

Об изменении индустриальных и потребительских требований к отопи- тельным прибо- рам систем водя- ного отопления

Рецензия эксперта на статью получена
25.03.2021 [The expert review on the article
received on Mart 25, 2021].

Введение

На протяжении многих последних десятилетий при конструировании и последующем массовом выпуске отопительных приборов заводы-производители придерживались следующей последовательности решаемых задач. Первоочередным образом преодолевались трудности технологии производства. Известный всем чугунный секционный радиатор имеет характерную запоминающуюся форму во многом потому, что именно такой её позволяли реализовать имевшиеся в распоряжении литейных и машиностроительных производств технологии первой половины и середины XX века. Чугун имеет характерные ограничения по текучести и способности принимать форму при расплавлении, а также вполне конкретные характеристики по сохранению формы и прочности при определённых толщинах стенок и пластин оребрения. С учётом некоторой инерционности во вкусах и ожиданиях потребителей подобную форму данного типа радиаторов производители сохраняют до сих пор, однако уже из чисто маркетинговых соображений — чтобы заполнить соответствующую нишу на стороне спроса.

По целому ряду характеристик такой отопительный прибор не просто проигрывает десяткам конкурирующих решений, но и не соответствует требованиям времени и ожиданиям потребителя. И потенциал его совершенствования ничтожен. Ни формой, ни размером, ни изменением свойств поверхности невозможно преодолеть выявленные недостатки. В работе [1] по итогам моделирования и экспериментального исследования подтверждено, что тонкая алюминиевая пластина наилучшим образом рассеивает теплоту в восходящем конвективном потоке воздуха. Сталь показывает более скромные результаты, а хуже всего работает пластина из чугуна, причём следует помнить, что чугунная пластина из соображений сохранения механической прочности не может быть тонкой, по-

этому частота оребрения не может варьироваться в широких пределах. Высокая собственная масса и водоёмкость делают чугунный прибор крайне инерционным, что когда-то и могло рассматриваться как преимущество, но только не теперь. В наши дни при повсеместном термостатировании ожидается, что отопительный прибор будет как можно быстрее реагировать на изменение положения штока регулятора пропорциональным изменением теплового потока с поверхности [2].

По приоритетности решения с технологией изготовления отопительных приборов конкурируют только задачи обеспечения надёжности и долговечности отопительного прибора

По приоритетности решения с технологией изготовления конкурировали только задачи обеспечения надёжности и долговечности отопительного прибора. На протяжении нескольких десятилетий прошлого века остро конкурировали между собой в части предпочтительного применения системы водяного и парового отопления. И роль вторых в определённые моменты развития техники строительства не стоит недооценивать — они занимали значительную долю в объёмах производства. На стороне высокотемпературных систем парового отопления были высочайшая их эффективность, обусловленная огромной энергоёмкостью процессов паро- и конденсатообразования, относительная простота и заметные экономические преимущества. Однако такие системы требовали безупречной стойкости к коррозии как трубопроводов, так и применяемых отопительных приборов. А рост высотности застройки постепенно начинал предъявлять всё более строгие требования к рабочему давлению для всего применяемого в отоплении оборудования.

УДК 67.53.29. Научная специальность: 05.23.03.

Об изменении индустриальных и потребительских требований к отопительным приборам систем водяного отопления

К. И. Лушин, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

В статье рассмотрены основные этапы становления и развития требований к отопительным приборам систем водяного отопления, а также предложены перспективные направления дальнейшего совершенствования их конструкции с целью достижения наилучших характеристик.

Ключевые слова: отопление, конвектор, радиатор, теплообмен, теплопередача, отопительный прибор, история развития, совершенствование конструкции.

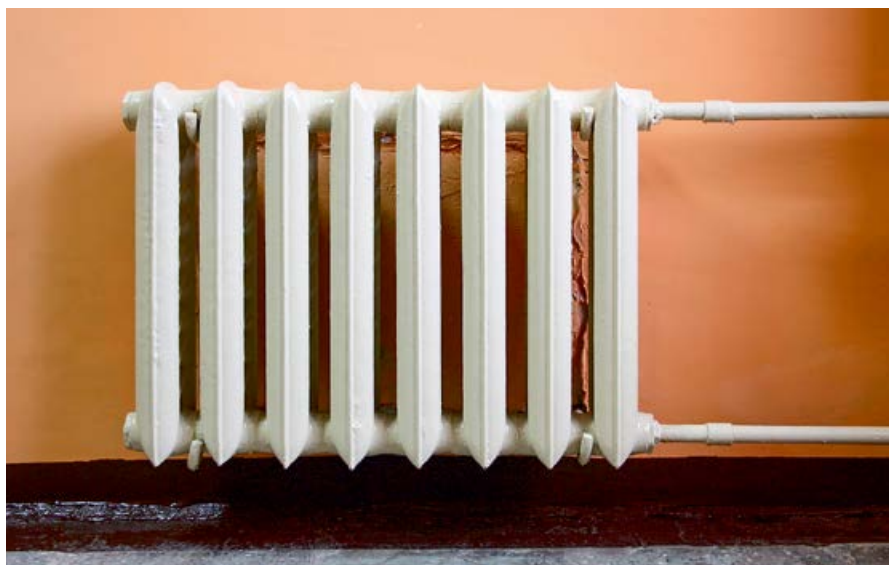
UDC 67.53.29. Scientific specialty number: 05.23.03.

About changes in industrial and consumer requirements for heating devices of water heating systems

K. I. Lushin, PhD, Associate Professor, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

The article represents the main stages of requirements forming for heating devices, as well as future options for further improving its design to achieve the best properties.

Key words: heating, convective, radiator, heat exchange, heat transfer, heater, development history, design improvement.



Задачей третьего ряда и уже значительно позже стали требования обеспечения привлекательного внешнего вида. В нашей стране эти вопросы стали актуальными лишь после «включения» рыночной экономики, и то далеко не сразу. При этом ответом на возрастающие эстетические ожидания потребителя стали поставки отопительных приборов из-за рубежа. И даже в наши дни, несмотря на почти заградительный характер валютного курса, а также введение требований по обязательной сертификации приборов отопления [3], российским производителям в поисках внимания потребителей приходится не только сохранять привлекательный внешний вид приборов, лаконичный и соответствующий любым интерьерам, но и усиливать свои позиции на рынке, брендируя продукцию элегантно звучащими названиями на латинице.

Следующим, нарастающим по значимости, но всё ещё недооценённым вопросом в определении конструктивных характеристик отопительных приборов, становится их теплотехническая эффективность. Обострению этой проблемы способствует изменение структуры внутрироссийского спроса со значительным перераспределением его в сторону крупных закупок по строгим правилам со стороны государственных или корпоративных заказчиков.

Причём одновременно с увеличением объёмов отдельных поставок и обязательным применением конкурсных процедур происходит всё большее упорядочивание и формализация оценки качества оборудования. В этих условиях на первый план выходит величина номинальной тепловой мощности одной секции или единицы площади наружной поверхности отопительного прибора.

При уже устоявшейся структуре производства и технологиях изготовления изделий основным полем борьбы производителей стало сравнение результатов испытаний отопительных приборов в соответствующих лабораториях.

Однако потенциал и этих маркетинговых преимуществ на сегодняшний день почти полностью исчерпан, поэтому следует переходить к этапу совершенствования эффективности оборудования. Одновременно с этим было бы правильно решить вопросы встраивания ранее исключительно «железных» систем в системы управления зданием, снизить металлоёмкость, водоёмкость и тепловую инерцию размещаемого в помещениях теплотехнического оборудования.

Основной раздел

Известно, что коэффициент теплопередачи отопительного прибора определяется тремя основными составляющими [4]: теплообменом на внутренней и внешней поверхности отопительного прибора и теплопроводностью его стенки. Выразить его также можно, как величину, обратную сопротивлению теплопередаче.

Тогда общее сопротивление теплопередаче последовательно расположенных по направлению теплового потока внутренней поверхности, стенки и внешней поверхности будет определяться следующим образом:

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{в}} + R_{\text{ст}} + R_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{пр}}$ — сопротивление теплопередаче отопительного прибора, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт; $R_{\text{в}}$, $R_{\text{ст}}$ и $R_{\text{н}}$ — соответственно, сопротивление теплообмену на внутренней поверхности, сопротивление стенки и сопротивление теплообмену на внешней поверхности, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт.

Третья составляющая правой части уравнения (1) $R_{\text{н}}$ — не только наибольшая по величине из всех трёх (может отличаться на порядок от каждой), но ещё и наименее гибко изменяемая. Объясняется это тем, что воздух помещения имеет очень плохие характеристики как теплоноситель. У него малая плотность и, следовательно, теплоёмкость. В отличие, например, от воды, которая не просто может содержать и транспортировать большое количество теплоты в единице массы, но и эффективно её передаёт омываемым поверхностям. Причём на изменение этой величины для воды достаточно легко влиять незаметным для потребителя образом — просто изменяя расход воды и, следовательно, скорость её движения в отопительном приборе. При этом интенсивность теплообмена будет зависеть от квадрата скорости движения теплоносителя, то есть станет изменяться очень динамично.

Таким образом, если совершенствовать теплотехнические свойства отопительных приборов систем водяного отопления, то делать это нужно именно в части теплообмена на их наружной поверхности.

Основным полем борьбы производителей стало сравнение результатов испытаний отопительных приборов в соответствующих лабораториях

В своей работе [5], ставшей довольно известной, В.И. Сасин обратил внимание на прямую связь массы отопительного прибора и коэффициента его теплопередачи. Это утверждение не вызывает сомнений в связи со значительным объёмом данных, собранных автором, однако в самой работе не предложена гипотеза, которая бы объясняла наблюдаемое явление. А для конвективных приборов такие выводы скорее наоборот создают пространство для дальнейшего изучения [6]. Тем не менее, интерес специалистов к совершенствованию конструкции отопительных приборов, анализу их свойств и характеристик [7, 8] в последнее время возрастает. И можно надеяться на скорейшее углубление наших теоретических представлений об устройстве и режимах работы отопительной техники.

Ещё одним важным обстоятельством является то, что несмотря на сохраняющиеся даже в непростых экономических условиях темпы строительства, обеспеченность населения нашей страны жильём всё ещё недостаточная. Говоря проще, граждане живут в теснённых условиях.

И в этом случае предпочтительным вариантом конструкции отопительного прибора оказывается вновь, как и ранее, отопительный прибор с преобладающей долей конвективной составляющей в общем тепловом потоке. А для такого отопительного прибора всё меньшую роль играет именно толщина стенок оребрения. И, как следствие, прямая связь между весом прибора и коэффициентом его теплопередачи не будет подтверждаться. Значительную роль в конвективной части теплообмена на поверхности отопительного прибора играет то, что его интенсивность неодинакова на всей площади теплообмена, в особенности по вертикали.

В экспериментальной работе [9] отмечается, что нагретая пластина при омывании её восходящим воздушным потоком всегда имеет несколько большую температуру в своей верхней части. И этот эффект тем сильнее выражен, чем выше средняя температура этой поверхности. Что может означать только одно: чем выше температура пластины, тем меньшее количество теплоты с верхней её части собирает омывающий её восходящий поток. То есть потенциал теплоёмкости воздуха оказывается полностью «выбран» ещё в нижней и средней частях пластины, просто в силу естественных физических ограничений.

В самом деле, потенциал роста скорости естественного конвективного потока невелик, а интенсивность съёма теплоты с поверхности напротив, довольно ограничена и уменьшается по высоте пластины в связи с уменьшением температурного напора, ведь восходящий поток по мере продвижения вверх вдоль пластины непрерывно нагревается.

В отмеченной работе описан ещё один важный для отопительной техники эффект — возникновение вихревых обратных токов, направленных вниз вдоль поверхности теплообмена. Для конвекторов систем отопления это наблюдение не содержит прямых последствий, так как в работе всё-таки исследуются геометрически значительно более крупные объекты, а диапазон температур в эксперименте лишь частично захватывает область работы средне- и высокотемпературных систем водяного отопления. Тем не менее, отмеченные особенности надо учитывать и перепроверять в лаборатории или на цифровых моделях [10] для конкретных типов и конструкций оборудования и условий его использования. Очень ценным выводом из того обстоятельства, что пластина теплообменника конвектора работает не одинаково по всей своей высоте, будет то, что при конструирова-



нии новых типов отопительных приборов или совершенствовании существующих, во-первых, нет никакой объективной необходимости стремиться наращивать высоту гладкой пластины. А во-вторых, допустимо и даже целесообразно смещать точку контакта источника теплоты и теплообменной пластины вверх.

Иными словами, необходимо отказываться от простой и понимаемой всеми геометрической симметрии в пользу теплотехнической эффективности и пропускать трубу в конвекторе через пакет пластин в точке, расположенной по возможности выше геометрического центра пластины. Величину такого смещения следует уточнить отдельным исследованием для различных диапазонов температур теплоносителя, расстояния между пластинами и их размеров.

Необходимо отказываться от простой и понимаемой всеми геометрической симметрии в пользу теплотехнической эффективности и пропускать трубу в конвекторе через пакет пластин в точке, расположенной по возможности выше геометрического центра пластины

Кроме того, надо отметить и общую тенденцию к снижению температурных параметров теплоносителя в контуре как систем отопления, так и систем теплоснабжения. Даже там, где сохраняется прокладка трасс с применением стальных трубопроводов, управляющие организации тепловых сетей стараются с большей осторожностью относиться к сохранности как самих труб, так и всех стыковых сварных соединений. И для этого, без сомнений, все идут по пути снижения температурных параметров. Хотя следует отметить, что соображения сохранения сетей — далеко не единственная причина снижения температуры теплоносителя.

Заключение

Из сказанного выше всё более очевидным становится образ и характеристики отопительного прибора системы водяного отопления ближайшего будущего. Кратко можно отметить, что это отопительный прибор малой высоты со значительной конвективной долей в общем тепловом потоке, которая достигается применением теплообменника с частым оребрением пластинами выверенной толщины и геометрической формы. Такой отопительный прибор в части теплообменника может не иметь центральной или осевой симметрии. Однако потребителю не придётся привыкать к нетрадиционным изменениям внешнего вида прибора, поскольку любая экспериментальная или инновационная конструкция будет обязательно скрыта декоративным корпусом с гармоничным сочетанием геометрических пропорций и максимальным сохранением пространства помещения. ●

1. Ibrahim A.A. et al. Investigation of the effect of different materials on convective heat transfer. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2020. Vol. 14. Issue 2. Pp. 6642–6651.
2. Wang Y. et al. Accurate model reduction and control of radiator for performance enhancement of room heating system. *Energy Build.* 2017. Vol. 138. Pp. 415–431.
3. О внесении изменений в постановление Правительства РФ от 1 декабря 2009 года № 982: Постановление Правительства РФ от 17.06.2017 № 717.
4. Махов Л.М. Отопление: Учебник для вузов. — М.: Изд-во АСВ, 2014. 400 с.
5. Сасин В.И. Отопительный прибор: доверять проверять // *Аква-Терм*, 2016. № 6. С. XX–XX.
6. Сасин В.И., Кушнир В.Д. Вентиляторные конвекторы: оценка компонентов теплообменника и вентилятора // *АВОК*, 2020. № 8. С. 46–48.
7. Стыченко С.И., Плотников Д.А. К вопросу о зависимости теплового потока секционного отопительного прибора от количества секций // *Журнал СОК*, 2019. № 8. С. 36–37.
8. Клаус Е.Д. Пути совершенствования конструкции отопительного прибора конвективного типа для систем водяного отопления многоэтажных зданий массовой застройки: В сб. «Дни студенческой науки». — М.: Изд-во МГСУ, 2020. С. 514–519.
9. Kim K.M. et al. Experimental study of turbulent air natural convection in open-ended vertical parallel plates under asymmetric heating conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2020. Vol. 159. Pp. 120–135.
10. Пухал А.В. Численное моделирование тепловых испытаний отопительных приборов // *АВОК*, 2020. № 8. С. 36–39.

[References — see page 78.](#)

About changes in industrial and consumer requirements for heating devices of water heating systems. Pp. 54–56.

K. I. Lushin, PhD, Associate Professor, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. A.A. Ibrahim et al. Investigation of the effect of different materials on convective heat transfer. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2020. Vol. 14. Issue 2. Pp. 6642–6651.
2. Y. Wang et al. Accurate model reduction and control of radiator for performance enhancement of room heating system. *Energy Build*. 2017. Vol. 138. Pp. 415–431.
3. *O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 1 dekabrja 2009 goda № 982* [On amendments to the Resolution of the Government of the Russian Federation of December 1, 2009 No. 982]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 17.06.2017 № 717* [Resolution of the Government of the Russian Federation of June 17, 2017 No. 717]. [In Russian]
4. L.M. Mahov. *Otoplenie: uchebnik dlja vuzov* [Heating: textbook for universities]. Moscow. *Izd-vo ASV* [Publishing House of the Association of Construction Universities ("ASV" Publishers)]. 2014. 400 p. [In Russian]
5. V.I. Sasin. *Otopitel'nyj pribor: doverjaj proverjaja* [Heater: trust by checking]. *Akva-Term* ["Aqua-Therm" Magazine]. 2016. No. 6. [In Russian]
6. V.I. Sasin, V.D. Kushnir. *Ventiljatornye konvektory: ocenka komponentov teploobmennika i ventiljatora* [Fan convectors: Assessment of heat exchanger and fan layouts]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]. 2020. No. 8. Pp. 46–48. [In Russian]
7. S.I. Stycenko, D.A. Plotnikov. *K voprosu o zavisimosti teplovogo potoka sekcionnogo otopitel'nogo pribora ot kolichestva sekcij* [On the question of the dependence of the heat flow of a sectional heating device on the number of sections]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2019. No. 8. Pp. 36–37. [In Russian]
8. E.D. Klaus. *Puti sovershenstvovanija konstrukcii otopitel'nogo pribora konvektivnogo tipa dlja sistem vodjanogo otoplenija mnogojetazhnyh zdanij massovoj zastrojki* [Ways to improve the design of a convective type heater for water heating systems in multi-storey buildings of mass development]. *V sb. "Dni studencheskoj nauki"* [Col. vol. "Days of Student Science"]. Moscow. *Izd-vo MGSU* [Publishing House of Moscow State University of Civil Engineering]. 2020. Pp. 514–519. [In Russian]
9. K.M. Kim et al. Experimental study of turbulent air natural convection in open-ended vertical parallel plates under asymmetric heating conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2020. Vol. 159. Pp. 120–135.
10. A.V. Puhkal. *Chislennoe modelirovanie teplovyyh ispytaniij otopitel'nyh priborov* [Numerical modeling of thermal tests of heating devices]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]. 2020. No. 8. Pp. 36–39. [In Russian]