

УДК 697.341

Разработка методики оценки эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов

М.Р. Рачков, В.М. Мельников
ФГБОУВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Российская Федерация
E-mail: rachkovmax@mail.ru, vmmross@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время оценка эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения вызывает определенные трудности. Предпосылками для создания данной методики являются отсутствие в нашей стране единой общепризнанной и нормативно закреплённой методики оценки эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения и необходимость введения параметра, точно характеризующего эффективность рассматриваемой системы.

Материалы и методы: Используются практические результаты, полученные при разработке и актуализации Схем теплоснабжения некоторых муниципальных образований Владимирской области. Для создания математической модели системы теплоснабжения и нахождения правильных функциональных зависимостей между параметрами, описывающими систему теплоснабжения, использован метод нечетких множеств. Численное моделирование процесса эксплуатации системы теплоснабжения реализовано в программном комплексе Matlab. Техническая и научная новизна предлагаемой методики заключается во введении таких параметров, как уровень автоматизации и диспетчеризации и коэффициент эффективности эксплуатации системы теплоснабжения.

Результаты: Предложена методика оценки эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов, суть которой заключается в определении основных практически важных параметров систем централизованного теплоснабжения и последующем расчете коэффициента эффективности на основе полученных значений.

Выводы: На основании результатов оценки, проведенной с помощью предлагаемой методики, могут быть определены основные проблемные места системы централизованного теплоснабжения, а также сформулированы мероприятия, направленные на повышение эффективности ее эксплуатации. В настоящее время данная методика проходит апробацию на существующих системах теплоснабжения и может быть актуальна как для теплоснабжающих и эксплуатирующих организаций, так и для органов местного самоуправления, администраций муниципальных образований и населенных пунктов, на территории которых находятся системы централизованного теплоснабжения.

Ключевые слова: система централизованного теплоснабжения, эффективность эксплуатации, источник теплоснабжения, тепловая сеть, потребитель тепловой энергии.

Development of the method of operational efficiency assessment for centralized heat supply systems in small towns

M.R. Rachkov, V.M. Melnikov
Vladimir State University, Vladimir, Russian Federation
E-mail: rachkovmax@mail.ru, vmmross@mail.ru

Abstract

Background: There are some problems in assessment of operational efficiency of centralized heat supply systems. A prerequisite for the creation of this method of assessment is that there is no unified commonly recognized method of centralized heat supply system efficiency assessment, which makes it necessary to introduce a new parameter that can accurately assess the efficiency of such systems.

Materials and methods: We used practical results obtained in the process of developing and updating heat supply schemes of several municipalities of Vladimir region. We applied the method of fuzzy sets to develop the mathematical model of heat power supply to find the correct functional dependences between the parameters that describe heat supply systems. The numerical simulation was made in the software complex Matlab. The technical and scientific novelty of the proposed method consists in introduction of several parameters such as the level of automation and dispatching and the coefficient of heat supply system efficiency.

Results: A method has been proposed for the assessment of operational efficiency of centralized heat supply systems in small towns. This method allows determining the main and important parameters of centralized heat supply systems and calculating the efficiency based on the obtained values.

Conclusions: Based on the results of evaluating the proposed method, we can formulate the main problems of centralized heat supply systems and measures that can help improve their efficiency. The developed method is currently being tested on the existing heat supply systems and can be used by both the heat supply and operating organizations, government authorities of the municipalities and small towns.

Key words: centralized heat supply system, operational efficiency, heat supply source, heat supply network, heat consumer.

DOI: 10.17588/2072-2672.2017.4.013-020

Введение. Вопрос повышения энергетической эффективности различных отраслей народного хозяйства в последние годы становится все более актуальным. Это касается и области централизованного теплоснабжения и связано не только с принятием и введением Федеральных законов¹ и актуализацией имеющихся инженерно-строительных нормативов², но и с изменяющейся экономической ситуацией и повышением стоимости энергетических ресурсов. Увеличение доступа к информации о новых энергоэффективных решениях, применяемых в строительстве и эксплуатации инженерных систем, их отличительных особенностях приводит к появлению заинтересованности в этих решениях и их воплощении в жизнь.

Рядом с общими вопросами повышения энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения стоит и еще одна немаловажная задача. Это правильная оценка самой эффективности эксплуатации существующих систем. Одной из предпосылок для разработки данного варианта методики оценки эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения является отсутствие в настоящее время в нашей стране единой общепринятой, нормативно закрепленной методики оценки эффективности процесса производства, передачи и потребления тепловой энергии.

Не секрет, что вопрос определения эффективности систем централизованного теплоснабжения возник одновременно с появлением самих этих систем. Работы по решению данного вопроса начал вести еще Е.Я. Соколов на начальном этапе становления российской теплофикации [1, с. 19–54]. Некоторые параметры, позволяющие описать систему теплоснабжения, в том числе с позиции эффективности, предложены в работах Н.В. Папушкина [2, 3], Ю.А. Колыхаевой и К.Э. Филюшиной [4], И.В. Кузника [5] и др. К таким параметрам относятся, например:

- удельная материальная характеристика, м·м/(Гкал/ч);

- удельная длина тепловой сети, м/(Гкал/ч);
- средний диаметр тепловой сети в зоне действия источника теплоты, м;
- коэффициент конфигурации тепловых сетей, б/р;
- теплоплотность района, Гкал/ч/тыс.га;
- удельная тепловая нагрузка, Гкал/ч/км;
- удельный расход электроэнергии на транспорт тепловой энергии, кВт·ч/Гкал;
- среднечасовой расход сетевой воды в подающем трубопроводе системы теплоснабжения, отнесенный к единице отпущенной тепловой энергии (удельный расход сетевой воды), т/ч/(Гкал/ч);
- разность температур воды в подающем и обратном трубопроводах или температура сетевой воды в обратном трубопроводе, °С;
- коэффициент циркуляции теплоносителя, Гкал/т и др.

Можно сказать, что положительным моментом для повышения эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения стала разработка новых, а также актуализация имеющихся Схем теплоснабжения, введенная Федеральным законом № 190 «О теплоснабжении». В данном случае Схема теплоснабжения является документом, содержащим в себе множество сведений о существующих и эксплуатируемых системах централизованного теплоснабжения.

В процессе разработки и актуализации Схем теплоснабжения муниципальных образований Владимирской области были выявлены некоторые особенности, присущие системам централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов.

Одной из особенностей является возраст рассматриваемых систем централизованного теплоснабжения. Большинство действующих источников тепловой энергии были введены в эксплуатацию в 80-е годы XX в., что составляет 35 % от общего количества имеющихся источников. 22 % составляют источники, введенные в период с 2000 по 2010 гг. Относительно равные доли от общего числа имеют источники, вырабатывающие тепловую энергию с 70-х и 90-х годов – 16 % и 18 % соответственно. Остальные источники начали функционировать в 50-е (3 %) и 60-е (10 %) годы. С одной стороны, указанные цифры говорят об относительном старении основного теплогенерирующего оборудования систем централизованного теплоснабжения; а с другой – об увеличении количества реконструируемых и вновь построенных котельных за последние 20 лет.

¹Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности: федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ, в редакции от 03.07.2016 г. // Собрание законодательства РФ. – 2009 г. – № 48. – Ст. 5711; О теплоснабжении: федеральный закон от 27 июля 2010 г. №190-ФЗ, в редакции от 01.05.2016 г. // Собрание законодательства РФ. – 2010. – № 31. – Ст. 4159.

²СП 89.13330.2012. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. – Введ. 2013.01.01. – М.: Минрегион России, 2012; СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. – Введ. 2013.01.01. – М.: Минрегион России, 2012.

Другой особенностью, присущей системам централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов, является преобладание двухтрубных систем над другими видами (четырёхтрубной, трёхтрубной, комбинированной). При этом необходимо отметить, что, несмотря на увеличение количества индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) с возможностью приготовления горячей воды в 80-е годы прошлого века, часть подключенных абонентов до сих пор имеют в системах централизованного теплоснабжения только отопительную нагрузку, а горячая вода приготавливается с помощью индивидуальных газовых колонок. Доля вентиляционной нагрузки в системах централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов также очень мала.

В рассматриваемых системах централизованного теплоснабжения преобладает зависимое подключение потребителей через элеваторы. Говоря о тепловых пунктах стоит отметить, что в большинстве случаев срок их эксплуатации совпадает со сроком эксплуатации источника и тепловых сетей. В последние 10 лет началась кампания по устройству узлов учета тепловой энергии у потребителей, и с каждым годом число ИТП, оснащенных данными устройствами, постоянно увеличивается.

Таким образом, мониторинг существующих систем централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов позволяет сделать вывод о том, с какими системами централизованного теплоснабжения приходится иметь дело в небольших городах и муниципальных образованиях центральной части нашей страны, что очень важно для такой задачи, как объективная оценка эффективности эксплуатации рассматриваемых систем теплоснабжения.

Методы исследования. В рамках данной работы под эффективностью понимается условная величина, характеризующая процесс эксплуатации системы теплоснабжения. В основе предлагаемой методики определения эффективности эксплуатации системы теплоснабжения лежит утверждение, что при уменьшении затрат топлива и электроэнергии на выработку и транспортировку тепловой энергии, а также при уменьшении количества теряемой тепловой энергии при транспортировке и потреблении эффективность системы теплоснабжения увеличивается. С учетом того, что предлагаемая методика оперирует двумя группами показателей эффективности эксплуатации – *общими и удельными*, можно сказать, что из двух различных систем теплоснабжения большую эффективность будет иметь та, где удельные показатели эксплуатации имеют значения, близкие к идеальным.

К общим показателям эксплуатации относятся следующие величины: количество тепловой энергии, вырабатываемое источником

теплоты в системе теплоснабжения $Q_{\text{выр}}$, Гкал/ч; количество тепловой энергии, отпускаемое с источника теплоты в системе теплоснабжения $Q_{\text{отп}}$, Гкал/ч; количество тепловой энергии, получаемое потребителями в системе теплоснабжения $Q_{\text{пол}}$, Гкал/ч; количество тепловой энергии, используемое потребителями в системе теплоснабжения $Q_{\text{исп}}$, Гкал/ч.

Количество тепловой энергии, вырабатываемое источником ($Q_{\text{выр}}$, Гкал/ч), – величина, представляющая собой сумму тепловых нагрузок потребителей, подключенных к источнику, собственных нужд источника, а также потерь тепловой энергии при ее транспортировке в системе теплоснабжения. Потери тепловой энергии при транспортировке выделяются двух видов: потери через тепловую изоляцию ($Q_{\text{из}}$, Гкал/ч) и потери с утечками теплоносителя ($Q_{\text{ут}}$, Гкал/ч).

Количество тепловой энергии, отпускаемое с источника ($Q_{\text{отп}}$, Гкал/ч), – величина, численно равная сумме тепловых нагрузок потребителей и потерь при транспортировке. Определяется расчетным способом или по показаниям прибора учета тепловой энергии, установленного на источнике теплоснабжения.

Количество тепловой энергии, получаемое потребителями ($Q_{\text{пол}}$, Гкал/ч), – величина, равная сумме тепловых нагрузок потребителей. Количество тепловой энергии, используемое потребителями ($Q_{\text{исп}}$, Гкал/ч), – величина, характеризующая количество тепловой энергии, используемое непосредственно по назначению. Предполагается, что количество использованной тепловой энергии отличается от количества полученной тепловой энергии. Это связано с тепловыми потерями в системах теплоснабжения, их инерционностью, качеством регулирования подачи тепловой энергии в тепловых пунктах, отличием расчетных тепловых нагрузок от фактических и т.д. Данная величина может быть определена по показаниям прибора учета тепловой энергии у потребителя по разностям между расчетными и фактическими температурами в подающем и обратном трубопроводах и расходу теплоносителя.

К удельным показателям эксплуатации относятся следующие величины: удельный расход условного топлива на выработку единицы тепловой энергии H , кг у.т./Гкал; удельный расход электрической энергии на транспортировку единицы тепловой энергии $\mathcal{E}_{\text{тс}}^H$, кВт·ч/Гкал; удельная материальная характеристика тепловой сети μ , м·м/(Гкал·ч).

Удельные показатели эксплуатации выбираются таким образом, чтобы максимально полно отразить состояние системы теплоснабжения независимо от климатических параметров региона, в котором она расположена, вида топлива, используемого для выработки тепловой энергии, вида прокладки тепловой сети. Такое определение удельных парамет-

ров позволяет проводить сравнение различных систем теплоснабжения.

Оценка эффективности эксплуатации системы централизованного теплоснабжения – это комплексная задача, состоящая, как и сама рассматриваемая система, из нескольких взаимосвязанных компонентов. Предлагаемая методика оценки эффективности базируется на положении, что система теплоснабжения, в соответствии со своим определением по ФЗ №190 «О теплоснабжении», состоит из трех элементов: источник теплоснабжения, тепловая сеть и потребитель. Объективность оценки заключается не только в определении эффективности каждого элемента в отдельности, но и в определении влияния одного элемента на другие.

Предлагаемая методика разрабатывается на основе практических данных, полученных в процессе создания и актуализации Схем теплоснабжения нескольких муниципальных образований Владимирской области. Исходными данными для разработки являлись схемы и паспорта существующих тепловых сетей, паспорта котельных установок, списки подключенных потребителей с указанием расчетных тепловых нагрузок, данные по тепловым и гидравлическим режимам систем теплоснабжения, а также спецификации установленного оборудования.

Первоначально имеющиеся данные анализировались и структурировались в соответствии со своей принадлежностью тому или иному звену системы теплоснабжения. Недостающие данные определялись расчетным путем. На этапе проверки актуальности и полноты исходных данных создавались базы, полностью описывающие рассматриваемую систему теплоснабжения. В соответствии с вышесказанным в полученных базах данных содержались общие и удельные показатели эксплуатации, являющиеся основой предлагаемой методики определения эффективности эксплуатации.

Непосредственно для численного выражения произведенной оценки эффективности вводится такой параметр, как *коэффициент эффективности эксплуатации*, являющийся комплексом из трех параметров, каждый из которых в отдельности описывает эффективность конкретного звена системы теплоснабжения. При этом возникает задача правильного нахождения функциональных зависимостей и определения численного значения каждого параметра. Данная задача решается с помощью математического моделирования процесса эксплуатации системы централизованного теплоснабжения. Для этого на основании исходных данных с помощью программного комплекса MatLab, а также с помощью статистического пакета StatGraphics методом нечетких множеств описываются зависимости показателей эксплуатации от введенных исходных дан-

ных. Полученные зависимости проверяются на соответствие и входных и выходных переменных и на адекватность модели описываемому процессу.

Методом нечетких множеств определяются зависимости для нахождения коэффициентов эффективности каждого звена системы теплоснабжения. Так как методика оперирует некоторыми вновь вводимыми показателями, ранее не встречавшимися в тематических исследованиях, то для их определения используется метод экспертных оценок. Эксперты выбирались из числа сотрудников местных теплоснабжающих, эксплуатирующих и надзорных организаций, а также из представителей проектных организаций, непосредственно занимающихся проектированием систем централизованного теплоснабжения, источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок. Полученные массивы экспертных оценок различных факторов, влияющих на процесс эксплуатации систем централизованного теплоснабжения, обрабатываются методом факторного анализа [8].

Результаты исследования. Суть предлагаемой методики заключается в определении коэффициента эффективности системы теплоснабжения, являющегося одним из вновь вводимых параметров и позволяющим численно оценить эффективность эксплуатации. В общем случае коэффициент эффективности эксплуатации системы теплоснабжения может быть определен по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{ст}} = \alpha_1 \mathcal{E}_1 + \alpha_2 \mathcal{E}_2 + \alpha_3 \mathcal{E}_3, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ст}}$ – коэффициент эффективности системы теплоснабжения; \mathcal{E}_1 – коэффициент эффективности выработки тепловой энергии на источнике; \mathcal{E}_2 – коэффициент эффективности транспортировки тепловой энергии от источника до потребителя; \mathcal{E}_3 – коэффициент эффективности потребления тепловой энергии; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты весомости для каждого из коэффициентов эффективности.

Полученное значение коэффициента эффективности системы теплоснабжения $\mathcal{E}_{\text{ст}}$ сравнивается с условно идеальным вариантом, когда коэффициент эффективности $\mathcal{E}_{\text{ст}}^{\text{макс}}$ равен 1. Полученное процентное соотношение может быть использовано для оценки условной эффективности системы теплоснабжения:

$$\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ст}}}{\mathcal{E}_{\text{ст}}^{\text{макс}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где \mathcal{E} – условная эффективность системы теплоснабжения.

Для существующей системы теплоснабжения, согласно предлагаемой методике, на данном этапе условно можно выделить три случая:

1) если $\mathcal{E} \leq 25\%$ – система теплоснабжения имеет низкую эффективность эксплуатации;

2) если $25\% < \mathcal{E} \leq 75\%$ – система теплоснабжения имеет среднюю эффективность эксплуатации;

3) если $\mathcal{E} > 75\%$ – система теплоснабжения имеет высокую эффективность эксплуатации.

Эффективность источника тепловой энергии в системе теплоснабжения (эффективность выработки теплоты) характеризуется затратами условного топлива на выработку единицы тепловой энергии в единицу времени, потерями выработанной тепловой энергии на источнике в процессе подачи ее в тепловую сеть, а также общим уровнем автоматизации и диспетчеризации:

$$\mathcal{E}_1 = f(H, q_{\text{ист}}^{\text{пот}}, A_{\text{ист}}), \quad (3)$$

где H – удельный расход условного топлива на выработку единицы тепловой энергии в единицу времени, кг у.т./Гкал; $q_{\text{ист}}^{\text{пот}}$ – относительная доля потерь тепловой энергии на источнике теплоснабжения; $A_{\text{ист}}$ – общий уровень автоматизации и диспетчеризации источника теплоснабжения.

В соответствии с методическими рекомендациями³, удельный расход условного топлива на выработку единицы тепловой мощности определяется по выражению

$$H = \frac{142,857}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}} \text{ кг у.т./Гкал}, \quad (4)$$

где $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$ – КПД котла, определяемый по нормативной характеристике при паспортной теплопроизводительности.

Относительная доля потерь тепловой энергии на источнике теплоснабжения определяется по выражению

$$q_{\text{ист}}^{\text{пот}} = 1 - \frac{Q_{\text{отп}}}{Q_{\text{выр}}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{выр}}$ – количество тепловой энергии, выработанное источником, Гкал/ч; $Q_{\text{отп}}$ – количество тепловой энергии, отпущенное в тепловую сеть, Гкал/ч.

Еще одним вновь вводимым параметром для описания систем теплоснабжения является общий уровень автоматизации. Предлагаемая методика вводит три параметра, характеризующих каждое звено системы: общий уровень автоматизации и диспетчеризации источника тепловой энергии; общий уровень автоматизации и диспетчеризации тепловой сети; общий уровень автоматизации и диспетчеризации теплопотребляющей установки:

$$A_{\text{ист}} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7), \quad (6)$$

где x_1 – x_7 – аргументы, определяемые экспертным методом.

Общий уровень автоматизации и диспетчеризации источника тепловой энергии определяется в зависимости от следующих факторов:

- возможности работы источника полностью в автоматическом режиме;
- типа применяемых горелок (одноступенчатые, двухступенчатые, двухступенчатые с плавным регулированием, модулируемые);
- возможности каскадного регулирования работы насосов и котлов;
- наличия погодозависимого регулирования температуры теплоносителя;
- наличия частотно-регулируемых приводов вентиляторов, дымососов и насосов;
- наличия системы диспетчеризации.

Зависимости, описывающие общие уровни автоматизации и диспетчеризации, также определяются методом нечетких множеств с помощью программного комплекса Matlab.

Эффективность тепловой сети в системе теплоснабжения (эффективность передачи тепловой энергии) характеризуется затратами электрической энергии на привод насосного оборудования, потерями тепловой энергии через изоляцию тепловых сетей и с утечками теплоносителя, а также общим уровнем автоматизации и диспетчеризации тепловой сети:

$$\mathcal{E}_2 = f(\mathcal{E}_{\text{тс}}^{\text{н}}, q_{\text{тп}}^{\text{пот}}, q_{\text{ут}}^{\text{пот}}, A_{\text{тс}}), \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_{\text{тс}}^{\text{н}}$ – удельный расход электрической энергии на транспортировку тепловой энергии, кВт·ч/Гкал; $q_{\text{тп}}^{\text{пот}}$ – относительная доля потерь тепловой энергии через изоляцию тепловой сети; $q_{\text{ут}}^{\text{пот}}$ – относительная доля потерь тепловой энергии с утечками теплоносителя; $A_{\text{тс}}$ – общий уровень автоматизации и диспетчеризации тепловой сети:

$$A_{\text{тс}} = f(y_1, y_2, y_3), \quad (8)$$

где y_1 – y_3 – аргументы, определяемые экспертным методом.

Общий уровень автоматизации и диспетчеризации тепловой сети зависит:

- от наличия в системе теплоснабжения системы оперативного дистанционного контроля за состоянием тепловой изоляции;
- наличия частотно-регулируемых приводов насосов, установленных в повысительных насосных станциях и ЦТП.

Относительная доля потерь тепловой энергии через изоляцию тепловой сети определяется по выражению

$$q_{\text{тп}}^{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{из}}}{Q_{\text{отп}}}, \quad (9)$$

³СТО ГАЗПРОМ РД 1.19-126-2004. Методика расчета удельных норм расхода газа на выработку тепловой энергии и расчета потерь в системах теплоснабжения (котельные и тепловые сети). – М.: ООО «Информационно-рекламный центр газовой промышленности», 2004.

где $Q_{из}$ – количество тепловой энергии, теряемое через тепловую изоляцию, Гкал/ч.

Относительная доля потерь тепловой энергии с утечками теплоносителя определяется по выражению

$$q_{ут}^{пот} = \frac{Q_{ут}}{Q_{отп}}, \quad (10)$$

где $Q_{ут}$ – количество тепловой энергии, теряемое с утечками тепловой энергии, Гкал/ч.

Эффективность потребителя в системе теплоснабжения (эффективность потребления тепловой энергии) характеризуется потерями тепловой энергии в системе теплоснабжения, а также уровнем автоматизации и диспетчеризации теплоснабжающей установки:

$$\mathcal{E}_3 = f(q_n^{пот}, A_n), \quad (11)$$

где $q_n^{пот}$ – относительная доля потерь тепловой энергии в системе теплоснабжения; A_n – общий уровень автоматизации и диспетчеризации теплоснабжающей установки:

$$A_n = f(z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8), \quad (12)$$

где z_1 – z_8 – аргументы, определяемые экспертным методом.

Общий уровень автоматизации и диспетчеризации теплоснабжающей установки зависит:

- от наличия приборов учета потребляемой тепловой энергии;
- наличия погодозависимого регулирования в ИТП;
- наличия автоматических регуляторов теплового потока на системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;
- наличия средств поддержания постоянного перепада давления на вводе в ИТП;
- наличия частотно-регулируемых приводов насосов, установленных в ИТП;
- наличия системы диспетчеризации;
- наличия у потребителей средств автоматического регулирования теплоотдачи отопительных приборов (автоматических терморегуляторов с термоголовками).

пительных приборов (автоматических терморегуляторов с термоголовками).

Относительная доля потерь тепловой энергии в системе теплоснабжения определяется по выражению

$$q_n^{пот} = 1 - \frac{Q_{исп}}{Q_{пол}},$$

где $Q_{пол}$ – количество тепловой энергии, полученное потребителем, Гкал/ч; $Q_{исп}$ – количество тепловой энергии, использованное потребителем, Гкал/ч.

Во всех трех случаях для определения общего уровня автоматизации и диспетчеризации используются данные теплоснабжающих организаций о составе оборудования, используемого в рассматриваемой системе теплоснабжения.

Для иллюстрации возможностей данной методики приведем пример оценки эффективности нескольких систем теплоснабжения, расположенных на территории Владимирской области.

На основе полученных от теплоснабжающей организации исходных данных рассчитываются общие и удельные показатели эксплуатации (табл. 1).

Далее производится оценка существующих уровней автоматизации и диспетчеризации всех звеньев рассматриваемых систем теплоснабжения. Результаты оценки приведены в табл. 2.

Завершающим этапом оценки эффективности систем теплоснабжения является непосредственное вычисление коэффициентов эффективности выработки тепловой энергии на источнике теплоснабжения \mathcal{E}_1 , коэффициентов эффективности транспортировки тепловой энергии от источника до потребителя \mathcal{E}_2 , коэффициентов эффективности потребления тепловой энергии \mathcal{E}_3 , а также определение величины условной эффективности для каждой системы теплоснабжения \mathcal{E} . Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 1

Система теплоснабжения	Общие показатели эксплуатации				Удельные показатели эксплуатации		
	Количество тепловой энергии, вырабатываемое источником теплоты в системе теплоснабжения $Q_{выд}$, Гкал/ч	Количество тепловой энергии, отпускаемое с источника теплоты в системе теплоснабжения $Q_{отп}$, Гкал/ч	Количество тепловой энергии, получаемое потребителями в системе теплоснабжения $Q_{пол}$, Гкал/ч	Количество тепловой энергии, используемое потребителями в системе теплоснабжения $Q_{исп}$, Гкал/ч	Удельный расход условного топлива на выработку тепловой энергии H , кг.у.т/Гкал	Удельный расход электрической энергии на транспортировку тепловой энергии $\mathcal{E}_{тс}^H$, кВт·ч/Гкал	Удельная материальная характеристика тепловой сети μ , м·м/(Гкал/ч)
№1	1,079	1,056	1,050	0,998	158,7	38100	150
№2	0,373	0,365	0,350	0,333	155,3	40500	327
№3	3,075	3,009	3,000	2,850	168,1	35080	12
№4	1,030	1,008	1,000	0,950	162,3	34800	59
№5	3,960	3,875	3,850	3,658	150,4	33300	118
№6	1,507	1,475	1,450	1,378	176,4	31800	249

Таблица 2

Система теплоснабжения	Общий уровень автоматизации и диспетчеризации		
	источника тепловой энергии	тепловой сети	потребителей
№1	1,00	0,00	1,00
№2	0,80	0,00	0,88
№3	0,04	1,00	0,28
№4	0,25	0,46	0,15
№5	0,19	0,54	0,45
№6	0,23	0,46	0,26

Таблица 3

Система теплоснабжения	Коэффициент эффективности выработки тепловой энергии Ξ_1	Коэффициент эффективности транспортировки тепловой энергии Ξ_2	Коэффициент эффективности потребления тепловой энергии Ξ_3	Условная эффективность системы теплоснабжения Ξ , %
№1	0,14	0,14	0,021	81,5
№2	0,07	0,07	0,019	47,9
№3	0,02	0,02	0,012	87,9
№4	0,03	0,03	0,011	45,0
№5	0,03	0,03	0,013	70,0
№6	0,03	0,03	0,012	73,9

Анализ полученных данных (табл. 3) показывает, что из шести рассмотренных систем централизованного теплоснабжения лишь 2 системы имеют значение условной эффективности выше 75 % и могут быть охарактеризованы как системы с высокой эффективностью эксплуатации. Остальные системы имеют среднюю и низкую эффективности. Также можно заметить влияние коэффициентов эффективности каждого звена системы теплоснабжения на полученное в результате значение условной эффективности.

Выводы. В предложенной методике оценки эффективности систем централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов делается акцент на техническую сторону централизованного теплоснабжения с учетом экономических предпосылок, сложившихся в настоящее время в типовой образ рассматриваемых систем теплоснабжения. Техническая и научная новизна предлагаемой методики заключается во введении таких параметров, как уровень автоматизации и диспетчеризации и коэффициент эффективности эксплуатации системы теплоснабжения. Первый выделяется отдельно для источника тепловой энергии, тепловой сети и теплоснабжающей установки. Второй является общей мерой эффективности эксплуатации системы теплоснабжения. На основе значений данных параметров могут быть сформулированы предложения по улучшению системы теплоснабжения или по выведению ее из строя как экономически необоснованной и технически устаревшей.

В предлагаемой методике определения эффективности эксплуатации систем теплоснабжения можно выделить следующие особенности:

1) *невысокие требования к исходным данным.* Для определения эффективности эксплуатации системы теплоснабжения, согласно предложенной методике, от теплоснабжающей

организации требуются лишь список абонентов с их тепловыми нагрузками, схема тепловых сетей с указанием диаметров и длин участков, данные приборов учета тепловой энергии на источнике и у потребителей (при наличии), информация по оборудованию источника тепловой энергии и применяемым средствам автоматизации и диспетчеризации. При отсутствии данных по каким-либо из общих или отдельных показателей они могут быть определены расчетом с использованием дополнительных исходных данных;

2) *возможность сравнения системы теплоснабжения как с идеальной, так и с другими существующими системами.* В методике используются удельные величины, значения которых относительны и определяются без привязки к конкретному региону строительства, виду топлива, используемого на источнике, виду прокладки тепловой сети, а значит, могут быть использованы для сравнения однотипных систем теплоснабжения, имеющих различные общие показатели эксплуатации;

3) *возможность определения эффективности каждого звена системы теплоснабжения в отдельности.* Зачастую капитальный ремонт в системах теплоснабжения производится в течение довольно большого промежутка времени. Именно поэтому так важно иметь возможность оценки состояния каждого звена системы теплоснабжения. По результатам проведенной оценки могут быть определены первоочередные мероприятия, направленные на повышение эффективности как всей системы теплоснабжения, так и отдельного конкретного ее звена. Особенно это актуально в настоящее время, когда во многих населенных пунктах намечается тенденция к децентрализации теплоснабжения и в условиях изменяющихся тепловых режимов необходимо поддерживать работу системы теплоснабжения на определенном уровне;

4) *отсутствие необходимости в использовании сложных программных продуктов в процессе оценки эффективности.* Особенностью данной методики является ее относительная простота и возможность реализации без разработки и применения специализированных программных комплексов. При этом необходимо отметить, что в случае актуальности данной методики ее алгоритм может быть внедрен в применяемые в нашей стране геотермальные системы, используемые теплоснабжающими организациями.

Указанные выше особенности предлагаемой методики определения эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения открывают некоторые перспективы по ее использованию в прикладной деятельности. В настоящее время проходят повторный анализ изученные ранее существующие системы теплоснабжения. Производится оценка их эксплуатационной эффективности на основе предлагаемой методики. Методика может быть актуальна как для теплоснабжающих и эксплуатирующих организаций, так и для органов местного самоуправления, администраций муниципальных образований и населенных пунктов, на территории которых находятся системы централизованного теплоснабжения. Этому способствует использование в методике относительно небольшого перечня исходных данных и отсутствие сложных математических преобразований. На основе такой оценки органами местного самоуправления могут быть сформулированы требования к теплоснабжающим и эксплуатирующим организациям по повышению эффективности эксплуатации имеющихся систем централизованного теплоснабжения.

Список литературы

1. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
2. **Братенков В.Н., Хаванов П.А., Вэскер Л.Я.** Теплоснабжение малых населенных пунктов. – М.: Стройиздат, 1988. – 233 с.

Рачков Максим Романович,
ФГБОУВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», аспирант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики,
e-mail: rachkovmax@mail.ru
Rachkov Maksim Romanovich,
Vladimir State University,
Post-graduate Student of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Hydraulics,
e-mail: rachkovmax@mail.ru

Мельников Владимир Михайлович,
ФГБОУВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики,
e-mail: vmmross@mail.ru
Melnikov Vladimir Mikhailovich,
Vladimir State University,
Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Hydraulics,
e-mail: vmmross@mail.ru

3. **Папушкин В.Н.** Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 9 (сентябрь). – С. 44–49.
4. **Методика** расчета радиуса эффективного теплоснабжения для схем теплоснабжения / В.Н. Папушкин, С.О. Полянцева, А.П. Щербakov, А.А.Храпков // Новости теплоснабжения. – 2014. – № 9. – С. 44–47.
5. **Кольхаева Ю.А., Филюшина К.Э.** Комплексная оценка эффективности функционирования системы теплоснабжения // Проблемы современной экономики. – 2012. – № 1. – С. 322–325.
6. **Кузник И.В.** Оценка эффективности транспортирования тепловой энергии // Энергосбережение. – 2011. – № 3. – С. 42–47.
7. **Рябцев Г.А., Рябцев В.И.** Новый общий показатель эффективности работы тепловой сети // Новости теплоснабжения. – 2003. – №9 (сентябрь).
8. **Орлов А.И.** Организационно-экономическое моделирование: учебник в 3 ч. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – Ч. 2: Экспертные оценки. – 2011. – 486 с.
9. **Лоули Д.Н., Максвелл А.Е.** Факторный анализ как статистический метод. – М.: Мир, 1967.

References

1. Sokolov, E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti* [District heating and thermal networks: a university textbook]. Moscow, Izdatel'stvo MEI, 2001. 472 p.
2. Bratenkov, V.N., Khavanov, P.A., Vesker, L.Ya. *Teplosnabzhenie malyykh naseleennykh punktov* [Heat supply in small settlements]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 223 p.
3. Papushkin, V.N. Radius teplosnabzheniya. Khorosho zabytoe staroe [The radius of the heat supply. Well forgotten old]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2010, no. 9, pp. 44–49.
4. Papushkin, V.N., Polyantsev, S.O., Shcherbakov, A.P., Khrapkov, A.A. *Metodika rascheta radiusa effektivnogo teplosnabzheniya dlya skhem teplosnabzheniya* [Method of calculation of the heat supply radius]. 2014.
5. Kolykhaeva, Yu.A., Filyushina, K.E. *Kompleksnaya otsenka effektivnosti funktsionirovaniya sistemy teplosnabzheniya* [Heat supply system: complex evaluation of efficiency]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2012, no. 1, pp. 322–325.
6. Kuznik, I.V. *Otsenka effektivnosti transportirovaniya teplovoy energii* [Assessment of heat transportation efficiency]. *Energoberezhnie*, 2011, no. 3, pp. 42–47.
7. Ryabtsev, G.A., Ryabtsev, V.I. *Novyy obshchiy pokazatel' effektivnosti raboty teplovoy seti* [A new integral criterion of heat network efficiency]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2003, no. 9.
8. Orlov, A.I. *Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovaniye* [Organizational-economic modeling]. Moscow, Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman, 2009, Part 2: Ekspertnye otsenki, 2011. 486 p.
9. Louli, D.N., Maxwell, A.E. *Faktornyy analiz kak statisticheskiy metod* [Factor analysis as a statistical method]. Moscow, Mir, 1967.