

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.397:69

*ЦВЕТКОВ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
nac.tsuab@yandex.ru*

*ЖУКОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ, канд. физ.-мат. наук,
ст. научный сотрудник,*

kaf_tgs@tsuab.ru

КРИВОШЕИН ЮРИЙ ОЛЕГОВИЧ, аспирант,

kaf_tgs@tsuab.ru

ИВАНЧИН МИХАИЛ ГЕННАДЬЕВИЧ, зав. лабораторией,

kaf_tgs@tsuab.ru

ТОКМАКОВ АЛЕКСЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, магистрант,

kaf_tgs@tsuab.ru

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ*

Разработана экспериментальная установка и методика определения теплоотдающей способности алюминиевых радиаторов. Приведены результаты исследования четырех типов 7-секционных радиаторов при их подключении «сверху-вниз». Расход теплоносителя, создаваемый прецизионным жидкостным термостатом BT25-1 с блоком регулирования температуры M01 фирмы «Термекс», варьировался в пределах 0,047–0,092 кг/с. Нестабильность поддержания установленной температуры в течение одного часа составляла $\pm 0,1$ °С. Измерения тепловой мощности радиаторов проводились для значений температур воды в термостате от 70 до 95 °С с шагом 5 °С. Для приборов Extra Therm Super 500 (Италия), ROYAL Thermo Optimal 500 (Китай), ROYAL GLOBAL VOX 500 (Италия) отклонения мощности по сравнению с паспортными данными составили от –6,6 до +6,7 %. Для прибора Thermo Indigo 500 (Италия) отклонение составило –14,1 %.

Ключевые слова: отопительный прибор; литые алюминиевые радиаторы; температурный напор; номинальная тепловая мощность; реальные условия эксплуатации.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект 02.G25.31.0022).

*NIKOLAY A. TSVETKOV, DSc, Professor,
nac.tsuab.@yandex.ru*

*ALEKSANDR V. ZHUKOV, PhD, Senior Research Scientist,
kaf_tgs@tsuab.ru*

*YURI O. KRIVOSHEIN, Research Assistant,
kaf_tgs@tsuab.ru*

*MIKHAIL G. IVANCHIN, Head of Laboratory,
kaf_tgs@tsuab.ru*

*ALEKSEI E. TOKMAKOV, Undergraduate Student,
kaf_tgs@tsuab.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

THE IMPROVEMENT OF HEAT POWER MEASURING TECHNIQUES IN ACTUAL OPERATING CONDITIONS

The experimental setup and methodology of detecting heat power of aluminum radiator are suggested in this paper. Research results on four types of 7-section radiators are given at their downward connection. Heat carrier consumption is produced by the precision liquid thermostat with temperature control unit. Measurement results of heat power in different units are shown herein as well as power deviations from that one indicated in specifications.

Keywords: heater; cast aluminum radiators; temperature difference; rated thermal power; actual operating conditions.

Введение

В последние годы все большее распространение получают автоматизированные системы регулирования температурного режима здания [1–4]. Принцип регулирования заключается в обеспечении требуемых параметров микроклимата в помещениях за счет изменения расхода подаваемого в здание теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха и температуры теплоносителя на входе в здание. Для разработки таких систем важно знать реальную, а не паспортную теплоотдачу отопительного прибора.

Паспортная теплоотдача отопительного прибора определяется по ГОСТ Р 53583–2009 «Приборы отопительные. Методы испытаний». Теплоотдача отопительных приборов, завезенных из европейских стран и не сертифицированных в РФ, определена по европейской методике EN 442. Испытания как по той, так и другой методике проводятся в специальной камере с охлаждаемыми теплоизолированными стенками. В камере отсутствуют посторонние предметы, внутренние поверхности имеют матовое защитно-декоративное покрытие с коэффициентом теплового излучения не менее 0,9 [5–7]. Полученные в таких условиях значения теплоотдачи следует рассматривать как максимально возможные.

Реальные условия эксплуатации отопительного прибора значительно отличаются от паспортных условий испытания, поэтому следует ожидать, что в реальных условиях теплоотдача отопительного прибора будет меньше.

Реальная теплоотдача отопительного прибора может меняться и за счет технологических отклонений при изготовлении конкретной партии.

Этим обусловлено наличие экспериментальных работ по определению теплоотдачи отопительных приборов в реальных условиях эксплуатации [8–11].

Обычно теплоотдачу секционных радиаторов определяют по формуле

$$N = q_{\text{ном}} s (\Theta/70)^{1+n} (G_{\text{пр}}/0,1)^m, \quad (1)$$

где N – тепловая мощность прибора, Вт; $q_{\text{ном}}$ – номинальная тепловая мощность одной секции в стандартных условиях, Вт; s – число секций; Θ – фактический температурный напор, °С; $G_{\text{пр}}$ – фактический массовый расход теплоносителя через прибор, кг/с; n , m – параметры формулы; 70 – стандартный температурный напор, °С; 0,1 – стандартный массовый расход теплоносителя, кг/с.

Температурный напор Θ (разность между средней температурой теплоносителя в отопительном приборе и температурой воздуха в помещении) определяется по формуле

$$\Theta = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} - t_{\text{пом}} = t_{\text{вх}} - \frac{\Delta t_{\text{пр}}}{2} - t_{\text{пом}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – соответственно температуры теплоносителя на входе и выходе отопительного прибора, °С; $t_{\text{пом}}$ – температура воздуха в помещении, °С; $\Delta t_{\text{пр}}$ – перепад температур теплоносителя, измеренный на входе в отопительный прибор и на выходе из него, °С.

Наиболее значимой характеристикой отопительного прибора является тепловая мощность одной секции $q_{\text{ном}}$, которая обычно и включается в торговый паспорт отопительного прибора. Параметры n , m индивидуальны для каждой модели. По данным ООО «ВИТАТЕРМ», полученным в стандартной испытательной камере, для радиаторов из секций с монтажной высотой 500 мм, подключенных по схеме «сверху-вниз», $n = 0,33$, $m = 0$.

Экспериментальная установка

Для определения теплоотдачи отопительных приборов в реальных условиях на кафедре теплогазоснабжения ТГАСУ смонтирована экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1.

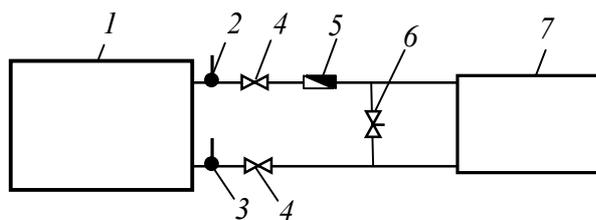


Рис. 1. Схема установки:

1 – отопительный прибор; 2 – датчик температуры на входе; 3 – датчик температуры на выходе; 4 – шаровой кран; 5 – расходомер; 6 – кран для регулирования расхода; 7 – устройство для подогрева и циркуляции воды

В качестве устройства для подогрева и циркуляции воды использован термостат жидкостной ВТ25-1 с блоком регулирования температуры М01 фирмы «Термекс». Мощность нагревателя 2 кВт, производительность циркуляционного

насоса 8 л/мин, цена младшего разряда индикатора температуры 0,01 °С, нестабильность поддержания установленной температуры в течение 1 ч ±0,1 °С.

Для измерения расхода циркулирующей воды использован счетчик воды крыльчатый фирмы «Тайпит» модели ГЛ 15 80 мм с ценой деления 0,02 л. Предварительно счетчик воды был протестирован с использованием мерного стакана. Тестирование проводилось при температуре воды 50 °С при максимально возможном расходе теплоносителя. Различие между показаниями счетчика и мерного стакана не превышало 0,2 %.

Температура воды и воздуха в помещении измерялась хромель-копелевыми термопарами с универсальным многоканальным регистратором Терем-4 с единицей младшего разряда индикатора температуры 0,1 °С.

Термопары предварительно были протестированы на идентичность показаний и на совпадение показаний с эталонными температурами в интервале от 0 до 100 °С. В качестве эталонных температур были использованы температура тающего льда, температура кипящей воды и пять промежуточных значений температуры воды в термостате, измеренные термометром термостата. Показания всех пяти термопар с точностью показаний регистратора Терем-4 совпадали во всем диапазоне температур. По результатам сравнения с эталонными измерениями методом наименьших квадратов была получена формула для перерасчета показаний термопар $t_{т.п.}$ в значения истинных температур $t_{ист.}$:

$$t_{ист.} = 1,0137t_{т.п.} \quad (3)$$

Для измерения температуры воды на подводящей и отводящей трубе к отопительному прибору использовалось по две термопары. Снаружи на защищенную поверхность трубы спай термопар приклеивался жидким стеклом, через пластиковую прокладку плотно прижимался металлическим хомутом, сверху теплоизолировался поролоновой накладкой. Температура воздуха в помещении определялась одной защищенной от излучения термопарой.

Установка размещалась в полуподвальном помещении около неотапливаемой стены на высоте 10 см от бетонного пола. В помещении на расстоянии 2–3 м находилось оборудование в виде письменных столов, книжных шкафов, массивных металлических приборов. Приточно-вытяжной вентиляцией в помещении поддерживалась температура (20 ± 1,2) °С.

Методика измерения

С помощью блока управления температурой термостата задавалось значение температуры циркулирующей воды. После достижения заданной температуры и ее стабилизации, о чем свидетельствовало загорание сигнальной лампы термостата, производились измерения температуры и расхода воды.

Массовый расход определялся по формуле, кг/с:

$$G = V\rho/\tau, \quad (4)$$

где ρ – плотность воды при температуре измерения, кг/л; V – расход воды, принимался равным 10 л; τ – время, с.

Для определения температуры воды на входе и выходе отопительного прибора с регистратора Терем-4 снимались с интервалом в 1 мин 5 последовательных показаний термопар. Затем проводилось усреднение по показаниям

двух термопар и пяти последовательным измерениям. Тепловая мощность прибора $N_{пр}$ и одной секции $N_{сек}$ рассчитывалась по формулам, Вт:

$$N_{пр} = Gc\Delta t; \quad N_{сек} = N_{пр}/s, \quad (5)$$

где c – удельная теплоемкость воды при температуре измерения, Дж/(кг·°C); Δt – разность температур воды на входе и выходе из прибора, °C; s – число секций.

По формуле (2) с учетом (3) определялся температурный напор Θ .

Температура воздуха в помещении определялась как среднее по трем измерениям с интервалом 1 мин.

Измерения проводились для значений температур воды в термостате от 70 до 95 °C с шагом 5 °C.

Регулятором расхода b (рис. 1) изменялся расход теплоносителя через отопительный прибор и вновь проводился весь цикл измерений и расчетов по вышеописанной схеме.

Результаты измерения

На рис. 2 приведены результаты измерения и их обработки для отопительного прибора модели Extra Therm Super 500 производства Италия, состоящего из 7 секций глубиной 95 мм. Значками нанесены экспериментальные точки для различных расходов теплоносителя в интервале 0,047–0,090 кг/с.

На рис. 3 приведены результаты измерения и их обработки для отопительного прибора модели ROYAL Thermo Optimal 500 производства PRC (Народная республика Китай), состоящего из 7 секций глубиной 80 мм. Значками нанесены экспериментальные точки для различных расходов теплоносителя в интервале 0,055–0,092 кг/с.

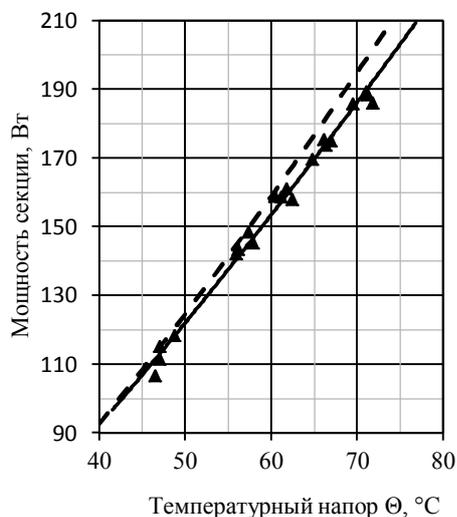


Рис. 2. Extra Therm Super

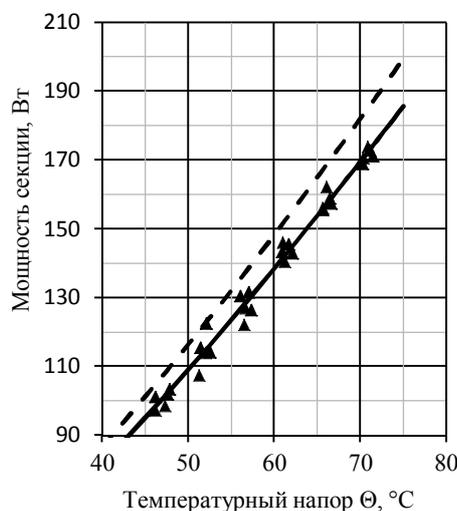


Рис. 3. Royal Thermo Optimal

На рис. 4 приведены результаты измерения и их обработки для отопительного прибора модели GLOBAL VOX 500 производства Италия, состояще-

го из 7 секций глубиной 95 мм. Значками нанесены экспериментальные точки для различных расходов теплоносителя в интервале 0,058–0,092 кг/с.

На рис. 5 приведены результаты измерения и их обработки для отопительного прибора модели ROYAL Thermo Indigo 500 производства Италия, состоящего из 7 секций глубиной 100 мм. Значками нанесены экспериментальные точки для различных расходов теплоносителя в интервале 0,054–0,088 кг/с.

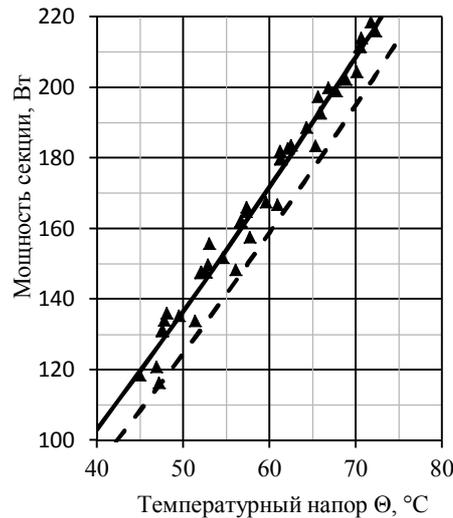


Рис. 4. GLOBAL VOX 500

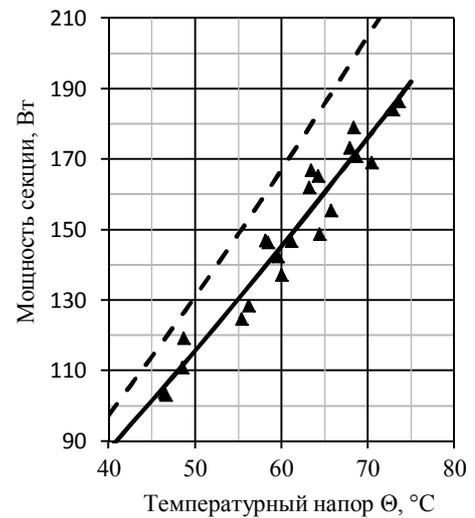


Рис. 5. ROYAL Thermo Indigo

На рис. 2–5 штриховой линией обозначены зависимости, рассчитанные по формуле (1), для паспортных значений $q_{\text{ном}}$ при $n = 0,33$, $m = 0$. Сплошной линией – интерполяция экспериментальных точек зависимостью

$$N_{\text{сек}} = q_{\text{ном}} (\Theta/70)^{1+n} \quad (6)$$

с определением величин $q_{\text{ном}}$ и n по методу наименьших квадратов.

Из рисунков видно, что разброс экспериментальных точек относительно интерполяционной зависимости небольшой, что подтверждает известные результаты других авторов о значении показателя $m = 0$ при подключении по схеме «сверху-вниз».

В таблице приведены паспортные и экспериментальные значения $q_{\text{ном}}$, определенные методом наименьших квадратов, и значения показателя n .

Паспортное и экспериментальное значение $q_{\text{ном}}$, Вт, n

Отопительные приборы	Extra Therm Super	ROYAL Thermo Optimal	GLOBAL VOX	ROYAL Thermo Indigo
Паспортное	195	182	195	205
Экспериментальное	186	170	208	176
Отклонение, %	-4,6	-6,6	+6,7	-14,1
Показатель n	0,257	0,312	0,260	0,250

Полученные значения теплоотдачи в реальных условиях заметно меньше паспортных для трех отопительных приборов, особенно для прибора ROYAL Thermo Indigo. Для отопительного прибора GLOBAL VOX, наоборот, измеренное значение превышает паспортное значение.

Показатель степени n в формуле (6) также заметно отличается от принятого значения в литературе 0,33.

Заключение

Получены экспериментальные значения теплоотдающей способности одной секции алюминиевых отопительных приборов при их подключении «сверху-вниз» в реальных условиях эксплуатации. Сравнение паспортных данных заводов-изготовителей и полученных результатов показало, что в большинстве случаев изготовители завышают эту характеристику. Это обстоятельство на практике приводит к нехватке тепловой мощности на отопление и вентиляцию зданий при температурах наружного воздуха, близких к расчетной. Для каждого из исследованных типов алюминиевых отопительных приборов уточнены расчетные формулы для определения мощности тепловыделений, которые могут быть использованы в проектной практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Цветков, Н.А.* Технология управления параметрами работы инженерных систем строительных объектов с удаленным доступом (на примере ТГАСУ) / Н.А. Цветков, Ю.О. Кривошеин, О.Ю. Кривошеин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2. – С. 326–336.
2. *Пуговкин, А.В.* Автоматизация мониторинга и управления теплоснабжением зданий и помещений / А.В. Пуговкин, Н.И. Муслимова, С.В. Купреков. – Томск : Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 291 с.
3. *Самарин, О.Д.* Автоматизация и диспетчеризация зданий как средство повышения их энергоэффективности / О.Д. Самарин, Е.А. Гришневa // Вестник МГСУ. – 2011. – № 6. – С. 294–297.
4. *Головин, А.А.* Перспективы систем управления зданиями / А.А. Головин // Вестник МГСУ. – 2011. – № 6. – С. 394–399.
5. *Действующая методика испытания отопительных приборов – требуется ли корректировка?* / В.И. Сасин, Г.А. Бершидский, Т.Н. Прокопенко, Б.В. Швецов // АВОК. – 2007. – № 4.
6. *Грановский, В.Л.* Как гармонизировать российский и европейский методы испытаний отопительных приборов? / В.Л. Грановский, С.И. Прижижецкий // АВОК. – 2008. – № 2.
7. *Erdogmus, A.B.* Simulation of the heater test room defined by EN 442 standard and virtual testing of different type of heaters / A.B. Erdogmus. – Izmir : Izmir Institute of Technology, 2011. – 180 p.
8. *Johansson, P-O.* Heat Output from Space Heating Radiator with add-on-far blowers / P-O. Johansson, J. Wollerstrand // Excerpt from Proceedings the COMSOL Conference. – Paris, 2010. – Условия доступа : www.comsol.com/paper/download/63462/Johansson_paper (дата обращения: 10.02.2015).
9. *Myhren, J.A.* Desing considerations with ventilation-radiators: Comparisons to traditional two-panel radiators / J.A. Myhren, S. Holmberg // Energy and Buildings. – 2009. – № 41. – P. 92–100.
10. *Myhren, J.A.* Potential of ventilation radiators: Performance assessment by numerical, analytical and experimental investigations / J.A. Myhren. – Haninge-Stockholm, Sweden : Royal Institute of Technology, 2011. – 63 p.
11. *Замалеев, З.Х.* Исследование теплоотдачи конвекторов «Аккорд-М» с кожухом / З.Х. Замалеев, М.А. Валиуллин // Известия КГАСА. – 2004. – № 1. – С. 85–88.

REFERENCES

1. *Tsvetkov N.A., Krivoshein Y.O., Krivoshein O.Y.* Tehnologija upravljenija parametrami raboty inzhenernyh sistem stroitel'nyh obektov s udalennym dostupom (na primere TGASU) [Technology parameter control of engineering systems of building facilities with remote access (TSUAB case study)]. *Vestnik TSUAB*. 2013. No. 2. Pp. 326–336. (rus)
2. *Pugovkin A.V., Muslimova N.I., Kuprekov S.V.* Avtomatizatsiya monitoringa i upravleniya teplosnabzheniem zdaniy i pomeshchenii [Automated monitoring and management of heat supply of buildings]. Tomsk : TSUCSR Publ., 2013. 291 p. (rus)
3. *Samarin O.D., Grishneva E.A.* Avtomatizatsiya i dispetcherizatsiya zdaniy kak sredstvo povysheniya ih jenergojeffektivnosti [Building automation and control as a means of improving their energy efficiency]. *Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture*. 2011. No. 6. Pp. 294–297. (rus)
4. *Golovin, A.A.* Perspektivy sistem upravleniya zdaniyami [Prospects of building management systems]. *Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture*. 2011. No. 6. Pp. 394–399. (rus)
5. *Sasin V.I., Bershidskii G.A., Prokopenko T.N., Shvetsov B.V.* Deistvuyushchaya metodika ispytaniya otopitel'nykh priborov – trebuetsya li korrekcirovka? [Current procedure for testing heating appliances – is a need for correction?]. *Heating, Ventilation, Air Conditioning, District Heating, Building Physics Journal*. 2007. No. 4. (rus)
6. *Granovskii V.L., Prizhizheckii S.I.* Kak garmonizirovat' rossijskij i evropejskij metody ispytaniy otopitel'nykh priborov? [How to harmonize Russian and European test methods of heating appliances]. *Heating, Ventilation, Air Conditioning, District Heating, Building Physics Journal*. 2008. No. 2. (rus)
7. *Erdogmus A.B.* Simulation of the heater test room defined by EN 442 standard and virtual testing of different type of heaters. Izmir : Izmir Institute of Technology, 2011. 180 p.
8. *Johansson, P-O., Wollerstrand J.* Heat output from space heating radiator with add-on-far blowers. *Excerpt from Proceedings the COMSOL Conference*. Paris. 2010. Available at: comsol.com/paper/download/63462/Johansson_paper/ Last visited on Feb. 2015.
9. *Myhren J.A., Holmberg S.* Design considerations with ventilation-radiators: Comparisons to traditional two-panel radiators. *Energy and Buildings*. 2009. No. 41. Pp. 92–100.
10. *Myhren J.A.* Potential of ventilation radiators: Performance assessment by numerical, analytical and experimental investigations. Haninge-Stockholm, Sweden : Royal Institute of Technology, 2011. 63 p.
11. *Zamaleev Z.H., Valiullin M.A.* Issledovanie teplotdachi konvektorov Akkord-M s kozhuhom [A study of Accord-M heat convectors]. *News of the KSUAE*. 2004. No. 1. Pp. 85–88. (rus)