

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.2.16

УДК 620.92

**А.С. Матрунчик, А.И. Бурков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Рассматривается теоретический материал по использованию солнечной энергии как одного из видов нетрадиционных источников энергии. Всесторонне исследован вопрос использования солнечных коллекторов, представлены их основные виды. Перечислены технические требования к их работе, без которых данные системы невозможно или нерационально будет эксплуатировать. В расчетной части поставлена цель исследования теоретической возможности использования солнечных коллекторов для нагрева горячей воды в инженерных системах жилого дома в г. Перми для оценки рациональности установки такой системы. Исходя из результатов расчета сделан вывод о сроках окупаемости данной системы и возможности реального использования системы на данной территории, а также представлены предложения о дальнейшем развитии данной сферы.

**Ключевые слова:** solar energy, alternative energy sources, renewable energy, solar collectors.

**A.S. Matrunchik, A.I. Burkov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **USING OF THE SOLAR ENERGY IN HOT WATER SYSTEMS**

The article discusses the theoretical material on the use of solar energy, as a form of alternative energy sources. Thoroughly investigated the use of solar collectors, their main types are presented. The technical requirements for their work, without which the system data it is impossible or impractical to operate. In the design of the study goal theoretical possibility of using solar collectors for hot water heating systems in the engineering of a residential building in the city of Perm, to assess the rationality of installing such a system. Based on the results of the calculation, concluded payback of the system and the possibility of real-world use of the system in the area, and provides suggestions for further development of this sector.

**Keywords:** wind power generation, alternative energy sources, the use of inexhaustible resources, renewable energy.

В настоящее время задача повышения энергетической эффективности и энергосбережения является одной из первоочередных в государстве. По этой причине растет интерес к использованию нетрадиционных

и возобновляемых источников энергии и устройствам, использующим их. Теплоснабжение объектов традиционными способами требует затрат большого количества природного топлива. Совершенствование теплогенерирующих установок дает возможность его экономии, но не полного отказа даже при работе над проблемой использования нетрадиционных источников энергии (солнечной, ветровой, геотермальной и т.д.) Возобновляемые источники энергии неисчерпаемы, экологически чисты, не имеют отходов и дешевы. Однако их применение связано с высокой стоимостью преобразующих устройств, периодичностью работы, специфичностью места расположения. Несмотря на все это их использование растет. В ближайшем будущем специалистам в области теплоснабжения придется сталкиваться с различными системами, создаваемыми на основе нетрадиционных источников энергии, одним из которых является солнечное излучение. Солнечная радиация – практически неисчерпаемый и экологически чистый источник энергии. Все вышесказанное определяет актуальность данной работы.

Солнечная энергия является почти неограниченным источником, поступающая мощность которого на поверхность Земли оценивается в 20 млрд кВт ( $20 \cdot 10^{12}$  Вт, или 2000 ГВт). Годовой приход солнечной энергии эквивалентен  $1,3 \cdot 10^{14}$  тоннам условного топлива. Солнечное излучение характеризуется широким спектральным диапазоном – от радиоволн до гамма-излучения [1]. Наши глаза воспринимают менее 1/8 части этого спектрального интервала. Диапазон от 100 до 750 ТГц (от 750 до 400 нм) по очевидным причинам называется видимым спектром, на него приходится около 45 % всей излучаемой Солнцем энергии. На расстоянии 1 а.е. от Солнца плотность потока его излучения составляет  $1360 \text{ Вт/м}^2$ . Эта величина называется солнечной постоянной, которая в действительности не является постоянной: она немного изменяется в течение года, достигая максимального значения в январе, когда Земля находится на самом близком расстоянии от Солнца.

В технических вопросах использования солнечной энергии следует выделить два аспекта – электроснабжение, теплоснабжение. В первом случае происходит получение электрической энергии, во втором – тепла. В настоящее время для концентраторов энергии требуется большая поверхность. Кроме того, технология изготовления модулей концентраторов является дорогостоящей. Для создания постоянного поступления вторичного энергоносителя требуются аккумулято-

ры. Необходимость создания системы аккумулирования связана с возникновением дополнительных, но преодолимых трудностей и увеличивает стоимость энергии.

Существует много различных схем систем, использующих солнечную энергию для горячего водоснабжения: от простой с естественной циркуляцией (основные компоненты – солнечный коллектор, бак-аккумулятор) до более сложных с принудительной циркуляцией воды (основные компоненты – солнечный коллектор, бак-аккумулятор, насос (рис. 1)). У каждой из систем есть свои достоинства и недостатки. При выборе системы следует прежде всего руководствоваться данными об экономии энергии, надежности конструктивных узлов, эффективности осуществляемых мер против замерзания и долговечности коллекторных труб. Вопросы условий эксплуатации систем и выбора места их установки следует решать в зависимости от особенностей климата и рельефа местности.

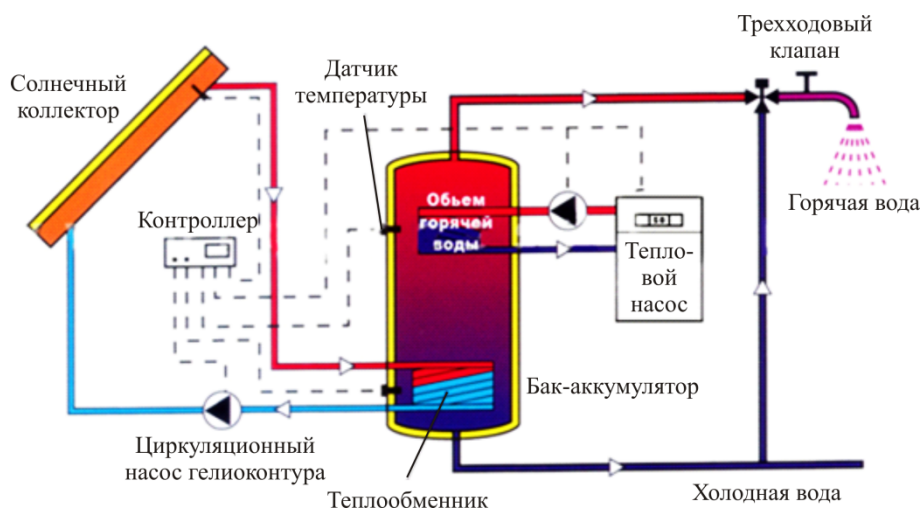


Рис. 1. Системы нагрева воды с помощью энергии солнца

Общей для систем солнечного теплоснабжения всех типов является проблема переменного поступления солнечной энергии. Однако и в этом отношении системы солнечного нагрева воды часто имеют ряд преимуществ перед солнечными отопительными системами, так как к режиму приготовления горячей воды предъявляются требования менее жесткие, чем к системе отопления, потому, что есть значительная разница в продолжительный бессолнечный период между отложенной стиркой или принятием душа и разрывом труб отопления,

а если еще и согласиться с некоторыми неудобствами и неустойчивостью работы, то систему солнечного нагрева воды конструктивно можно еще значительно упростить.

Плоские солнечные коллекторы преобразуют в тепло как прямое, так и рассеянное излучение. Их можно использовать для получения низкопотенциального тепла с температурой теплоносителя менее 70 °С, в частности, для обогрева воздуха в помещениях и нагрева воды в водонагревательных установках. Эффективность таких солнечных коллекторов сильно зависит от погодных условий и снижается с ростом температуры теплоносителя на выходе из коллектора. Эти коллекторы особенно успешно могут применяться в летнее время для подогрева воды в бассейнах, поскольку в данном случае требуется небольшой нагрев воды выше температуры окружающей среды. В таких установках плоские солнечные коллекторы могут работать с эффективностью около 90 %. Плоские солнечные коллекторы оказываются более эффективными при подогреве большого количества воды до невысокой температуры, чем при нагревании небольшого количества воды до высокой температуры и последующем смешивании нагретой воды с холодной.

Самым простым типом солнечного коллектора являются черные пластиковые трубы, выставленные на солнце [2]. Более эффективные конструкции коллекторов теплоизолируются с тыльной и фронтальной (прозрачной) стороны. В солнечных коллекторах можно нагревать воду как напрямую, так и с помощью промежуточного теплоносителя. На рис. 2 показано поперечное сечение типичного плоского солнечного коллектора. При изготовлении таких коллекторов обычно используются стекло и алюминий, однако последний подвержен коррозии, если через коллектор пропускается вода.

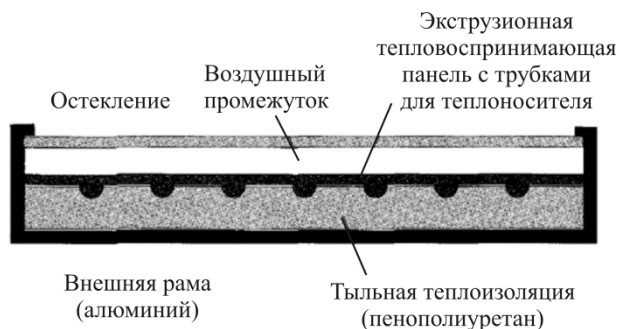


Рис. 2. Поперечное сечение плоского коллектора

Лучшим с точки зрения эффективной передачи тепла к теплоносителю материалом для тепловоспринимающей панели является медь, однако она весьма дорога. В большинстве типичных конструкций панелей солнечных коллекторов каналы для теплоносителя изготавливаются из медных трубок, а тепловоспринимающие ребра панели – из более дешевого алюминия. Панели «чернятся» путем анодирования или просто красятся в черный цвет. При использовании красок возникает ряд проблем, связанных с разрушающим воздействием ультрафиолетового излучения, от которого слой краски может деградировать и разрушаться. Фронтальное прозрачное ограждение солнечного коллектора может быть стеклянным или пластиковым. При этом следует учитывать, что стеклянную панель легко разбить, а пластиковая панель подвергается разрушающему воздействию ультрафиолетовых лучей. Для снижения тепловых потерь через заднюю стенку применяют различные теплоизолирующие материалы, такие как, например, стекловолокно или вспененный полиуретан. Пенополиуретановые панели придают конструкции хорошую жесткость, позволяя при этом избавиться от дополнительных прочностных элементов, которые увеличивают вес конструкции.

Принцип работы таких систем: коллекторы, бак-аккумулятор и соединительные трубопроводы системы заполнены холодной водой; солнечное излучение, проходя через прозрачное покрытие (остекление) коллектора, нагревает его поглощающую панель и воду в ее каналах. При нагреве плотность воды уменьшается, и нагретая жидкость начинает перемещаться в верхнюю точку коллектора и далее по трубопроводу – в бак-аккумулятор. В баке нагретая вода перемещается в верхнюю точку, а более холодная вода размещается в нижней части бака, т.е. наблюдается расслоение воды в зависимости от температуры. Более холодная вода из нижней части бака по трубопроводу поступает в нижнюю часть коллектора. Таким образом, при наличии достаточной солнечной радиации, в коллекторном контуре устанавливается постоянная циркуляция, скорость и интенсивность которой зависят от плотности потока солнечного излучения. Постепенно, в течение светового дня, происходит полный прогрев всего бака, при этом отбор воды для использования должен производиться из наиболее горячих слоев воды, располагающихся в верхней части бака. Обычно это делается подачей холодной воды в бак снизу под давлением, которая вытесняет нагретую воду из бака.

Систему солнечного горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды следует устанавливать при необходимости большого

количества горячей воды, а также в холодных регионах, если обеспечена морозостойкость системы (использование растворов антифриза). Такая система характеризуется тем, что в ее схеме солнечный коллектор и аккумуляторный бак разъединены и для нагревания воды в баке требуется принудительная прокачка теплоносителя при помощи циркуляционного насоса [3]. Аккумуляторный бак и насосы в такой системе можно расположить внизу, что облегчит контроль за оборудованием.

Для использования солнечных коллекторов имеется ряд требований:

1. Установки должны быть взаимосвязаны с дублирующими тепловыми источниками (котельной, ТЭЦ, электрокотлом и т.п.), используемыми в качестве резервного догревателя воды.

2. Оптимальной ориентацией солнечных коллекторов считается юг с возможными отклонениями на восток до  $20^\circ$ , на запад – до  $30^\circ$ .

3. Угол наклона солнечных коллекторов к горизонту для установки, работающей круглый год, принимается равным широте местности; в летний период – широте местности  $-15^\circ$ ; в отопительный период – широте местности  $+15^\circ$ .

4. Необходима тепловая изоляция баков-аккумуляторов, теплообменников и трубопроводов.

5. Термическое сопротивление тепловой изоляции трубопроводов и оборудования должно обеспечивать потерю тепла не более 5 %,

6. Установка устройств для опорожнения и заполнения гелиоприемного контура и для удаления воздуха из системы.

7. В установках с естественной циркуляцией трубопроводы, подающие воду в солнечные коллекторы, а также водопроводную воду, следует присоединять к нижней части бака-аккумулятора; трубопроводы, отводящие нагретую воду от солнечных коллекторов и подающие ее в систему ГВС, – присоединять к верхней части бака-аккумулятора.

8. Уклон прокладки магистральных трубопроводов не менее 0,01 – для установок с естественной циркуляцией теплоносителя; 0,002 – для установок с принудительной циркуляцией теплоносителя. Уклоны труб подводок к солнечным 5–10 мм на всю длину подводки. Необходимо обеспечить возможность мойки солнечных коллекторов.

9. Установка датчиков температуры перед входом и на выходе теплоносителя из групп солнечных коллекторов (при параллельном присоединении этих групп), теплообменников, баков-аккумуляторов, а также установка манометров в нижней точке теплоприемного контура.

10. Автоматические регуляторы температуры для обеспечения постоянной температуры горячей воды.

11. Для более эффективной работы солнечные коллекторы следует соединять в группы по смешанной схеме. Движение теплоносителя в солнечных коллекторах следует предусматривать снизу вверх.

12. В установках с большой площадью солнечных коллекторов следует предусматривать возможность отключения отдельных секций в случае выхода их из строя без прекращения работы всей установки.

Был произведен расчет системы горячего водоснабжения с использованием солнечной энергии для города Перми для оценки рациональности установки такой системы.

Исходные данные:

- 1) наименование объекта – 40-квартирный жилой дом;
- 2) место строительства – Пермь (56° с.ш.);
- 3) температура водопроводной воды – 5 °С;
- 4) коллекторы – одностекольные;
- 5) расчетный месяц – июль, как месяц с наибольшей суммарной солнечной радиацией.

Установка двухконтурная сезонного действия с принудительной циркуляцией.

Суточный расход горячей воды принимается по СНиП 2.04.01–85:  $G_{\text{сут}} = 21\ 000$  л/сут (из расчета 3,5 чел. в квартире, 150 л/чел. в сутки); температура  $T_{\text{г.в.}} = 65$  °С.

$$Q_{\text{норм}}^{\text{сут}} = 4,19 \cdot 21\ 000(65-15) \cdot 10^{-6} = 3,52 \text{ ГДж/сут.} \quad (1)$$

Для нахождения  $\sum q_{\text{пад}}$  определяется угол наклона коллекторов  $\beta = 56^\circ - 15^\circ = 41^\circ$ . По таблице среднемесячных значений для солнечных коллекторов южной ориентации [4] находится  $p_S = 1,09$  и по формуле

$$p_D = \cos^2 \beta / 2 = \cos^2 20^\circ = 0,82. \quad (2)$$

Таблица 1

Зависимость характеристик солнечной радиации от часов дня

Параметры	Часы дня								
	8...9	9...10	10...11	11...12	12...13	13...14	14...15	15...16	16...17
$I_S, \text{Вт/м}^2$	482	572	650	691	691	650	572	482	359
$I_D, \text{Вт/м}^2$	105	119	122	126	126	122	119	105	96
$q_{\text{пад}}, \text{МДж/м}^2$	611	721	809	857	857	809	721	611	470

С учетом данных табл. 1  $q_{\text{пад}}$  вычисляется по формуле

$$q_{\text{пад}} = p_S \cdot I_S + p_D \cdot I_D. \quad (3)$$

Согласно табл. 2:  $\sum q_{\text{пад}} = 6465 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 = 23,7 \text{ МДж}/\text{сут}$ .

КПД установки:

$$\begin{aligned} \eta &= 0,8 \left( \theta - \frac{9 \cdot U [0,5(T_{\text{вых}} + T_{\text{вх}})] - T_0}{\sum q_{\text{пад}}} \right) = \\ &= 0,8 \left( 0,73 - \frac{9 \cdot 8 [0,5(65 + 15)] - 18,1}{6465} \right) = 0,39, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\theta = 0,73$  – приведенная оптическая характеристика коллектора для одностекольных коллекторов;  $U = 8$  приведенный коэффициент теплопотерь солнечного коллектора для одностекольных коллекторов,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $T_0$  – средняя дневная температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{\text{вых}}$  – температура на выходе из коллектора;  $T_{\text{вх}}$  – температура на входе в коллектор.

Площадь коллекторов

$$A = \frac{Q_{\text{норм}}^{\text{сут}}}{\eta \cdot \sum q_{\text{пад}}} = \frac{3,52}{0,39 \cdot 0,02} = 452 \text{ м}^2. \quad (5)$$

Суммарный объем баков-аккумуляторов

$$V = 0,06 \cdot 452 = 27,12 \text{ м}^3, \quad (6)$$

где  $0,06$  – принятый удельный объем бака-аккумулятора,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ .

При проектировании можно принять 7 баков типа СТД по  $4 \text{ м}^3$  каждый. Суммарный объем  $V = 28 \text{ м}^3$ .

Годовая выработка тепла установкой  $Q_{\text{пол}}$  [4]:

$$\hat{A} = A / Q_{\text{норм}}^{\text{сут}} = 452/3,52 = 128,4 \text{ м}^2/\text{ГДж} \cdot \text{сезон}, \quad (7)$$

$$\hat{V} = V / Q_{\text{норм}}^{\text{сут}} = 28/3,52 = 7,95 \text{ м}^3/\text{ГДж} \cdot \text{сезон}. \quad (8)$$

По рис. 3  $\eta = 0,31$ .

Таблица 2

Зависимость характеристик солнечной радиации от месяцев

Параметр	Месяцы				
	IV	V	VI	VII	VIII
$q_{\text{пад}}$ , $\text{МДж}/\text{м}^2$	650	840	873	875	695



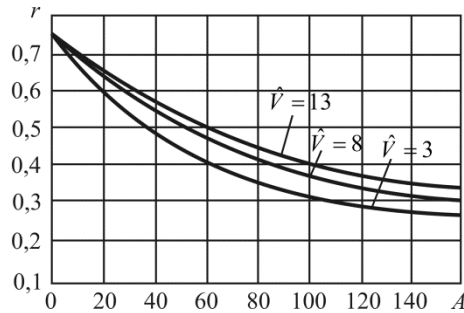


Рис. 3. Зависимость сезонного КПД установки от  $\hat{A}$  и  $\hat{V}$

Согласно табл. 2:  $\sum q_{\text{пад}} = 3,93$  ГДж.

$$Q_{\text{пол}} = \eta \cdot A \cdot \sum q_{\text{пад}} = 0,31 \cdot 452 \cdot 3,93 = 550,7 \text{ ГДж.} \quad (9)$$

Примерный срок окупаемости такой системы [5].

$$\tau = K \cdot \frac{A}{C \cdot Q_{\text{пол}}}, \quad (10)$$

где  $A$  – суммарная площадь солнечных коллекторов,  $\text{м}^2$ ;  $K$  – удельные капитальные затраты на установку солнечного горячего водоснабжения, руб./ $\text{м}^2$ , солнечных коллекторов;  $C$  – удельная стоимость замещающей теплоты, руб./ГДж.

$$\tau = 10\,000 \cdot \frac{452}{437 \cdot 550,7} = 18,8 \text{ лет.} \quad (11)$$

Для г. Перми площадь плоских коллекторов для 40-квартирного дома довольно большая, потребуется занять всю крышу. Срок окупаемости также высок. Это связано с тем, что величина солнечной радиации, поступающей на поверхность, ниже, чем в южных районах. Тем не менее возможность использования солнечной энергии остается. Удобнее было бы использовать вакуумные коллекторы, их площадь ниже, а КПД выше. У систем, использующих солнечную энергию, есть несколько неоспоримых преимуществ: 1) нет необходимости платить за энергию; 2) системы экологически чисты.

Системы горячего водоснабжения с использованием энергии солнца требуют еще много доработок, особенно для применения в России [6]. За границей использованию возобновляемых источников энергии уделяется гораздо больше внимания, пока мы все еще продолжаем тратить ограниченные природные топливные ресурсы. Возможно, про-

гнозируемый многими энергетический кризис подтолкнет российских ученых и инженеров к активному развитию использования неисчерпаемых энергетических ресурсов, которые находятся в свободном доступе по всей планете. Повышение КПД солнечных коллекторов может значительно сократить требуемую для их установки площадь. Применение солнечной энергии в системах теплоснабжения может быть эффективным хотя бы в летний период, поскольку солнечная радиация в это время довольно высока. По крайней мере, для частных домов солнечные системы могут стать более выгодным с экономической точки зрения вариантом, поскольку расходы для таких домов не велики и легко могут быть покрыты за счет энергии солнца.

### **Библиографический список**

1. Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учеб. пособие / пер. с англ. под ред. С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – Долгопрудный: Интеллект; М.: Изд. дом МЭИ, 2010. – 704 с.
2. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. – М.: РадиоСофт, 2008. – 228 с.
3. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. Производство чистой электроэнергии при использовании энергии ветра. – М.: Наука и техника, 2011. – 320 с.
4. Аvezов Р.Р. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения; под ред. Э.В. Сарнадского. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
5. Даффи Дж., Бекман У. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 413 с.
6. Штым А.С., Журмилова И.А. Анализ поступления солнечной радиации в Приморском крае и г. Владивостоке // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2012. – № 1. – С. 102–106.

### **References**

1. Rosa A. Vozobnovliaemye istochniki energii. Fiziko-tekhnicheskie osnovy [Fundamentals of Renewable Energy Processes. Technical and physical basics]. Dolgoprudnii: Intellekt; Moscow: MEI, 2010. 704 p.
2. Sibikin Iu.D., Sibikin M.E. Netraditsionnye vozobnovliaemie istochniki energii [Non-traditional energy sources]. Moscow: RadioSoft, 2008. 228 p.

3. Germanovich V., Turilin A. Alternativnie instochniki energii. Prakticheskie konstruksii po ispolzovaniuu energii vetra, solntsa, vodu, zemli, biomassy. Proizvodstvo chistoi elektroenergii pri ispol'zovanii energii vetra [Practical construction for use of wind, solar, water and bioenergy. Production of clean electrical power with wind energy use]. Moscow: Nauka i tekhnika, 2011. 320 p.

4. Avezov R.R. Sistemy solnechnogo teplo- i khladosnabzheniia [Systems of heat and cold supply]. Ed. E.V. Sarnadskii. Moscow: Stroizdat, 1990. 328 p.

5. Daffi Dzh., Bekman U. Teplovye protsessy s ispol'zovaniem solnechnoi energii [Heat processes with solar energy use]. Moscow: Mir, 1977. 413 p.

6. Shtym A.S., Zhurmilova I.A. Analiz postupleniia solnechnoi radiatsii v Primorskom krae i gorode Vladivostoke [Analysis of solar radiation in Primorye and Vladivostok]. *Vestnik inzhenernoi shkoly DVFU*, 2012, no. 1, pp. 102-106.

Получено 15.04.2015

#### **Сведения об авторах**

**Матрунчик Андрей Сергеевич** (Пермь, Россия) – аспирант, ассистент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: andrey.matrunchik@gmail.com).

**Бурков Александр Иванович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ale-burkov1@yandex.ru).

#### **About the authors**

**Andrei S. Matrunchik** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Assistant, Department of Heating, Ventilation and Water Supply, Sewerage, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: andrey.matrunchik@gmail.com).

**Aleksandr I. Burkov** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Heating, Ventilation and Water supply, sewerage, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: ale-burkov1@yandex.ru).