

УДК 536.24

С.И. Абрамчук, А.В. Пуговкин

Энергетическая эффективность электрического обогревателя

На основании динамического метода определения коэффициента теплоотдачи отопительного прибора проведено исследование электрического масляного обогревателя. Применение математической модели для отопительного прибора в нестационарном режиме позволяет найти коэффициент теплоотдачи, теплоемкость отопительного прибора и вычислить отдаваемую тепловую энергию. При этом наблюдается достаточная сходимость энергии, вычисленной предлагаемым способом, с энергией, зафиксированной электрическим способом.

Ключевые слова: электрический обогреватель, тепловая энергия, динамический метод, коэффициент теплоотдачи.

Одним из основных критериев выбора электрического масляного обогревателя, как и любого другого отопительного прибора, является отдаваемая им тепловая энергия. Тепловая энергия в этом случае характеризуется коэффициентом теплоотдачи и температурным напором (разницей средних температур между поверхностью радиатора и воздухом в помещении). Эффективность отопительных приборов исследовалась в ряде работ [1, 2]. В основном в этих работах исследовались системы с водяным теплоносителем в стационарном режиме, когда входной тепловой поток и температура радиатора принимали постоянное значение. Интегральный коэффициент теплоотдачи (тепловая проводимость) в этом случае находится из закона Ньютона–Рихмана:

$$G_{\text{ист}} = \frac{P_{\text{тепл}}}{(T_{\text{ист}} - T_{\text{в}})}, \quad (1)$$

где $P_{\text{тепл}}$ – отдаваемая тепловая мощность, Вт; $T_{\text{ист}}$ – средняя температура поверхности отопительного прибора, К; $T_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, К.

В стационарном режиме отдаваемая тепловая мощность равна вводимой тепловой мощности. Вводимая тепловая мощность в системах с циркуляцией теплоносителя описывается формулой

$$P_{\text{тепл}} = V \cdot \rho \cdot C \cdot (T_1 - T_2), \quad (2)$$

где V – расход теплоносителя, м³/с; ρ , C – плотность и удельная теплоемкость теплоносителя; T_1 , T_2 – температура теплоносителя в подающем и отводящем трубопроводе соответственно, К.

Как правило, коэффициент теплоотдачи отопительного прибора находится экспериментальным путем, при этом стационарный метод требует измерения расхода теплоносителя и двух температур, разность которых невелика.

Нами разработан динамический метод определения коэффициента теплоотдачи [3]. Этот коэффициент определяется при помощи математической модели

$$\frac{dT_{\text{ист}}}{dt} \cdot C_{\text{ист}} = P_{\text{вх}} - G_{\text{ист}} \cdot (T_{\text{ист}} - T_{\text{в}}), \quad (3)$$

где $\frac{dT_{\text{ист}}}{dt}$ – скорость изменения температуры поверхности радиатора во времени; $C_{\text{ист}}$ – теплоемкость отопительного прибора, Дж/К. Данная модель предполагает измерение характеристик отопительного прибора в динамическом режиме, т.е. когда подаваемая входная мощность не равна отдаваемой. В этом случае возможны два варианта: режим нагревания и режим остывания.

В режиме нагревания подаваемая тепловая мощность больше мощности, отдаваемой отопительным прибором. В начальный момент времени рост температуры поверхности радиатора имеет линейный характер, поскольку влияние члена $(T_{\text{ист}} - T_{\text{в}})$ незначительно. Тогда из формулы (3) на основе эксперимента можно вычислить теплоемкость $C_{\text{ист}}$ в окрестностях точки $T_{\text{ист}}$:

$$C_{\text{ист}} = P_{\text{вх}} \cdot \frac{dT_{\text{ист}}}{dt}. \quad (4)$$

В режиме остывания прекращается подача тепловой мощности в отопительный прибор ($P_{\text{вх}} = 0$). В этом случае из уравнения (3) опытным путем можно определить коэффициент теплоотдачи отопительного прибора:

$$G_{\text{ист}} = \frac{dT_{\text{ист}}}{dt} \cdot \frac{C_{\text{ист}}}{(T_{\text{ист}} - T_{\text{в}})} \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что для вычисления коэффициента теплоотдачи кроме измерения температур необходимо рассчитать производную температуры поверхности радиатора от времени и знать теплоемкость отопительного прибора. Значение теплоемкости находится согласно справочным данным и техническим характеристикам отопительного прибора либо при измерениях в режиме нагревания.

Электрический масляный обогреватель имеет свои отличительные черты по сравнению с отопительными приборами, использующими воду в качестве теплоносителя. В нем в качестве теплоносителя выступает техническое масло, теплоемкость которого заметно изменяется с ростом температуры. Также отсутствует принудительная циркуляция теплоносителя, что приводит к большой неравномерности по температуре на поверхности обогревателя. Масляный радиатор является электроотопительным прибором, в котором вся электрическая энергия преобразуется в тепловую энергию ($P_{\text{вх}} = P_{\text{эл}}$).

Исследования характеристик электрического обогревателя проводились на лабораторном стенде. В нем электропитание на отопительный прибор подавалось через электросчетчик. Максимальная мощность исследуемого восьмизвенного масляного радиатора составляла 800 Вт. На поверхности электрического обогревателя согласно рис. 1 было установлено пять термодатчиков, шестая термодатчика измеряла температуру воздуха в помещении.

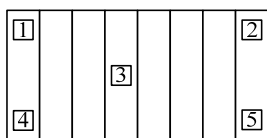


Рис. 1. Схематическое расположение термодатчиков на обогревателе

Сигналы термодатчиков поступали на блок обработки информации, в котором регистрировалось поведение температур во времени. В блоке обработки информации реализованы следующие программные операции:

- сглаживание;
- дифференцирование;
- вычисление теплоемкости отопительного прибора по графику нагревания с помощью формулы (4);
- вычисление коэффициента теплоотдачи отопительного прибора по графику остывания с помощью формулы (5).

На лабораторном стенде был проведен ряд экспериментов. Эксперименты проводили по циклу: нагревание – стационарный режим – остывание при разной подаваемой электрической мощности (40, 50 и 60% от максимальной). За температуру источника принимали среднюю температуру по пяти точкам на поверхности электрического обогревателя, что связано с большой температурной неравномерностью. В ходе исследований разброс температур по поверхности достигал 20 К.

На основе формулы (3) была создана математическая модель электрического обогревателя. Подставив в нее вычисленные коэффициент теплоотдачи, теплоемкость отопительного прибора и значение подаваемой мощности, получили зависимость температуры поверхности отопительного прибора по такому же, как в эксперименте, циклу: нагревание – стационарный режим – остывание. На рис. 2 приведены результаты моделирования и эксперимента для подаваемой электрической мощности в 50% от максимальной.

Из рис. 2 видно, что изменение температуры поверхности радиатора при нагревании сначала имеет линейный характер, а затем входит в режим насыщения. Остывание происходит по закону, близкому к экспоненциальному. Эти фазы теплового режима отопительного прибора можно использовать для определения его характеристик. Теплоемкость $C_{\text{ист}}$ вычисляли в фазе нагревания по формуле (4) в точке, близкой к $T_{\text{ист}} = T_{\text{в}} = 293$ К, и получили значение $C_{\text{ист}} = 5844$ Дж/К. Согласно справочным данным [4], при росте температуры на 60 К значение теплоемкости масла линейно возрастает от $C_{\text{ист}} = 5844$ Дж/К до $C_{\text{ист}} = 6453$ Дж/К. Следовательно, при игнорировании температурной зависимости дополнительная погрешность может составлять 9,5%. В дальнейших расчетах учитывали эту зависимость при вычислении коэффициента теплоотдачи и тепловой энергии. Для стационарного режима определили коэффициент теплоотдачи по формуле (1): $G_{\text{ист}} = 12,6$ Вт/К. За-

висимость коэффициента теплоотдачи отопительного прибора от температурного напора вычисляли из фазы остывания по формуле (5). Полученная зависимость представлена на рис. 3.

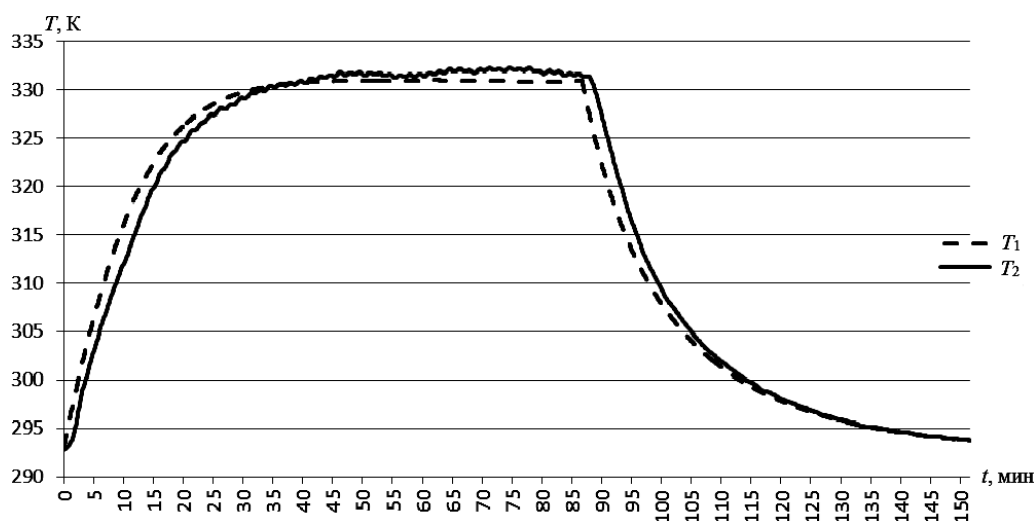


Рис. 2. Зависимость температуры радиатора при нагревании и остывании:
 T_1 – рассчитанная по модели; T_2 – экспериментальная

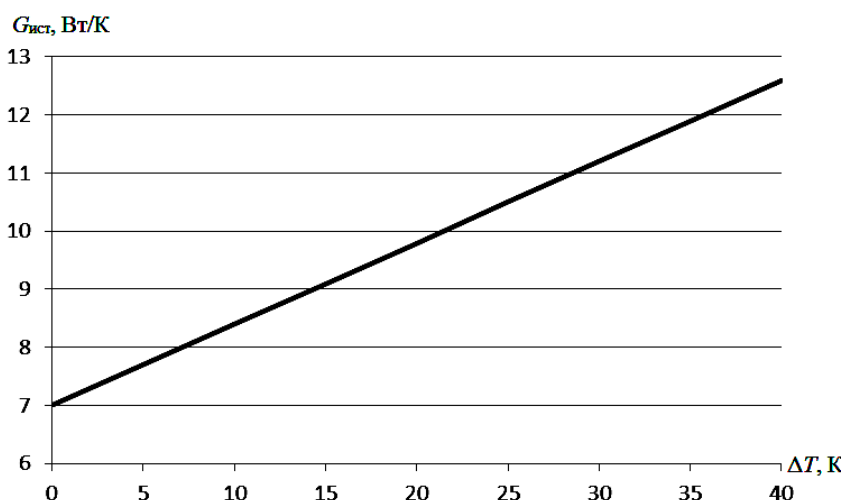


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи отопительного прибора от температурного напора

С целью проверки адекватности полученной зависимости рассчитывалась тепловая энергия, для этого вычислялись интегралы во времени по мгновенным значениям мощности. Тепловая мощность в каждый момент времени вычислялась по закону Ньютона–Рихмана с учетом текущих значений температурного напора и соответствующих им значений коэффициента теплоотдачи и теплоемкости отопительного прибора. Полученное значение тепловой энергии сравнивали с показаниями электросчетчика. При электрической мощности, равной 50% от максимальной для данного типа приборов (800 Вт), разница составила 6,9%. Также провели эксперименты для расчета тепловой энергии при других мощностях. Данные по результатам экспериментов, накопленные за 2,5 ч, приведены в таблице.

Тепловая энергия и погрешность ее измерения

Подаваемая мощность, в % от максимальной	Тепловая энергия, Вт·ч	Электрическая энергия, Вт·ч	Погрешность измерения, %
60	1196,4	1200	0,3
50	931	1000	6,9
40	736,8	800	7,9

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

Динамический метод исследования теплового режима отопительных приборов на базе дифференциальных уравнений позволяет осуществлять экспресс-анализ характеристик электрических масляных обогревателей. В этом случае вся зависимость коэффициента теплоотдачи в заданном диапазоне температур может быть получена за один цикл остывания (до 4 ч). При классическом способе измерения коэффициента теплоотдачи нахождение данной зависимости по пяти точкам требует времени до трех суток.

Динамический метод позволяет найти теплоемкость отопительного прибора, включая ее зависимость от температуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по контракту № 02.G25.31.0107 от 14 августа 2014 г.

Литература

1. Действующая методика испытания отопительных приборов / В.И. Сасин, Г.А. Бершидский, Т.Н. Прокопенко, Б.В. Швецов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pkf-sk.ru/articles.php?id=365.html>, свободный (дата обращения: 22.11.2014).
2. Черепанов В.Я. Методы и средства метрологического обеспечения измерений параметров теплообмена и теплоносителей: дисс... д-ра техн. наук: 05.11.15, 05.11.01 – Новосибирск, 2005. – 276 с.
3. Пуговкин А.В. Динамический метод измерения эффективности отопительных приборов / А.В. Пуговкин, С.В. Купреков, В.А. Медведев, В.С. Степной // Приборы. – 2014. – № 7. – С. 10–15.
4. Казанцев Е.И. Промышленные печи: справочное руководство для расчетов и проектирования. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.

Абрамчук Станислав Игоревич

Инженер каф. телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР) ТУСУРа
Тел.: 8-906-959-78-40
Эл. почта: zidanes@sibmail.com

Пуговкин Алексей Викторович

Д-р техн. наук, профессор каф. ТОР
Тел.: 8-913-822-95-60
Эл. почта: PugovkinAV@tor.tusur.ru

Abramchuk S.I., Pugovkin A.V.

Power efficiency of an electric heater

We investigated an electric oil heater on the basis of the dynamic method for determining the heat transfer coefficient of a heater. The given mathematical model is used to find the heat capacity of a heater using the experimental data. We received enough data for practical convergence of the energy values calculated using a mathematical energy with the energy calculated electrically.

Keywords: electric heater, thermal energy, dynamic method, heat transfer coefficient.