

А.А. ЧУЛКОВ
Ю.С. ВЫТЧИКОВ
И.В. КУДИНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

RESEARCH OF HEATING APPLIANCE DYNAMIC PROPERTIES

Представлены результаты теплотехнических испытаний алюминиевых, чугунных и биметаллических радиаторов. Экспериментальным путем определена тепловая мощность отопительных приборов, а экспериментальным и теоретическим способами – время их нагрева. Разработана инженерная методика расчета динамических характеристик отопительных приборов. Анализ проведенного исследования показал отличие экспериментальных данных по времени нагрева отопительных приборов от расчетных значений. В связи с этим в расчетную формулу был введен поправочный коэффициент.

Ключевые слова: отопительный прибор, тепловая мощность, время нагрева, температура

Для осуществления постановления правительства РФ №1715-Р «Об энергетической стратегии России на период до 2030 года» с целью экономии тепловой энергии, расходуемой на отопление зданий, допускается снижение температуры внутреннего воздуха ниже нормативного показателя в течение суток при отсутствии в них людей. При наличии людей в отапливаемом помещении температура внутреннего воздуха должна соответствовать нормативным показателям. Данный способ отопления здания характеризуется переменной мощностью системы отопления. Использование прерывистого режима отопления позволяет существенно экономить расход тепловой энергии.

Тепловой режим в помещении при прерывистой теплоподаче будет нестационарным, так как с течением времени изменяется температура воздуха в помещении и температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций, что усложняет выполнение теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

Основы расчета и проектирования теплозащиты зданий, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления, рассмотрены в работах [1–7], приближенные методы решения задачи нестационарной теплопроводности предложены в работах [8–12].

Важная роль в системе отопления отводится отопительным приборам [13–15]. При их выборе, в

The results of thermotechnical testing of aluminium, iron and bimetal heaters are presented. Heating capacity of appliances is determined by experiments, heat time is found by experimental and theoretical methods. Engineering method of dynamic properties calculation is proposed. Results analysis shows the differences between heat time and estimated heat time. In this regard correction index is added in calculation formula.

Keywords: heat appliance, heating capacity, heat time, temperature

режиме прерывистого отопления, следует обратить внимание на показатель номинального теплового потока и время выхода прибора на стационарный режим работы (время нагрева).

В связи с тем, что информация о динамических характеристиках отопительных приборов отсутствует, возникла необходимость в их определении экспериментальным путем. Эксперимент проводился в аккредитованной лаборатории теплотехнических испытаний Архитектурно-строительного института СамГТУ на стенде, предназначенном для определения тепловой мощности отопительных приборов.

Тепловую мощность отопительных приборов определяют, руководствуясь ГОСТ Р 53583–2009 «Приборы отопительные. Методы испытаний».

Испытание производилось на установке, представленной на рис. 1.

Установка состоит из электрического котла (мощность 7,5 кВт), группы безопасности (расширительный бак, воздушный клапан, предохранительный клапан), двух термометров и манометров на подающей и обратной линиях, расходомера, циркуляционного насоса, отсечных кранов и гибких шлангов для подключения испытываемых образцов.

К отопительному прибору подключены датчики измерения теплового потока и термопары для измерения температур. Значения теплового потока и температур фиксировались с помощью прибора-

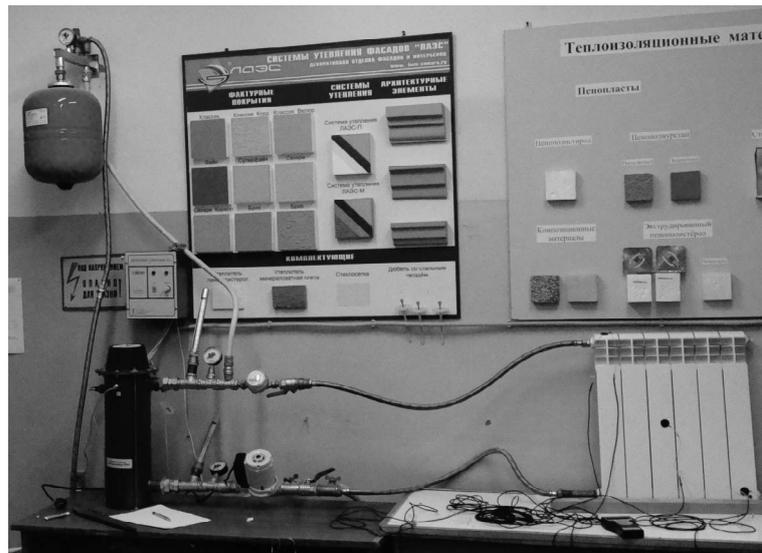


Рис.1. Установка для определения тепловой мощности отопительных приборов

измерителя теплового потока марки ИТП-МГ4. Фиксация данных осуществлялась с задаваемым интервалом, обработка результатов производилась с помощью специальной программы. Температура внутреннего воздуха и влажность определяются с помощью термогигрометра марки CENTER 313.

Тепловая мощность отопительных приборов рассчитывается по формуле

$$Q = G \cdot c_w \cdot (T1 - T2), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где G – количество циркулируемого теплоносителя, кг/с; c_w – теплоемкость воды, Дж/кг °С; $T1$ – температура воды в подающей линии, °С; $T2$ – температура воды в обратной линии, °С.

Теплоотдача приборов определялась при нормальных условиях, температура воды принималась равной $T1=90$ °С, $T2=70$ °С, температура внутреннего воздуха – $t_{в} = 20$ °С.

Тепловая мощность отопительных приборов, полученная в эксперименте, приводилась к нормальным условиям по формуле

$$Q_{н.у.} = \frac{Q}{\left(\frac{\Delta T}{70}\right)^n}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где Q – мощность, полученная при реальных условиях, Вт; n – коэффициент, равный 1,3; ΔT – температурная разность, Вт, определяемая по формуле

$$\Delta T = \frac{T1 + T2}{2} - t_{в.ср.}, \text{ °С}, \quad (3)$$

здесь $t_{в.ср.}$ – средняя температура внутреннего воздуха, рассчитываемая по формуле

$$t_{в.ср.} = \frac{t_{в1} + t_{в2}}{2}, \text{ °С}, \quad (4)$$

где $t_{в1}$ – температура воздуха в помещении до начала испытания, °С; $t_{в2}$ – температура воздуха в помещении после испытания, °С.

Результаты экспериментальных исследований тепловой мощности отопительных приборов приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что полученные экспериментальные данные по тепловой мощности соответствуют паспортным данным отопительных приборов.

Время нагрева отопительных приборов определяется в результате решения нестационарной задачи теплообмена без учета изменения температуры по толщине стенки радиатора. При этом величина теплового потока рассчитывается по следующей формуле:

Таблица 1

Определение тепловой мощности отопительных приборов

Радиатор	Кол-во секций	T1, °С	T2, °С	G, кг/мин	Q, Вт	t _{в.ср.} , °С	ΔT, °С	Q _{н.у.} Вт	Q _с Вт	Q _{зав} Вт
Алюминиевый	6	78	68	1,5	1047,5	24,45	53,55	1483,86	175	180
Биметаллический	6	89	80	1,45	911,3	26	63	1045,11	174	180
Чугунный	7	87	78	1,48	930,2	25	62	1089,14	156	160

Здесь $Q_{н.у.}$ – тепловая мощность отопительного прибора при нормальных условиях, Вт; Q_c – тепловая мощность одной секции, полученная в результате испытаний, Вт; $Q_{зав}$ – паспортная тепловая мощность одной секции, Вт.

$$q_n = q_{om} \cdot \left(1 - \frac{t - t_g}{t_{max} - t_g}\right), \text{ Вт/м}^2, \quad (5)$$

где q_{om} – величина удельного теплового потока, передаваемого от отопительного прибора при стационарном режиме, Вт/м²; t_g – температура воздуха в помещении, принимаемая средней на период нагрева радиатора, °С; t_{max} – максимальное значение температуры отопительного прибора, соответствующее стационарному режиму, °С; t – текущее значение температуры стенки радиатора, °С.

Выражение для определения q_{om} записывается в виде

$$q_{om} = \alpha \cdot (t_{max} - t_n), \text{ Вт/м}^2, \quad (6)$$

где α – значение коэффициента теплоотдачи отопительного прибора, определяемое по паспортным данным, Вт/м² °С; t_n – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Выражение $\frac{t - t_g}{t_{max} - t_g}$ обозначим как безразмерную температуру θ нагрева стенки отопительного прибора, т.е.

$$\theta = \frac{t - t_g}{t_{max} - t_g}. \quad (7)$$

Далее составим дифференциальное уравнение нагрева стенки отопительного прибора. Для этого запишем уравнение теплового баланса отопительного прибора для бесконечно малого промежутка времени

$$dQ_1 = dQ_2, \text{ Дж}, \quad (8)$$

где dQ_1 – элементарное количество тепла, воспринятое отопительным прибором, Дж; dQ_2 – элементар-

ное количество тепла, идущее на нагрев отопительного прибора, Дж.

$$dQ_1 = m \cdot c \cdot dt, \text{ Дж}, \quad (9)$$

где m – масса отопительного прибора, кг; c – удельная теплоемкость материала, Дж/кг·°С; dt – элементарное приращение температуры, °С.

$$dQ_2 = q_n \cdot F_{cm} \cdot dt, \text{ Дж}, \quad (10)$$

здесь F_{cm} – поверхность теплообмена отопительного прибора, м²; dt – элементарный промежуток времени, с.

После преобразования получим дифференциальное уравнение вида

$$\frac{d\theta}{1-\theta} = \frac{\alpha \cdot F_{cm}}{m \cdot c} \cdot dt. \quad (11)$$

В результате интегрирования уравнения (11) получим аналитическое решение для определения безразмерной температуры стенки радиатора:

$$\theta = 1 - e^{-\frac{\alpha \cdot F_{cm} \cdot \tau}{m \cdot c}}. \quad (12)$$

Время нагрева отопительного прибора определим, полагая $\theta=0,95$:

$$\tau_n = 3 \cdot \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot F_{cm}}, \text{ с}. \quad (13)$$

Полученные выражения (12) и (13) рекомендуется использовать для оценки динамических характеристик отопительных приборов.

Количество тепла, необходимое для выхода на стационарный режим работы отопительного прибора, определяется выражением

$$Q_n = c \cdot m \cdot \Delta t, \text{ кДж}, \quad (14)$$

где c – удельная теплоемкость, кДж/кг °С; m – масса одной секции, кг; Δt – разность температур.

Таблица 2

Результаты расчета процесса нагрева отопительных приборов

Параметры	Ед. изм.	Обозначение	Отопительные приборы		
			чугунные МС-140-108	биметаллические	алюминиевые Polo Plus 500
Поверхность нагрева	м ²	f	0,244	0,484	0,484
Масса одной секции	кг	m	7,12	1,95	1,07
Разность температур	°С	Δt	47	45,3	42,2
Теплоотдача	кВт	q _{om}	0,16	0,18	0,18
Удельная теплоёмкость	кДж/кг °С	c	0,482	0,73	0,93
Количество тепла, необходимое для выхода на стационарный режим	кДж	Q _n	161,3	64,5	42,0
Время выхода на стационарный режим	ч	τ	0,84	0,30	0,18
Коэффициент теплоотдачи	Вт/м ² °С	α	13,95	8,21	9,30

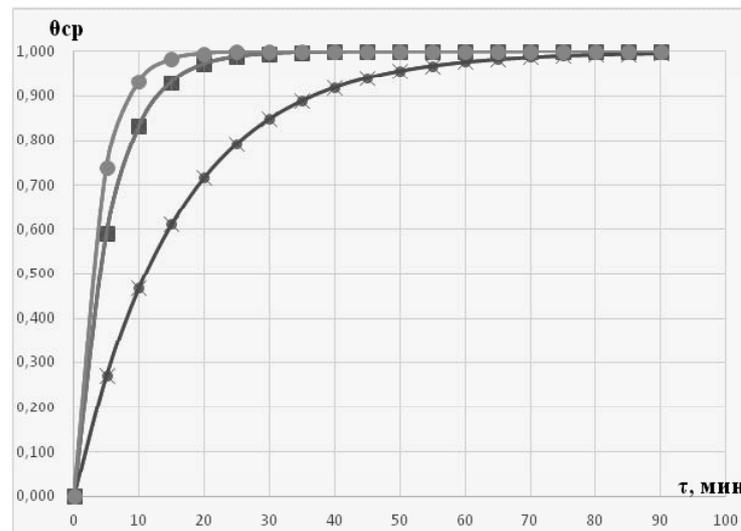


Рис. 2. Расчетная зависимость безразмерной температуры отопительных приборов от времени: x – чугунный радиатор; о – алюминиевый радиатор; ■ – биметаллический радиатор

Результаты расчета процесса нагрева отопительных приборов представлены в табл. 2 и на рис. 2 в виде зависимости безразмерной температуры стенки радиатора от времени.

Из представленных на рис. 2 данных видно, что максимальное время нагрева имеет чугунный радиатор 50,4 мин, минимальное – алюминиевый 10,8 мин и промежуточное значение – биметаллический радиатор 18 мин.

По результатам экспериментальных исследований получили следующие данные по времени нагрева отопительных приборов: алюминиевый радиатор – 12 мин, биметаллический – 14 мин, чугунный – 33 мин.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных свидетельствует об отличии времени нагрева, что связано с применением упрощенной расчетной методики.

Для инженерных расчетов времени нагрева отопительных приборов рекомендована формула, полученная на основе сравнения экспериментальных и расчетных значений:

$$\tau_{н} = \beta \cdot \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot F_{ст}}, \text{ с}, \quad (15)$$

где β – поправочный коэффициент, учитывающий марку отопительного прибора.

Значения поправочного коэффициента следующие: вид отопительного прибора – β ; алюминиевый – 1,11; биметаллический – 0,78; чугунный – 0,65.

Выводы. 1. Тепловая мощность отопительных приборов, определенная по результатам эксперимента, соответствует данным, представленным заводами-изготовителями.

2. Разработана инженерная методика расчета динамических характеристик отопительных приборов.

3. Проведенная оценка времени нагрева отопительных приборов показала целесообразность применения в условиях прерывистого отопления алюминиевых и биметаллических радиаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Малявина Е.Г., Цыганков А.В.* Влияние различных факторов на темп остывания помещения после отключения теплоснабжения // Известия вузов. Строительство. 2015. №1. С.53–59.
2. *Малявина Е.Г.* Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Academia (РААСН). 2010. №3. С.324–327.
3. *Малявина Е.Г., Петров Д.Ю.* Сопряженный расчет нестационарного теплового режима системы отопления здания // Жилищное строительство. 2012. №6. С. 66–69.
4. *Дацюк Т.А., Ивлев Ю.П., Пухкал В.А.* Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении // Современные проблемы науки и образования. М., 2014. № 5. С. 69–70.
5. *Анисимова Е.Ю.* Энергоэффективность теплового режима здания при использовании отопительного режима прерывистого отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2012. №38. С. 55–59.
6. *Панферов В.И., Анисимова Е.Ю.* Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2008. № 12. С. 30-37.
7. *Анисимова Е.Ю., Панферов В.И.* Эффективность управления микроклиматом здания в нерабочее время // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. М., 2014. №2. С. 72–78.
8. *Семенов Б.А.* Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий / СГТУ. Саратов, 1996. 176 с.

9. Кудинов И.В. Использование компьютерной модели для проектирования тепловых сетей // Вестник СГТУ. Серия «Технические науки». 2010. №4(27). С. 174–181.

10. Стефанюк Е.В., Кудинов И.В. Получение аналитического решения уравнения теплового пограничного слоя на основе введения дополнительных граничных условий // Вестник СГАУ им. академика С.П. Королева. 2010. №1(21). С. 174–184.

11. Кудинов В.А., Кудинов И.В. Аналитические методы теплопроводности: монография / СГАСУ. Самара, 2011. 272 с.

12. Кудинов И.В. Построение компьютерных моделей систем теплоснабжения больших городов // Вестник СГТУ. Серия «Технические науки». 2011. №1(29). С. 212–219.

13. Кудинов И.В. Разработка конструкции и способов экспериментального определения мощности отопительных приборов // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: Межвузовский сборник научных трудов / СГАСУ. Самара, 2011. Вып. 6. С. 158.

14. Веснин В.И. Использование прерывистого отопления и вентиляции для энергосбережения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей по материалам 72-й Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. Самара, 2015. С. 220–224.

15. Зеленцов Д.В., Лукс А.Л. Отопление помещений на основе использования отопительных приборов на тепловых трубах // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей по материалам 72-й Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. Самара, 2015. С. 315–317.

Об авторах:

ЧУЛКОВ Александр Анатольевич

аспирант кафедры общей прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (846) 242-14-96

CHULKOV Alexander A.

Post-Graduate Student of the General and Applied Physics and Chemistry Chair
Samara State Technical University
Institute of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 242-14-96

ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, профессор кафедры общей прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

VYTCHEKOV Yuri S.

PhD in Engineering Science, Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair
Samara State Technical University
Institute of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 242-14-96

КУДИНОВ Игорь Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры общей прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет
Архитектурно-строительный институт
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

KUDINOV Igor V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair
Samara State Technical University
Institute of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 242-14-96

Для цитирования: Чулков А.А., Вытчиков Ю.С., Кудинов И.В. Исследование динамических характеристик отопительных приборов // Градостроительство и архитектура. 2016. №4(25). С. 44–48. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.8.

For citation: Chulkov A.A., Vytychikov Yu.S., Kudinov I.V. Research of heating appliance dynamic properties // Urban Construction and Architecture. 2016. №4(25). Pp. 44–48. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.8.