



МЕТОДИКА И КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Статья посвящена актуальной проблеме оценки энергоэффективности в системах теплоснабжения. Поставлена задача разработать критерий оценки эффективности систем теплоснабжения зданий, который учитывал бы ключевые режимные параметры системы. Рассмотрены параметры теплового режима систем теплоснабжения и влияющие на них факторы, выделены ключевые параметры для оценки энергоэффективности систем теплоснабжения. На основе выделенных параметров предложен новый критерий для практической оценки энергоэффективности систем теплоснабжения, позволяющий при минимуме измеряемых параметров и простоте расчета дать представление об энергоэффективности и подходящий как для оценки системы теплоснабжения отдельного здания, так и для группы зданий. Разработана методика оценки энергоэффективности систем теплоснабжения на основе сравнения по предложенному критерию реальных систем с эталонными и оптимальными. Дан краткий анализ уже имеющихся научных изысканий по рассматриваемой проблеме. На примере города Читы выполнена предварительная оценка энергоэффективности наиболее крупной системы теплоснабжения. Для рассматриваемой системы путем дополнительного энергообследования выделены наиболее типичные проблемы низкой энергоэффективности.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ; ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ; СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ; ЭНЕРГООБСЛЕДОВАНИЕ

Ссылка при цитировании:

А.А. Середкин. Методика и критерий оценки энергоэффективности систем теплоснабжения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2017. Т. 23. № 1. С. 27–35. DOI: 10.18721/JEST.230103

PROCEDURE AND CRITERION FOR ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF HEAT SUPPLY SYSTEMS

The article is dedicated to the important modern problem of assessing the energy efficiency of heat supply systems. The author sets a task to elaborate the criteria of assessing the energy efficiency of building heat supply systems taking into account the key thermal parameters. Thermal parameters of heat supply systems and the factors affecting them were observed. The key parameters for energy efficiency assessment of heat supply systems were identified. A new criterion for practical assessment of energy efficiency in heat supply systems was offered using these parameters. The criterion allows obtaining an estimate for the energy efficiency of a system at minimal measured parameters and simple practical calculation. The criterion can be used for either the heat supply system of a single building or a group of buildings. The author offered the method of energy efficiency assessment of heat supply systems based on pattern comparison of real, optimal and reference systems using the criterion. A brief analysis of the existing scientific researches was given. The author performed a preliminary estimate of the energy efficiency of the largest heat supply system of Chita using the criterion. The most typical problems of low energy efficiency of this system were emphasized using additional energy inspection.

ENERGY EFFICIENCY; ENERGY SAVING; HEAT SUPPLY SYSTEM; ENERGY INSPECTION

Citation:

A.A. Seredkin Procedure and criterion for energy efficiency assessment of heat supply systems, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering sciences and technology, 23 (1) (2017) 27–35, DOI: 10.18721/JEST.230103

Для России в таких наиболее энергоемких системах, как системы теплоснабжения, проблема эффективности является ключевой. Она нашла свое отражение в федеральных законах «О теплоснабжении» и «Об энергосбережении», а также в «Энергетической стратегии России». Проблема особенно актуальна для систем, где оборудование физически и морально изношено, а его полная замена за счет собственных средств владельцев в большинстве случаев невозможна из-за недостатка этих средств. Требуется корректная и относительно нетрудоемкая оценка энергоэффективности таких систем для ориентации финансовых инвесторов, разработки наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий и дальнейшей комплексной оптимизации систем теплоснабжения.

В данной работе поставлена цель предложить методику и вывести критерий оценки эффективности системы теплоснабжения зданий, который позволил бы при минимуме измеряемых параметров и простоте практического расчета дать представление о тепловой энергоэффективности систем теплоснабжения как отдельного здания, так и группы зданий, присоединенных к системе единым температурным и гидравлическим режимом тепловой сети. Этот критерий в обязательном порядке должен учитывать параметры теплового режима.

Для решения поставленной задачи выделим необходимые режимные параметры. Режимные параметры системы теплоснабжения зданий можно условно разделить на две группы. Первая группа определяется режимом регулирования отпуска тепла и устанавливается для источника теплоснабжения (расход и температура прямой сетевой воды); потребитель не может влиять на их значение до теплового пункта. Вторая группа определяется режимом потребления тепла (температура обратной сетевой воды, температура внутреннего воздуха), и отклонения этих параметров в большей мере зависят от потребителя. Требуемый нам критерий в обязательном порядке должен учитывать параметры второй группы, а также влияющие на них внешние факторы. Исходя из этого три ключевые параметра, которые необходимо обязательно учесть при оценке энергоэффективности, следующие:

1. *Температура внутреннего воздуха t_p* . Как известно, значение ее нормировано для разного типа зданий и климатических зон. Для получе-

ния фактического значения можно применить метод замера на различных этажах и в различных точках по площади здания. При замерах целесообразно отследить изменение данного параметра в течение анализируемого периода и использовать средневзвешенное значение. Из всех рассматриваемых параметров он наиболее трудоемкий в получении фактического значения. Можно сказать, что это качественный параметр системы теплоснабжения.

2. *Температура обратной сетевой воды t_2* . На данный параметр влияют любые тепловые и режимные отклонения в работе системы теплоснабжения, температура наружного воздуха. Превышение расчетного значения температуры обратной сетевой воды ведет к снижению тепловой мощности отборов теплофикационных турбин ТЭЦ и, как следствие, снижает выработку электроэнергии на базе теплового потребления, увеличивает расход топлива на ТЭЦ. При замерах целесообразно отследить изменение данного параметра в течение анализируемого периода и использовать средневзвешенное значение.

3. *Температура наружного воздуха t_{ext}* . Система теплоснабжения в основном ориентирована на данный параметр, как правило, по среднесуточному его значению в зданиях без автоматического регулирования. Замеры в течение анализируемого периода целесообразно выполнить аналогично t_p и t_2 . От этой температуры зависит температура сетевой воды при наиболее распространенном качественном регулировании отпуска тепла. Другие влияющие внешние факторы (инсоляция, скорость ветра и влажность воздуха), как правило, не учитываются при регулировании в большинстве реальных систем теплоснабжения.

Для вывода показателя, учитывающего вышеперечисленные параметры, применим метод сравнения двух систем теплоснабжения здания — эталонной и реальной. Примем за *эталонную* систему теплоснабжения здания с $t_2 = t_p$, т. е. систему с полным использованием теплоты сетевой воды в здании. Тогда тепловой поток, Вт, через наружные ограждения здания для такой системы можно представить следующим уравнением:

$$Q_3 = \sum_{i=1}^n [k_i A_i (t_2 - t_{ext})],$$

где k_i — коэффициент теплопередачи i -го наружного ограждения здания, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{С}}$; A_i — площадь

i -го наружного ограждения здания, m^2 ; n — число ограждений, через которые происходит теплопередача в окружающую среду (наружные стены, полы, потолки и т. п.);

Реальная система теплоснабжения здания будет отличаться от эталонной тем, что всегда $t_p < t_2$. Для такой системы уравнение теплового потока будет следующее:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n [k_i A_i (t_p - t_{ext})],$$

при этом $Q_p < Q_3$. Расход сетевой воды в обеих системах будет одинаковый ($G = \text{const}$), а разница тепловых потоков реальной и эталонной систем достигается изменением температуры прямой сетевой воды t_1 .

Вследствие относительно незначительной разницы температур $t_2 - t_p$ их влияние на теплопроводность материала ограждающих конструкций и коэффициенты теплоотдачи наружных ограждений здания несущественны. В соответствии с этим и учитывая, что по показателю тепловой инерции ограждения относятся к массивным (для подавляющего большинства зданий тепловая инерция $D > 7$), принимаем в обоих случаях $k = \text{const}$. Кроме того, колебания данного показателя частично уже будут учтены в фактических значениях t_p и t_2 . Тогда в качестве критерия оценки энергоэффективности можно использовать отношение тепловых потоков реальной и эталонной систем. Назовем данный критерий «относительная доля использования теплоты в реальной системе»; эта доля равна

$$\alpha_p = \frac{\frac{\sum_{j=1}^m t_{pj}}{m} - t_{ext}}{\frac{\sum_{j=1}^m t_{2j}}{m} - t_{ext}} = \frac{Q_p}{Q_3},$$

где m — число замеров температур в анализируемый период.

Рассмотрим преимущества предлагаемого нового критерия по сравнению с существующими. Известно множество критериев оценки эффективности систем теплоснабжения на основе различных теорий. Однако почти все они сложны в практическом применении и требуют значительного числа замеров или при минимуме

замеров не учитывают ключевые параметры, влияющие на эффективность систем теплоснабжения. Коротко приведем несколько примеров.

Например, предложенный в работе [1] критерий энтропийной эффективности по второму закону термодинамики учитывает степень совершенства ограждающих конструкций здания и отопительных приборов (термические сопротивления теплопередачи), но абсолютно не учитывает режимные параметры систем теплоснабжения. Кроме того, требуется детальное тепловизионное обследование здания для получения фактического сопротивления теплопередачи всех наружных ограждений и отопительных приборов, что достаточно трудоемко и дорого.

При оценке эффективности систем теплоснабжения в некоторых нормативных документах и исследованиях [2–5] используют удельное теплотребление (отнесенное к единице объема, площади или на человека), а также удельные затраты эксергии на цели теплоснабжения. Оценка объективного фактического его значения — также достаточно трудоемкая задача при выполнении энергообследований. Недостатки эксергетических методов для рассматриваемых систем теплоснабжения уже хорошо известны.

В работе [6] рассмотрена близкая к теме проблема оптимизации режимов работы систем централизованного теплоснабжения. Выделены путем применения факторного анализа наиболее влияющие на работу систем параметры (температуры внутреннего и наружного воздуха, температура прямой сетевой воды). Показано, что факторный анализ дает возможность сократить число параметров, влияющих на работу систем централизованного теплоснабжения и выделить главные. Однако в рассматриваемой работе не решена проблема комплексного применения наиболее влиятельных параметров в каком-либо критерии оценки эффективности.

Оценке энергоэффективности через показатель «градусо-сутки отопительного периода» посвящена работа [7]. Градусо-сутки как критерий также не может в полной мере отражать энергоэффективность, так как не учитывает такой ключевой параметр, как температура обратной сетевой воды.

В работе [8] предложена математическая модель оптимизации параметров тепловой сети по энергетическому эффекту и критерий оценки

максимальной энергоэффективности. Однако данная модель служит только для оптимизации проектных параметров путем минимизации затрат энергии, и ее сложно применить для оценки действующих систем в различные периоды времени.

Похожим вопросам критериев энергоэффективности и оптимизации проектных и режимных параметров систем теплоснабжения, в том числе с помощью мощных программных комплексов, посвящены работы [9–15].

Применение перечисленных выше критериев в реальных системах сопряжено с большими затратами времени и средств. В отличие от них, полученный в нашей работе критерий учитывает фактический режим эксплуатации системы теплоснабжения, прост в расчете, требует минимального количества простых измерений и приборов для оценки фактического его значения. Его можно использовать в практических целях для анализа энергоэффективности систем теплоснабжения зданий при энергообследованиях, а также как критерий при целевом энергетическом мониторинге в развивающихся сегодня системах энергоменеджмента для отслеживания эффекта от внедренных энергосберегающих мероприятий.

На рис. 1 построен график зависимости α_p от температуры внутреннего воздуха t_p при различных температурах обратной сетевой воды t_2 . При достижении температурного равновесия между наружным и внутренним воздухом ($t_{ext} = t_p$) получаем $\alpha = 0$. Соответственно, для эталонной

системы теплоснабжения здания $\alpha = 1$ и $t_2 = t_p$, а для реальной $\alpha < 1$ и $t_p < t_2$. В итоге чем ближе данный показатель к единице, тем система более энергоэффективна. Приближение к эталонной системе возможно либо путем увеличения t_p , либо уменьшением t_2 . Первое ограничено санитарными нормами и возможностями теплозащиты современных наружных ограждений, второе — площадью и характеристиками отопительных приборов. Поэтому реальные системы наиболее целесообразно сравнивать по энергоэффективности через оптимальное значение α_{opt} , определяемое согласно утвержденному температурному графику и нормам по температуре внутреннего воздуха.

Дополнительные графики зависимости α_p от температуры обратной сетевой воды t_2 и температуры наружного воздуха t_{ext} при различных значениях температуры внутреннего воздуха t_p приведены на рис. 2 и 3.

При необходимости учесть для реальной системы за анализируемый период влияние температуры прямой сетевой воды она может быть выражена из известного уравнения теплового баланса системы теплоснабжения:

$$t_1 = \frac{\sum_{j=1}^m t_{2j}}{m} + \frac{Q_p}{W},$$

где W — тепловой эквивалент расхода сетевой воды, $\frac{Вт}{С}$; $W = const$ для обеих систем, как уже было отмечено выше.

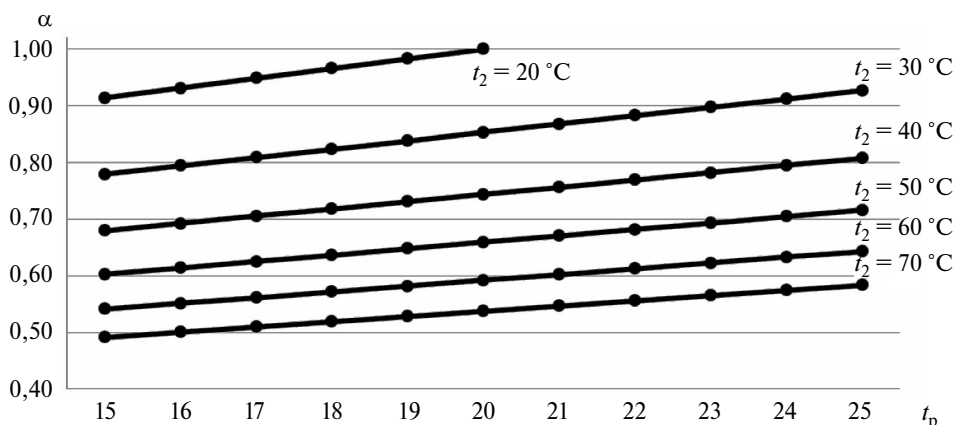


Рис. 1. Зависимости критерия α реальной системы от температуры внутреннего воздуха t_p при различных значениях температуры обратной сетевой воды t_2 (при $t_{ext} = -38$ °C)

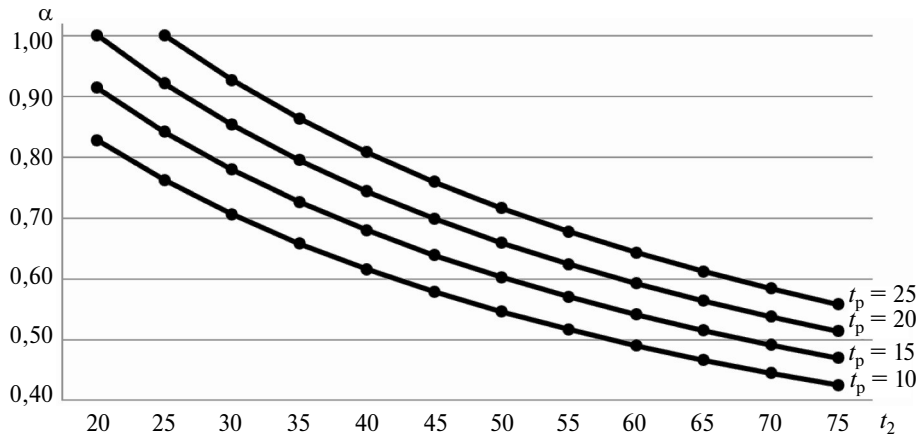


Рис. 2. Зависимости критерия α реальной системы от температуры обратной сетевой воды t_2 при различных значениях температуры внутреннего воздуха t_p (при $t_{ext} = -38^\circ\text{C}$)

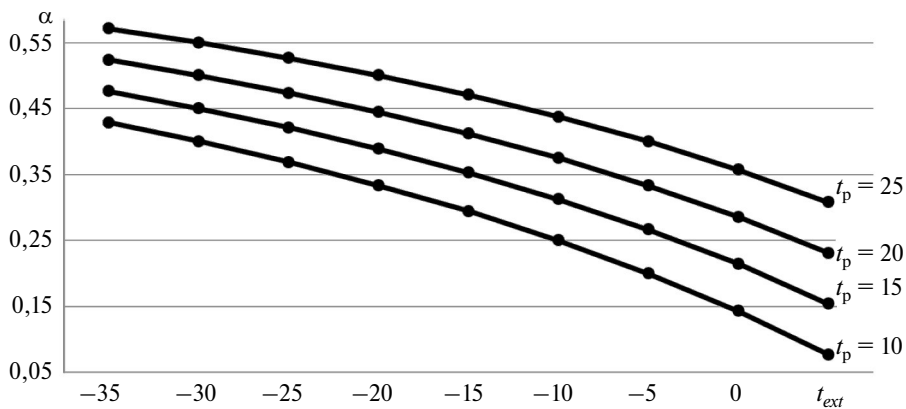


Рис. 3. Зависимости критерия α реальной системы от температуры наружного воздуха t_{ext} при различных значениях температуры внутреннего воздуха t_p (при $t_2 = 70^\circ\text{C}$)

Для эталонной системы уравнение перепишем в следующем виде:

$$t_1 = t_2 + \frac{Q_p}{\alpha_p W} = t_2 + \frac{Q_2}{W}.$$

Температура t_1 в эталонной системе ниже, чем в оптимальной, несмотря на большее значение теплового потока (рис. 4). Зависимость для реальной системы можно построить при наличии замеров.

Соответственно температурный напор между отопительными приборами и внутренним воздухом в эталонной системе также будет ниже, чем в оптимальной при условии постоянства температуры t_p . Дополнительное количество тепла передается в эталонной системе за счет

большой площади и эффективности отопительных приборов. Среднеарифметический температурный напор с достаточной точностью можно определить по следующей формуле:

$$\Delta t = \left(\frac{t_1 + t_2}{2} \right) - t_p.$$

Зависимость Δt от t_{ext} для реальной системы также можно построить при наличии замеров, рассчитав по формуле

$$\Delta t = \left(\frac{t_1 + \frac{\sum_{j=1}^m t_{2j}}{m}}{2} \right) - \frac{\sum_{j=1}^m t_{pj}}{m}.$$

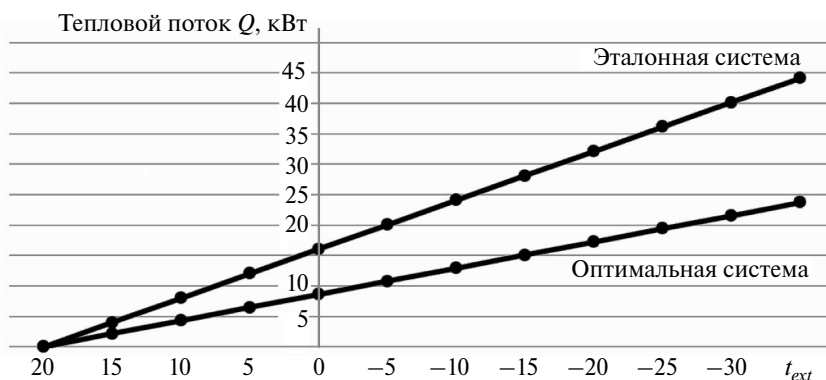


Рис. 4. Зависимости теплового потока оптимальной и эталонной систем от температуры наружного воздуха t_{ext} при внутренней температуре $t_p = 20$ °C (для условий г. Читы; при тепловом эквиваленте расхода сетевой воды $W = 1$ кВт/°C)

Следует отметить, что температуру t_1 нет необходимости рассчитывать или измерять, так как она напрямую не входит в формулу α , а ее влияние, как видно из вышеприведенных формул, учтено в значении t_2 и опосредовано через t_p в уравнении теплопередачи отопительных приборов во всех трех рассматриваемых видах систем (эталонной, оптимальной и реальной).

Методика оценки энергоэффективности на основе предложенного критерия α предполагает сравнение оптимальной и эталонной систем. Данный критерий может быть легко получен для оптимальных и реальных параметров любой системы теплоснабжения зданий. Например, для стандартного температурного графика систем отопления 95/70 и расчетных условий для систем теплоснабжения г. Читы ($t_{ext} = -38$ °C и $t_p = 20$ °C) оптимальной будет считаться система с $\alpha_{opt} = 0,537$. Присутствующие в подавляющем большинстве зданий инфильтрация, инсоляция, внутренние тепловыделения и ГВС (практически переходит во внутренние тепловыделения) также будут учтены в данном критерии энергоэффективности их влиянием на реальные значения t_p и t_2 .

Для предварительной оценки α реальной системы теплоснабжения выполним анализ данных по изменению температуры обратной сетевой воды в течение суток за год (апрель, октябрь, декабрь) на примере наиболее мощной системы теплоснабжения г. Читы (ТЭЦ-1 — Город). Результаты анализа следующие.

Колебания температуры обратной сетевой воды в течение суток составляли 2,6–5,1 °C (в среднем 3,6 °C).

Наибольшее значение температуры обратной сетевой воды наблюдается в утренние часы (6⁰⁰–10⁰⁰). Превышение по сравнению со среднесуточной температурой составляет 1,3–2,5 °C, в среднем 1,8 °C. Превышение по сравнению с расчетной температурой было 2,6–5,0 °C, в среднем 3,8 °C.

Как уже было отмечено, среднесуточное превышение температуры обратной сетевой воды в течение рассматриваемого периода — 3,8 °C. Соответственно, для рассматриваемой системы $\alpha_p = 0,519$. Это значение ниже оптимального на 3,4 %. Оптимальное значение, как уже было показано, составляет $\alpha_{opt} = 0,537$. Значение температуры внутреннего воздуха при проведении данной предварительной оценки принято $t_p = 20$ °C (характерно для большинства зданий, подключенных к рассматриваемой системе теплоснабжения). Соответственно, данную систему нельзя считать энергоэффективной, и необходимо выявление проблемных объектов с целью разработки для них мероприятий по оптимизации режимных параметров систем теплоснабжения. Дополнительно были выполнены обследования и анализ теплоснабжения 100 различных объектов теплоснабжения (80 жилых и 20 административных и общественных зданий), подключенных к рассматриваемой системе. Они выявили следующие основные типовые причины низкой энергоэффективности:

1. Приблизительный (на объектах, где отсутствует проектная документация) расчет теплотеря здания по удельным тепловым характеристикам при заключении договора на

теплоснабжение. Как следствие, на указанную величину тепловой нагрузки ориентируется ТЭЦ и под данный расчет подобрано оборудование теплового пункта. Проведенный анализ теплопотребления данных объектов показал, что при суммарном расчетном годовом теплопотреблении 181521 МВт·ч фактическое потребление составило 132989 МВт·ч, или 73 % от расчетного. Это ведет к превышению температуры обратной сетевой воды относительно расчетного значения и, как следствие, к перерасходу топлива на ТЭЦ.

2. Состояние внутренней и наружной поверхностей нагревательных приборов, особенно в старых зданиях (отложение шлама, солей жесткости, многократная окраска и т. д.), приводит к пониженному теплосъему. Это также ведет к превышению температуры обратной сетевой воды относительно расчетного значения

3. Отсутствуют системы погодного автоматического регулирования систем отопления и автоматического регулирования температуры в системе ГВС на тепловых пунктах. ТЭЦ ориентируется при отпуске тепла на среднесуточную температуру наружного воздуха, соответственно центральное регулирование не может учесть суточных колебаний температуры наружного воздуха и инсоляцию. На сегодняшний день системы автоматического регулирования «по возмущению» обязательны только в новостройках, на остальных объектах количество корректно работающих систем ничтожно мало. Кроме того, даже существующие элеваторные узлы работают с помощью дополнительных подкачивающих насосов, которые теплоснабжающая организация вынуждена устанавливать из-за отсутствия перепадов на абонентских вводах. Последнее вызвано стихийной застройкой города и низкой пропускной способностью существующих магистральных и внутриквартальных тепловых сетей. Все это приводит к нарушению температурного режима в здании, особенно в переходные периоды отопительного сезона, и превышению температуры обратной сетевой воды относительно расчетного значения. Таким образом, отсутствие систем автоматического регулирования негативно влияет на эффективность работы системы теплоснабжения.

4. Нарушение работы систем естественной вентиляции (забитые вентиляционные шахты и решетки, сверхнормативная инфильтрация

через ограждающие конструкции и т. п.). Подавляющее большинство зданий в г. Чита оснащены системой естественной вентиляции. Тепловая нагрузка систем естественной вентиляции заложена в площадь отопительных приборов, что, как следствие, также влияет на температуру обратной сетевой воды.

5. Учитывая меняющуюся экономическую ситуацию, у потребителей наблюдается переориентация назначения помещений и сокращение численности сотрудников, что влечет за собой уменьшение потребления тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Часто потребители не отражают это в договорах на теплоснабжение и не корректируют оборудование (тепловой пункт, система отопления и горячего водоснабжения). Это ведет к превышению температуры обратной сетевой воды относительно расчетного значения.

6. При реконструкции устанавливаются трубопроводы и отопительные приборы другого типа, как правило, без какого-либо расчета, что нарушает тепловой и гидравлический режим системы отопления и соответственно влияет на режимные параметры системы теплоснабжения.

Выводы

Предложен новый, простой в практическом применении критерий оценки энергоэффективности систем теплоснабжения, учитывающий ключевые режимные параметры систем теплоснабжения — относительная доля использования теплоты α_p .

Разработана методика оценки энергоэффективности, в основу которой положено сравнение реальных систем теплоснабжения с эталонными и оптимальными по предложенному критерию относительной доли использования теплоты α_p .

Выполнена с использованием предложенной методики предварительная оценка энергоэффективности системы теплоснабжения на примере одной из самых мощных в г. Чита. Сделано заключение о проблемах с энергоэффективностью в системе.

На основе энергообследования различных объектов рассматриваемой системы теплоснабжения выделены типичные причины отклонения режимных параметров и, как следствие, отклонение от оптимального значения относительной доли использования теплоты α_p .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Требунских С.А., Батухтин А.Г.** Энтропийная эффективность теплотребляющих объектов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического института. 2011. № 2(123). С. 91–99.
2. **Степанов В.С.** Методы оценки термодинамической эффективности систем поддержания микроклимата // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 4. С. 46–54.
3. **Старикова Н.В.** Разработка методов и показателей для термодинамического анализа системы теплоснабжения как единого комплекса: Дисс. ... канд. техн. наук / Иркутск. Иркутский государственный технический университет. 2012. 156 с.
4. **Табунщиков Ю.А.** Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2014. № 1. С. 6–11.
5. **Станкявичус В.Ю., Карбаускайте Ю., Норвайшиене Р.** Сертификация зданий по показателям энергетической эффективности // Энергосбережение. 2014. № 8. С. 26–30.
6. **Горячих Н.В., Батухтин А.Г.** Использование факторного анализа для оптимизации режимов работы систем централизованного теплоснабжения // Промышленная энергетика. 2013. № 9. С. 26–30.
7. **Ливчак В.И.** Градусо-сутки отопительного периода как инструмент сравнения уровня энергоэффективности зданий в России и в других странах // Энергосбережение. 2015. № 6. С. 20–25.
8. **Колосов М.В., Жуйков А.В.** Оптимизация параметров и конфигурации тепловых сетей // Промышленная энергетика. 2013. № 7. С. 21–22.
9. **Петриков С.А., Цой А.Д.** К вопросу о повышении эффективности систем тепло-снабжения // Промышленная энергетика. 2004. № 9. С. 26–29.
10. **Жарков С.В., Якимец Е.Е.** К вопросу об оптимальном радиусе теплоснабжения ТЭЦ // Энергетик. 2010. № 12. С. 25–27.
11. **Салихов Т. П., Худаяров М.Б.** Энергомониторинг как инструмент повышения энергоэффективности жилых и общественных зданий // Энергосбережение и водоподготовка. 2015. № 5. С. 54–60.
12. **Стенников В.А., Барахтенко Е.А., Соколов Д.В.** Методы комплексного развития и реконструкции теплоснабжающих систем с применением современных информационных технологий // Промышленная энергетика. 2012. № 4. С. 17–22.
13. **Байбаков С.А., Субботина Е.А.** Методы оценки состояния и качества режимов эксплуатации закрытых тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2014. № 10. С. 40–50.
14. **Токарев В.В., Шалагинова З.И.** Методика многоуровневого наладочного расчета теплогидравлического режима крупных систем теплоснабжения с промежуточными ступенями управления // Теплоэнергетика. 2016. № 1. С. 71–80.
15. **Шалагинова З.И.** Оценка потенциала энергосбережения от проведения наладочных мероприятий в системах теплоснабжения на основе моделирования теплогидравлических режимов // Теплоэнергетика. 2014. № 11. С. 62–69.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СЕРЕДКИН Александр Алексеевич — кандидат технических наук доцент Забайкальского государственного университета. E-mail: alexandr-ns@mail.ru

REFERENCES

1. **Trebunskikh S.A., Batuhitin A.G.** Entropiyayaya effektivnost teplopotrebyayushchikh obyektov. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. St. Petersburg: SPb-GPU Publ. 2011. № 2(123). S. 91–99. (rus)
2. **Stepanov V.S.** Metody otsenki termodinamicheskoy effektivnosti sistem podderzhaniya mikroklimate. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy.: Stroitelstvo*. Novosibirsk. 2009. № 4. S. 46–54. (rus)
3. **Starikova N.V.** Razrabotka metodov i pokazateley dlya termodinamicheskogo analiza sistemy teplosnabzheniya kak yedinogo kompleksa: Doctoral thesis / Irkutsk. Irkutsk State technical University. 2012. (rus)
4. **Tabunshchikov Yu.A.** Energoeffektivnyye zdaniya i innovatsionnyye in-zhenernyye sistemy. *Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics Journal*. 2014. № 1. S. 6–11. (rus)
5. **Stankyavichus V.Yu., Karbauskayte Yu., Norvayshiyene R.** Sertifikatsiya zdaniy po pokazatelyam energetiche-skoy effektivnosti. *Energy Saving Journal*. 2014. № 8. S. 26–30. (rus)
6. **Goryachikh N.V., Batukhtin A.G.** Ispolzovaniye faktornogo analiza dlya optimizatsii rezhimov raboty sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya. *Industrial Power Engineering Journal*. 2013. № 9. S. 26–30. (rus)

7. **Livchak V.I.** Graduso-sutki otopitel'nogo perioda kak instrument sravneniya urovnya energoeffektivnosti zdaniy v Rossii i v drugikh stranakh. *Energy Saving Journal*. 2015. № 6. S. 20–25. (rus)
8. **Kolosov M.V.** Optimizatsiya parametrov i konfiguratsii teplovykh setey. *Industrial Power Engineering Journal*. 2013. № 7. S. 21–22. (rus)
9. **Petrikov S.A.** K voprosu o povyshenii effektivnosti sistem teplosnabzheniya. *Industrial Power Engineering*. 2004. № 9. S. 26–29. (rus)
10. **Zharkov S.V., Yakimets Ye.Ye.** K voprosu ob optimalnom radiuse teplosnabzheniya TETs. *Energetik Journal*. 2010. № 12. S. 25–27. (rus)
11. **Salikhov T.P., Khudayarov M.B.** Energomonitoring kak instrument povysheniya energoeffektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. *Energy saving and watertreatment Journal*. 2015. № 5. S. 54–60. (rus)
12. **Stennikov V.A., Barakhtenko Ye.A., Sokolov D.V.** Metody kompleksnogo razvitiya i rekonstruktsii teplosnabzhayushchikh sistem s primeneniyem sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy. *Industrial Power Engineering Journal*. 2012. № 4. S. 17–22. (rus)
13. **Baybakov S.A., Subbotina Ye.A.** Metody otsenki sostoyaniya i kachestva rezhimov ekspluatatsii zakrytykh teplovykh setey sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya. *Novosti teplosnabzheniya Journal*. 2014. № 10. S. 40–50. (rus)
14. **Tokarev V.V., Shalaginova Z.I.** Metodika mnogourovnevnogo naladochnogo rascheta teplogidravlicheskogo rezhima krupnykh sistem teplosnabzheniya s promezhutochnymi stupenyami upravleniya. *Thermal Engineering Journal*. 2016. № 1. S. 71–80. (rus)
15. **Shalaginova Z.I.** Otsenka potentsiala energosberezheniya ot provedeniya naladochnykh meropriyatiy v sistemakh teplosnabzheniya na osnove modelirovaniya teplogidravlicheskikh rezhimov. *Thermal Engineering Journal*. 2014. № 11. S. 62–69. (rus)

AUTHORS

SEREDKIN Aleksandr A. — *Transbaikalskaya gosudarstvennaya universitetskaya akademiya*. E-mail: aleksandr-ns@mail.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 06.09.2016.