного элемента для инфракрасного обогрева // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 3 (18). С. 118–122. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26710328>
18. Пожидаев В.В., Шелехов И.Ю., Иноземцев В.П. Новые технологии от идеи до внедрения // Интеллектуальный и научный потенциал 21 века : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. 1 февраля 2016 г., г. Уфа. В 4-х ч. Ч. 3. Уфа : АЭТЕРА, 2016. С. 87–89.
19. Яковлев И.О. Особенности инновационной технологии теплых полов с пленочными нагревателями // Инновации, технологии и бизнес. 2019. № 2 (6). С. 117–119. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41412917>
20. 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. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-109-116
21. Лукьянов М.Ю. Водяной и инфракрасный теплый пол. Сравнение систем // Инновационная наука. 2015. № 12. С. 90–92. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25117593>
22. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров. М. : Автомиздат, 2016. 216 с.
23. Obyn S., van Moeseke G. Comparison and discussion of heating systems for single-family homes in the framework of a renovation // Energy Conversion and Management. December 2014. Vol. 88. Pp. 153–167. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.08.010
24. McNall P.E., Biddison R.E. Thermal and comfort sensations of sedentary persons exposed to asymmetric radiant fields // ASHRAE Transactions. 2010. Vol. 76.

REFERENCES

1. State supervision of the EMERCOM of Russia in 2018. Information and analytical collection. Moscow, FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2019; 125. (rus.).
2. Fire statistics for 2019. Statistical collection: Fires and fire safety in 2019 ; Gordienko D.M. (ed.). Moscow, FGBU VNIPO, 2020; 82. (rus.).
3. Shablovsky Ya.R. Water underfloor heating, as a source of basic heating of residential and industrial buildings with the highest indicators of energy efficiency, comfort, and ergonomics. *A young scientist*. 2014; 11.1(70.1):28-29. URL: <https://moluch.ru/archive/70/12043/> (rus.).
4. Leshchinskaya L.V., Malyshev A.A. *Heating of a country house*. Moscow, Adelant Publ., 2010; 384. (rus.).
5. Papakostas K., Martinopoulou G., Papadopoulos A. A comparison of various heating systems in Greece based on efficiency and fuel cost. *17th International Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia At: Sokobanja*. 2015.
6. Berman A. *The complete book of floors*. London, Frances Lincoln Limited, 1997; 192.
7. Olesen B.W., Sommer K., D  chting B. Control of slab heating and cooling systems studied by dynamic computer simulations. *ASHRAE Transactions*. 2000; 108(2):646-707.
8. Fazeli R., Davidsdottir B., Hallgr  msson J.H. Residential energy demand for space heating in the Nordic countries: accounting for interfuel substitution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 57:1210-1226. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.184
9. Halawa E., Chang K.C., Yoshinaga M. Thermal performance evaluation of solar water heating systems in Australia, Taiwan and Japan — A comparative review. *Renewable Energy*. 2015; 83:1279-1286. DOI: 10.1016/j.renene.2015.04.023
10. Kolarik J. Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperatures. *Energy and Buildings*. 2011; 43(11):2988-2997.
11. *Water underfloor heating. Design, installation, configuration*. VALTEC. 2020; 114. URL: https://valtec.ru/document/technical/techdoc/teplyj_pol_a5.pdf (rus.).
12. Ziemele J., Gravelins A., Blumberga A., Blumberga D. Combining energy efficiency at source and at consumer to reach 4th generation district heating: economic and system dynamics analysis. *Energy*. 2017; 137:595-606. DOI: 10.1016/j.energy.2017.04.123
13. Marcos J.D., Izquierdo M., Parra D. Solar space heating and cooling for Spanish housing: Potential energy savings and emissions reduction. *Solar Energy*. 2011; 85(11):2622-2641. DOI: 10.1016/j.solar.2011.08.006

14. Slini T., Giama E., Papadopoulos A.M. The impact of economic recession on domestic energy consumption. *International Journal of Sustainable Energy*. 2015; 34(3-4):259-270. DOI: 10.1080/14786451.2014.882335
15. Bearzi V. Warm floor. Theory and Practice. *Heating, Ventilation, Air Conditioning, District Heating, Building Physics Journal*. 2005; 7:70-82. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3020 (rus.).
16. Chupin V.R., Shelekhov I.Yu., Pozhidaev V.V. Infrared heating systems. *European Scientific Conference : collection of articles of the X International Scientific and Practical Conference : in 2 parts. Part. 1. Penza, ICNS "Science and education", 2018; 51-53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35039789&> (rus.).*
17. Pozhidaev V.V., Shelekhov I.Yu., Shishelova T.I., Inozemtsev V.P. Effective construction of a heating element for infra-red heating. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost/Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2016; 3(18):118-122. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26710328> (rus.).
18. Pozhidaev V.V., Shelekhov I.Yu., Inozemtsev V.P. New technologies from idea to implementation. *Intellectual and scientific potential of the 21st century : a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference (February 1, 2016, Ufa) : in 4 part. Z. Ufa, AETERA, 2016; 87-89. (rus.).*
19. Yakovlev I.O. Peculiarities of innovative technology of warm floors with film heaters. *Innovation, technology and business*. 2019; 117-119. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41412917> (rus.).
20. Kazakov Yu.N., Novikova K.A., Makaridze G.D. Optimization of selection and technology improvement for under floor heating design. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov/Bulletin of Civil Engineers*. 2020; 2(79):109-116. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-109-116 (rus.).
21. Lukyanov M.Yu. Water and infrared underfloor heating. Comparison of systems. *International Scientific Journal "Innovative Science"*. 2015; 12:90-92. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25117593> (rus.).
22. Wong H. *Basic formulas and data on heat exchange for engineers*. Moscow, Atomizdat Publ., 2016; 216. (rus.).
23. Obyn S., van Moeseke G. Comparison and discussion of heating systems for single-family homes in the framework of a renovation. *Energy Conversion and Management*. 2014; 88:153-167. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.08.010
24. McNall P.E., Biddison R.E. Thermal and comfort sensations of sedentary persons exposed to asymmetric radiant fields. *ASHRAE Transactions*. 2010; 76.

Поступила 11.01.2020, после доработки 06.05.2021;
принята к публикации 21.05.2021

Received January 11, 2021; Received in revised form May 6, 2021;
Accepted May 21, 2021

Информация об авторах

ПЛОТНИКОВА Галина Викторовна, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры пожарно-технической экспертизы, Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 409919; ORCID: 0000-0003-2721-292X; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

КУЗНЕЦОВ Константин Леонидович, канд. хим. наук, начальник, Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Иркутской области; доцент кафедры промэкологии и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1065126; ORCID: 0000-0002-8091-1247; e-mail: kuznets84@inbox.ru

ТИМОФЕЕВА Светлана Семеновна, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии

Information about the authors

Galina V. PLOTNIKOVA, Cand. Sci. (Chem.), Docent, Associate Professor of Department of Fire Technical Examination, Eastern-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 409919; ORCID: 0000-0003-2721-292X; e-mail: plotnikovagv@mail.ru

Konstantin L. KUZNETSOV, Cand. Sci. (Chem.), Chief, Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service "Testing Fire Laboratory" across the Irkutsk Region; Associate Professor of Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 1065126; ORCID: 0000-0002-8091-1247; e-mail: kuznets84@inbox.ru

Svetlana S. TIMOFEEVA, Dr. Sci (Eng.), Professor, Head of Department of Industrial Ecology and Life Safety, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian

и безопасности жизнедеятельности, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 79973; ORCID: 0000-0001-8427-3732; e-mail: timofeeva@istu.edu

МОРОЗОВ Руслан Олегович, начальник сектора судебных экспертиз, Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Иркутской области, г. Иркутск, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-2667-6079; e-mail: ipl.irkutsk2013@mail.ru

ШЕКОВ Анатолий Александрович, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры пожарно-технической экспертизы, Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, г. Иркутск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 673937; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: shek@inbox.ru

Federation; ID RISC: 79973; ORCID: 0000-0001-8427-3732; e-mail: timofeeva@istu.edu

Ruslan O. MOROZOV, Chief of the Forensic Science Sectors, Judicial and Expert Establishment Fire-Fighting Service “Testing Fire Laboratory” across the Irkutsk Region, Irkutsk, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2667-6079; e-mail: ipl.irkutsk2013@mail.ru

Anatoliy A. SHEKOV, Cand. Sci. (Chem.), Docent, Associate Professor of Department of Fire Technical Examination, Eastern-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russian Federation; ID RISC: 673937; ORCID: 0000-0003-2111-718X; e-mail: shek@inbox.ru