

АНАЛИЗ ТЕПЛОПТЕРЬ ДВУХТРУБНОГО ТЕПЛОПРОВОДА И ТЕПЛОСЕТИ В ЦЕЛОМ

Докт. техн. наук БАЙРАШЕВСКИЙ Б. А., канд. техн. наук, доц. СЕДНИН В. А.,
инж. АБРАЖЕВИЧ С. И.

Белорусская государственная политехническая академия

Двухтрубные теплопроводы, как правило, предназначены для разнотемпературных теплоносителей. Здесь сказывается взаимный теплообмен между трубопроводами, что значительно усложняет механизм теплообмена такого устройства с окружающей средой. В случае канальной прокладки влиянием теплообмена между двумя теплопроводами пренебрегаем [1] ввиду сравнительно большого термического сопротивления воздуха в камере. В случае бесканальной прокладки влияние этого теплообмена между двумя трубопроводами учитывается путем введения условного дополнительного сопротивления, вычисляемого по формуле [2]

$$R_b = (2\pi\lambda_{гр})^{-1} \ln[1+(2h/B)^2]^{0,5}, \quad (1)$$

где $\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта; h – глубина заложения оси трубопровода; B – расстояние между осями труб.

Таким образом, принципиальное отличие методик расчета двух- и однотрубного теплопроводов заключается в применении корректирующей формулы (1). Остальные расчетные зависимости, используемые в алгоритме для двухтрубного теплопровода, практически те же, что и для однотрубного [3].

Двухтрубные подземные теплопроводы применяются двух модификаций: в канальной и бесканальной прокладках. Преимущества одной модификации по сравнению с другой определяются рядом условий. Наряду с оценкой затрат сюда включаются показатели теплотерь, выраженные в виде абсолютных величин, или критериальных комплексов, позволяющих сравнивать между собой соответствующие устройства разных конструкций. Решение таких задач требует организации систематических расчетов на основании заранее разработанной математической модели механизма теплотерь в исследуемом устройстве. В процессе модельных исследований учитывается ряд объективных факторов (аргументов) и их влияния, которые могут быть изменены по мере отыскания оптимального варианта конструкции теплопровода.

Действующие СНиП 2.04.14–88 [4] регламентируют размеры теплоизоляции трубопроводов согласно установленным (нормативным) значениям теплотерь. Сведений, приведенных в данном документе, вполне достаточно для выполнения аналогичных альтернативных расчетов по отысканию дополнительных аргументов, удешевляющих конструкцию теплопровода с одновременным соблюдением установленных норм. Примером этому является общепризнанный факт разработки и внедрения предизолированных труб, в которых существенная роль отводится одному элементу конструкции – полиуретановому слою теплоизоляции с низким значением коэффициента теплопроводности. Следует ожидать, что модельные исследова-

дования режимов работы предизолированных труб откроют новые возможности снижения их себестоимости. Актуальность создания программного средства по исследованию конструктивных и теплофизических свойств элементов теплопровода не вызывает сомнений.

Положим, что исследуемый теплопровод состоит из двух изолированных труб, по которым в установленном режиме проходит «прямая» и «обратная» сетевая вода. Очевидно, что программное средство в данном случае должно освещать следующие вопросы:

теплофизические показатели обоих теплоносителей в начальном, промежуточном и конечном сечениях одного и более теплопроводов, образующих теплосеть в целом;

характер и скорость изменения исследуемых показателей по длине каждого теплопровода теплосети;

влияние конструктивных и теплофизических характеристик каждого элемента исследуемого теплопровода на формирование величины теплопотерь устройства в целом;

показатели, характеризующие эффективность каждого теплопровода и теплосети в целом; значения ряда технических показателей, которые следует рассматривать в качестве потенциальных исходных данных для выполнения последующего анализа и изучения проблем эффективности топливоиспользования.

Конструктивная схема двухтрубного теплопровода в бесканальной прокладке показана на рис. 1.

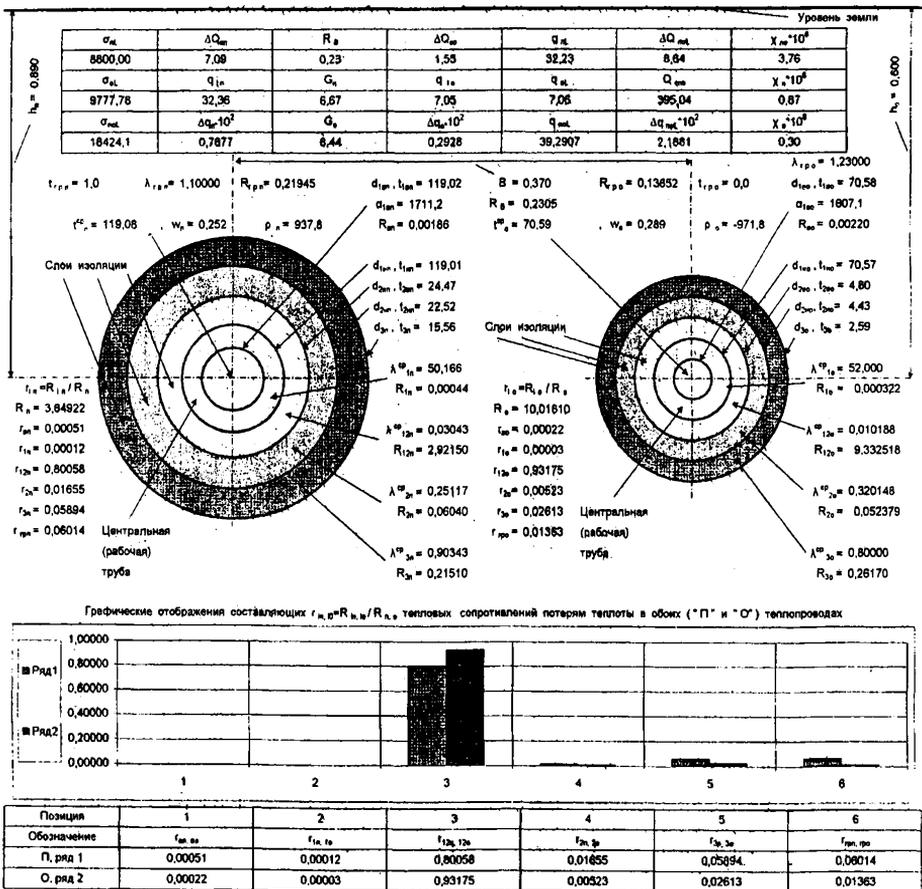


Рис. 1

Разветвленные сети, как правило, имеют разные размеры, которые можно характеризовать значениями их объемов V и поверхностей S . В связи с этим (при одинаковых технических характеристиках теплоизоляции и температурных режимах работы) сети разных размеров имеют также разные значения абсолютных $Q_n = q_i L$ и относительных $q_n = Q_n / Q_{cn}$ теплопотерь, т. е. разные геометрические характеристики, которые следует представлять в виде безразмерных критериев. В частности, для одиночной трубы плотность потока теплопотерь через ограждающие поверхности равна $q_s = Q_n / S$. Плотность потока тепловой энергии, поступающей в трубу, определяется аналогичной формулой $q_f = Q_{cn} / F$.

На основании анализа размерностей критерий эффективности теплоизоляции трубопровода длиной L выразим так [5]

$$\chi = (Q_n / S) / (Q_{cn} / F) = q_s / q_f = q_n / \sigma, \quad (2)$$

где $\sigma = S / F$ – геометрическая характеристика трубопровода.

Выражая сечение трубы F как функцию ее объема V и поверхности S , т. е. $F = 4\pi V^2 / S^2$, получаем общую формулу для расчета геометрической характеристики сети

$$\sigma = S / F = S^3 / (4\pi V^2), \quad (3)$$

где в случае одиночной трубы: $F = 0,25\pi d^2$; $S = \pi dL$; $V = 0,25\pi d^2 L$ и соответственно $\sigma = 4L/d$; в разветвленной сети с «прямыми» и «обратными» трубопроводами:

$$F = 0,25\pi(\sum d_{oi}^2 L_{oi} + \sum d_{oi}^2 L_{oi})^2 / (\sum d_{ni} L_{ni} + \sum d_{oi} L_{oi})^2; \quad (4)$$

$$S_{no} = \pi(\sum d_{ni} L_{ni} + \sum d_{oi} L_{oi}); \quad (5)$$

$$V_{no} = 0,25\pi(\sum d_{ni}^2 L_{ni} + \sum d_{oi}^2 L_{oi}) \quad (6)$$

и соответственно [6]

$$\sigma = 4(\sum d_{ni} L_{ni} + \sum d_{oi} L_{oi})^3 / (\sum d_{ni}^2 L_{ni} + \sum d_{oi}^2 L_{oi})^2. \quad (7)$$

При определении критерия эффективности теплосети χ по (2) наряду с показателем σ необходимо также строго регламентировать величину относительных теплопотерь $q_n = Q_n / Q_{cn}$. Здесь показатель Q_n строго определен $Q_n = q_i L$. Что касается теплового потока Q_{cn} , то в этом случае нет определенности. В одиночном теплопроводе значение Q_{cn} может рассматриваться в качестве любой категории, например в качестве тепловой энергии на входе или выходе из теплопровода, энергии, отдаваемой потребителю (с учетом неиспользованного ее возврата) и т. д. В случае двухтрубного теплопровода (с «прямым» и «обратным» потоками сетевой воды) значение Q_{cn} в ряде случаев принимается как разность между тепловыми потоками на входе в «прямой» трубопровод Q_{cn}^{BX} и «выходе» Q_{co}^{BXX} из «обратного» в том же сечении теплопровода $Q_{cn} = Q_{cn}^{BX} - Q_{co}^{BXX}$. Таким образом, вопросы оценки эффективности теплопотерь в сетях по их относительным значени-

ям q_n и предлагаемому критерию χ требуют специального рассмотрения с целью разработки нормативного регламента по их использованию.

В предлагаемом программном средстве значения упомянутых показателей вычисляются следующим образом:

абсолютные значения теплотерь в «прямом» и «обратном» трубопроводах как разности между тепловыми потоками на входе и выходе:

$$\Delta Q_{\text{сп}} = Q_{\text{сп}}^{\text{вх}} - Q_{\text{сп}}^{\text{вых}}; \quad \Delta Q_{\text{со}} = Q_{\text{со}}^{\text{вх}} - Q_{\text{со}}^{\text{вых}};$$

относительные значения теплотерь в обоих трубопроводах как отношения абсолютных к тепловым потокам на входе:

$$\Delta q_n \cdot 10^2 = 100 \Delta Q_{\text{сп}} / Q_{\text{сп}}^{\text{вх}}; \quad \Delta q_o \cdot 10^2 = 100 \Delta Q_{\text{со}} / Q_{\text{со}}^{\text{вх}};$$

относительные значения теплотерь в целом для участка теплопровода, состоящего из двух труб, по отношению к тепловому потоку, отданному потребителю с учетом теплотерь на участке теплопровода длиной $L_{\text{п,о}}$

$$\Delta q_{\text{пол}} \cdot 10^2 = 100 \Delta Q_{\text{пол}} / Q_{\text{спо}} = 100 (\Delta Q_{\text{сп}} + \Delta Q_{\text{со}}) / (Q_{\text{сп}}^{\text{вх}} + Q_{\text{сп}}^{\text{вых}});$$

плотности потоков теплотерь через ограждающие поверхности для обоих трубопроводов по формуле $q_s = Q_n / S$, т. е.:

$$q_{\text{пф}} = \Delta Q_{\text{сп}} \cdot 10^3 / \pi d_{1\text{вп}} L_n; \quad q_{\text{оф}} = \Delta Q_{\text{со}} 10^3 / \pi d_{1\text{во}} L_o;$$

средние значения потоков тепловой энергии на исследуемом участке теплопровода $L_{\text{п,о}}$ в обоих трубопроводах:

$$Q_{\text{спL}} = 0,5 (Q_{\text{сп}}^{\text{вх}} + Q_{\text{сп}}^{\text{вых}}); \quad Q_{\text{соL}} = 0,5 (Q_{\text{со}}^{\text{вх}} + Q_{\text{со}}^{\text{вых}});$$

плотности потоков тепловой энергии по сечениям обоих труб теплопровода, осредненные по его длине $L_{\text{п,о}}$ и определяемые по формуле $q_f = Q_{\text{сп}} / F$, т. е.:

$$q_{\text{спf}} = 4 Q_{\text{спL}} / \pi d_{1\text{вп}}^2; \quad q_{\text{соf}} = 4 Q_{\text{соL}} / \pi d_{1\text{во}}^2;$$

геометрическая характеристика теплосети (7)

$$\sigma_{\text{пол}} = 4 (\Sigma d_{1\text{вп}} L_n + \Sigma d_{1\text{во}} L_o)^3 / (\Sigma d_{1\text{вп}}^2 L_n + d_{1\text{во}}^2 L_o)^2,$$

где $d_{1\text{вп}}$ и $d_{1\text{во}}$ – внутренние диаметры «прямого» и «обратного» трубопроводов длиной L_n и L_o соответственно. Как правило, $L_n = L_o = L$, и в случае одиночного теплопровода на основании (7) имеем $\sigma_{\text{пL}} = 4 L_n / d_{1\text{вп}}$ и $\sigma_{\text{oL}} = 4 L_o / d_{1\text{во}}$;

критерии эффективности тепловой изоляции обоих трубопроводов вычисляются по (2) $\chi = q_s / q_f = q_n / \sigma$, т. е.:

$$\chi_n \cdot 10^6 = q_{\text{пф}} \cdot 10^6 / q_{\text{спф}} = 10^4 \Delta q_n \cdot 10^2 / \sigma_{\text{пL}};$$

$$\chi_o \cdot 10^6 = q_{of} \cdot 10^6 / q_{cof} = 10^4 \Delta q_o \cdot 10^2 / \sigma_{oL};$$

критерий эффективности тепловой изоляции теплопровода в целом

$$\chi_{mc} = 10^6 (q_{nf} + q_{of}) / (q_{cnf} + q_{cof}).$$

Показатели теплосети в целом основаны на обобщении и дальнейшей обработке результатов расчета всех теплопроводов, образующих теплосеть. Основные из этих показателей следующие:

отпуск теплоты в сеть находится на основании расходов и температур «прямой» и «обратной» сетевой воды в начальном участке теплопровода Т/ТП1, т. е.

$$Q_{mc} = Q_{cno1} = C(G_{n1} t_{n1}^{BX} - G_{o1} t_{o1}^{BX}) / 3600;$$

утечка теплоносителя в целом по всей сети определяется как разность между расходами воды на входе и выходе

$$\Delta G_{mc}^{YT} = G_{n1} - G_{o1};$$

абсолютная и относительная потеря теплоты с утечкой воды запишется:

$$\Delta Q_{mc}^{YT} = C \Delta G_{mc}^{YT} [0,5(t_{n1}^{BX} + t_{o1}^{BX}) - t_{доб}] / 3600;$$

$$q_{mc}^{YT} \cdot 10^2 = 100 \Delta Q_{mc}^{YT} / Q_{mc};$$

потеря теплоты через теплоизоляцию сетей вычисляется как сумма потерь каждого теплопровода, составляющего исследуемую теплосеть,

$$\sum \Delta Q_{noL}^{H3} = \sum \Delta Q_{noL};$$

относительная потеря теплоты в сети за счет теплоизоляции и в целом с учетом утечек находится по:

$$q_{mc}^{H3} \cdot 10^2 = 100 \sum \Delta Q_{noL}^{H3} / Q_{mc}; \quad q_{mc} \cdot 10^2 = 100 \sum \Delta Q_{mc} / Q_{mc},$$

где $\sum \Delta Q_{mc} = \Delta Q_{mc}^{YT} + \sum \Delta Q_{noL}^{H3}$ – абсолютное значение суммарных теплопотерь в сети; критерии технической эффективности теплосети в отношении ее плотности (утечек), теплоизоляции и режима ее работы в целом определяем в соответствии с:

$$\chi_{mc}^{YT} \cdot 10^6 = q_{mc}^{YT} \cdot 10^6 / \sigma_{mc}; \quad \chi_{mc}^{H3} \cdot 10^6 = q_{mc}^{H3} \cdot 10^6 / \sigma_{mc}; \quad \chi_{mc} \cdot 10^6 = q_{mc} \cdot 10^6 / \sigma_{mc},$$

где σ_{mc} – геометрическая характеристика теплосети, вычисляемая по формуле (7).

К недостаткам излагаемого метода расчета теплопотерь в сетях следует отнести отсутствие информации о массовых расходах теплоносителя $G_{n,o}^{YP}$ по разным ответвлениям теплопроводов. При проектировании новых сетей эта информация известна из гидравлического расчета. В случае выполнения анализа работающих сетей по предлагаемому методу эта информация

вычисляется ориентировочно на основании суммарных расходов воды в теплосети в целом. Специальные исследования, выполненные с помощью предлагаемого программного средства, показали, что изменения массовых расходов воды несущественно сказываются на значениях абсолютных теплотерь. При этом сильно изменяются лишь относительные ($q_{mc} \cdot 10^2$) значения теплотерь, а соответственно и показатели эффективности ($\chi_{mc} \cdot 10^6$) режима работы теплосети. В связи с этим предусмотрены два варианта ориентировочного вычисления расходов воды, необходимых для обеспечения программного средства полным комплектом исходных данных, по ответвлениям теплопроводов теплосети:

на основании опытных данных в расчете на последующие уточнения в процессе анализа полученных результатов;

на основании приближенного условия, что скорости воды во всех ответвлениях теплопровода ($i = 1 - n$) равны между собой, т. е. $w_{pi} = w_{pn}$. Тогда в любом i -м трубопроводе условно-расчетный расход «прямой» сетевой воды будет

$$G_{pi}^{yp} = G_{pn}(d_{1вп i} / d_{1вп n})^2;$$

на основании приближенного условия, что удельные падения давления (с учетом местных сопротивлений) и коэффициенты гидравлического трения на всех участках теплопровода примерно одинаковы. Тогда согласно уравнению д'Арси [2] можем записать, что

$$G_{pi}^{yp} = G_{pn}(d_{1вп i} / d_{1вп n})^2.$$

Обобщая эти результаты, в расчетах с достаточной точностью можно принимать, что в «прямых» трубопроводах

$$G_{pi}^{yp} = G_{pn}(d_{1вп i} / d_{1вп n})^k,$$

где $k = 2 - 2,5$.

Соответственно в «обратных» трубопроводах

$$G_{oi}^{yp} = G_{pi}^{yp} G_{oi} / G_{pn}.$$

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчета теплотерь в двухтрубных теплопроводах и образуемом ими комплексе теплосетей.

2. Показано, что оценка эффективности режимов работы теплосетей по величине относительных теплотерь (в % к отпуску теплоты) имеет неопределенный характер.

3. Предложены и разработаны основы методики оценки эффективности режимов работы теплосетей с разными геометрическими характеристиками.

4. Практическая ценность результатов анализа, получаемых с помощью предлагаемого к использованию программного средства, подтверждается расчетами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубин Е. П. Новый метод подсчета тепловых потерь нескольких труб, уложенных в грунт // Изв. ВТИ. – 1934. – № 8. – С. 42.
2. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – М., 1982. – С. 240–285.
3. Байрашевский Б. А., Седнин В. А., Абражевич С. И. Анализ тепловых потерь одиночного теплопровода // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 5. – С. 99–109.
4. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. СНиП 2.04.14–88. – М., 1989.
5. Байрашевский Б. А. Оценка эффективности работы теплосетей // Электрические станции. – 1988. – № 2. – С. 74–76.
6. Байрашевский Б. А. Анализ сравнительной эффективности работы теплосетей // Весці НАН Беларусі. – Сер. ФТН. – 1999. – № 2. – С. 130.

Представлена кафедрой
промышленной теплоэнергетики
и теплотехники

Поступила 19.09.2001

УДК 621.165

ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЭЦ

Канд. техн. наук, доц. ПАЩЕНКО А. В., инж. ПОПОВА Ю. Б.

Белорусская государственная политехническая академия

Данная работа посвящена рассмотрению некоторых случаев, встречающихся при решении задач оптимизации режимов работы ТЭЦ: распределению тепловых нагрузок при работе турбин по тепловому графику, в том числе при разных давлениях пара в производственных отборах.

При работе турбин по тепловому графику критерием оптимизации не может служить минимум расхода теплоты свежего пара, поскольку в этом случае конкретным значениям производственного и теплофикационного отборов соответствует некоторая электрическая мощность, определяемая минимальным пропуском пара в конденсатор [1]. По этой причине авторы используют критерий максимума экономии расхода теплоты на турбины против варианта отдельного производства электроэнергии [2]

$$\Delta Q_{\text{эк}} = Q_{\text{п}\Sigma} + Q_{\text{т}\Sigma} + N_{\Sigma} q_{\text{зам}} - Q_{\text{о}\Sigma}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{п}\Sigma}, Q_{\text{т}\Sigma}$ – суммарный отпуск теплоты из производственных и теплофикационных отборов турбин;

N_{Σ} – суммарная мощность турбоустановок;

$q_{\text{зам}}$ – удельный расход теплоты на выработку электроэнергии на замещающей КЭС (принимая в качестве замещающей Лукомльскую ГРЭС, $q_{\text{зам}} = 1,9$ Гкал/(МВт·ч), или 7,961 ГДж/(МВт·ч));

$Q_{\text{о}\Sigma}$ – суммарный расход теплоты свежего пара на параллельно работающие турбины.