

Ганжа А.Н., Братуга Э.Г., Марченко Н.А.

УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Введение и постановка задачи. В настоящее время в системах отопления зданий, построенных до начала 90-х годов на территории СНГ, широко распространены системы отопления, где применяются стандартные приборы отопления: радиаторы, конвекторы типа "Аккорд" или "Комфорт" и др. При этом в основном применяется качественное регулирование подачи теплоты потребителям. В проектных расчетах систем отопления приборы подбирались исходя из тепловой нагрузки здания с учетом нагрузок помещений. Однако, при проектировании не всегда учитывались различия в температурах теплоносителя на входе в каждый отопительный прибор, так как при подаче теплоносителя по стояку, например, "сверху-вниз", эта температура будет постепенно уменьшаться от верхнего этажа к нижнему. Различие в предполагаемой температуре теплоносителя для каждого этажа будет приводить к различиям тепловой производительности отопительных приборов и, следовательно, – различиям температуры воздуха внутри помещений каждого этажа по стояку. Это приводит к снижению качества теплоснабжения квартир, расположенных в основном на нижних этажах. Во время постоянных перебоев с поставками газа в начале 90-х годов ввиду ухудшения качества теплоснабжения произошли неконтролируемые переделки внутридомовых систем путем добавления приборов отопления в основном на нижних этажах. При возврате к нормальным уровням температур теплоносителя на этих стояках происходит перерасход тепловой энергии. При увеличении расхода теплоносителя по стояку по сравнению с расчетным происходит также перерасход теплоты (перегоп) и увеличение температуры внутри помещений. Одной из задач энергетического аудита систем отопления является поиск мест, где происходит перерасход теплоты или некачественный ее отпуск [1]. В работе поставлена задача: разработать уточненную методику для определения фактической тепловой производительности отопительных приборов и системы отопления в целом с учетом неравномерности распределения параметров теплоносителя и внутреннего воздуха, а также осуществленных переделок.

Решение. При расчете тепловой производительности системы отопления обычно используют такую зависимость [2, 3]:

$$Q_o = \varepsilon \cdot W_m \cdot \nabla, \tag{1}$$

где Q_o – тепловая производительность; W_m – меньшее значение водяного эквивалента теплообменивающихся сред; ∇ – максимальная разность температур между средами (теплоносителем и воздухом на входе); ε – безразмерная удельная тепловая производительность. Традиционно для ее определения используется преобразованная эмпирическая формула [2, 3]:

$$\varepsilon = \frac{1}{0,5 + \mu + \frac{1}{\omega}}, \tag{2}$$

где ω – параметр, $\omega = \frac{k \cdot F}{W_m}$, k и F – коэффициент теплопередачи и площадь теплопередачи всех отопительных приборов стояка; μ – коэффициент смешения в смесительном устройстве (элеваторе).

Эта формула справедлива для стояка системы отопления в целом и не учитывает неравномерность распределения температур теплоносителя и воздуха по этажам.

Для отопительных приборов величина $k \cdot F$ определяется по обобщенной формуле [2, 3]:

$$k \cdot F = \Phi \cdot \left(\frac{Q_o}{Q_o'} \right)^{\frac{n}{1+n}}, \tag{3}$$

где Φ – параметр теплообменника, величина постоянная, $\Phi = 7,844 \cdot F_{\text{ЭКМ}}$; $F_{\text{ЭКМ}}$ – число эквивалентных квадратных метров отопительных приборов. Эквивалентный квадратный метр – это площадь нагревательного прибора, отдающего в 506 Вт, при средней разности температуры теплоносителя и воздуха $64,5^{\circ}\text{C}$ и расходе воды через прибор 17 кг/ч [4]; Q_0 – расчетная тепловая производительность приборов отопления; n – показатель степени, для радиаторов $n = 0,25$; конвекторов $n=0,2$ [2-4].

Тепловая производительность отдельного отопительного прибора определяется по зависимости:

$$Q_0 = 506 \cdot F_{\text{ЭКМ}} \cdot \varphi_1, \quad (4)$$

где φ_1 – коэффициент, учитывающий изменение температурного напора [4].

Разработана уточненная методика расчета безразмерной удельной тепловой производительности отопительных приборов – конвекторов типа "Аккорд" или "Комфорт" и радиаторов (см. рис. 1), которая входит в общий алгоритм расчета системы отопления.

Для аппаратов воздушного охлаждения (АВО), воздухоподогревателей ГТУ, воздухоохладителей компрессоров, калориферов подробная расчетная схема, математическая модель и методика приведены в работах [5 и др.]. Составлена обобщенная расчетная схема отопительного прибора (см. рис.2). Согласно особенностям компоновки приборов движение теплоносителей – сложное смешанное многоходовое, как правило, с общим противотоком. Среда, которая движется внутри труб (вода), перемешивается в пределах одного ряда труб, между ходами и секциями. Наружная среда (воздух) перемешивается при движении между ребрами (см. рис. 2). Таким образом, как воздух, так и вода движутся отдельными струями, число которых конечное.

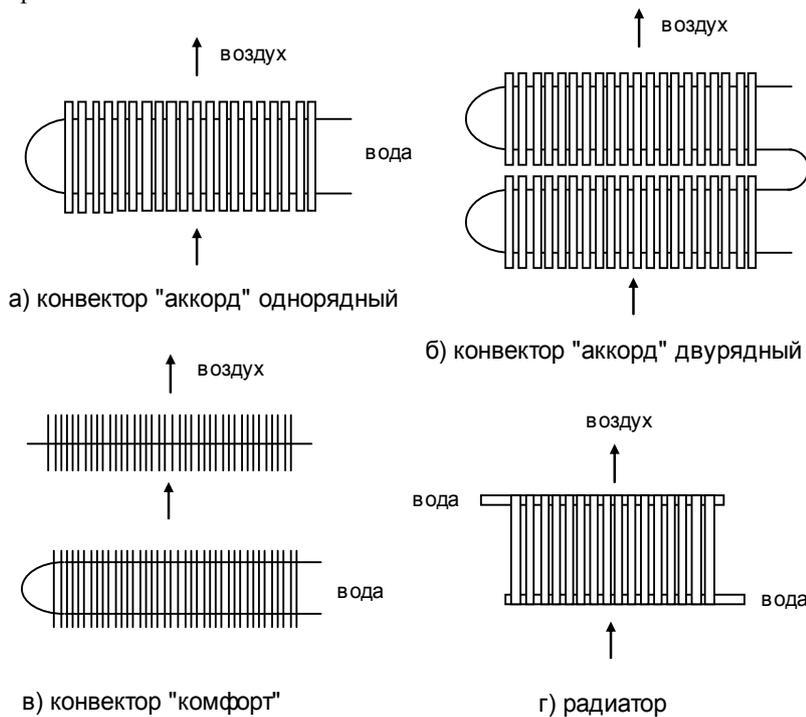


Рисунок 1 – Основные приборы отопления

Авторы полагают, что элементами, из которых скомпонован теплообменник, являются простейшие схемы однократного перекрестного тока с полным перемешиванием обоих теплоносителей по ходу. Следует отметить, что большинство традиционных подходов к дискретному расчету теплообменников предусматривает разбивку поверхности на большое число элементов (конечных разностей) [6], где, как правило, не учитываются особенности движения сред в элементах. В предложенной авторами методике эффективность каждого перекрестноточного элемента из рис. 2 и температуры теплоносителей на выходе из элементов будут выражаться следующим образом [5, 7]:

$$P_3 = \frac{1}{\frac{1}{1 - e^{-NTU_{23}}} + \frac{R_3}{1 - e^{-R_3 \cdot NTU_{23}}} - \frac{1}{NTU_{23}}}; \quad (5)$$

$$t_{B_{2э}} = t_{B_{1э}} + P_3(t_{T_{1э}} - t_{B_{1э}}) \text{ и } t_{T_{2э}} = t_{T_{1э}} - P_3 R_3(t_{T_{1э}} - t_{B_{1э}}), \quad (6)$$

где "э" – индекс, обозначающий, что параметры определяются в элементе; "1" – вход среды, "2" – выход среды; "В" – воздух, "Т" – теплоноситель (вода); R и NTU_2 – отношение водяных эквивалентов и число единиц переноса теплоты [5, 7], $R = \frac{W_B}{W_T}$, $NTU_2 = \frac{K \cdot F}{W_B}$.

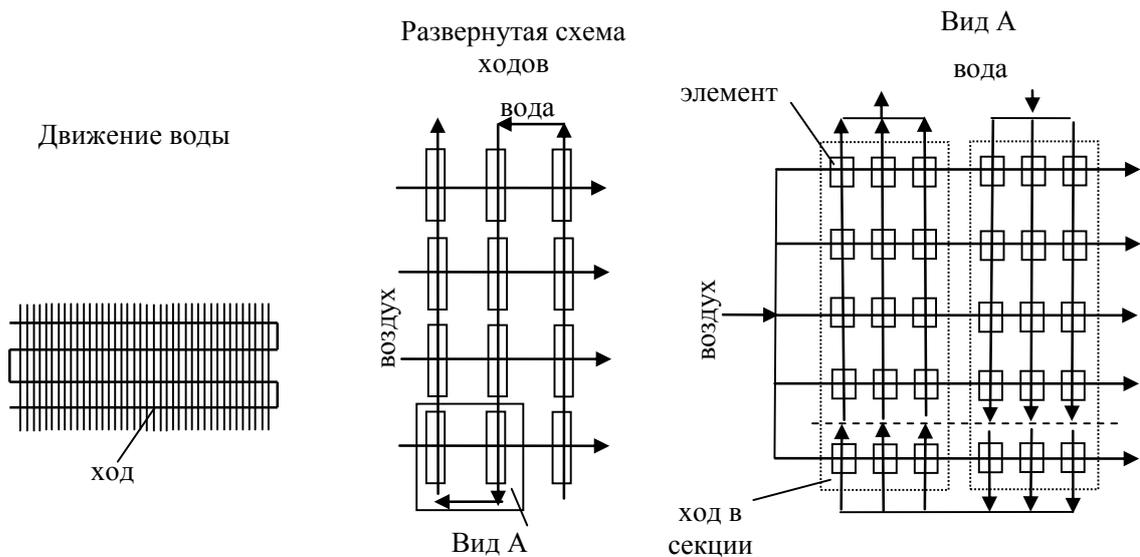


Рисунок 2 – Обобщенная расчетная схема отопительного прибора

Так как схема движения противоточная, то для уточнения эффективностей элементов используется интервально-итерационный метод. На каждом приближении свойства сред в элементах определяются по их усредненным температурам.

В итоге безразмерная удельная тепловая производительность отопительного прибора будет определяться так:

$$\varepsilon = \frac{\tau_{01} - \tau_{02}}{\nabla} \text{ и } \omega = R \cdot NTU_2, \text{ если } W_M = W_T; \quad \varepsilon = \frac{\tau_{01} - \tau_{02}}{R \cdot \nabla} \text{ и } \omega = NTU_2, \text{ если } W_M = W_B, \quad (7)$$

где τ_{01} и τ_{02} – температуры теплоносителя на входе и выходе из отопительного прибора, °С.

Общий алгоритм определения основывается на поиске тепловой производительности для прибора отопления на каждом этаже по стояку с увязкой формул (1), (3) и (4). При этом безразмерная тепловая производительность прибора отопления считается не по зависимости (2), а по созданному алгоритму дискретного расчета. В систему уравнений дополнительно входит связь между расчетными и фактическими тепловыми нагрузками:

$$\frac{Q_o}{Q'_o} = \frac{t_B - t_H}{t'_B - t'_H}, \quad (8)$$

где t_B , t_H и t'_B , t'_H – фактические и расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха.

В результате для каждого этажа определяется фактическая тепловая производительность прибора отопления и расход циркулирующего воздуха через него. С помощью этих параметров определяется фактическая температура воздуха на выходе из нагревательного прибора и внутри помещения, температура теплоносителя на выходе. Исходными данными являются расход и температура теплоносителя на входе в систему из температурного графика, температура наружного воздуха, эквивалентный квадратный метр прибора отопления на каждом этаже. Тепловая производительность всей системы определяется как сумма производительностей всех приборов.

Сделан анализ для стояка системы отопления 9 этажного здания с приборами отопления в виде однорядных конвекторов "Аккорд" А20 с площадью 1 экв.кв.м. на каждом этаже и подачей теплоносителя "сверху-вниз". Расчет сделан в двух вариантах: с расчетным расходом воды через приборы по графику качественного регулирования и превышением этого расхода в 2 раза. Дополнительно сделан расчет при замене на 1 и 2 этажах приборов отопления на двурядные конвекторы "Аккорд" 2А16 с площадью 1,47 экв.кв.м. Температура наружного воздуха принималась расчетной для г. Харьков – 23 °С, температура теплоносителя на входе в систему отопления 95°С. Результаты приведены на рис.3 а.

Из анализа результатов видно, что в обоих случаях существует неравномерность распределения тепловых потоков по этажам. В первом случае тепловой поток на верхнем этаже составил 564 Вт, на нижнем – 447Вт. Температура внутреннего воздуха на нижних этажах ниже нормативной. Тепловая нагрузка всего стояка и усредненная температура внутреннего воздуха по этажам равняются проектным значениям. В случае превышения расхода теплоносителя в 2 раза тепловой поток на нижнем этаже равняется проектному 506 Вт, а на верхнем – 569 Вт. Соответственно температура внутри помещений на нижнем этаже составляет 18 °С, а на верхнем 23°С. В этом случае перерасход тепловой энергии равняется 6 % от расчетного. В третьем случае, когда существуют неконтролируемые переделки, наблюдается большая неравномерность распределения температур по этажам. Температура внутреннего воздуха на 1 и 2 этаже увеличилась до 21÷23°С, хотя на 3 и 4 этажах она осталась ниже нормы. При этом перерасход тепловой энергии составил 4 % от расчетного.

На рис. 3 б приведены результаты расчета рекомендуемого перераспределения площади отопительных приборов по этажам при условии, чтобы температура воздуха внутри помещений всех этажей была проектной (т.е. 18 °С), для чего был разработан отдельный алгоритм.

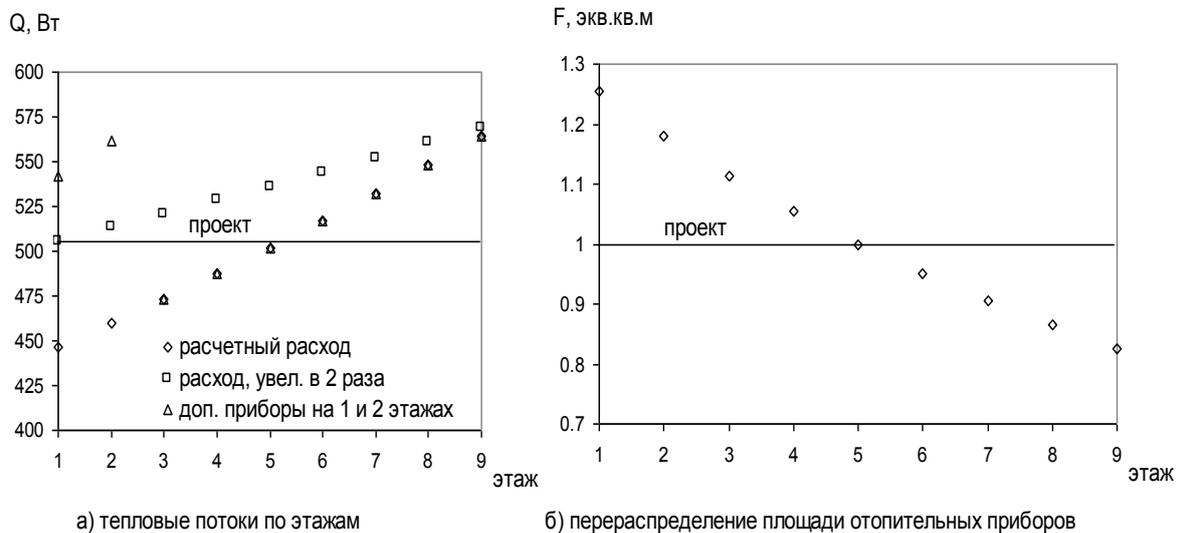


Рисунок 3 – Распределение параметров по этажам

Выводы. Создана уточненная методика для определения фактической тепловой производительности отопительных приборов и системы отопления в целом с учетом неравномерности распределения параметров теплоносителя и внутреннего воздуха, а также осуществленных переделок. С помощью разработанной методики при проведении энергетического аудита систем теплоснабжения можно определить тепловую производительность систем отопления, выявить места и уровень перерасхода теплоты и некачественного его отпуска, а также выработать рекомендации по модернизации. После некоторых работ можно учесть и другие факторы: теплоотдачу от стояков внутрь помещений, нарушение гидравлического режима в результате переделок и пр.

Литература

1. Энергозбереження. Энергетичний аудит промислових підприємств. ДСТУ 4713-2007. – [Чинний від 2007-07-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с. – (Національні стандарти України).
2. Теплотехнический справочник: В 2 т./Под общей ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева.– М.: Энергия, 1975.– Т.1. – 744 с.
3. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника/Под. общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина.– М.: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.
4. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1988 – 216 с.
5. Братута Э.Г., Ганжа А.Н., Марченко Н.А. Аналіз ефективності калориферного підігріву повітря у системах опалення, вентиляції та кондиціювання//Зб. наук. праць 5-ї Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми економії енергії".– Львів, НУ "Львівська політехніка", 23–24 жовтня 2008, – С. 274–27
6. Таран В.Н. Расчет многопоточного теплообменника нелинейной прогонкой // Технические газы, 2008. – С. 34–40.
7. Справочник по теплообменникам: Пер. с англ.: В 2 т./Под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова.– М.: Энергоатомиздат, 1987.– Т.1. – 560 с.

УДК 697.34:66.045.1

Ганжа А.М., Братута Е.Г., Марченко Н.А.

УТОЧНЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ПАРАМЕТРІВ

Створено уточнену методику для визначення фактичної теплової продуктивності опалювальних приладів і системи опалення в цілому з урахуванням нерівномірності розподілу параметрів теплоносія і внутрішнього повітря, а також здійснених переробок. За допомогою розробленої методики при проведенні енергетичного аудиту систем тепlopостачання можна визначити фактичну теплову продуктивність систем опалення, виявити місця перевитрати теплоти і її неякісного відпустку, а також виробити рекомендації з модернізації.

Ganzha A.N., Bratuta E.G., Marchenko N.A.

THE SPECIFIED METHODIC OF HEAT PRODUCTIVITY DEFINITION OF HEATING SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT UNEVENNESS OF PARAMETERS DISTRIBUTION

The specified methodic for definition of real heat productivity of heaters and heating system taking into account unevenness of parameters distribution of heat carrier and inner air and executed alterations is making. By means of making methodic at realization of energetic audit of heating system can determine real heat productivity of heating systems, reveal point of heat over-expenditure and its low-quality issue and work out modernization recommendation.