

УДК 628.8

А.Г. Воеводин
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДЯНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предлагается сравнительный технико-экономический анализ эффективности трех методов центрального регулирования водяных систем отопления – качественного, количественного и периодического. В качестве критериев сравнения рассматриваются значения нормативных технологических потерь за отопительный сезон, эксплуатационные затраты электрической энергии сетевыми насосами и капитальные (строительные) затраты. Для каждого варианта определяются годовые эксплуатационные и капитальные затраты в денежном выражении.

Ключевые слова: системы водяного отопления, методы центрального регулирования (качественный, количественный и периодический), нормативные значения технологических потерь при передаче тепловой энергии по сетям теплоснабжения, потребление электрической энергии сетевыми насосами, эксплуатационные и капитальные (строительные) затраты, сравнительный технико-экономический анализ, годовые затраты денежных средств.

В водяных системах отопления принципиально возможно использование трех следующих методов центрального регулирования (а также их комбинацию):

- качественный, заключающийся в регулировании отпуска тепловой энергии потребителям за счет изменения температуры теплоносителя (воды) на входе в тепловую сеть при сохранении постоянства его расхода в зависимости от температуры наружного воздуха [1];
- количественный, заключающийся в регулировании отпуска тепловой энергии путем изменения расхода теплоносителя при постоянстве его температур на входе и выходе в тепловую сеть [2];
- периодический, заключающийся в периодическом включении-выключении горелок котлов при постоянной подаче теплоносителя в сеть – включении на максимальную теплопроизводительность с температурой подаваемой в сеть воды 95 °С – при достижении температуры обратной воды 30 °С и выключении при достижении температуры обратной воды 70 °С [3].

Наиболее широкое применение в настоящее время находит первый метод. В данной статье приводится сравнительный анализ эффективности указанных трех методов на основании технико-экономических расчетов.

В качестве примера рассматривается двухтрубная сеть отопления наземной прокладки максимальной тепловой мощностью 1000 кВт (N), протяженностью 1000 м для климатического пояса города Нижнего Новгорода (расчетная температура минус 32 °С, среднесезонная температура наружного воздуха минус 4,4 °С, продолжительность отопительного периода 212 суток), теплоизоляция установлена после 2004 года.

Расчет технологических потерь при передаче тепловой энергии выполняется в соответствии с «Порядком определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя», утвержденный приказом Минэнерго России № 325 от 30 декабря 2008 года с изменениями, утвержденными приказом Минэнерго России № 377 от 10 августа 2012 года.

Рассмотрим первый (качественный) вариант метода регулирования.

Для принятой тепловой мощности и наиболее распространенного температурного графика подачи теплоносителя в сеть отопления 95-70 °С ($\Delta t = 25$ °С) определим значение требуемого расхода по формуле:

$$G = \frac{N}{c \Delta t} = 9,5 \text{ (кг/с)}, \quad (1)$$

где $c = 4,2$ кДж/(кг град) – удельная теплоемкость воды.

Принимая нормативное значение скорости (v) воды в трубопроводе равным 2 м/с и среднесезонную плотность жидкости (ρ) в 988 кг/м³, определим требуемый внутренний диаметр трубопровода (d) из выражения:

$$d = \left(\frac{4G}{\pi \rho v} \right)^{0,5} = 0,08 \text{ (м)}. \quad (2)$$

Расчет сезонных нормативных технологических потерь при передаче тепловой энергии, выполненный на основе вышеуказанного «Порядка» (в данной работе не приводится вследствие текстовых ограничений), показал значение $Q_T = 224$ Гкал/год. При принятой (средняя по городу) стоимости тепловой энергии в 2,5 тыс. руб./Гкал в денежном выражении данные потери составят 560 тыс. руб.

Мощность, затрачиваемую на привод сетевых насосов (N_n), определим по формуле

$$N_n = \frac{G \cdot H}{102 \eta} = 7,8 \text{ (кВт)}, \quad (3)$$

где $H = 50$ м вод.ст. – требуемый напор насоса, $\eta = 0,6$ – расчетное значение КПД.

При продолжительности отопительного периода в 5088 часов затраты электроэнергии составят $Q_3 = 39,7$ тыс. кВт·ч /год. При принятой (средняя по городу) стоимости электрической энергии в 3,5 тыс. руб./кВт·ч в денежном выражении данные потери составят 139 тыс. руб.

Таким образом, при качественном методе регулирования подачи теплоносителя в сеть имеем для принятых условий общие годовые эксплуатационные технологические затраты (тепловой и электрической энергии) в денежном выражении в размере 699 тыс. руб.

Определим величину капитальных (строительных) затрат.

Полученное значение диаметра трубопровода составило 0,080 м (Ду80). Вес 2000 м данных труб (прямая и обратная ветви теплотрассы) составляет 14,8 т, а стоимость составляет 858 тыс. руб. (нижегородский поставщик ООО «СталеПрокат-НН» (www.stprokat-nn.ru), цена оцинкованных труб Ду50... 80 составляет 58 тыс. руб./т).

Для теплоизоляции трубопроводов используем самоклеящиеся рулоны K-FlexST толщиной 25 мм (поставщик – московская фирма «Баустрой» (www.baustroy.ru), цена 1,26 тыс. руб./м²). Для теплоизоляции 2000 м труб Ду80 потребуется 560 м² материала общей стоимостью 630 тыс. руб.

Таким образом, стоимость материалов изолированного трубопровода (стоимостью арматуры и насосов пренебрегаем) первого варианта составит 1488 тыс. руб., а с учетом 30% затрат на строительные-монтажные работы ориентировочная величина строительных затрат составит 1935 тыс. руб.

Принимая срок службы теплотрассы в 25 лет имеем среднегодовые затраты в размере 77 тыс. руб., а общие (эксплуатационные и капитальные) годовые затраты составляют 776 тыс. руб.

Рассмотрим второй (количественный) вариант метода регулирования.

Для принятой тепловой мощности и предлагаемом (подробно преимущества и недостатки изложены в [2]) температурном графике (постоянном независимо от температуры наружного воздуха) подачи теплоносителя в сеть отопления 95-30°C ($\Delta t = 65^\circ\text{C}$) определим максимальное значение требуемого расхода по формуле (1) $G_{\max} = 3,7$ кг/с.

Принимая нормативное значение скорости (v) воды в трубопроводе равным 2 м/с и среднесезонную плотность жидкости (ρ) в 979 кг/м³, определим требуемый внутренний диаметр трубопровода (d) из выражения (2) $d = 0,05$ м.

Расчет сезонных нормативных технологических потерь при передаче тепловой энергии, выполненный на основе вышеуказанного «Порядка» (в данной работе не приводится вследствие текстовых ограничений), показал значение $Q_T = 202$ Гкал/год. При принятой (средняя по городу) стоимости тепловой энергии в 2,5 тыс. руб./Гкал в денежном выражении данные потери составят 505 тыс. руб.

Значение среднесезонного расхода теплоносителя (G_{cp}) определим из выражения:

$$G_{cp} = \frac{G_{max}}{A} = 1,8 \text{ (кг/с)}, \quad (4)$$

где $A = (95-70)/(58-46) = 2,1$ – отношение разностей температур прямой и обратной воды при максимальной и среднесезонной тепловой нагрузке для варианта качественного регулирования подачи теплоносителя в сеть отопления.

Значение среднесезонного сетевого напора теплоносителя примем равным аналогичным варианту качественного регулирования $H_{cp} = 50$ м вод.ст.

Мощность, затрачиваемую на привод сетевых насосов (N_n), определим по формуле:

$$N_n = \frac{G_{cp} \cdot H_{cp}}{102 \cdot \eta} = 1,5 \text{ (кВт)}, \quad (5)$$

где $\eta = 0,6$ – расчетное значение КПД (вследствие наличия частотно-регулируемого привода можно принять равным варианту качественного регулирования).

При продолжительности отопительного периода в 5088 часов затраты электроэнергии составят $Q_3 = 7,6$ тыс. кВт·ч /год. При принятой (средняя по городу) стоимости электрической энергии в 3,5 тыс. руб./кВт·ч в денежном выражении данные потери составят 27,0 тыс. руб.

Таким образом, при количественном методе регулирования подачи теплоносителя в сеть имеем для принятых условий общие годовые эксплуатационные технологические затраты (тепловой и электрической энергии) в денежном выражении в размере 532 тыс. руб. Определим величину капитальных затрат.

Полученное значение диаметра трубопровода составило 0,050 м (Ду50). Вес 2000 м данных труб составляет 9,4 т, а стоимость составляет 545 тыс. руб.

Для теплоизоляции трубопроводов используем самоклеящиеся рулоны K-FlexST толщиной 25 мм. Для теплоизоляции 2000 м труб Ду50 потребуется 360 м² материала общей стоимостью 454 тыс. руб.

Таким образом, стоимость материалов изолированного трубопровода (стоимостью арматуры и насосов пренебрегаем) второго варианта составит 999 тыс. руб., а с учетом 30 % затрат на строительные-монтажные работы ориентировочная величина строительных затрат составит 1298 тыс. руб.

Принимая срок службы теплотрассы в 25 лет имеем среднегодовые затраты в размере 52 тыс. руб., а общие (эксплуатационные и капитальные) годовые затраты составляют 584 тыс. руб. (на 25 % меньше, чем при качественном).

Рассмотрим третий (периодический) вариант метода регулирования. Для принятой тепловой мощности и предлагаемом (подробно преимущества и недостатки изложены в [2,3]) температурном графике (постоянной независимо от температуры наружного воздуха подаче теплоносителя в сеть отопления с температурой 95 °С с включением котлов на максимальную теплопроизводительность при достижении температуры обратной воды 30 °С и выключением при достижении температуры обратной воды 70 °С. При этом среднесезонный температурный график можно считать равным 95-50°С ($\Delta t = 45$ °С), так как обратную температуру можно определить как $(30+70)/2$.

Для указанных условий определим значение требуемого расхода по формуле (1) $G = 5,3$ кг/с. Принимая нормативное значение скорости (v) воды в трубопроводе равным 2 м/с и среднесезонную плотность жидкости (ρ) в 984 кг/м³, определим требуемый внутренний диаметр трубопровода(d) из выражения (2) $d = 0,065$ м.

Расчет сезонных нормативных технологических потерь при передаче тепловой энергии, выполненный на основе вышеуказанного «Порядка» (в данной работе не приводится вследствие текстовых ограничений), показал значение $Q_T = 264$ Гкал/год. При принятой (средняя по городу) стоимости тепловой энергии в 2,5 тыс. руб./Гкал в денежном выражении данные потери составят 660 тыс. руб.

Значение сетевого напора теплоносителя примем равным $H = 50$ м вод.ст. (аналогично варианту качественного регулирования).

Мощность, затрачиваемую на привод сетевых насосов (N_H), определим по формуле (3):

$$N_H = 4,3 \text{ кВт.}$$

При продолжительности отопительного периода в 5088 часов затраты электроэнергии составят $Q_э = 21,9$ тыс. кВт·ч /год. При принятой (средняя по городу) стоимости электрической энергии в 3,5 тыс. руб./кВт·ч в денежном выражении данные потери составят 77,0 тыс. руб.

Таким образом, при периодическом методе регулирования подачи теплоносителя в сеть имеем для принятых условий общие годовые эксплуатационные технологические затраты (тепловой и электрической энергии) в денежном выражении в размере 737,0 тыс. руб.

Определим величину капитальных затрат. Полученное значение диаметра трубопровода составило 0,065 м (Ду65). Вес 2000 м данных труб составляет 12,6 т, а стоимость составляет 713 тыс. руб.

Для теплоизоляции трубопроводов используем самоклеящиеся рулоны K-FlexST толщиной 25 мм. Для теплоизоляции 2000 м труб Ду65 потребуется 410 м² материала общей стоимостью 517 тыс. руб.

Таким образом, стоимость материалов изолированного трубопровода (стоимостью арматуры и насосов пренебрегаем) третьего варианта составит 1230 тыс. руб., а с учетом 30 % затрат на строительные-монтажные работы ориентировочная величина строительных затрат составит 1599 тыс. руб.

Принимая срок службы теплотрассы в 25 лет имеем среднегодовые затраты в размере 64 тыс. руб., а общие (эксплуатационные и капитальные) годовые затраты составляют 801 тыс. руб. (на 3 % больше, чем при качественном, и на 37 % больше, чем при количественном).

Из рассмотренных трех методов регулирования наиболее экономичным оказался количественный (в настоящее время частично применяется в переходные осенний и весенний периоды), затем идут качественный (нашедший наиболее широкое применение в настоящее время, но уступающий по экономическому критерию – годовым денежным эксплуатационным и капитальным затратам количественному на 25 %) и периодический (практически не используемый и уступающий количественному на 37 %).

Варианты подземной прокладки тепловых сетей, а также другие протяженности трубопроводов и передаваемых тепловых нагрузок в предлагаемой работе не рассматривались вследствие незначительного качественного влияния указанных параметров на экономическую эффективность передачи тепловой энергии и строительные затраты.

Количественное регулирование подачи теплоносителя считается технически сложным вследствие возможной разрегулировки гидравлической сети из-за переменного расхода в отдельных участках потребителей, но в настоящее время на рынке имеется достаточно много различных вариантов регуляторов гидравлических параметров (расхода, давления, разности давлений), позволяющих успешно справиться с указанной проблемой, хотя это и приводит к некоторому росту капитальных и эксплуатационных затрат.

Следует отметить, что внутри отдельных зданий количественное регулирование подачи тепловой энергии обычно осуществляется автоматизированными индивидуальными тепловыми пунктами с установленными погодными компенсаторами и радиаторными

терморегуляторами, по тепловым сетям – аналогичными центральными тепловыми пунктами, что позволяет существенно экономить тепловую и электрическую энергию.

Практическое апробирование предлагаемого наиболее экономичного метода количественного регулирования подачи теплоносителя в сеть отопления при постоянстве температур прямой и обратной воды в 95 и 30 °С автором не проводилось, поэтому весьма желательны отзывы специалистов, имеющих практический опыт эксплуатации водяных сетей с использованием данного способа регулирования.

Библиографический список

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов [Текст] / Е.Я. Соколов. – М.: Издат. дом МЭИ, 2006.
2. Воеводин, А.Г. Оптимизация системы теплоснабжения потребителей с индивидуальными регуляторами потребления [Текст] / А.Г. Воеводин, Н.А. Горинова // Промышленная энергетика. 2013. № 6.
3. Воеводин, А.Г. Сравнительный анализ эксплуатационной эффективности отопительных водогрейных котлов малой мощности с постоянно и периодически функционирующими горелками [Текст] / А.Г. Воеводин, Н.А. Горинова // Промышленная энергетика. 2014. № 9.
4. Воеводин, А.Г. Анализ расчетов нормативных значений технологических потерь при передаче тепловой энергии по сетям систем теплоснабжения потребителей с целью снижения эксплуатационных затрат [Текст] / А.Г. Воеводин // Транспортные системы. 2016. № 2. С. 31-40.