

УДК 697.34

Соломин И.Н. – аспирант

E-mail: solill@yandex.ru

Даминов А.З. – кандидат технических наук

E-mail: daminov@list.ru

**Исследовательский центр проблем энергетики Казанского научного центра
Российской академии наук**

Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

Еремин С.А. – главный инженер

**Муниципальное унитарное предприятие «Производственное объединение
«Казэнерго»**

Адрес организации: 420022, Россия, г. Казань, ул. Г. Тукая, д. 162

Садьков Р.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Сафин И.А. – бакалавр

Фанзов А.И. – бакалавр

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Метод определения оптимальных диаметров участков тепловой сети*

Аннотация

В данной статье рассмотрен один из методов оптимизации системы централизованного теплоснабжения путем определения оптимальных значений диаметров участков тепловой сети. Данный метод основан на условии минимума эксплуатационных затрат в тепловой сети. Приведены математические и графические зависимости определения удельных затрат и оптимальных значений диаметров. Представлены результаты расчетов оптимальных значений диаметров участков тепловой сети действующей системы теплоснабжения г. Казани.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловая сеть, оптимизация, удельные затраты.

В современных условиях функционирования систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) в России, в частности в г. Казани, сложилась ситуация, при которой основные причины невозможности снижения цены (тарифа) на тепловую энергию в большей степени зависят от состояния и функционирования тепловых сетей. Это связано с высокой стоимостью прокладки теплотрассы, значительными тепловыми потерями вдоль трассы, низкой гидравлической устойчивостью, что приводит к высоким затратам на топливо и электроэнергию для выработки и транспорта тепловой энергии. Поэтому одним из направлений энергосбережения в системах централизованного теплоснабжения является совершенствование схем и параметров тепловых сетей. Исследование режимов работы таких тепловых сетей, являющихся связующим звеном между источниками и потребителями теплоты, обеспечивает принятие конкретных проектных и технологических решений, способствующих экономии тепловой и электрической энергии. Поэтому совершенствование методики выбора новых и повышение эффективности существующих тепловых сетей является актуальной задачей, решение которой позволит повысить качество и надежность работы СЦТ в целом, что соответствует одному из стратегических направлений развития России – модернизации энергетики и повышению энергоэффективности систем теплоснабжения.

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Соглашение № 14.В37.21.0296).

Жилой фонд городов в основном представлен типовыми многоэтажными зданиями (зданиями массовой застройки). Для отопления и горячего водоснабжения этих зданий наиболее часто используются централизованные системы теплоснабжения с расчетными температурами теплоносителя 150-70 °С, 130-70 °С, 115-70 °С, 95-70 °С. На практике данные температурные графики редко выполняются. Зачастую при низких температурах наружного воздуха потребителю подается теплоноситель с пониженной температурой. В современных системах теплоснабжения вместо расчетных температур теплоносителя 150 и 130 °С нагрев сетевой воды производится только до 130 °С и 115 °С соответственно. Данный факт называется «температурным срезом» (рис. 1).

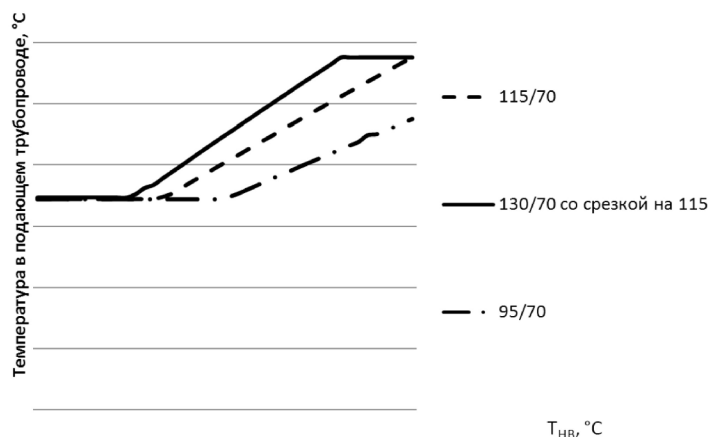


Рис. 1. Температурные графики систем теплоснабжения г. Казани

В силу разных стоимостных коэффициентов единиц тепловой энергии и электрической представляется возможным в целях энергосбережения регулирование тепловой нагрузки как качественным методом (температурный график), так и количественным (увеличением расходов при возможности снижения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе и постоянстве его температуры в обратном). Однако увеличение расхода теплоносителя на источнике повлечет за собой увеличение гидравлического перепада. Если же снижение температуры подачи не позволит выполнить условие увеличения расходов и перепадов, может возникнуть гидравлическая разрегулировка тепловой сети и присоединенных потребителей. Потребитель (в данном случае адекватно называть его температурным регулятором в ИТП) для обеспечения необходимой отопительной нагрузки помещения увеличит расход теплоносителя, «сажая» гидравлический перепад. Потребители, не имеющие регуляторов и находящиеся в тупиковых точках сети, ощутят при этом значительный «недотоп», т.к. им не «хватит» перепада.

Пока гидравлические параметры теплосети соответствуют оптимальному температурному графику, составляющими которого являются тепловая нагрузка, расход, давление и температура, проблем «недотопа» быть не может, и не важно, по какой температуре подачи работает источник (рис. 2).



Рис. 2. Схематичная система централизованного теплоснабжения

Максимальное значение температуры воды подающего трубопровода для теплосети определяется источником и определяет конфигурацию тепловой сети, капитальные вложения в строительство и эксплуатационные затраты. При этом потребитель должен гарантированно получать необходимое количество теплоты для нагрева внутреннего объема помещения до нормируемой температуры, независимо от температурного графика теплоисточника.

Из опыта эксплуатации действующим СЦТ г. Казани можно проследить так называемые явления перетопов и недотопов, которые характеризуются несоответствием величин потребляемой тепловой энергии теплопотребляющими установками их расчетным тепловым нагрузкам. Основными причинами этого дисбаланса являются не полностью адекватное потокораспределение по тепловой сети и несоответствие диаметров ее участков пропускной способности, что приводит к изменению расходов на участках и перепадов давлений в узлах. В итоге меняется величина тепловой нагрузки у потребителей, что приводит к снижению или повышению температуры теплоносителя на вводе к потребителю. Данные причины нарушают температурные графики работы теплоисточников и ведут к возникновению перетопов и недотопов потребителей. Для устранения недотопов (для обеспечения необходимой нагрузки) эксплуатирующие предприятия вынуждены увеличивать расходы теплоносителя на источниках или насосных станциях, с целью устранения их количественным методом. Однако перетопы в этом случае не исчезают, и часть невостребованной тепловой энергии, циркулирующей с теплоносителем в сети, теряется безвозвратно. Перетопы, в свою очередь, возможно было бы устранить с помощью дросселирования потоков, снижая расходы на участках тепловой сети, но оно не всегда и не везде применимо.

В идеале тепловая сеть обязана транспортировать и распределять тепловую энергию с наименьшими тепловыми потерями и обеспечивать необходимым количеством тепловой энергии потребителей. Однако при существующем состоянии сетей тепловые потери намного превышают нормируемые значения, что влечет значительное падение температуры теплоносителя вдоль теплотрассы. Причинами данных потерь могут являться низкая скорость течения теплоносителя и несоответствие пропускной способности расчетным расходам на участках тепловой сети. Также на потери оказывает влияние тепловая изоляция и ее состояние. Все эти параметры, от которых зависит качество теплоснабжения, имеют нормативные значения, которые, в свою очередь, сведены в таблицы и номограммы для простоты использования при проектировании новых теплотрасс. Но в процессе эксплуатации технические характеристики конструктивных и технологических элементов системы меняются и требуют проведения дополнительного анализа и расчетов. Результатом данного анализа является оптимизация системы теплоснабжения с учетом эксплуатационных изменений и развития системы теплоснабжения.

Как уже отмечалось, максимальная или расчетная температура теплоносителя определяет схему тепловой сети и ее параметры. К данным параметрам можно отнести диаметры участков трубопроводов, расходы теплоносителя на данных участках, его скорости и падения давлений. Оптимальное значение диаметров участков определяется на основании расчетов нагрузок потребителей и расходов на участках тепловой сети от потребителей до источника. Данный расчет проводится для определенного температурного графика и применяется в основном при проектировании вновь сооружаемых трубопроводов. При расчете действующих систем теплоснабжения расчетное балансовое соотношение распределяемой и потребляемой тепловой энергии и реальное далеко не всегда совпадают. Для анализа действующих систем теплоснабжения адекватно использовать методику оптимизации, основанную на удельных затратах в тепловой сети. Далее полученные результаты необходимо проверить на соответствие заданным условиям надежности теплоснабжения.

Не учитывая капитальные затраты на сооружение элементов теплотрассы, основными для расчетов в данном случае являются эксплуатационные, или затраты непосредственно какого-либо вида энергии для достижения качественного снабжения тепловой энергией. Капитальные же затраты можно использовать для конечного сравнения окупаемости тех или иных оптимизационных мероприятий. К эксплуатационным

(энергетическим) затратам относятся затраты на топливо, сжигание которого необходимо для нагрева теплоносителя до необходимой температуры, и на электроэнергию для перекачки его по системе трубопроводов. Математически они выражаются [1, 2]:

$$Z_{\text{год}} = \begin{cases} \frac{h}{\eta_{\text{сн}}} \sum_i^n A_{\text{п}} (l_i + l_{\text{экв}}) \frac{G_i^3}{d_i^{5,25}}; \\ h \sum_i^n q_{\text{д}} l_i \beta_i; \end{cases} \quad (1)$$

где h – число часов работы тепловой сети в год, ч; $\eta_{\text{сн}}$ – КПД сетевых насосов; G_i – расход теплоносителя на участке, $\text{м}^3/\text{ч}$; $A_{\text{п}}$ – коэффициент, зависящий от шероховатости участка трубопровода и плотности теплоносителя, $\text{м}^{3,25}/\text{кг}$; l_i – длина участка трубопровода, м; $l_{\text{экв}}$ – эквивалентная длина участка, м; d_i – диаметр участка, м; $q_{\text{д}}$ – плотность теплового потока через тепловую изоляцию, $\text{Вт}/\text{м}$; β_i – коэффициент, учитывающий тепловые потери запорной арматурой; n – число участков тепловой сети.

Величину энергии, затрачиваемой в тепловой сети, можно выразить с помощью удельного показателя, сложив два вида затрат и поделив на величину энергии, распределяемой в тепловой сети:

$$Z_{\text{уд}} = \frac{1}{9,81\rho c (t_{\text{под}} - t_{\text{об}})} \sum_i^n \left(\frac{A_{\text{п}} G_i^2 (l_i + l_{\text{экв}})}{\eta_{\text{сн}} d_i^{5,25}} + \frac{3600 q_{\text{д}} l_i \beta_i}{G_i} \right), \quad (2)$$

здесь ρ – плотность теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – теплоемкость воды, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $t_{\text{под}}$, $t_{\text{об}}$ – средняя температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе соответственно, $^{\circ}\text{C}$.

Для определения оптимального диаметра можно представить данное выражение как функцию переменной – значения величины диаметра:

$$Z_{\text{уд}} = f(d_i) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Продифференцировав выражение (2) по переменной d_i и приравняв нулю, получим уравнение для нахождения оптимального диаметра из условия минимума эксплуатационных затрат. Откуда можно получить расчетную зависимость:

$$d_{\text{опт}} = \sqrt[6,25]{\frac{5,25 A_{\text{п}} G^3 (l + l_{\text{экв}})}{3600 \eta_{\text{п}} \beta a}}, \quad (4)$$

Графическая зависимость удельных затрат на участках тепловой сети от величины диаметра при постоянном расходе на них изображена на рис. 3.

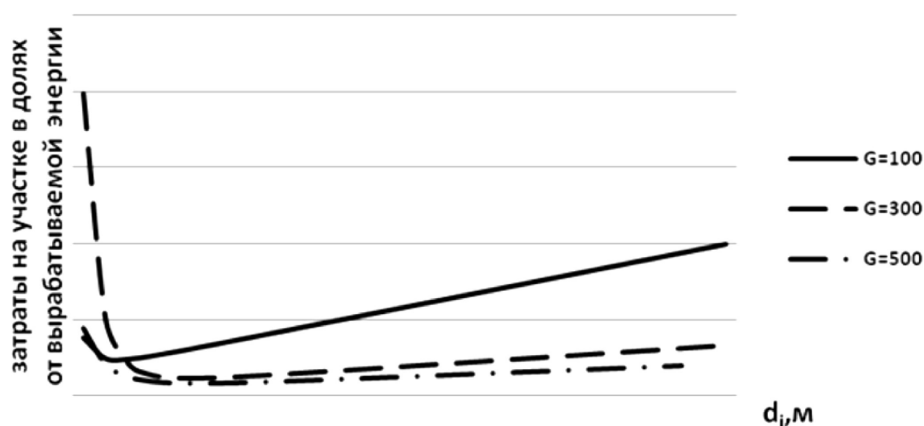


Рис. 3. Зависимость удельных затрат на участке от диаметра $d_i, \text{м}$ при расходе $G, \text{м}^3/\text{ч}$

Результаты расчетов оптимальных диаметров участков действующей системы теплоснабжения сведены в таблицу (табл.)

Таблица

Результаты расчетов оптимального диаметра участков действующей тепловой сети

Расход т/н	Коэффициент, зависящий от экв. шероховатости	Длина участка	Экв. длина участка	Тепловые потери для диаметра d_i	Оптимальный диаметр участка
G, м ³ /ч	$A_r, м^{0,25}$	l, м	$l_{экв}, м$	q, Вт/м	$d_i, м$
100	0,000025	100	13,68	47	250
300	0,000025	100	13,68	54	400
500	0,000025	100	13,68	63	500

Выводы:

1. Для заданного расхода на участке тепловой сети существует значение диаметра этого участка, при котором удельные затраты на нем минимальны.
2. Определение оптимальных значений диаметров тепловой сети является оптимизационным мероприятием, т.к. ведет к снижению удельных эксплуатационных затрат.

Список литературы

1. Чебаевский В.Ф., Накладов Н.Н. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / Учеб. пособие для вузов. – М.: Колос, 2000. – 376 с.
2. Хрилев Л.С., Смирнов И.А. Оптимизация систем теплофикации и централизованного теплоснабжения / Под ред. Е.Я. Соколова. – М.: Энергия, 1978. – 264 с.

Solomin I.N. – post-graduate student

E-mail: solil1@yandex.ru

Daminov A.Z. – candidate of technical science

E-mail: daminov@list.ru

Research center for power engineering problems Kazan scientific center Russian Academy of Sciences

The organization address: 420111, Russia, Kazan, Lobachevskiy st., 2/31

Eremin S.A. – chief engineer

Municipal Unitary Company Production Association «Kazenergo»

The organization address: 420022, Russia, Kazan, G. Tukaya st., 162

Sadykov R.A. – doctor of technical science, professor

E-mail: sadykov_r_a@mail.ru

Safin I.A. – bachelor

Faizov A.I. – bachelor

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

A method of determining the optimum diameter values of the heat supply network sections**Resume**

The enhancements in schemes and parameters of heat networks are one of the trends in energy saving for district heating systems. The study of operation modes of such heat networks, serving as a link between sources and consumers of heat, ensures the adoption of specific design and technological solutions which help to save both: heat and electric power. For a difference in cost factors for units of heat and electricity, for the purpose of energy saving it is possible to regulate thermal load using both: qualitative (heat curve) and quantitative (increasing costs with

the possibility of reducing the heat carrier temperature at the delivery conduit and keeping the temperature constant at the return conduit) methods. Maximum or design temperature of the heat carrier determines the heat network layout and parameters. These parameters include: diameters of the pipeline sections, the flow of the heat carrier within these areas, its speed and pressure drops. When designing new installations of heating networks the optimum diameters of the heat network sections are determined by calculations of consumer loads and loads on heat network sections (from consumers to the source). In the analysis of the existing heating systems it's reasonable to use optimization techniques based on unit costs for the heat network. To determine the optimum diameter, the expression of specific costs is presented as a function of the variable, i.e. diameter value. Diameter optimum value is obtained on the condition that the derivative of the function is equal to zero.

Keywords: heat supply system, heating network, optimization, cost per unit.

References

1. Chebaevskiy V.F., Nakladov N.N. Design of pumping stations and testing the pumping units / Studies. The grant for high schools. – M.: Kolos, 2000. – 376 p.
2. Hrilev L.S., Smirnov I.A., Optimization of district heating and centralized heat supply systems / Edited by E.Y. Sokolov. – M.: Energy, 1978. – 264 p.