

Погрешность расчета температурного графика тепловой сети при использовании показателей отопительных приборов

Китаев Д. Н., канд. техн. наук

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
(Воронежский ГАСУ)

Приведены результаты анализа возможных отклонений (ошибок) при расчете отопительного температурного графика с использованием крайних значений интервала варьирования показателей отопительных приборов. В результате поиска экстремальных значений температуры воды в подающей магистрали тепловой сети на отрезке, границами которого являются температура в начале отопительного периода и минимальная температура наружного воздуха, получены возможные значения отклонений температур от фактически необходимых потребителю.

Ключевые слова: отопительные приборы, система теплоснабжения, температурный график.

При качественном режиме регулирования тепловой сети и отопительном графике температуру теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети τ_1 , °С, определяют по формуле [1]

$$\tau_1 = t_B + (\tau_{пр.о} - t_B) \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.о}} \right)^{\frac{1}{1+n}} + (\tau_{1о} - \tau_{пр.о}) \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.о}} \right), \quad (1)$$

где t_B — расчетная температура воздуха в помещениях, °С; t_H — произвольная температура наружного воздуха, °С; $t_{H.о}$ — расчетная температура для проектирования отопления, °С; $\tau_{1о}$ — температура воды в подающей магистрали сети при $t_{H.о}$, °С; $\tau_{пр.о} = \frac{1}{2}(\tau_{см.о} + \tau_{2о})$ — средняя температура воды в отопительном приборе, °С; $\tau_{см.о}$, $\tau_{2о}$ — температура воды в абонентской установке и в обратной магистрали системы теплоснабжения при расчетных параметрах системы отопления, °С; n — эмпирический показатель, зависящий от типа отопительного прибора и схемы его подключения.

У современных отопительных приборов значение показателя n может находиться в интервале от 0,12 до 0,5 [2]. На стадии проектирования тепловых сетей типы отопительных приборов, установленных у потребителя, могут быть неизвестны, и реальные значения показателя n могут отличаться от принятых при проектировании. Интерес представляет возможное расхождение проектного температурного графика и фактически необходимого потребителю, так как отклонения способствуют недотопу или перетопу. Рассматриваемая задача актуальна при планировании развития

тепловых сетей, их модернизации и реконструкции.

Очевидно, что максимальное расхождение результатов расчета отопительного графика будет при использовании крайних значений диапазона, т. е. если посчитать значение τ_1 по формуле (1) при $n = 0,12$ и $n = 0,5$. Обозначим эту разницу $\Delta\tau = \tau_1|_{n=0,5} - \tau_1|_{n=0,12}$.

Рассмотрим разность $\Delta\tau$ как отдельную функцию, которая после подстановки τ_1 при $n = 0,5$ и τ_1 при $n = 0,12$ и ряда преобразований примет вид:

$$\Delta\tau = (\tau_{пр.о} - t_B) \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.о}} \right)^{2/3} \times \left[1 - \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.о}} \right)^{19/84} \right]. \quad (2)$$

Анализ уравнения (2) можно упростить, приняв следующие допущения. Средняя температура воды в отопительном приборе $\tau_{пр.о}$ может быть принята постоянной и равной 80 °С по следующим причинам. Температура воды в абонентской установке $\tau_{см.о}$ при расчетных параметрах системы отопления и любом температурном графике не должна быть больше нормативной по санитарно-гигиеническим требованиям [3], что составляет 90 °С, а температура в обратной магистрали системы теплоснабжения $\tau_{2о}$ при расчетных параметрах для большинства используемых температурных графиков равна 70 °С.

Расчетная температура воздуха внутри помещений t_B согласно требованиям нормативов [4] принимается при расчете в зависимости от наружной температуры для проектирования отопления: при t_H до -30 °С $t_B = 18$ °С,

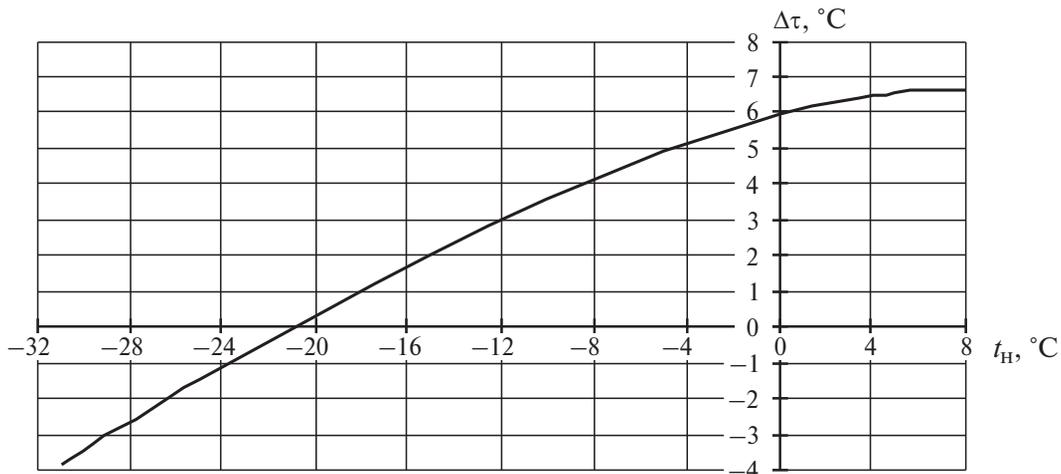


Рис. 1

а при t_n ниже -30°C $t_b = 20^\circ\text{C}$. Поэтому уравнение (2) достаточно рассмотреть при двух значениях внутренней температуры.

Согласно данным климатологии [5] значения $t_{н.о}$ для территории РФ находятся в пределах $-60 \leq t_{н.о} \leq -3^\circ\text{C}$. Максимальное значение наружных температур составляет 8°C при $t_{н.о} \geq -30^\circ\text{C}$ и 10°C при $t_{н.о} < -30^\circ\text{C}$ (начало отопительного периода). Для получения возможных минимальных значений t_n были проанализированы данные [5], которые показали, что для интервала проектных температур $-30 \leq t_{н.о} \leq -3^\circ\text{C}$ максимальная разница между $t_{н.о}$ и абсолютно минимальной температурой составляет 25°C , а для интервала $-60 \leq t_{н.о} < -30^\circ\text{C}$ разница равна 17°C . Температура $t_{н.о}$ может иметь значения -3 , -9°C и находиться в интервале от -11 до -60°C с шагом 1°C , т. е. функция (2) терпит множественные разрывы. Кроме того, нижнее значение t_n изменяется в зависимости от $t_{н.о}$, что делает необходимым анализ уравнения (2) отдельно для каждого фиксированного значения $t_{н.о}$ и соответствующего диапазона изменения t_n .

Таким образом, функцию (2) нужно рассматривать как зависящую от одной переменной t_n в соответствующем диапазоне при фиксированном значении $t_{н.о}$. Разница $\Delta\tau$ может быть как положительной, так и отрицательной, поэтому задача сводится к отысканию наименьшего и наибольшего значений функции (2) на отрезке.

Проанализируем функцию (2) при конкретных значениях t_b и $t_{н.о}$ для соответствующего промежутка значений t_n . Задаем $t_{н.о} = -21^\circ\text{C}$, $t_b = 18^\circ\text{C}$, $-31 \leq t_n \leq 8^\circ\text{C}$ (параметры для населенных пунктов Тариберка

Мурманской области и Богополь Приморского края).

После подстановки исходных данных и преобразований функция (2) примет следующий вид

$$\Delta\tau = 62 \left(\frac{18 - t_n}{39} \right)^{2/3} - 62 \left(\frac{18 - t_n}{39} \right)^{26/28}. \quad (3)$$

Нужно отметить, что интервал $-31 \leq t_n \leq 8^\circ\text{C}$ принадлежит области определения функции (3) $t_n \leq 18^\circ\text{C}$.

Приравняв нулю производную функции (3) и решив полученное уравнение, найдем искомого значение $t_n = 7,281^\circ\text{C}$. После его подстановки в уравнение (3) получим $\Delta\tau|_{t_n=7,281} = 6,64^\circ\text{C}$, что является стационарным значением функции (3). Значение второй производной — отрицательное: $\frac{d^2\Delta\tau}{dt_n^2}|_{t_n=7,281} = -0,0344 < 0$, следовательно, при $t_n = 7,281^\circ\text{C}$ функция (3) имеет максимум.

Определим значение функции (3) на концах отрезка $[8; -31]$: $\Delta\tau|_{t_n=8} = 6,630411$, $\Delta\tau|_{t_n=-31} = -3,82508$. График функции (3) представлен на рис. 1.

Таким образом, наибольшим значением функции (3) на отрезке $[8; -31]$ является $\Delta\tau|_{t_n=7,281} = 6,6396^\circ\text{C}$, а наименьшим $\Delta\tau|_{t_n=-31} = -3,825^\circ\text{C}$, т. е. максимальное значение ошибки при проектировании температурного графика в рассмотренных условиях равно $6,64^\circ\text{C}$.

По данному алгоритму для всех существующих температур $t_{н.о}$ в РФ [5] были найдены максимальные значения возможной ошибки. На рис. 2, а представлена диаграмма, построенная по уравнению (2) с учетом

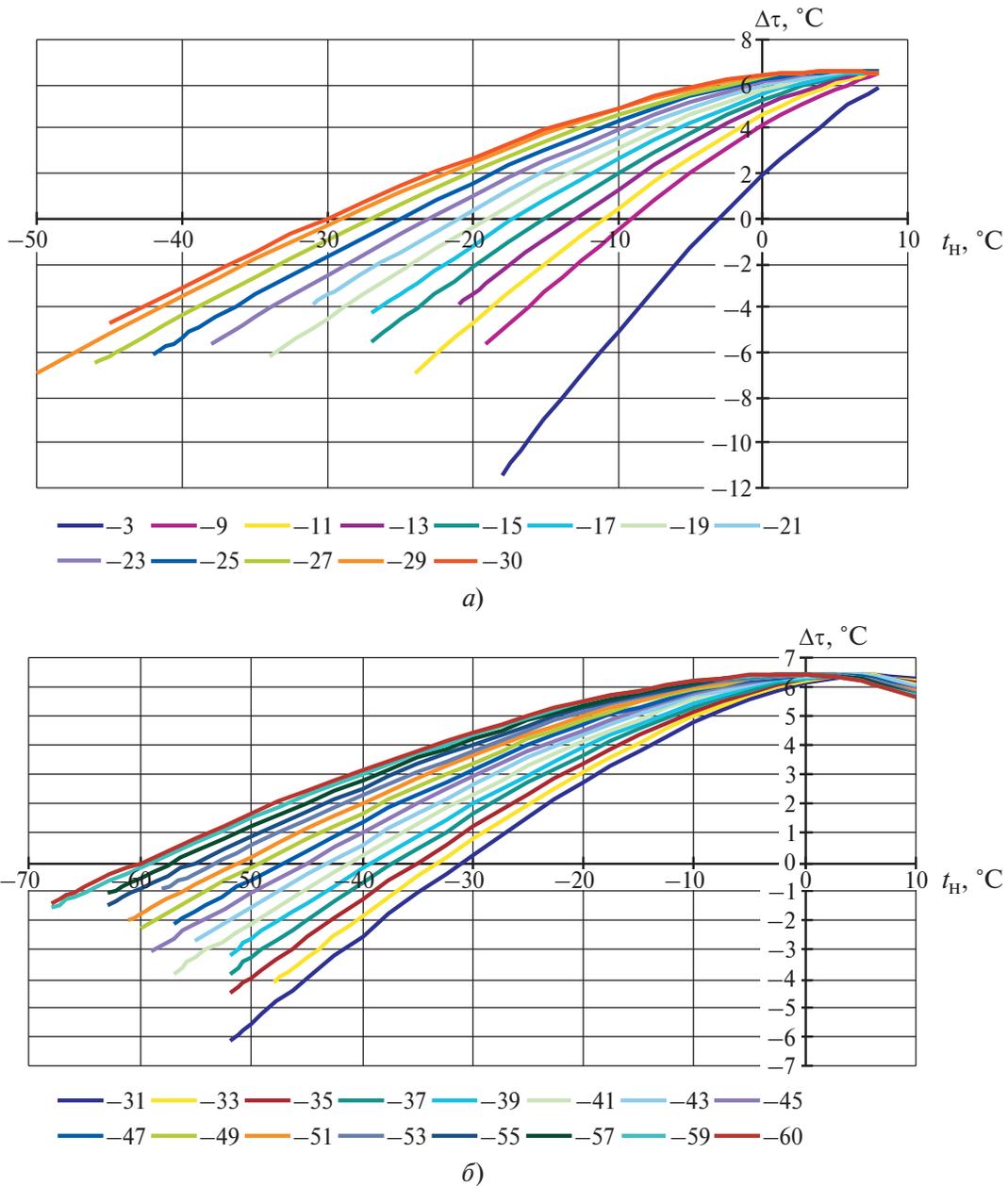


Рис. 2

указанных допущений при $t_b = 18\text{ }^\circ\text{C}$, $-30 \leq t_{н,о} \leq -3\text{ }^\circ\text{C}$ и соответствующих диапазонах температур, а на рис. 2, б — при $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $-60 \leq t_{н,о} \leq -31\text{ }^\circ\text{C}$. Из рис. 2, а следует, что максимальное значение ошибки может составить $11,5\text{ }^\circ\text{C}$, а преобладающее значение — $6,64\text{ }^\circ\text{C}$. На рис. 2, б показано, что при всех значениях $-60 \leq t_{н,о} \leq -31\text{ }^\circ\text{C}$ и $t_b = 20\text{ }^\circ\text{C}$ максимальное значение ошибки равно $6,425\text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, при проектировании отопительного графика разница $\Delta\tau$ может достигать $11,5\text{ }^\circ\text{C}$, что является существенным отклонением. Наибольшие значения разницы $\Delta\tau$ будут наблюдаться для $t_{н,о} = -3, -9,$

$-26, -28, -29\text{ }^\circ\text{C}$ при абсолютном минимуме наружных температур и составят соответственно $-11,515; -6,935; -6,661; -6,711; -6,911\text{ }^\circ\text{C}$. Тепловые сети на абсолютные минимумы возможных наружных температур не проектируются, да и вероятность стояния наружной температуры $-18\text{ }^\circ\text{C}$ в Сочи (расчетная для проектирования отопления составляет $-3\text{ }^\circ\text{C}$) ничтожно мала.

Для городов с расчетной температурой для проектирования отопления $-30 \leq t_{н,о} \leq -3\text{ }^\circ\text{C}$ реальным значением $\Delta\tau$ следует считать $6,64\text{ }^\circ\text{C}$. Однако подобные наибольшие разницы могут возникнуть в осенний и весенний периоды. Похожая ситуация характерна и для

городов со значениями $-60 \leq t_{н.о} \leq -31$ °С, где максимальная ошибка при проектировании может достигать 6,425 °С при $10 \leq t_{н} \leq -1,988$ °С. В системах теплоснабжения температура сетевой воды не опускается ниже 70 – 65 °С (точка излома), что исключает работу сети в режиме максимальной разности Δt . Например, для Воронежа при температурном графике 95/65 °С с температурой воды в точке излома $t_{и} = 65$ °С температура наружного воздуха $t_{н.и}$ составляет $-6,5$ °С. В этом случае разность $\Delta t = 4,995$ °С, т. е. в реальных условиях эксплуатации тепловых сетей возможная разность будет несколько меньше максимальной для данного города (6,64 °С). Максимальное значение разности Δt для городов России может составлять 6,64 °С.

Проведенные исследования позволили оценить возможную ошибку при расчете ото-

пительного температурного графика и оценить влияние на него показателя n современных отопительных приборов.

Список литературы

1. **Строй А. Ф., Скальский В. Л.** Расчет и проектирование тепловых сетей. — Киев: Будивельник, 1981.
2. **Китаев Д. Н., Шукина Т. В.** Современные отопительные приборы и система теплоснабжения. — Энергосбережение, 2012, № 6.
3. **СанПиН 2.1.2.1002–00.** Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. — М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001.
4. **СНиП 41-01–2003.** Отопление, вентиляция и кондиционирование / ГПКНИИ СантехНИИпроект. — М.: Госстрой России, 2004.
5. **СНиП 23-01–99*.** Строительная климатология. — М.: Госстрой России, 2003.

Dim.kit@rambler.ru.

