

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-1-89-98>

УДК 697.2

Исследование влияния схемы подключения алюминиевого радиатора марки STI на его теплотехнические характеристики

З. Г. Марьина¹⁾, А. Ю. Верещагин¹⁾, А. В. Новожилова¹⁾

¹⁾Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова
(Архангельск, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2022
Belarusian National Technical University, 2022

Реферат. Алюминиевые радиаторы различных марок получили широкое распространение на рынке нагревательных приборов. Снизить затраты на изготовление радиаторов можно путем уменьшения поверхности теплоотдающих внутренних ребер. При этом сохраняется их внешний вид, а заявленная производителем теплоотдача остается достаточно высокой. Постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2017 г. № 717 введена обязательная сертификация всех типов отопительных приборов. Отклонения указанной в паспорте прибора номинальной тепловой мощности секции от показателей, установленных по результатам испытаний, не должны превышать предельно допустимых значений (от –4 до +5 %). Как правило, ранее испытания производителем не проводились. Таким образом, изучение влияния схемы подключения радиатора с уменьшенной поверхностью ребер на его теплотехнические характеристики является актуальной задачей. В статье представлены результаты исследований заводского алюминиевого радиатора с уменьшенной поверхностью ребер марки STI Classic тепловой мощностью 1,92 кВт при расчетных условиях. В заданной теплоотдаче прибора не учитывается схема его подключения. Уменьшение внутренних и тыльных ребер снизило площадь его поверхности на 28,8 %. В результате проведенных экспериментов установлено, что тепловая мощность прибора ниже заявленной на 22 % при подключении сверху вниз и на 48 % – при подключении снизу вверх при расчетных условиях. В теплый период отопительного сезона при небольшой разности температур теплоносителя и воздуха в помещении средняя тепловая мощность радиатора совпадает с заявленным значением.

Ключевые слова: теплоотдача и тепловая мощность секции, тепловизионная съемка, теплоотдающая поверхность радиатора, направление движения теплоносителя

Для цитирования: Марьина, З. Г. Исследование влияния схемы подключения алюминиевого радиатора марки STI на его теплотехнические характеристики / З. Г. Марьина, А. Ю. Верещагин, А. В. Новожилова // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2022. Т. 65, № 1. С. 89–98. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-1-89-98>

Адрес для переписки

Новожилова Анна Владимировна
Северный (Арктический) федеральный
университет имени М. В. Ломоносова
наб. Северной Двины, 17,
163000, г. Архангельск, Российская Федерация
Тел.: +7 921 240-83-48
a.novozhilova@narfu.ru

Address for correspondence

Novozhilova Anna V.
Northern (Arctic) Federal University
named after M. V. Lomonosov
17, Severnaya Dvina Emb.,
163000, Arkhangelsk, Russian Federation
Tel.: +7 921 240-83-48
a.novozhilova@narfu.ru

Study of the Influence of the Connection Mode of the STI Brand Aluminum Radiator on its Thermal Characteristics

Z. G. Mar'ina¹⁾, A. Yu. Vereshchagin¹⁾, A. V. Novozhilova¹⁾

¹⁾Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

Abstract. Aluminum radiators of various brands have become widespread on the market of heating equipment nowadays. It is possible to reduce the cost of manufacturing radiators by reducing the surface of the heat-emitting internal fins, while maintaining their appearance, and the heat transfer claimed by the manufacturer is being maintained high enough. Decree of the Government of the Russian Federation No 717 of June 17, 2017 introduced mandatory certification of all types of heating appliances. Deviations of the nominal thermal power of the section indicated in the device passport from the indicators established by the test results should not exceed the maximum permissible values (from -4 to $+5$ %). As a rule, no previous tests were carried out by the manufacturer. Thus, the study of the influence of the radiator connection mode with a reduced fin surface on its thermal characteristics is an urgent task. The article presents the results of the studies of a factory aluminum radiator with a reduced surface of STI Classic brand fins with a heat output of 1.92 kW under design conditions. The specified heat transfer of the device does not take into account its connection mode. The reduction of the inner and rear fins reduced its surface area by 28.8 %. As a result of the experiments carried out, it was found that the thermal power of the device is 22 % lower than the declared value when connected from top to bottom and 48 % lower when connected from bottom to top under design conditions. During the warmer period of the heating season, with a small temperature difference between the coolant and the indoor air, the average heat output of the radiator coincides with the declared value.

Keywords: heat transfer and heat output of the section, thermal imaging, heat transfer surface of the radiator, direction of movement of the heat carrier

For citation: Mar'ina Z. G., Vereshchagin A. Yu., Novozhilova A. V. (2022) Study of the Influence of the Connection Mode of the STI Brand Aluminum Radiator on its Thermal Characteristics. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 65 (1), 89–98. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-1-89-98> (in Russian)

Введение

Наличие большого разнообразия нагревательных приборов привело к тому, что тепловые характеристики радиаторов, указанные производителем, не всегда совпадают с имеющимися на практике. Обзор многочисленных источников позволяет сделать вывод, что теплотехническими исследованиями подтверждаются данные только для отдельных типов радиаторов [1–8].

На российском рынке представлен широкий ассортимент современных нагревательных приборов, и немалая доля приходится на алюминиевые радиаторы. Их несомненным преимуществом является высокая теплоотдача, достигающая 200–210 Вт, при этом объем каждой из секций батареи составляет всего 450 мл при весе в 1,0–1,5 кг. Благодаря эстетичному внешнему виду подобные радиаторы можно внедрять в интерьер любого стиля. Низкая инерционность алюминиевых приборов отопления позволяет точно регулировать температурный режим при помощи термостатических устройств. Указанные достоинства, а также длительный срок службы и многообразие конструкций и типоразмеров алюминиевых радиаторов привели к их широкому распространению в России и за рубежом.

В статье рассмотрен 10-секционный алюминиевый радиатор типа STI Classic, предназначенный для систем отопления жилых, общественных и промышленных зданий. Технические характеристики прибора: рабочее давление 1,8 МПа; теплоотдача одной секции 192 Вт; максимальная температура теплоносителя 110 °С; емкость одной секции 0,29 л; межцентровое расстояние 500 мм; значение водородного показателя 7–8 рН. Ребра радиатора образуют вертикальные прямоугольные каналы, в которых воздух свободно движется снизу вверх, увеличивая теплоотдачу прибора при свободной конвекции.

Алюминий – дорогостоящий металл, поэтому понятно стремление производителя сократить его расход. Особенностью радиатора является сокращенная площадь теплоотдающей поверхности за счет обрезки внутренних и задних ребер (рис. 1). По заверению производителя, теплоотдача таких ребер снижается незначительно, а экономия металла существенна, что ведет к удешевлению радиатора. На практике заявленная тепловая мощность не достигается.



Рис. 1. Внешний вид радиатора

Fig. 1. The exterior appearance of the radiator

В настоящее время обязательная сертификация всех типов отопительных приборов и их соответствие ГОСТу [9] регламентируются постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2017 г. № 717 [10]. Отклонения номинального теплового потока, заявленного производителем, от показателей, установленных по результатам проведения испытаний, не должны превышать предельно допустимых значений (от –4 до +5 %) [9]. Таким образом, представляет интерес определение фактического теплового потока нагревательного прибора. Цель статьи – исследование тепловых характеристик нагревательного прибора марки STI Classic с уменьшенной поверхностью ребер [11].

В реальных однотрубных системах отопления с нижней разводкой и П-образными стояками на подъемном стояке радиаторы подключаются по схеме снизу вверх, а на опускном – сверху вниз. В представленной работе дополнительно определено влияние схемы подключения прибора на его теплоотдачу, поскольку в настоящее время при проектировании систем отопления производитель такой информации не дает.

Схема экспериментальной установки

В лаборатории учебно-научного центра энергетических инноваций кафедры теплоэнергетики и теплотехники Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова собрана экспериментальная установка по исследованию теплотехнических характеристик алюминиевого радиатора марки STI (рис. 2). Водонагреватель 2 позволяет получать температуру теплоносителя до 80 °С. Циркуляция теплоносителя обеспечивается насосом 3. Тепловая нагрузка нагревательного прибора 1 определяется по показаниям расходомера 4 и двух хромель-копелевых термопар 9, 10. Термопары зачеканены в металлических подводках к прибору на входе и выходе из него и подключены через многопозиционный переключатель 7 к милливольтметру 8. Холодные спай термопар погружены в сосуд Дьюара 6 с тающим льдом. Для улавливания загрязнений перед расходомером установлен сетчатый фильтр 5 [12].

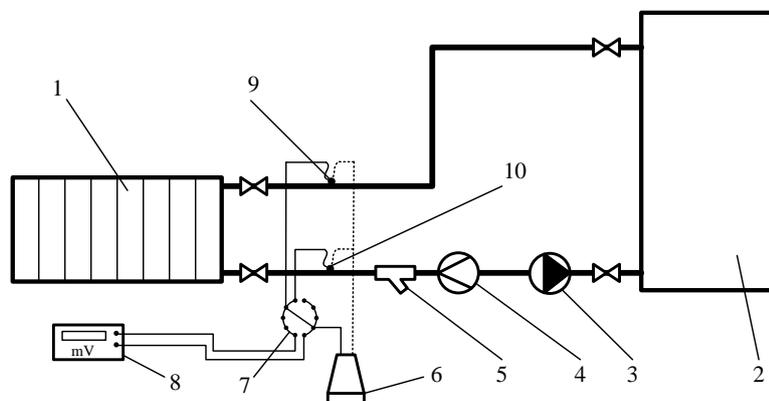


Рис. 2. Схема экспериментальной установки по исследованию теплотехнических характеристик радиатора

Fig. 2. The scheme of the experimental installation for the study of thermal characteristics of the radiator

В стационарном тепловом режиме осуществляли замеры расхода теплоносителя, ЭДС термопар, установленных на входе и выходе из радиатора, и температуру воздуха в помещении. Опыты проводили в диапазоне температур греющего теплоносителя 40–80 °С при расходах 0,13–0,22 м³/ч. Тепловую нагрузку отопительного прибора определяли по расходу и разности температур теплоносителя. Равномерность температурного поля на внешней поверхности ребер и направление движения теплоносителя в приборе проверяли при помощи тепловизора TESTO-350.

Исследование тепловых характеристик алюминиевого радиатора при подключении сверху вниз

Определим тепловую мощность 10-секционного радиатора STI Classic 500/80 с межцентровым расстоянием 500 мм и глубиной секции 80 мм при его одностороннем подключении сверху вниз.

В паспорте нагревательного прибора производителем заявлена тепловая мощность секции $q_{\text{ном}} = 192$ Вт при расчетной разности средней темпера-

туры теплоносителя и температуры воздуха в помещении $\Delta t_{cp} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ [10]. В России при проектировании двухтрубных систем отопления предполагают, что расчетные температуры теплоносителя до и после нагревательного прибора составляют 95 и 70 $^\circ\text{C}$ соответственно, температура воздуха в помещении 20 $^\circ\text{C}$, расчетная разность температур $\Delta t_{cp} = 62,5 \text{ }^\circ\text{C}$. В однотрубных системах температурный перепад 25 $^\circ\text{C}$ между подающим и обратным трубопроводами используется на цепочке последовательно включенных радиаторов, и расчетная разность температур зависит от места подключения прибора. Таким образом, тепловая мощность радиатора даже в расчетных условиях будет отличаться от номинального значения.

Производители предлагают в этом случае использовать поправочный коэффициент $k = f(\Delta t_{cp})$, учитывающий отличие расчетных условий от номинальных, и определять тепловой поток секции по формуле

$$q = q_{nom} k.$$

Заявленная производителем тепловая мощность Q , Вт, 10-секционного радиатора с учетом влияния расчетной разности температур показана линией 2 (рис. 3). Фактическая тепловая мощность, полученная экспериментально, представлена опытными точками (линия 1), что аппроксимируется уравнением:

$$Q = 20,4\Delta t_{cp} + 77,3.$$

Рис. 3. Тепловая мощность радиатора при подключении сверху вниз:

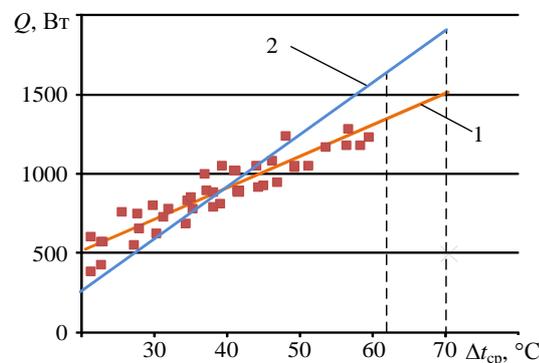
1 – экспериментальная;

2 – заявленная производителем

Fig. 3. Heat output of the radiator when connected from top to bottom:

1 – experimental;

2 – declared by manufacturer



Таким образом, наблюдаемый тепловой поток меньше паспортного значения на 22 % при расчетных условиях $\Delta t_{cp} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ и на 19 % при $\Delta t_{cp} = 62,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Следует отметить, что при качественном регулировании температуры теплоносителя в системах теплоснабжения, например, при среднеотопительной температуре наружного воздуха в г. Архангельске $-4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ расчетная разность средней температуры теплоносителя и температуры воздуха в помещении $\Delta t_{cp} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для изучения направления движения теплоносителя в приборе, равномерности и времени прогрева радиатора проведена тепловизионная съемка прибором TESTO-350 с момента начала подачи теплоносителя и до полного прогрева радиатора. На термограммах видно, что сначала прогревается

верхний коллектор, а затем весь радиатор равномерно по длине и сверху вниз (рис. 4). Температура поверхности ребра по высоте отличается не более чем на 6 °С.

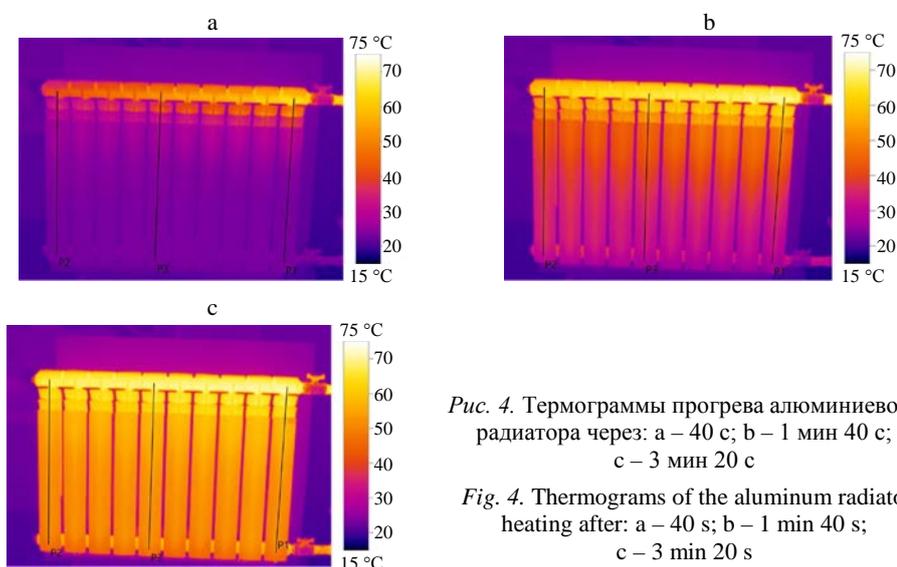


Рис. 4. Термограммы прогрева алюминиевого радиатора через: а – 40 с; б – 1 мин 40 с; с – 3 мин 20 с

Fig. 4. Thermograms of the aluminum radiator heating after: a – 40 s; b – 1 min 40 s; c – 3 min 20 s

После обработки данных тепловизионной съемки построен график изменения температуры поверхности ребер радиатора при прогреве крайних и центральной секций (рис. 5). Полный прогрев радиатора наблюдается за 3–4 мин, что свидетельствует о низкой инерционности прибора. В процессе прогрева температуры поверхностей секций радиатора отличаются не более чем на 5 °С, после прогрева температуры крайних секций ниже, чем центральной, на (2–3) °С. Таким образом, при подключении сверху вниз можно считать, что тепловая мощность каждой из секций примерно одинакова и не зависит от местоположения в приборе.

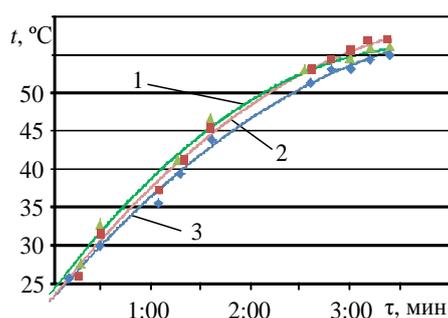


Рис. 5. Температура поверхности ребер алюминиевого радиатора: 1 – первой секции; 2 – центральной; 3 – конечной

Fig. 5. The temperature of the fin surface of the aluminum radiator sections: 1 – the first one; 2 – the central one; 3 – the final one

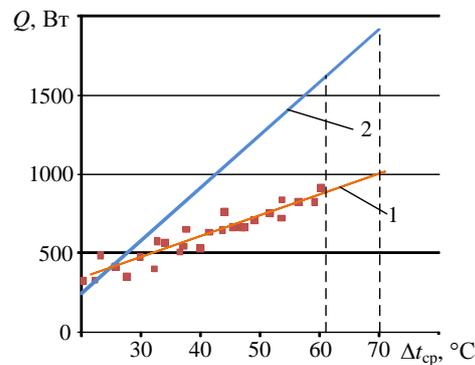
Исследование тепловых характеристик алюминиевого радиатора при одностороннем подключении снизу вверх

Проведем аналогичные испытания 10-секционного радиатора STI Classic 500/80 при его одностороннем подключении снизу вверх.

Опытные точки, графически представленные линией 1 (рис. 6), аппроксимированы формулой

$$Q = 13,13\Delta t_{cp} + 84.$$

Рис. 6. Тепловая мощность радиатора при подключении снизу вверх:
 1 – экспериментальная;
 2 – заявленная производителем
 Fig. 6. Heat output of the radiator when connected from the bottom up:
 1 – experimental;
 2 – declared by manufacturer



Наблюдаемый тепловой поток отличается от паспортного значения на 48 % при расчетных условиях $\Delta t_{cp} = 70$ °C и на 46 % при $\Delta t_{cp} = 62,5$ °C. При более низких значениях разности температур фактическая тепловая мощность будет также ниже расчетной. Выявлено влияние схемы подключения радиатора на его тепловую мощность: она снижается с 1500 Вт при подключении сверху вниз до 998 Вт при подключении снизу вверх, что составляет 33,5 %.

Тепловизионная съемка велась с интервалом 20 с с момента подачи горячего теплоносителя и до полного прогрева радиатора. Полученные результаты представлены на рис. 7, 8.

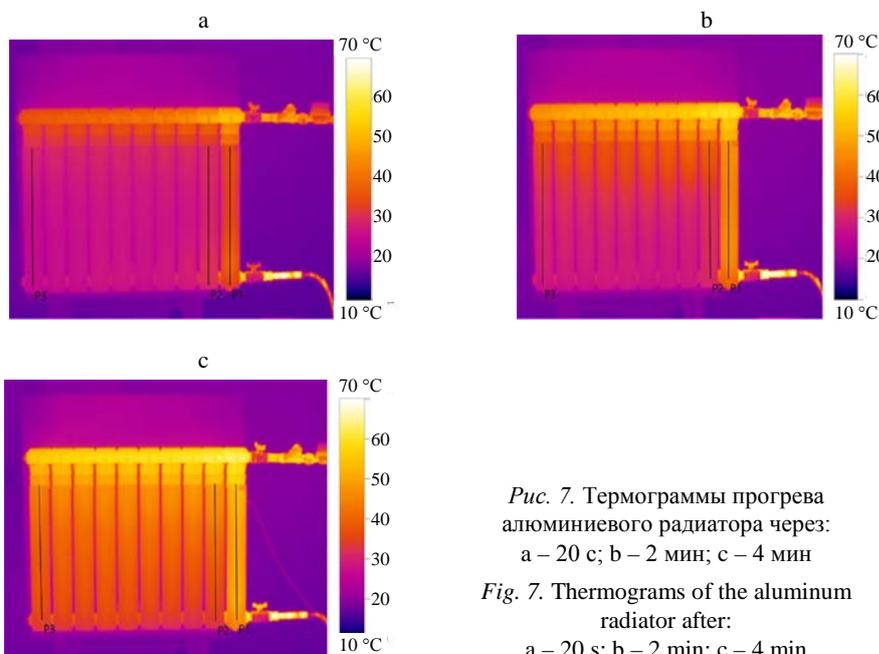


Рис. 7. Термограммы прогрева алюминиевого радиатора через:
 а – 20 с; б – 2 мин; в – 4 мин
 Fig. 7. Thermograms of the aluminum radiator after:
 а – 20 s; б – 2 min; в – 4 min

Термограмма показывает движение теплоносителя в радиаторе. Сетевая вода, поступая снизу по первой секции, поднимается вверх и затем распределяется по секциям в верхнем коллекторе. В результате гравитационное давление воды направлено навстречу движению входящего теплоносителя. Это полностью согласуется со схемой движения, изложенной в [13]. Таким образом, имеем более низкую температуру поверхности ребер второй, третьей и последующих секций. На графике зависимости температуры от времени (рис. 8) отчетливо видно, что секция, находящаяся ближе всего к подводным трубопроводам, после разогрева радиатора в течение 4 мин имеет среднюю температуру поверхности 50,8 °С, следующая за ней секция прогревается до 41,5 °С, а остальные восемь секций – до 39,7 °С.

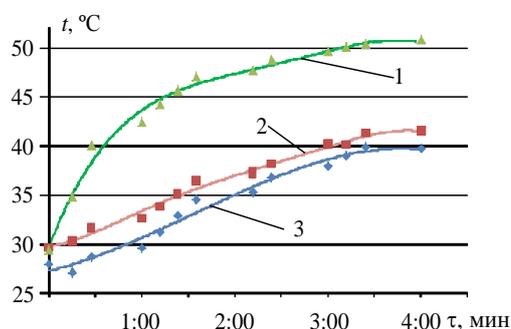


Рис. 8. Температура поверхности ребер алюминиевого радиатора:
1 – первой секции; 2 – второй; 3 – третьей и последующих

Fig. 8. The temperature of the fin surface of the aluminum radiator sections:
1 – the first; 2 – the second; 3 – the third and subsequent sections

Температура поверхности ребра первой секции в среднем на 11 °С, а второй на 9 °С выше температуры поверхности остальных секций. Тепловая мощность первой и второй секций отличается от остальных в среднем на 30 %. В данном случае следует вводить поправку на количество секций при определении тепловой мощности прибора.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований впервые определено, что снижение площади поверхности ребер при обрезке составило 28,8 %.

2. При принятых условиях проектирования (расчетной разности средней температуры теплоносителя и температуры воздуха в помещении $\Delta t_{\text{ср}} = 62,5$ °С) снижение тепловой мощности радиатора по сравнению с заявленной производителем составляет при подключении снизу вверх 46 %, при подключении сверху вниз – 19 %, что может привести к значительному недогреву помещений.

3. Впервые получены термограммы для алюминиевого радиатора STI Classic при различных схемах подключения. Показано изменение тем-

пературы и движения теплоносителя в процессе прогрева секций радиатора в зависимости от схемы подключения.

4. Производителю необходимо уточнить тепловую мощность секции и прибора в соответствии с [10], исходя из числа секций и схемы подключения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнение радиаторов отопления по теплоотдаче [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://otivent.com/sravnenie-radiatorov-otopleniya-po-teplootdache>.
2. Плохих, И. Радиаторы в низкотемпературных системах отопления [Электронный ресурс] / И. Плохих // *Аква-Терм*. 2011, № 2. Режим доступа: https://aqua-therm.ru/articles/articles_185.html.
3. Embaye, M. Numerical Evaluation of Indoor Thermal Comfort and Energy Saving by Operating the Heating Panel Radiator at Different Flow Strategies / M. Embaye, R. K. AL-Dadah, S. Mahmoud // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 121. P. 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.042>.
4. An Investigation into the Effect of Decorative Covers on the Heat Output From LPHW Radiators / L. J. Brady [et al.] // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 133. P. 414–422. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.065>.
5. Maivel, M. Energy Performance of Radiators with Parallel and Serial Connected Panels / M. Maivel, M. Konzelmann, J. Kurnitski // *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 86. P. 745–753. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.007>.
6. Gheibi, A. An Experimental and Numerical Investigation on Thermal Performance of a New Modified Baseboard Radiator / A. Gheibi, A. R. Rahmati // *Applied Thermal Engineering*. 2019. Vol. 163. No 114324. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114324>.
7. Ioikova, I. L. Calculation of Heat Exchange on the Surface of a Flexible Heat Exchanger for Use in Mobile Hospitals / I. L. Ioikova, A. S. Kalinichenko // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2020. Т. 63, № 1. С. 81–88. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-1-81-88>.
8. Иоикова, И. Л. Исследование возможности применения вихревого теплогенератора в системах теплоснабжения жилых, промышленных и общественных зданий / И. Л. Иоикова, Е. Н. Тарасевич // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2018. Т. 61, № 2. С. 159–166. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-2-159-166>.
9. Приборы отопительные. Общие технические условия: ГОСТ 31311–2005. М.: Стандартинформ, 2006.
10. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2009 г. № 982 [Электронный ресурс]: пост. Правительства Рос. Федерации от 17 июня 2017 г. № 717. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=218692&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.8020253409431399#018911350397033821>.
11. Радиаторы отопления алюминиевые [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.royal-thermo.ru/catalog/radiator_otopleniya/alyuminievye_radiator.
12. Vereshchagin, A. Yu. Thermal Performance of Aluminium Heating Appliance Research / A. Yu. Vereshchagin, N. V. Latishova // *Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2017: сб. материалов*. Архангельск: САФУ им. М. В. Ломоносова, 2017. С. 400–404.
13. Богословский, В. Н. Отопление / В. Н. Богословский, А. Н. Сканава. М.: Стройиздат, 1991. 735 с.

REFERENCES

1. *Comparison of Heating Radiators by Heat Transfer*. Available at: <https://otivent.com/sravnienie-radiatorov-otopeniya-po-teplootdache> (in Russian).
2. Plokhikh I. (2011) Radiators in Low-Temperature Heating Systems. *Akva-Term*, (2). Available at: https://aqua-therm.ru/articles/articles_185.html (in Russian).
3. Embaye M., AL-Dadah R. K., Mahmoud S. (2016) Numerical Evaluation of Indoor Thermal Comfort and Energy Saving by Operating the Heating Panel Radiator at Different Flow Strategies. *Energy and Buildings*, 121, 298–308. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.042>.
4. Brady L. J., Abdellatif M., Cullen J., Maddocks J., Al-Shamma'a A. (2016) An Investigation into the Effect of Decorative Covers on the Heat Output From LPHW Radiators. *Energy and Buildings*, 133, 414–422. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.065>.
5. Maivel M., Konzelmann M., Kurnitski J. (2015) Energy Performance of Radiators with Parallel and Serial Connected Panels. *Energy and Buildings*, 86, 745–753. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.007>.
6. Gheibi A., Rahmati A. R. (2019) An Experimental and Numerical Investigation on Thermal Performance of a New Modified Baseboard Radiator. *Applied Thermal Engineering*, 163, 114324. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114324>.
7. Iokova I. L., Kalinichenko A. S. (2020) Calculation of Heat Exchange on the Surface of a Flexible Heat Exchanger for Use in Mobile Hospitals. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 63 (1), 81–88. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-1-81-88>.
8. Iokova I. L., Tarasevich E. N. (2018) Investigation of the Possibility of Using a Vortex Heat Generator in Heat Supply Systems for Residential, Industrial and Public Buildings. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 61 (2), 159–166. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-2-159-166> (in Russian).
9. State Standart 31311–2005. *Heating Devices. General Technical Conditions*. Moscow, Standartinform Publ. 2006 (in Russian).
10. On Amendments to the Decree of the Government of the Russian Federation of December 1, 2009 No 982: Resolution of the Government of the Russian Federation No 717 of June 17, 2017. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=218692&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.8020253409431399#018911350397033821> (in Russian).
11. *Aluminum Radiators*. Available at: http://www.royal-thermo.ru/catalog/radiatory_otopeniya/alyuminievye_radiatory (in Russian).
12. Vereshchagin A. Yu., Latishova N. V. (2017) Thermal Performance of Aluminium Heating Appliance Research. *Lomonosovskie Nauchnye Chteniya Studentov, Aspirantov i Molodykh Uchenykh – 2017: Sb. Materialov* [Lomonosov Scientific Readings of Students, Postgraduates and Young Scientists – 2017: Collection of Conference Materials]. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Named after M. V. Lomonosov, 400–404 (in Russian).
13. Bogoslovsky V. N., Skanavi A. N. A. (1991) *Heating*. Moscow, Stroyizdat Publ. 735 (in Russian).