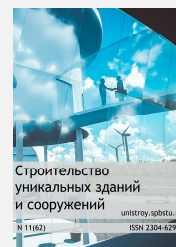


Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



Система напольного отопления на основе аморфной металлической ленты

Д.Ю. Буланчик^{1*}, А.П. Кирюшина²,

¹⁻² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ИСТОРИЯ	КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА
doi: 10.18720/CUBS.62.2	Подана в редакцию: 12.03.2017	напольное отопление; отопление; Advanced Heating Technologies; аморфная металлическая лента; нагреватели; энергоэффективность; энергосбережение;

АННОТАЦИЯ

Статья содержит обзор инновационной технологии обогрева помещений - системы напольного отопления на основе ленточных аморфных металлических нагревателей, разработанной компанией "Advanced Heating Technologies". Приведены основные свойства и параметры продукта, произведены расчеты, по результатам которых был сделан сравнительный анализ данной разработки и системы с традиционным, кабельным напольным отоплением, демонстрирующий преимущества технологии, в частности по вопросам энергоэффективности, а также её недостатки. Выявлены основные достоинства нового метода, особенности использования данных нагревателей.

Содержание

1.	Введение	16
2.	Обзор литературы	16
3.	Постановка цели и задач исследования	16
4.	Особенности производства и эксплуатационных характеристик аморфных материалов	16
5.	Сравнительный анализ аморфных и кристаллических металлических материалов, применяемых для изготовления нагревательных элементов	17
6.	Расход энергии	19
7.	Монтаж и эксплуатация	19
8.	Заключение	20

Контактная информация:

- 1 * +79819746951, d160997@yandex.ru (Буланчик Дмитрий Юрьевич, студент)
2 +79219277790, nastyakik97@mail.ru (Кирюшина Анастасия Павловна, студент)

1. Введение

За последние десятилетия технологии, используемые в строительстве, особенно в нашей стране, претерпели значительные изменения. Основная тенденция последних лет – увеличение показателя энергоэффективности зданий и сооружений, то есть снижение энергозатрат, исходя как из экономических соображений, так и намерений более рационально использовать ресурсы, которые отнюдь не бесконечны. Это и привело к разработке новых технологий, отвечающих современным требованиям.

Если речь заходит о напольных системах электроотопления, то, как правило, имеется ввиду традиционная технология, при которой греющий провод или кабель заложен в стяжку по межэтажному перекрытию. Широко распространенным материалом для изготовления этих кабелей являются сплавы металлов, благодаря своим эксплуатационным характеристикам и относительно невысокой цене. В то же время ведется работа по разработке новых материалов нагревательных элементов, которые удовлетворяли бы всё возрастающим требованиям энергоэффективности. Так, компания "Advanced Heating Technologies", опираясь на наработки советских специалистов, создала абсолютно новую систему обогрева с использованием в качестве нагревательного элемента аморфных металлических лент – материалов, полученных методом быстрой закалки из жидкого агрегатного состояния, которая практически исключает потери электроэнергии.

2. Обзор литературы

Важнейшие свойства, особенности и характеристики аморфных материалов, а также их производных представлены в работах зарубежных ученых Касснера и Смита [1,2]. В статье М. Геллера и В. Манова [3] впервые предложена система отопления с использованием аморфной металлической ленты в качестве теплоносителя, определены основные показатели данного материала и системы. Изучением вопроса использования напольного отопления в качестве основной системы отопления занималась Е. В. Плаксина, выявившая в своей работе [4] характерные его особенности. Г. Н. Трубицыной были проведены исследования [5] на предмет энергоэффективности систем обеспечения микроклимата коттеджа, в котором в качестве системы отопления выступало напольное. Н. Н. Хренков в своей работе [6] осветил вопрос работы нагревательных элементов в системах кабельного напольного отопления, доказав, что при использовании такого способа отопления распределение теплоты в помещении происходит посредством всех трех механизмов теплопередачи. Вопросы применения напольного отопления за рубежом изучала Е. Б. Морозова [7,8]. Различные системы напольного отопления были рассмотрены учеными в трудах [9-14]. Методы расчета, описание основных компонентов таких систем изучены авторами статей [15-23]. Способы повышения энергоэффективности нагревателей, сравнительные показатели мощности, вопросы экономии электроэнергии при отоплении помещений панельно-лучистым отоплением с расположением греющих элементов в полу приведены учеными, решающими эти задачи в работах [24-34].

3. Постановка цели и задач исследования

Целью данной работы служит выявление преимуществ и недостатков новой технологии обогрева помещений, основанной на использовании инновационного материала - аморфной металлической ленты.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить способ производства и типичные свойства ленты в сравнении с обычными металлическими нагревательными элементами (кристаллическими материалами)
2. Произвести сравнительные расчеты кабельной и новой систем напольного отопления
3. Расчет энергоэффективности
4. Преимущества и недостатки при монтаже и эксплуатации

4. Особенности производства и эксплуатационных характеристик аморфных материалов

Аморфные металлические ленты или же металлические стекла представляют собой материалы, получаемые с помощью метода быстрой закалки из жидкого состояния – расплава, причем скорость охлаждения составляет 10^6 °С в секунду. Сам способ производства заключается в нагреве шихты до температуры плавления и выдавливания расплава на охлаждающий барабан, вращающийся с большой скоростью, которая после затвердевает и сходит с поверхности в виде той самой ленты. Её ширина

зависит от ширины сопла, а толщина от скорости вращения барабана. Данная технология позволяет производить аморфные ленты толщиной 20-30 мкм и шириной 2-100 мм. За счет огромной скорости охлаждения расплав не кристаллизуется, а принимает структуру, подобную структуре замороженной жидкости. В отличие от кристаллической решетки, которую имеют сплавы и металлы, используемые в отопительной технике [28], аморфная структура обладает отсутствием дальнего порядка в положении атомов, что означает фазовую однородность. Благодаря этому материал обладает поистине уникальными механическими, магнитными и электрическими свойствами [3, 21], а именно:

- твердостью 68 единиц по Роквеллу
- плотностью 7800 кг/м³
- модулем Юнга 17000 кг/мм²
- модулем сдвига 14000 кг/мм²
- коэффициентом Пуассона 0.3
- прочностью на разрыв 200-250 кг/мм²
- температурным коэффициентом расширения $4,3 \times 10^{-5}$ 1/К
- теплопроводностью 10-20 Вт/(м × К)
- удельной теплоемкостью 500-600 Дж/(кг × К)
- удельным электрическим сопротивлением $1 \dots 5 \times 10^{-6}$ Ом × м
- температурным коэффициентом сопротивления, близким к 0
- температурой кристаллизации 250-600 °С

5. Сравнительный анализ аморфных и кристаллических металлических материалов, применяемых для изготовления нагревательных элементов

Металлы и сплавы, которые используются при производстве нагревательных элементов, обычно обладают такими свойствами как:

- высокая рабочая температура
- высокое удельное сопротивление
- высокие антикоррозионные свойства

Для изготовления высокотемпературных нагревателей наиболее часто применяются такие сплавы, как кантал, нихром и фехраль [28], обладающие высоким удельным электрическим сопротивлением ($1,6 \times 10^{-6}$ Ом × м) и весьма высокой рабочей температурой (800-1500°С).

Стоит указать на тот факт, что работа проволочных нагревателей при высокой температуре объясняется их довольно невысокой поверхностью теплопередачи.

При номинальном режиме работы электрическая мощность, подводимая к нагревателю, сообщается окружающей среде согласно следующему соотношению [23]:

$$P = \alpha \times S \times \Delta T \quad (1)$$

где P – мощность нагревателя, Вт;

α – коэффициент теплообмена (теплоотдачи) между окружающей средой и нагревательным элементом, Вт/(м² × К);

S – площадь теплопередающей поверхности, м²;

ΔT – перепад температур между окружающей средой и поверхностью нагревателя, К.

Согласно выражению (1) становится понятно, что одинаковую мощность P нагревателя можно получить при большой площади S и при малом перепаде температур ΔT и наоборот, при малой площади теплопередачи, температура нагреваемого элемента будет выше. С этой точки зрения использование

металлических лент, а не проводов в качестве нагревателей представляет собой большой интерес, так как применение лент с большой площадью теплопередачи позволяет значительно понизить температуру нагревателя. Ведь проволока имеет минимальную площадь поверхности относительно её объема на единицу длины.

Ниже представлены результаты сравнения способности к теплопередаче проволоки и ленты при одинаковом значении электрического сопротивления (Таблица 1). Расчеты производились на единицу длины образцов. Это говорит о том, что обязательным условием для достижения одинакового электрического сопротивления поперечные сечения проволоки и ленты должны быть равны. Толщина ленты в ходе вычислений принималась равной 20 мкм. В обоих случаях считалось, что теплообмен между средой и лентой, а также между средой и кабелем производится за счет свободной конвекции. Коэффициент теплообмена свободной конвекцией принимался равным 5,6 [24].

Температурный перепад рассчитан при одинаковой заданной мощности. Тогда

$$\Delta T = P / (\alpha \times S) \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что отношение перепадов температур обратно пропорционально отношению площадей поверхностей:

$$\Delta T_R / \Delta T_W = S_W / S_R$$

где R-лента; W-проволока.

Таблица 1 – Сравнение способности к теплопередаче проволоки и ленты

Поперечное сечение, мм ²	Диаметр проволоки, мм	Толщина ленты, мкм	Ширина ленты, мм	Площадь теплопередачи на единицу длины, м ² /м × 10 ⁻³ (лента)	Площадь теплопередачи на единицу длины, м ² /м × 10 ⁻³ (проволока)	Отношение температурного перепада
0,018	0,15	20	0,884	1,807	0,4712	3,835
0,031	0,2	20	1,571	3,182	0,6283	5,064
0,071	0,3	20	3,534	7,109	0,9425	7,542
0,126	0,4	20	6,283	12,606	1,2566	10,032
0,196	0,5	20	9,817	19,675	1,5708	12,525
0,283	0,6	20	14,137	28,314	1,8850	15,021

Очевиден тот факт, то температура ленточных металлических нагревателей существенно ниже, чем у соответствующих проволочных при одинаковой передаваемой мощности.

Низкотемпературные нагревательные элементы обладают рядом преимуществ в сравнении с высокотемпературными одинаковой мощности:

- низкая температура при работе нагревателя снижает требования к тепловым и электрическим изоляциям, следовательно, нагреватель имеет цену ниже, чем высокотемпературный аналог;
- при низкой температуре нагревательных элементов гарантируется большая пожарная безопасность в помещении [25];
- благодаря низкой температуре нагревателя, создаются более высокие экологические условия его эксплуатации, так как высокотемпературные нагревательные элементы сжигают большое количество кислорода из окружающей среды, на них происходит нагрев и последующее выделение паров вредных веществ [29, 30].

Сделанные выводы говорят о существенном преимуществе ленточных нагревательных элементов над проволочными в этом вопросе.

6. Расход энергии

Следует привести расчет нагревательных элементов на основе жильного проводного кабеля и аморфной ленты исходя из электрической мощности 1 кВт [23]. При напряжении ~ 220 В элементы потребляют одинаковую мощность при следующих характеристиках: для аморфной ленты: толщина 25 мкм, ширина 25 мкм, длина 21,5 м, удельном электрическом сопротивлении $1,4 \times 10^{-6}$ Ом $\times$ м; для жильного провода: диаметр 1 мм, длина 70 м, удельное электрическое сопротивление $0,54 \times 10^{-6}$ Ом $\times$ м. В современных отопительных системах используются термостаты, которые обеспечивают автоматическое регулирование системы. То есть время включения и выключения режима обогрева. За это время происходит определенное число процессов включения и выключения. Чаще всего разность температур за один цикл близка к 2 °С [20]. Таким образом, чтобы увеличить температуру жильного элемента на 2 °С требуется 0,00016 кВтч электрической энергии. Масса нагревателя, изготовленного на основе аморфной ленты в данной случае в 4 раза меньше, чем кабельного. Следовательно, для разогрева аморфного нагревателя потребуется 0,00004 кВтч электрической энергии. Нельзя не отметить, что проводной нагреватель за счет более высокой температуры нагрева имеет более толстый изоляционный слой, нежели аморфный [27]. Из этого следует, что на практике для разогрева кабельного элемента требуется ещё большее количество энергии [31, 34].

7. Монтаж и эксплуатация

Греющие панели производятся компанией "Advanced Heating Technologies" в виде полотен прямоугольной формы (матов), которые представляют собой плоские аморфные ленты, интегрированные в фибerglassовую сетку. Такие полотна производятся разных размеров с заранее рассчитанными параметрами. К каждому полотну подключаются два шнура питания длиной 5 метров.

Маты АНТ (Advanced Heating Technologies) могут быть использованы со всеми типами напольных покрытий:

с плиткой, виниловыми покрытиями, коврами, линолеумом, ковровым покрытием, а также с покрытиями на основе древесины - паркетом, ламинатом, паркетной доской, в отличие от других видов теплых полов [15,16].

Монтаж производится по стандартной схеме: основание-изоляция-аморфное полотно. Технология дальнейшей укладки варьируется в зависимости от напольного материала: подложка для мягких покрытий (линолеума, коврового покрытия). Облицовочная плитка и другие плотные материалы укладываются непосредственно на мат АНТ с фиксацией посредством клея. Аморфный пол пригоден к использованию в помещениях с высокой влажностью, таких как ванная или душевая. В таком случае на ленту АНТ накладывается специальная сетка, выполняющая заземляющую функцию, а после этого настилается плиточное покрытие.

В большинстве случаев монтирование пола в стяжку не осуществляется, но её применение, при необходимости, возможно.

Нагревательные маты рассчитаны на питающее напряжение ~220-240 В. Так же полы неприхотливы к частоте тока 50 или же 60Гц.

Но, несмотря на перечисленные достоинства, данный продукт имеет ряд недостатков. Так, при монтаже возможны неудобства, связанные с тем, что полимерная основа ленты требует большой аккуратности, чтобы не нарушалась целостность изолирующих прослоек, что не всегда возможно в условиях строительного производства. Также, если сравнивать пол на основе аморфной металлической ленты с водяным теплым полом, то последний имеет преимущество в вопросах безопасности – отсутствует риск поражения электрическим током (несмотря на защитные системы предохранителей, такой риск существует при использовании любого электрооборудования).

Стоит отметить, что на отечественном рынке рассматриваемая технология представлена только одной компанией (товарным знаком) – АНТ. Нужно сказать, что на данный момент популярность применения аморфной ленты в качестве нагревательного элемента в отопительных системах не очень высока; это объясняется тем, что большим спросом пользуются "проверенные" традиционные системы напольного отопления, куда более широко представленные в нашей стране: водяного ("Valtec" – Россия-Италия, "Rehau" – Германия, "Aquaferm" – Германия, "Sanext" – Россия) и кабельного ("Rehau" – Германия, "Теплолюкс" – Россия, "Ensto" – Финляндия).

8. Заключение

В статье освещен способ производства материала, лежащего в основе данной системы напольного отопления. Приведены основные его характеристики. Рассмотрены основные способы монтажа и применения технологии.

Показано, что система панельно-лучистого отопления с расположением в полу аморфного греющего элемента более энергоэффективна, чем аналогичная система с кабельным элементом, так как затраты на нагрев самого ленточного элемента в 4 раза меньше, чем жильно-проводного.

В статье доказано, что необходимая мощность обогрева может быть развита при более низкой температуре, благодаря большой теплопередающей площади. Также это повышает качество отопления и процент обогреваемой поверхности самого пола – более равномерное распределение теплоты по поверхности пола. Также низкая температура ленты обеспечивает повышенную безопасность и экологически чистую работу.

В ходе работы было выявлено, что огромным преимуществом этой технологии является также и малая толщина нагревательных матов, что позволяет монтировать теплый пол без стяжки, тем самым минимизировать перепад высот пола, если теплый пол необходимо установить лишь в части площади помещений.

Также обнаружены недостатки и спорные моменты рассматриваемой системы обогрева, главный из которых, как следствие новизны – отсутствие должного опыта эксплуатации данных систем напольного отопления в нашей стране и опытных сведений об изменении их эксплуатационных характеристик с течением времени.

Литература

- [1]. Kassner M. E., Smith K., Eliasson V. Creep in amorphous metals. Journal of Materials Research and Technology. 2015. No. 4. Pp. 100-107.
- [2]. Song Y., Jia M., Li X. Thermal stability, magnetic properties and GMI effect of Cr-doping amorphous CoFeSiB ribbons. Journal of Alloys and Compounds. 2015. No. 622. Pp. 500-503.
- [3]. Геллер М., Манов В., Адар Э., Брук Левинсон Э. Ленточные аморфные металлические нагреватели // Труды IV минского международного форума по тепло-массообмену. 2000. С. 49-55.
- [4]. Плаксина Е. В., Голясикова О. Е., Грязных А. А. Характерные особенности систем напольного отопления // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2013. № 2(11). С. 41-51.
- [5]. Трубицына Г. Н., Исаев А. Н. Энергоэффективные системы обеспечения микроклимата коттеджа // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2014. № 1. С. 56-59.
- [6]. Хренков Н. Н. Чем греет теплый пол? // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2014. № 4. С. 56-61.
- [7]. Морозова Е. Б., Кудрявцев Д. С. Взгляд с востока. Особенности китайского рынка электрических теплых полов // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2012. № 3. С. 46-48.
- [8]. Морозова Е. Б. Опыт реализации проектов электроотопления зданий в Китае // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2013. № 3. С. 54-56.
- [9]. Азизова Т. А. Применение инфракрасного отопления в жилых помещениях // Наука, техника и образование. 2016. № 7(25). С. 65-66.
- [10]. Devaux P., Mehdi Farid M. Benefits of PCM underfloor heating with PCM wallboards for space heating in winter. Applied Energy. 2017. No. 96. Pp. 593-602.
- [11]. Николаев С. В. Водяной теплый пол со стальным характером // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2015. № 2. С. 68-71.
- [12]. Лукьянов М. Ю. Водяной и инфракрасный теплый пол. Сравнение систем // Инновационная наука. 2015. № 12-2. С. 90-92.
- [13]. Wang Y., Zhang Z., He F. Experimental investigations on thermal performance of a new floor heating device. Procedia Engineering. 2015. No. 121. Pp. 2132-2140.
- [14]. Петрикевич Л. В. Энергоэффективность работы низкотемпературных систем водяного отопления // Строительство и техногенная безопасность. 2012. № 41. С. 188-192.
- [15]. Биарзи В., Хорев С. Н. (научное рецензирование), Булекова С. Н. (перевод) Теплые полы. Теория и практика // АВООК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2005. № 7. С. 70-81.

- [16]. Усталов Д. С. Теплые полы. Личный опыт // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 10(154). С. 46-53.
- [17]. Фурсова И. Н., Терезников Ю. А. Исследование влияние температуры внутреннего воздуха на распределение температуры поверхности тёплого пола // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2(25). С. 125.
- [18]. Hajabdollahi F., Hajabdollahi Z., Hajabdollahi H. Thermo-economic modeling and optimization of underfloor heating using evolutionary algorithms. Energy and Buildings. 2012. No. 47. Pp. 91-97.
- [19]. Попова Е. П., Смотракова М. В. Система теплых полов // СПбПУ, Межвузовская научная конференция, неделя науки, материалы. 2013.
- [20]. Филимонова Н. А. Обзор терморегуляторов для управления электрическими теплыми полами // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2015. № 1. С. 52-59.
- [21]. Калинин Ю. Е., Королев Г. К. Свойства многослоек металл-полупроводник с аморфной структурой // 2006. № 6. С. 61-67.
- [22]. Keinath C. M., Garimella S. An energy and cost comparison of residential water heating technologies. Energy. 2017. No. 128. Pp. 626-633.
- [23]. Geller M., The method of calculation of Underfloor heating based on metal tape. ASHRAE Mterials. 2002.
- [24]. Махов Л. М. Самарин О. Д. Системы напольного отопления // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2003. № 5. С. 32-37.
- [25]. Лялькина Г. Б. Из истории безопасного отопления // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Безопасность и управление рисками. 2016. № 4. С. 138-146.
- [26]. Astiaso Garcia D. Can radiant floor heating systems be used in removable glazed enclosed patios meeting thermal comfort standards? Building and Environment. 2016. No. 106. Pp. 378-388.
- [27]. Данилов О. Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях М.: Московский энергетический институт (Технический университет), 2010. 188 с.
- [28]. Орлов А.И. Русская отопительно-вентиляционная техника М.: Аква-Терм, 2010. 224 с.
- [29]. Круковский П. Г., Тадля О. Ю., Метель М. А., Рархоменко Г. А. Анализ путей уменьшения энергозатрат за счет периодического снижения температуры воздуха отапливаемых помещений // Пром. теплотехника, 2008, т.30, № 2, С. 97.
- [30]. McNall P.E., Biddison, R.E. Thermal and Comfort Sensations of Sedentary Persons Exposed to Asymmetric Radiant Fields. ASHRAE Transactions. 1970. No. 76.
- [31]. Гершкович В. Н. Энергосберегающие системы жилых зданий. Пособие по проектированию // Электронный журнал энерго-сервисной компании "Экологические системы". 2007. № 8.
- [32]. Thalfeldt M., Simson R., Kurnitski J. The effect of hydronic balancing on room temperature and heat pump efficiency of a building with underfloor heating. Energy Procedia. 2016. No. 96. Pp. 467-477.
- [33]. Олесен Б. Теория и практика напольного лучистого отопления // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2003. № 1. С. 44-51.
- [34]. Грановский В. Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2011. № 8. С. 40-47.

Floor heating based on amorphous metal tape

D.U. Bulanchik ^{1*}, A.P. Kiruyshina ²,

¹⁻² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info	Article history	Keywords
scientific article	Received 12.03.2017	floor heating;
doi: 10.18720/CUBS.62.2		heating;
		Advanced Heating Technologies;
		amorphous metal tape;
		heaters;
		energy efficiency;
		energy saving;

ABSTRACT

The article contains an overview of innovative heating technology for rooms - a floor heating system based on tape amorphous metal heaters developed by Advanced Heating Technologies. In the article are listed the basic properties and parameters of the product, carried out calculations, with the results of which is made a comparative analysis of the development and system with a traditional cable floor, which is demonstrating the advantages of technology, in particular in the energy efficiency sphere. Were revealed the main advantages of the new method, peculiarities of using these heaters, and its limitations.

Contact information:

1 * +79819746951, d160997@yandex.ru (Dmitry Bulanchik, Student)

2 +79219277790, nastyakik97@mail.ru (Anastasiya Kiryushina, Student)

References

- [1]. Kassner M. E., Smith K., Eliasson V. Creep in amorphous metals. *Journal of Materials Research and Technology*. 2015. No. 4. Pp. 100-107.
- [2]. Song Y., Jia M., Li X. Thermal stability, magnetic properties and GMI effect of Cr-doping amorphous CoFeSiB ribbons. *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. No. 622. Pp. 500-503.
- [3]. Geller M., Manov V., Adar E., Bruk Levinson E. Lentochnyye amorfnyye metallicheskiye nagrevateli [Amorphous metal ribbon heaters]. *Trudy IV minskogo mezhdunarodnogo foruma po teplo-massoobmenu*. 2000. Pp. 49-55. (rus)
- [4]. Plaksina Ye. V., Golyasikova O. Ye., Gryaznykh A. A. Kharakternyye osobennosti sistem napolnogo otopeniya [Characteristic features of underfloor heating systems]. *Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya*. 2013. No. 2(11). Pp. 41-51. (rus)
- [5]. Trubitsyna G. N., Isayev A. N. Energoeffektivnyye sistemy obespecheniya mikroklimata kottedzha [Energy-efficient systems for providing a microclimate for a cottage]. *Aktualnyye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*. 2014. No. 1. Pp. 56-59. (rus)
- [6]. Khrenkov N. N. Chem greyet teplyy pol? [What warms the warm floor?]. *Promyshlennyy elektroobogrev i elektrootopeniye*. 2014. No. 4. Pp. 56-61. (rus)
- [7]. Morozova Ye. B., Kudryavtsev D. S. Vzgl'yad s vostoka. Osobennosti kitayskogo rynka elektricheskikh teplykh polov [View from the East. Features of the Chinese market of electric floor heating]. *Promyshlennyy elektroobogrev i elektrootopeniye*. 2012. No. 3. Pp. 46-48. (rus)
- [8]. Morozova Ye. B. Opyt realizatsii proyektov elektrootopeniya zdaniy v Kitaye [Experience in implementation of projects of electric heating of buildings in China]. *Promyshlennyy elektroobogrev i elektrootopeniye*. 2013. No. 3. Pp. 54-56. (rus)
- [9]. Azizova T. A. Primeneniye infrakrasnogo otopeniya v zhilykh pomeshcheniyakh [Application of infrared heating in living areas]. *Nauka, tekhnika i obrazovaniye*. 2016. No. 7(25). Pp. 65-66. (rus)
- [10]. Devaux P., Mehdi Farid M. Benefits of PCM underfloor heating with PCM wallboards for space heating in winter. *Applied Energy*. 2017. No. 96. Pp. 593-602.
- [11]. Nikolayev S. V. Vodyanoy teplyy pol so stalnym kharakterom [Water heated floor with steel character]. *Promyshlennyy elektroobogrev i elektrootopeniye*. 2015. № 2. Pp. 68-71. (rus)
- [12]. Lukyanov M. Yu. Vodyanoy i infrakrasnyy teplyy pol. Sravneniye sistem [Water and infrared floor heating. Comparison of systems] *Innovatsionnaya nauka*. 2015. No. 12-2. Pp. 90-92. (rus)
- [13]. Wang Y., Zhang Z., He F. Experimental investigations on thermal performance of a new floor heating device. *Procedia Engineering*. 2015. No. 121. Pp. 2132-2140.
- [14]. Petrikevich L. V. Energoeffektivnost raboty nizkotemperaturnykh sistem vodyanogo otopeniya [Energy efficiency of low-temperature water heating systems]. *Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost*. 2012. No. 41. Pp. 188-192. (rus)
- [15]. Biarzi V., Khorev S. N. (nauchnoye retsenzirovaniye), Bulekova S. N. (perevod) Teplyye poly. Teoriya i praktika [Ventilation, heating, air-conditioning, heat supply and building Thermophysics]. AVOK: Ventilyatsiya, otopeniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika. 2005. No. 7. Pp. 70-81. (rus)
- [16]. Ustalov D. S. Teplyye poly. Lichnyy opyt [Floor heating. Personal experience]. *Santekhnika, otopeniye, konditsionirovaniye*. 2014. No. 10(154). Pp. 46-53. (rus)
- [17]. Fursova I. N., Tereznikov Yu. A. Issledovaniye vliyaniye temperatury vnutrennego vozdukh na raspredeleniye temperatury poverkhnosti teplogo pola [Investigation of the effect of internal air temperature on the distribution of the surface temperature of the heating floor]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013. No. 2(25). Pp. 125. (rus)
- [18]. Hajabdollahi F., Hajabdollahi Z., Hajabdollahi H. Thermo-economic modeling and optimization of underfloor heating using evolutionary algorithms. *Energy and Buildings*. 2012. No. 47. Pp. 91-97.
- [19]. Popova Ye. P., Smotrakova M. V. Sistema teplykh polov [Floor heating system]. SPbPU, Mezhvuzovskaya nauchnaya konferentsiya, nedelya nauki, materialy. 2013. (rus)
- [20]. Filimonova N. A. Obzor termoregulyatorov dlya upravleniya elektricheskimi teplymi polami [Overview of temperature controllers for controlling electric floor heating]. *Promyshlennyy elektroobogrev i elektrootopeniye*. 2015. No. 1. Pp. 52-59. (rus)
- [21]. Kalinin Yu. Ye., Korolev G. K. Svoystva mnogosloyek metall-poluprovodnik s amorfnoy strukturoy [Properties of metal-semiconductor multilayers with an amorphous structure]. 2006. No. 6. Pp. 61-67. (rus)
- [22]. Keinath C. M., Garimella S. An energy and cost comparison of residential water heating technologies. *Energy*. 2017. No. 128. Pp. 626-633.
- [23]. Geller M., The method of calculation of Underfloor heating based on metal tape. *ASHRAE Materials*. 2002.

- [24]. Makhov L. M. Samarin O. D. Sistemy napolnogo otopeniya [Floor heating system]. AVOK: Ventilyatsiya, otopeniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitelnaya teplofizika. 2003. No. 5. Pp. 32-37. (rus)
- [25]. Lyalkina G. B. Iz istorii bezopasnogo otopeniya [From the history of safe heating]. Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Bezopasnost i upravleniye riskami. 2016. No. 4. Pp. 138-146. (rus)
- [26]. Astiaso Garcia D. Can radiant floor heating systems be used in removable glazed enclosed patios meeting thermal comfort standards? Building and Environment. 2016. No. 106. Pp. 378-388.
- [27]. Danilov O. L. Energoberezheniye v teploenergetike i teplotekhnologiyakh [Energy saving in heat power engineering and heat technologies]. M.: Moskovskiy energeticheskiy institut (Tekhnicheskii universitet), 2010. 188 p. (rus)
- [28]. Orlov A.I. Russkaya otopitelno-ventilyatsionnaya tekhnika [Russian heating and ventilation equipment] M.: Akva-Term, 2010. 224 p. (rus)
- [29]. Krukovskiy P. G., Tadiya O. Yu., Metel M. A., Rarkhomenko G. A. Analiz putey umensheniya energozatrat za schet periodicheskogo snizheniya temperatury vozdukha otaplivayemykh pomeshcheniy [Analysis of ways to reduce energy costs by periodically reducing the air temperature of heated rooms]. Prom. teplotekhnika, 2008, t.30, No. 2, P. 97. (rus)
- [30]. McNall P.E., Biddison, R.E. Thermal and Comfort Sensations of Sedentary Persons Exposed to Asymmetric Radiant Fields. ASHRAE Transactions. 1970. No. 76.
- [31]. Gershkovich V. N. Energoberegayushchiye sistemy zhilykh zdaniy. Posobiye po proyektirovaniyu [Energy saving system in residential buildings. A manual for design]. Elektronnyy zhurnal energo-servisnoy kompani "Ekologicheskkiye sistemy". 2007. No. 8. (rus)
- [32]. Thalfeldt M., Simson R., Kurnitski J. The effect of hydronic balancing on room temperature and heat pump efficiency of a building with underfloor heating. Energy Procedia. 2016. No. 96. Pp. 467-477.
- [33]. Olesen B. Teoriya i praktika napolnogo luchistogo otopeniya [Theory and practice of radiant floor heating]. AVOK: Ventilyatsiya, otopeniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitelnaya teplofizika. 2003. No. 1. Pp. 44-51. (rus)
- [34]. Granovskiy V. L. Energoeffektivnyye sistemy otopeniya: tendentsii, praktika, problemy [Energy-efficient heating systems: trends, practices, problems]. AVOK: Ventilyatsiya, otopeniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitelnaya teplofizika. 2011. No. 8. Pp. 40-47. (rus)

Буланчик Д.Ю., Кирюшина А.П., Система напольного отопления на основе аморфной металлической ленты, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №11(62). С.15-24.

Bulanchik D.U., Kiryushina A.P. Floor heating based on amorphous metal tape, Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 11 (62). Pp. 15-24. (rus)