

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ

А.А. Февралев, В.В. Гибадуллина

Разработана модель пластинчатого теплообменника, позволяющая определять его основные характеристики. На основе модели разработана программа, позволяющая исследовать работу пластинчатого теплообменника. Построены графики различных эксплуатационных режимов.

Ключевые слова: математическое моделирование, пластинчатый теплообменник, метод последовательных приближений.

Введение

На сегодняшний день современный индивидуальный тепловой пункт (далее ИТП), чаще всего оборудуется пластинчатыми теплообменниками (далее ПТО). Федеральный закон от 27.07.2010 N 190-ФЗ «О теплоснабжении» гласит, применение ПТО на горячее водоснабжение (далее ГВС) обязательно, открытые схемы запрещены к использованию. К тому же использование независимых схем на системы отопления и вентиляции, также имеет множество достоинств по сравнению с открытыми схемами. Соответственно качественная математическая модель ПТО необходима для исследования работы ИТП в комплексе.

1. Моделирование ПТО

Моделирование ПТО осуществляется с помощью метода последовательных приближений (далее МПП). Для расчетов используют формулу, в которую входит не средняя разность температур между теплообменивающимися потоками (средний логарифмический температурный напор $\Delta \bar{t}_{\ln}$), а разность температур греющего и нагреваемого теплоносителя на входе в теплообменник [1].

Для этого используют противоточный коэффициент Z , выведенный из уравнения теплового баланса и уравнения теплопередачи.

Рассматривается элементарный участок dF (рис. 1):

Из уравнения теплопередачи:

$$dQ = q * dF = K * \Delta t * dF. \quad (1)$$

где, dQ – количество теплоты, передаваемое от первичного теплоносителя ко вторичному в единицу времени dt ; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²*К); Δt – разность температур теплоносителей, °С.

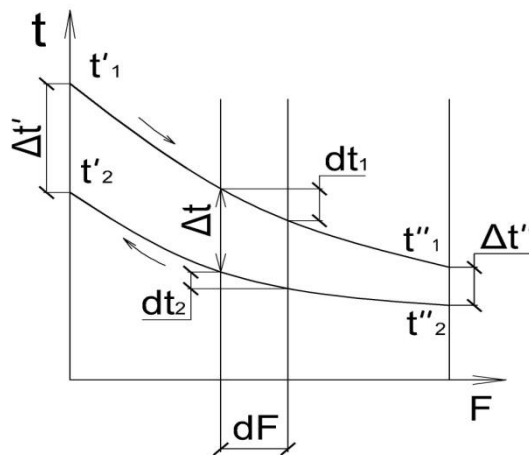


Рис. 1. График изменения температуры теплоносителей по площади ПТО

Из закона сохранения энергии:

$$\begin{cases} dQ = -C_1 \cdot dt_1 \\ dQ = -C_2 \cdot dt_2 \end{cases} \quad (2)$$

где $C = G_m \cdot \overline{C_p}$ – полная теплоемкость массового расхода, Дж/К.

Определяется отношение:

$$\frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = m \cdot K \cdot dF, \quad (3)$$

здесь $m = \left(\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}\right)$ – введенная замена. Далее интегрируют (3) и получают:

$$\ln(\Delta t) = -m \cdot K \cdot F + C^* . \quad (4)$$

Подставляя граничное условие $F_0=0$ в уравнение (4), получают:

$$\frac{\Delta t''}{\Delta t'} = e^{-m \cdot K \cdot F} ; \quad (5)$$

причем: $\begin{cases} \Delta t' = t'_1 - t''_2 \\ \Delta t'' = t'_1 - t''_1 \end{cases}$

где $\Delta t'$ – максимальная разность температур греющего теплоносителя на входе и на выходе ПТО, πC ; $\Delta t''$ – максимальная разность температур нагреваемого теплоносителя на входе и на выходе ПТО, πC .

Уравнение (5) переписывают следующим образом:

$$\frac{(t'_1 - t'_2) \cdot (1 - e^{-\left(1 - \frac{C_1}{C_2}\right) \frac{K \cdot F}{C_1}})}{1 - \frac{C_1}{C_2} \cdot e^{-\left(1 - \frac{C_1}{C_2}\right) \frac{K \cdot F}{C_1}}} = t'_1 - t''_1. \quad (6)$$

Полученное отношение:

$$\frac{\left(1 - e^{-\left(1 - \frac{C_1}{C_2}\right) \frac{K \cdot F}{C_1}}\right)}{1 - \frac{C_1}{C_2} \cdot e^{-\left(1 - \frac{C_1}{C_2}\right) \frac{K \cdot F}{C_1}}}, \quad (7)$$

называют противоточным коэффициентом «Z».

Следовательно, мощность определяется по формуле:

$$Q = C_1 \cdot Z \cdot (t'_1 - t''_1). \quad (8)$$

2. Описание метода последовательных приближений.

В процессе подбора ПТО невозможно выбрать в точности соответствующий заданным параметрам. К тому же, во время эксплуатации реальные параметры (расход и температуры на входе в ПТО) будут отличаться от расчетных. Для определения эксплуатационных характеристик ПТО (мощность и температуры на выходе из ПТО) используют метод последовательных приближений (далее МПП).

Далее приведена методика расчета основных характеристик ПТО с помощью МПП:

1. Рассчитывается противоточный коэффициент «Z», по формуле (7).
2. Определяется действительная мощность ПТО по формуле (8).
3. Действительные температуры теплоносителей на выходе:

$$t''_1 = t'_1 - \frac{Q}{C_1}; \quad (9)$$

$$t''_2 = t'_2 + \frac{Q}{C_2}. \quad (10)$$

4. С учетом изменения температур, находятся коэффициенты теплоотдачи по эмпирической формуле.

5. По найденным коэффициентам теплоотдачи находится новое значение коэффициента теплопередачи:

$$K_{new} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (11)$$

После нахождения новых значений K_{new} , цикл МПП повторяют. При равенстве значений $K = K_{new}$, цикл МПП прекращают, значения, полученные на данном шаге, считаются действительными характеристиками теплообменного аппарата при данных параметрах.

3. Алгоритм программы

По описанной методике разработана программа, помогающая смоделировать работу ПТО. На основании входных параметров теплоносителей G_1 , G_2 и t_1' , t_2' определяются Q – действительная мощность, K – коэффициент теплопроводности, t_1'' , t_2'' – выходные параметры теплоносителя.

Алгоритм программы (рис. 2) разработан в соответствии с методикой МПП, используя только 4 входных параметра. Программа производит полный расчет ПТО, на основании стандартных и эмпирических расчетных формул, технических характеристик ПТО, а также используются табличные значения теплоемкостей и плотностей воды.

В результате работы программы определяются значения выходных температур теплоносителей, а также действительная мощность и коэффициент теплопроводности.

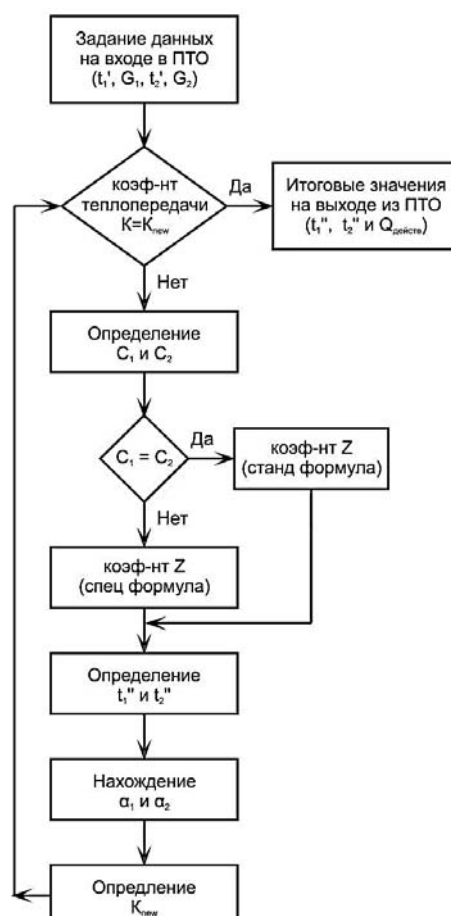


Рис. 2. Алгоритм программы моделирования ПТО

4. Анализ данных получаемых с помощью модели теплообменника

На основе полученных в программе данных, построены графики зависимости Q , k , t_1'' и t_2'' от расходов первичного и вторичного теплоносителей (рис. 3 и рис. 4, соответственно).

Полученные графики отлично соотносятся с реальностью. При увеличении расхода греющего теплоносителя, происходит увеличение мощности, температуры греющего и нагреваемого теплоносителя на выходе.

При увеличении расхода нагреваемого теплоносителя, происходит увеличение мощности и уменьшение температуры греющего и нагреваемого теплоносителя на выходе.

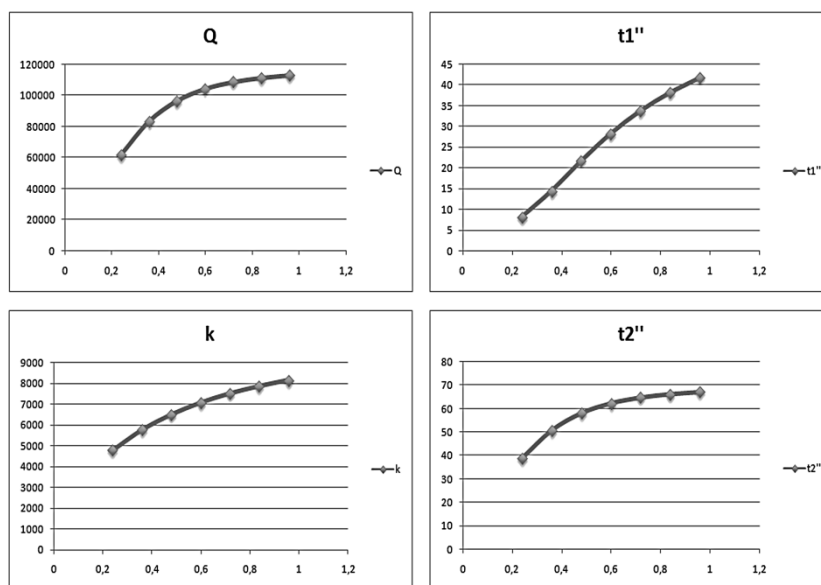


Рис. 3. Графики зависимости Q , K , t_1'' и t_2'' от G_1

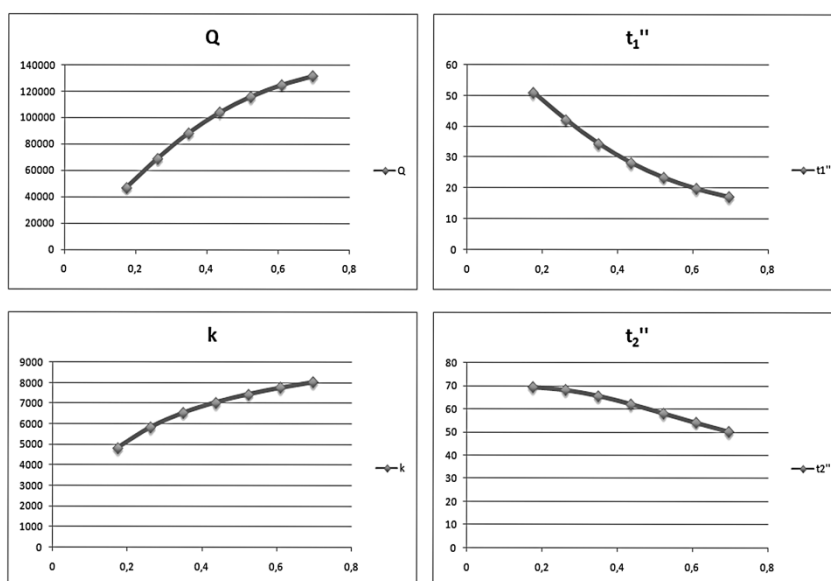


Рис. 4. Графики зависимости Q , K , t_1'' и t_2'' от G_2

5. Эксплуатационное моделирование работы ПТО

Наибольший интерес представляет качественное моделирование работы ПТО в реальных эксплуатационных ситуациях. В данной работе произведено моделирование работы ПТО на ГВС жилого здания в течение суток в летний или переходный период года. Для этого использовалась модель ПТО и агентная модель неравномерности водоразбора ГВС жилым зданием [2].

Для расчетов использовались следующие исходные данные:

- G_2 – секундный расход на ГВС жилым зданием (определяется с помощью агентной модели) – это расход нагреваемой среды в ПТО;
- t_1' – температура греющей среды на входе принимается $70\text{ }^\circ\text{C}$, что соответствует летнему температурному графику ТС для Челябинской области;
- t_2' – температура нагреваемой среды на входе принимается $5\text{ }^\circ\text{C}$, стандартная температура ХВС на вводе в жилой дом;
- G_1 – определяется по результатам моделирования. По сути это работа контроллера на ГВС, т.е. при высоком водоразборе увеличивается G_2 , снижается t_2' . Далее идет сигнал, приоткрывается регулирующий клапан, увеличивается G_1 и наоборот.

Изменение расходов теплоносителей напрямую связано с неравномерностью нагрузки на ГВС. На рис. 5 приведен дневной график работы ПТО в системе ГВС. График представляет собой посекундный расход теплоносителей на ГВС и из ТС. Можно заметить, что пики нагрузки на ПТО приходятся преимущественно в утренние и вечерние часы. Однако амплитуда расхода ГВС в один и тот же момент времени значительно больше амплитуды расхода ТС.

Графики изменения температуры теплоносителей в течение суток будут аналогичными (рис. 6). Температура ГВС в течение суток изменяется в допустимых пределах, график не имеет резких пиков и впадин. Температура ТС на выходе из ПТО также имеет практически монотонный характер, но уже больший разброс температур в течение суток, в сравнении с графиком изменения температуры ГВС.

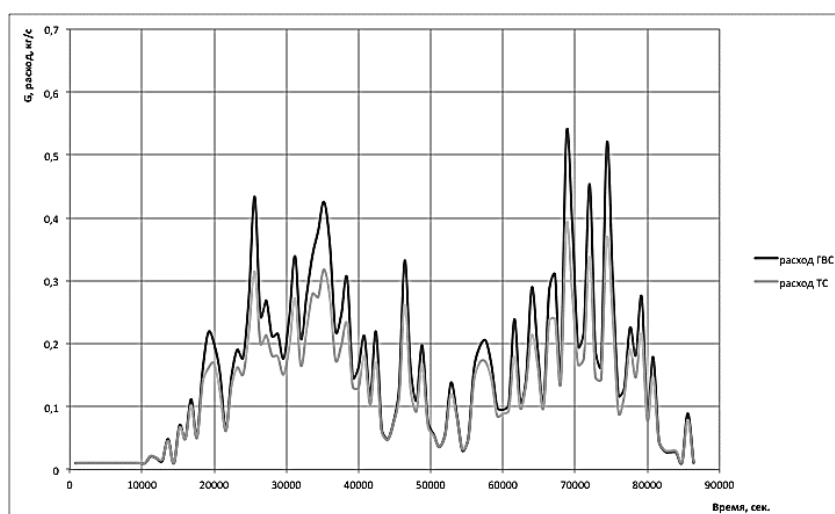


Рис. 5. Дневной график работы пластинчатого теплообменника ГВС

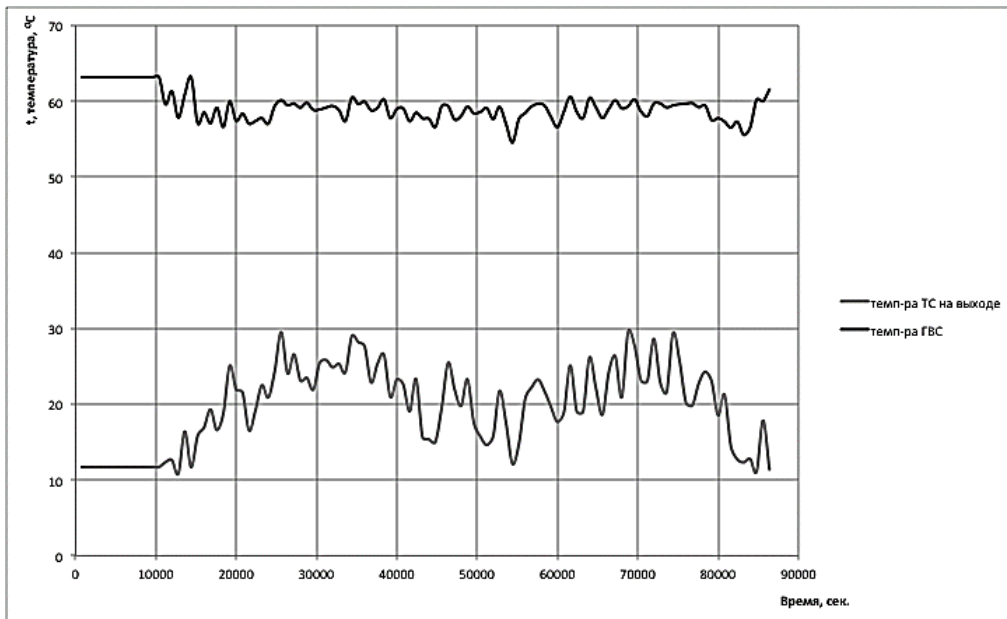


Рис. 6. График суточного изменения температуры теплоносителей

Заключение

Предложена математическая модель пластинчатого теплообменника, на основе которой разработана программа, позволяющая не только моделировать работу ПТО, но и анализировать реальные эксплуатационные ситуации. На основе полученных данных построена серия графиков, которые хорошо соотносятся с реальностью. Данная работа может быть использована для более глубокого исследования и моделирования индивидуального теплового пункта.

Библиографический список:

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. – 7-е изд. стер. – М.: МЭИ, 2001.
2. Февралев, А.А. Имитационное моделирование неравномерности водоразбора жилым зданием агентным методом / А.А. Февралев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14. – № 2. – С. 39–43.
3. Авчухов, В.В. Задачник по процессам тепломассообмена: учеб. пособие для вузов / В.В. Авчухов, Б.Я. Паюсте. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 102 с.
4. Федеральный закон от 27.07.2010 N 190-ФЗ (ред. от 03.02.2014) «О теплоснабжении» // СПС «Гарант».

[К содержанию](#)