



DOI: 10.18721/JEST.230207

УДК 697.34

С.В. Чичерин

Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Российская Федерация

НАДЕЖНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДНТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Задача одновременного повышения надежности и энергоэффективности теплоснабжения может быть решена снижением среднегодовой температуры теплоносителя и использованием нескольких источников, для чего предлагается внедрение систем средне- и низкотемпературного теплоснабжения. Актуальной является и смежная задача вовлечения возобновляемых источников энергии и эффективных традиционных источников для совместной выработки тепловой и электрической энергии. Эффективный инструмент сравнения результатов конструкторского расчета — вычисление эквивалентного диаметра трубопроводов системы теплоснабжения. Чтобы упростить определение расчетных и нормативных тепловых потерь, предлагается исследовать объект с помощью математических моделей потокораспределения, реализованных в соответствующих геоинформационных системах и программно-расчетных комплексах (например, ПРК ZuluThermo ГИС Zulu). Приведен алгоритм, опробованный на типичной для России системе централизованного теплоснабжения от котельных, находящихся на железнодорожной станции Барабинск (Новосибирская область). Предложена концепция внедрения систем среднетемпературного теплоснабжения и способ использования существующих инструментов для обоснования ее внедрения. Создана методика, позволяющая оперативно сравнивать обобщенные технико-экономические показатели различных вариантов реконструкции подобных объектов, не переходя к частным, чисто экономическим характеристикам и денежным показателям. Для среднетемпературных систем отмечено снижение расчетных тепловых потерь на величину порядка 5 % относительно температурного графика 120/70, а также меньшие (относительно низкотемпературных систем) эксплуатационные и капитальные затраты, что заставляет сделать выбор в пользу первых. При этом необходимо рассматривать внедрение низкотемпературного теплоснабжения как меру на далекую перспективу, т. к. в социально-экономическом плане это даст возможность подключать к имеющимся системам централизованного теплоснабжения индивидуальные возобновляемые источники энергии и потребителей, высокоэффективно использующих тепловую мощность.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ; ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ; ТЕМПЕРАТУРА; ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ; КОНСТРУКТОРСКИЙ РАСЧЕТ; ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ДИАМЕТР.

Ссылка при цитировании:

С.В. Чичерин. Надежность и эффективность среднетемпературного теплоснабжения // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 23. № 2. С. 75–80. DOI: 10.18721/JEST.230207

S.V. Chicherin

Omsk state transport university, Omsk, Russian Federation

THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF MEDIUM-TEMPERATURE DISTRICT HEATING

The goal of this paper is to provide a scenario and a methodology that focuses on solutions for optimal network design to enable failure-free operation. If both reliability and energy-efficiency are the focus targets, low operating temperatures are desirable in a district heating system, from standpoint of the distribution network and the heat source. The equivalent diameter of the network using the medium pipe diameter, its length, and the total network length was defined. For simplification, we propose to determine

the calculated and the standard heat losses by modeling the object of research using mathematical flow distribution models implemented in the corresponding geoinformation systems and software simulation package complexes (for example, Zulu). An urban area of the town of Barabinsk was designated as a test site; the area represented the attributes of many communities across Russia. We have proposed a concept for introducing medium-temperature district heating systems and a method of using existing tools to justify its implementation. The procedure we have developed allows to quickly compare the generalized technical and economic indicators of various reconstruction options for such facilities without resorting to purely economic characteristics and monetary indicators. We aimed at organizing the successive steps of a typical feasibility study, pointing out the critical issues and discussing the possible solutions. We applied the methodology to a specific case study, but it can be applied elsewhere, after making sure that the economic and technical input data match the actual conditions of the site considered. Medium-temperature district heating had a better energy performance than high-temperature district heating, decreasing the heat loss by approximately 5%. The sizes of the pipes size equivalent and the only difference was the necessity of using steel pipes. The low-temperature networks required more energy and additional capital investment. At the same time, the introduction of low-temperature heating should be considered as a long-term measure, since from a socio-economic standpoint this will allow to connect individual renewable energy sources and consumers using heat power with a high efficiency to the existing heat networks.

DISTRICT HEATING; DISTRIBUTION NETWORK; LOW-TEMPERATURE; RELIABILITY; ENERGY-EFFICIENCY; LOW OPERATING TEMPERATURES; HEAT SOURCE; RENEWABLE ENERGY; LOW-ENERGY BUILDINGS; EQUIVALENT DIAMETER.

Citation:

S.V. Chicherin, The reliability and efficiency of medium-temperature district heating, *cSt. Petersburg polytechnic university journal of engineering sciences and technology*, 23 (02) (2017) 75–80, DOI: 10.18721/JEST.230207

Введение

Предлагаемым способом повышения надежности теплоснабжения является внедрение средне- и низкотемпературных систем [1] с применением температурного графика центрального качественного регулирования без нижнего излома со сниженной расчетной температурой в подающем и обратном трубопроводах. Повышение надежности достигается перспективой использования нескольких источников [2], в частности возобновляемых [3]. Это позволит добиться их взаимного резервирования и снижения среднегодовой температуры теплоносителя, что затормозит коррозию металлических изделий.

Однако в условиях сложившейся рыночной экономики качественная характеристика увеличения безотказной работы не всегда служит достаточным стимулом для инициации технического перевооружения имеющихся мощностей. Более того, увеличения надежности можно добиться и другими средствами [4, 5]. По этой причине предлагается обоснование проекта перевооружения дополнять количественным анализом величины снижения тепловых потерь при сохранении других важных характеристик. Ими явля-

ются: эксплуатационные затраты, напрямую определяемые затратами электроэнергии на перекачку теплоносителя, и капитальные затраты, связанные со стоимостью прокладки теплопроводов. Обе составляющие значительно коррелируют с диаметром трубопроводной системы.

С одной стороны, судя по публикациям отечественных исследователей видна их заинтересованность в улучшении экономичности только путем увеличения расчетных температур [6–8]. С другой стороны, концепция среднетемпературного теплоснабжения получила некоторое развитие в работах европейских авторов [3, 9], однако ее применение с учетом российской специфики, в том числе обусловленной климатическим фактором, является безусловной новацией.

Методы

Для упрощения дальнейших расчетов предлагается моделировать объект исследования с помощью математических моделей потокораспределения, реализованных в соответствующих геоинформационных системах и программно-расчетных комплексах (например, ПРК ZuluThermo ГИС Zulu) для двухлинейной расчетной схемы системы.

Вторым этапом исследования должен стать конструкторский расчет, целью которого является определение диаметров трубопроводов тепловых сетей различной конфигурации, необходимых для качественного обеспечения тепловой энергией потребителей при заданных гидравлических параметрах (напор на источнике, сопротивление систем отопления, наличие местных сопротивлений и т. д.). В результате расчета определяются диаметры трубопроводов, располагаемый напор в точке подключения, расходы, потери напора и скорости движения воды на участках сети. При известном напоре в точке подключения рассчитываемой тепловой сети его можно задать вручную. Подбор диаметров может осуществляться либо по оптимальной скорости движения воды, либо по удельным линейным потерям напора по длине трубопровода. В зависимости от исходных данных расчет можно провести как по расходам теплоносителя абонентов, так и по тепловым нагрузкам потребителей. В последнем случае необходимо задать температурный график тепловой сети, а также начальную и конечную температуры воды в контуре горячего водоснабжения (ГВС).

Удобным инструментом сравнения результатов конструкторского расчета должно стать вычисление эквивалентного диаметра $D_{\text{экв}}$, мм, трубопроводов системы теплоснабжения:

$$D_{\text{экв}} = \frac{\sum d_i L_i}{L_{\text{общ}}},$$

где d_i — диаметр i -го участка тепловой сети, мм; L_i — его длина, м; $L_{\text{общ}}$ — общая длина тепловой сети, м.

Цель следующего этапа исследования — определение расчетных и нормативных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов в течение года. Тепловые потери определяются суммарно за год с разбивкой по каждому месяцу с учетом работы трубопроводов тепловой сети в различные периоды (летний, зимний). Вдобавок расчет может быть выполнен с учетом поправочных коэффициентов на нормы тепловых потерь и состояния изоляционных конструкций. Необходимо подчеркнуть, что результаты расчета могут быть представлены следующим образом: суммарно по всей тепловой сети; по каждому отдельно взятому источнику тепловой

энергии и каждому центральному тепловому пункту (ЦТП); по различным владельцам (балансодержателям) участков тепловой сети.

Для определения тепловых потерь от водяных тепловых сетей важно использовать адекватные значения характеристик окружающей среды. К таким характеристикам относятся следующие температуры:

- среднегодовая температура грунта;
- среднегодовая температура наружного воздуха;
- среднегодовая температура воздуха в подвалах;
- расчетная температура наружного воздуха.

В рамках завершающего этапа при сравнении различных температурных графиков можно выделить и учитывать три важных момента:

- 1) с ростом начальной температуры воды снижается расход циркулирующей воды в сети;
- 2) применение теплоносителя с повышенными параметрами позволяет несколько уменьшить расчетные диаметры трубопроводов;
- 3) с повышением температуры теплоносителя необходимо повышать давление при его транспортировании для предотвращения вскипания горячей воды и парообразования.

Поскольку первые два фактора несколько нивелируют приведенные выше преимущества низкотемпературного теплоснабжения, выбор температурного графика становится задачей технико-экономической оптимизации. Для решения задачи и получения количественных характеристик предложена последовательность шагов, реализованная далее на примере конкретного объекта.

В качестве иллюстрации приведенный алгоритм был опробован на системе централизованного теплоснабжения от котельных железнодорожной станции г. Барабинска (Новосибирская область) [10]. К системе подключено 78 тепловых узлов. Их теплоснабжение осуществляется от котельной больничного комплекса, котельных ШЧ-5 и ТЧ-3. Планируется подключение четырех потребителей, относящихся к новому локомотивному депо. Централизованное теплоснабжение представляет собой значительно изношенную систему, состоящую преимущественно из теплопроводов подземной прокладки. Имеют место частые прорывы, приводящие к ограничению теплоснабжения потребителей. Согласно заданию ОАО «РЖД» на проектирование

от 17.05.2012 предполагается полная реконструкция объекта с заменой существующих источников одним, более экономичным, и перекладкой трубопроводов. На текущий момент утвержденной рабочей документации нет.

Результаты исследований

Для системы централизованного теплоснабжения от котельных, находящихся на железнодорожной станции г. Барабинск, автор предложил использовать современные предизолированные конструкции с несущей металлической трубой и/или элементы из сшитого полиэтилена, прокладка которых производится по возможности в границах существующей трассы тепловых сетей [11].

С целью использования элементов из сшитого полиэтилена существующий (стандартный) ряд диаметров металлических трубопроводов был дополнен рядом диаметров для трубопроводов из полимерных труб. Удельные линейные потери напора на условных магистралях данного объекта приняты равными 80 Па/м (8 мм/м), а на ответвлениях — 250–300 Па/м (25–30 мм/м). Эквивалентная шероховатость k_s внутренней поверхности стальных труб водяных тепловых сетей принята равной 0,0005 м. Теплоизоляционный материал металлических и полимерных трубопроводов — пенополиуретановая пена, толщина слоя принята согласно данным производителей.

Исследование, проведенное в соответствии с изложенными выше этапами и сведениями об основных характеристиках гидравлического и теплового расчетов, позволило получить следующие конечные результаты (см. таблицу).

В расчете участвовали значения температур, соответствующие имеющимся представлениям

о низкотемпературной, среднетемпературной и высокотемпературной системах [12].

Обсуждение результатов

Капитальные и эксплуатационные затраты, определяемые диаметром трубопроводов, для среднетемпературной и высокотемпературной систем сравнимы. Однако невозможность использования трубопроводов из сшитого полиэтилена при температурном графике 120/70 не позволяет кардинально повысить надежность и срок службы системы, что связано с коррозионной стойкостью металлических элементов.

Сравнение расчетных тепловых потерь со значением общей присоединенной тепловой нагрузки показало, что их доля не превышает 10 % (в случае применения температурного графика 120/70) и снижается до значений 2,51 и 4,96 % соответственно для низко- и среднетемпературных систем. Наблюдаемое снижение тепловых потерь заставляет сделать выбор в пользу среднетемпературной или низкотемпературной системы. Однако в них будет иметь место повышение эксплуатационных затрат из-за увеличения расхода электроэнергии на перекачку теплоносителя, особенно — капитальных затрат в случае применения низкотемпературной системы.

Следует еще раз отметить: внедрение низкотемпературного теплоснабжения необходимо рассматривать как меру на далекую перспективу. В социально-экономическом плане важно, что это позволит подключить к имеющимся системам централизованного теплоснабжения индивидуальные возобновляемые источники энергии и потребителей, высокоэффективно использующих тепловую мощность.

Влияние применения различных температурных графиков в новой системе централизованного теплоснабжения железнодорожной станции г. Барабинск

The effect of the operational temperatures on the network design in the Barabinsk area

Температурный график (расчетная температура в подающем/обратном трубопроводах)	Эквивалентный диаметр $D_{э}$, мм	Тепловые потери, МВт
120/70	176,2	2,614
90/40	198,9	1,300
60/30	261,1	0,654

Заключение

Предложенная методика позволяет оперативно сравнивать обобщенные технико-экономические показатели различных вариантов реконструкции подобных объектов, не переходя к частным, чисто экономическим характеристикам и денежным показателям. Задача поиска оптимального решения путем перебора всех возможных, часто не реализуемых на практике, вариантов не является самоцелью, как в других исследованиях [13].

Рассмотрение системы централизованного теплоснабжения железнодорожной станции г. Барабинск (Новосибирская область) показало, что

капитальные и эксплуатационные затраты, определяемые диаметром трубопровода, для системы среднетемпературного теплоснабжения сравнимы с аналогичными показателями для высокотемпературного при большей надежности первой.

Снижение расчетных тепловых потерь для среднетемпературной системы (около 5 % относительно температурного графика 120/70) и меньшие эксплуатационные и капитальные затраты относительно низкотемпературной системы заставляют сделать выбор в пользу первой. Показано, почему внедрение низкотемпературного теплоснабжения необходимо рассматривать как меру на далекую перспективу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Olsen P.K., Lambertsen H., Hummelshøj R., Bøhm B., Christiansen C.H., Svendsen S. [et al.]. A new-low-temperature district heating system for low-energy buildings // 11th International symposium on district heating and cooling. Reykjavik, 2008.
2. Назаров В.И., Тарасевич Л.А., Буров А.Л. Децентрализованное теплоснабжение альтернатива централизованному // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2012. № 3. С. 81–90.
3. Lund H. Renewable energy strategies for sustainable development // Energy. 2007. 32(6):912e9.
4. Чичерин С.В. Новая методика определения степени коррозионного поражения элементов систем трубопроводного транспорта // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 12. С. 110–115
5. Чичерин С.В. Повышение надежности и сокращение тепловых потерь путем устройства продольного дренажа на магистральных тепловых сетях города Омска. // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. 2016. № 4. С. 61–66
6. Гавей О.Ф., Панферов В.И. Оценка влияния температуры теплоносителя на тепловые потери теплопроводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № . 38 (297). С. 50–54.
7. Шнайдер Д.А., Абдуллин В.В., Басалаев А.А. Подход к оперативному анализу эффективности теплоснабжения зданий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2011. № . 2 (219). С. 70–73.
8. Батухтин А.Г., Кобылкин М.В., Барановская М.Г. Применение тепловых насосов для развития теплофикации // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № . 1(). С. 28–36.
9. Dalla Rosa A., Li H., Svendsen S. Method for optimal design of pipes for low energy district heating, with focus on heat loss // Energy. 2011. 36(5):2407e18.
10. Глухов С.В., Коваленко А.В., Чичерин С.В. Развитие систем теплоснабжения структурных подразделений ОАО «РЖД» // Вестник ВНИИЖТ. 2016. № . 3. С. 183–188.
11. Чичерин С.В. Современные способы уплотнения стыковых швов в плитах перекрытий каналов тепловых сетей // МОНИТОРИНГ. Наука и технологии. 2016. № . 3 (28). С. 100–101.
12. Phetteplace G. [et al.]. District Heating Guide. Atlanta, ASHRAE, 2013. 374 p.
13. Optimisation of operating temperatures and an appraisal of the benefits of low temperature district heating // IEA-DHC. Annex V. 1999. [Available at:] www.iea-dhc.org. Accessed 4 November. 2016.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЧИЧЕРИН Станислав Викторович — аспирант Омского государственного университета путей сообщения. 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35. E-mail: man_csv@hotmail.com

REFERENCES

1. **Olsen P.K., Lambertsen H., Hummelshøj R., Bøhm B., Christiansen C.H., Svendsen S. [et al.]**. A new-low-temperature district heating system for low-energy buildings. 11th International symposium on district heating and cooling. Reykjavik, 2008.
2. **Nazarov V.I., Tarasevich L.A., Burov A.L.** Detsentralizovannoye teplosnabzheniye alternativa tsentralizovannomu. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh obyedineniy SNG. Energetika*. 2012. № 3. S. 81–90. (rus.)
3. **Lund H.** Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*. 2007. 32(6):912e9.
4. **Chicherin S.V.** New approach to determination of corrosion damage degree of pipeline system elements. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2016. Vol. 327. 12. S. 110–115. (rus.)
5. **Chicherin S.V.** The Reliability Improvement and Reducing Heat Losses by Forming the Groundwater Drainage System of Omsk Heat Transmission Mains. *University News North-Caucasian Region. Technical Sciences Series*. 2016. № 4. S. 61–66. (rus.)
6. **Gavey O.F., Panferov V.I.** Estimation of temperature influence of heat carrier on energy loss inside thermal conductors. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction engineering and architecture*. 2012. № 38(297). S. 50–54. (rus.)
7. **Shnayder D.A., Abdullin V.V., Basalayev A.A.** Approach to operations analysis of buildings heat supply. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, automatic control, radio electronics*. 2011. № 2(219). S. 70–73. (rus.)
8. **Batukhtin A.G., Kobylkin M.V., Baranovskaia M.G.** Application of heat pumps as the direction of the development of district heating cogeneration. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU*. 2016. № 1. S. 28–36. (rus.)
9. **Dalla Rosa A., Li H., Svendsen S.** Method for optimal design of pipes for low energy district heating, with focus on heat loss. *Energy*. 2011. 36(5):2407e18.
10. **Glukhov S.V., Kovalenko A.V., Chicherin S.V.** Razvitiye sistem teplosnabzheniya strukturnykh podrazdeleniy OAO «RZhD» [Development of heat supply systems for structural subdivisions of JSC «Russian Railways»]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*. 2016. Vol. 75. № 3, P. 183–188. (rus.)
11. **Chicherin S.** The modern means to seal joints between trench tops of heat distribution systems. *Monitoring. Science and Technology*, 2016. Vol. 28. № 3, P. 100–101. (rus.)
12. **Phetteplace G. [et al.]**. District Heating Guide. Atlanta, ASHRAE, 2013. 374 p.
13. Optimisation of operating temperatures and an appraisal of the benefits of low temperature district heating. *IEA-DHC. Annex V*. 1999. [Available at: www.iea-dhc.org. Accessed 4 November 2016].

AUTHORS

CHICHERIN Stanislav V. — Omsk state transport university. 35, Karla Marksa St., Omsk, 644046, Russia.
E-mail: man_csv@hotmail.com

Дата поступления статьи в редакцию: 21.11.2016.