

ВАСИЛЬЕВА С.А., ИЛЮЩЕНКО В.И. (Донецкий национальный технический университет)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА, РАБОТАЮЩЕГО С ФАЗОВЫМ ПРЕВРАЩЕНИЕМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В статті розробляється методика розрахунку експлуатаційних характеристик індивідуального опалювального пристрою, що працює з фазовим перетворенням теплоносія, й проводиться оптимізація геометричних параметрів його обрешення.

В статье разрабатывается методика расчета эксплуатационных характеристик индивидуального отопительного прибора, работающего с фазовым превращением теплоносителя, и проводится оптимизация геометрических параметров его обрешення.

The article develops the method of calculation of operating descriptions of individual heating device that works with phase transformation of heat-carrier and conducts optimization of his geometrical parameters.

Экономия энергоносителей является одним из важнейших аспектов экологии, поскольку позволяет уменьшить вред, наносимый окружающей среде в процессе производства электроэнергии традиционными способами. В связи с этим, проблема энергосбережения выходит на первый план в технике и промышленности. В качестве одного из методов решения этой проблемы предлагается увеличить эффективность отопления за счет применения индивидуального отопительного прибора.

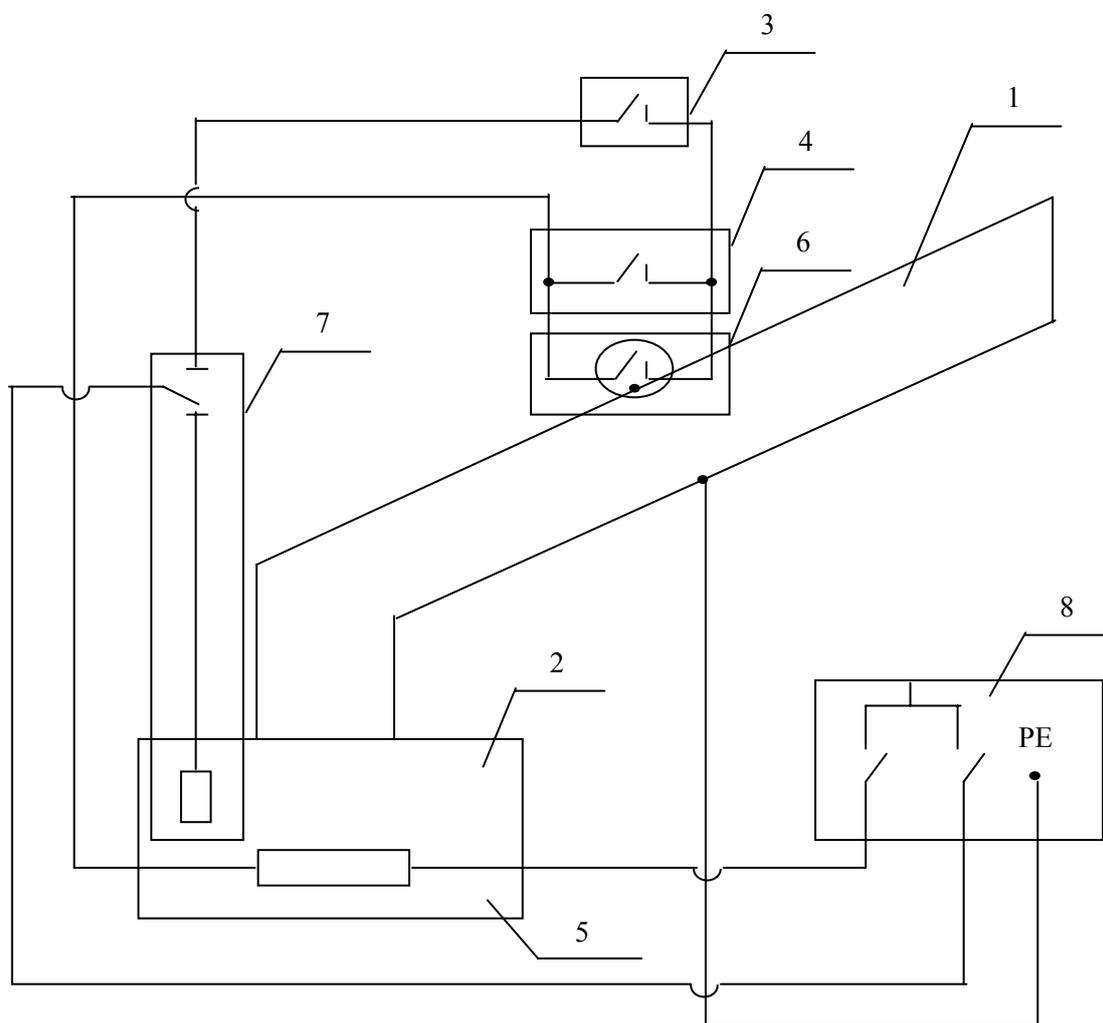
Основное направление энергосберегающих разработок в области отопления – автоматизация систем регулирования с целью обеспечения постоянной температуры воздуха в отапливаемом помещении. Однако данный метод является несовершенным, так как температура воздуха в помещении изменяется достаточно медленно. Вследствие этого может возникнуть перерасход электроэнергии, используемой для питания нагревательного элемента, поскольку последний остается включенным в работу дольше необходимого времени. В связи с этим, предлагается усовершенствовать систему регулирования отопительного прибора, добавив в нее датчик контроля температуры поверхности трубы.

На основании данных экспериментального исследования опытного образца отопительного прибора [1], разработана методика расчета его эксплуатационных характеристик, а также оптимизации параметров обрешення наклонного трубопровода.

Схема установки, моделирующей указанный прибор, представлена на рис. 1 [1].

Прибор содержит резервуар 1, наполненный теплоносителем, в качестве которого используется вода, имеющий в нижней части зону испарения. В зоне испарения расположен погруженный в теплоноситель тепловой электрический нагревательный элемент 2. Верхняя часть резервуара представляет собой наклонный трубопровод 3 с зоной конденсации, на конечном участке которого установлен термовыключатель 4, содержащий термореле. Параллельно термовыключателю 4 подключен выключатель 5, который позволяет последовательно с термовыключателем 4 включены терморегулятор 6 с датчиком температуры воздуха в помещении, который соединен с датчиком 7 контроля уровня теплоносителя в резервуаре. Термовыключатель 4, терморегулятор 6 и поплавковый датчик 7 контроля уровня теплоносителя подсоединены к осуществлять ручное управление прибором. блоку управления 8, посредством которого осуществляется включение и выключение питания прибора.

Вода нагревается нагревательным элементом 2 до состояния насыщения в зоне испарения, после чего она в виде пара поступает в наклонный трубопровод 3. По мере продвижения по наклонному трубопроводу 3 некоторое количество тепла пара передается через его стенки в окружающую среду. Пар частично конденсируется в зоне конденсации, вследствие чего его температура понижается.



Р
исую
к 1 –
Схема
устро
йства
индив
идуал
ьного
отопи
тельно
го
прибо
ра.

Т
ермов
ыклю
чате
лем 4,
устано
вленн
ым на
участк
е
трубо
прово
да,
регист
рируе
тся

достижение заданной температурной отметки, например 80 °С, на поверхности трубопровода 3, после чего термореле термовыключателя 4 отключает питание нагревательного элемента 2. Пар продолжает конденсироваться и при понижении температуры поверхности трубопровода 3 до второй заданной отметки (например 60°С), термореле термовыключателя 4 снова включает питание электрического нагревательного элемента 2 и цикл повторяется. При достижении заданной температуры воздуха в отапливаемом помещении (которая определяется условиями комфортности), срабатывает терморегулятор 6, с помощью которого разрывается цепь питания нагревательного элемента 2 и прибор отключается. Таким образом, нагревательный элемент включается в работу периодически, в то время как теплоотдача трубопровода изменяется незначительно.

Экспериментальное исследование проводилось для опытной установки с нагревателем мощностью 1 кВт. Анализ полученных данных показывает, что соотношение времени работы прибора с выключенным и включенным нагревателем составляет 1:2.

Мощность отопительного прибора, необходимого для отопления жилого помещения, рассчитывается по значению теплопотерь и теплопритоков в нем. Методика расчета определена в [2]. Расчет реальной установки на базе отопительного прибора проводился для жилого помещения размера 3×4×2.7 м, расположенного на одном из средних этажей многоэтажного дома. Тепловыделения внутри помещения рассчитываются как теплопоступления от искусственного освещения.

Согласно проведенным расчетам, мощность нагревателя для данного помещения должна составлять 922 Вт, что означает возможность использования параметров опытной установки [3] для проведения дальнейших расчетов.

Количество теплоносителя, необходимого для работы индивидуального отопительного прибора, рассчитывается как отношение внутреннего объема аппарата и удельного объема насыщенного пара при рабочих параметрах прибора ($P = 0,1$ МПа, $t = 100^\circ\text{C}$) и составляет 0,0196 кг пара или 0,021 л воды. Кроме того, необходимо учитывать следующие поправки:

- наличие в рабочем объеме наряду с паром также конденсата;
- объем воды, необходимый для поддержания минимального уровня теплоносителя в баке прибора;
- утечки пара через неплотности соединений. Значение этой величины определяется экспериментально и составляет 4,3% от общего количества воды в баке.

Учитывая все необходимые составляющие, получаем значение необходимого количества теплоносителя – 2,11 л.

Наиболее целесообразным вариантом оребрения наклонного трубопровода является применение металлической трубы с круглыми поперечными ребрами (рис. 1). Задача оптимизации состоит в определении оптимальных параметров оребрения (высоты, ширины и шага ребер) для заданной интенсивности теплоотдачи как по горячей, так и по холодной стороне на основе решения уравнения теплопроводности [4].

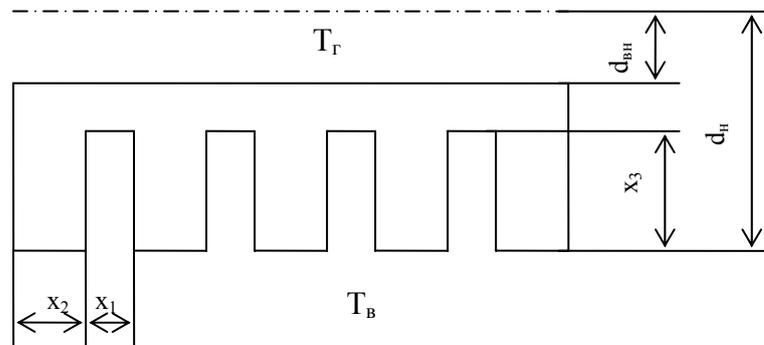


Рисунок 2 – Расчетная схема оребрения отопительного прибора

Критерием качества рассматриваемой задачи оптимизации является количество передаваемой теплоты, отнесенное к массе ребристой поверхности M и температурному напору $\Delta T = T_g - T_v$:

$$K_Q = \frac{Q}{M \Delta T}. \quad (1)$$

На основе решения уравнения теплопередачи и задачи об эффективности круглого ребра в одномерной постановке можно получить зависимость для определения K_Q для биметаллической трубы:

$$K_Q = \left[\frac{4d_n}{\rho_n (d_n^2 - d_{нв}^2) + \rho_{гн} (d_{нв}^2 - d_{гн}^2) + 4\rho_n (d_n x_3 + x_3^2) \frac{x_1}{x_2}} \right] \times \left(\frac{d_n}{\alpha_g d_{гн}} + \frac{d_n}{2\lambda_n} \ln \frac{d_n}{d_{нв}} + \frac{d_n}{2\lambda_{гн}} \ln \frac{d_{нв}}{d_n} + \right. \\ \left. + \frac{2d_n x_2}{\alpha_g [4\eta_p (d_n + 1)x_3 + 2d_n x_3 + 2d_n (\eta_p - 1) + 2\eta_p x_1 x_3]} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где

$$\eta_p = \frac{th \left[\left(\frac{2\alpha_g}{\lambda_p x_1} \right)^{0,5} (x_3 + 0,5x_1) \right]}{\left(\frac{2\alpha_g}{\lambda_p x_1} \right)^{0,5} (x_3 + 0,5x_1)} \times \left\{ 1 - 0,372 \left[1 - \frac{1}{ch \left[\left(\frac{2\alpha_g}{\lambda_p x_1} \right)^{0,5} (x_3 + 0,5x_2) \right]} \right] \times \ln \left(1 + \frac{2x_3 + x_1}{d_n} \right) \right\}. \quad (3)$$

где d_n – наружный диаметр внешней трубы;

$d_{нв}$, $d_{вн}$ – наружный и внутренний диаметры внутренней трубы. Поскольку труба монометаллическая, $d_{нв} = d_{вн}$;

ρ_n, ρ_p – плотности материала трубы и ребер, для монометаллической трубы $\rho_n = \rho_p$,

x_1 – толщина ребра;

x_2 – шаг между ребрами;

x_3 – высота ребра;

λ_n, λ_p – коэффициент теплопроводности материала трубы и ребер, для монометаллической трубы $\lambda_n = \lambda_p$.

В задаче заданы тепловая мощность Q , коэффициенты теплоотдачи и температуры сред по горячей и холодной сторонам $\alpha_g, \alpha_c, T_g, T_c$. Указанные величины определяются по данным теплового расчета, теплофизические характеристики теплоносителей являются справочными данными [5]. Для рассматриваемого отопительного прибора величины, необходимые для расчета имеют следующие значения: $d_n = 0,09885$ м; $d_{нв} = 0,09685$ м; $\rho_n = \rho_p = 7,832$ кг/м³; $\lambda_n = \lambda_p = 50,6$ Вт/(м·°C); $\alpha_g = 182,51$ Вт/(м²·°C), $\alpha_c = 7,754$ Вт/(м²·°C), $T_g = 100$ °C, $T_c =$ °C.

Поиск максимума целевой функции K_Q ведется по методу покоординатного спуска [6], учитывая рекомендации, приведенные в источнике [4]. Согласно последнего, величина максимума K_Q в зависимости от шага оребрения x_2 находится на нижней границе области значений переменной, равной $x_2 = 3$ мм. Это значение принимаем в качестве расчетного.

Согласно тому же источнику, оптимальное значение толщины ребра $x_1 < 0,1$ мм. Поскольку для теплообменных аппаратов энергетических установок нецелесообразно применять ребра толщиной менее 0,1 мм, зависимость целевой функции от толщины ребра определяем в диапазоне $x_1 = (0,1 \dots 2)$ мм. Методом покоординатного спуска по координате x_1 с шагом $\Delta x_1 = 0,01$ мм определяем максимум значения целевой функции в точке $x_1 = 1,5$ мм.

Интервал значений переменной x_3 задаем произвольно, $x_3 = (1 \dots 5)$ мм. Максимум достигается в точке $x_3 = 2$ мм.

Итак, целевая функция при указанных параметрах достигает максимального значения $K_Q = 2498229$ в точке с координатами $x_1 = 1,5$ мм, $x_2 = 3$ мм, $x_3 = 2$ мм. Соответственно, оребрение с указанными параметрами является наиболее эффективным.

На основе проведенных экспериментальных исследований отопительного прибора разработана методика расчета и оптимизации его реального аналога, который может использоваться для отопления небольшого по объему жилого помещения. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что исследуемый прибор обеспечивает достижение поставленной цели – снижение затрат электроэнергии. Указанная экономия составляет до 30% по сравнению с обычными электронагревательными приборами.

Библиографический список:

1. Патент № 31146 Опалювальний прилад. Ілющенко В.І., Гаркавий Є.Я., Ілющенко І. В., Васильєва С.О., 2007 р.
2. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
3. Васильєва С.А., Ілющенко В.І., Гаркавий Є.Я. Устройство автоматического управления индивидуального отопительного прибора – "Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 24-27 квітня 2006 р." – Донецьк, ДонНТУ, 2006 – с. 200-202.
4. Иоселиани А.Н., Михалевич А.А., Нестеренко В.Б., Салуквадзе М.Е. Методы оптимизации параметров теплообменных аппаратов АЭС. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 144 с.
5. Кутателадзе С.С. Справочник по теплопередаче: – М.: Госэнергоиздат, 1958. – 415 с.
6. Методические указания к выполнению практических занятий по курсу "Источники и системы теплоснабжения промпредприятий" для студентов специальности 0308 "Промышленная теплоэнергетика". Сост. Ю.П. Соколов. – Запорожье: ЗИИ, 1986. – 51 с.