

## МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДАВАЕМОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**А.А. Басалаев, Д.А. Шнайдер**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Для многих систем централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в настоящее время характерно наличие потребителей, в которых не производится автоматическое регулирование потребления тепловой энергии в зависимости от температуры наружного воздуха ввиду отсутствия систем автоматизации на индивидуальных тепловых пунктах. Поэтому основным механизмом качественного регулирования подачи тепловой энергии потребителям является изменение температуры теплоносителя, подаваемого от источника тепла. В условиях различных структурных изменений сети теплоснабжения, а также изменений теплогидравлических характеристик потребителей, актуальной задачей является оперативное определение оптимального задания температуры теплоносителя на источнике.

Статья посвящена задаче оптимизации температуры теплоносителя, подаваемого от источника тепла, в системах централизованного теплоснабжения с применением имитационного моделирования. Рассматривается метод оптимизации температуры теплоносителя, основанный на использовании штрафных функций по температуре воздуха в помещениях и количеству потребляемой тепловой энергии. Авторы исследуют влияние весовых коэффициентов конкурирующих оценок экономии и комфортности температуры воздуха в помещениях на результаты решения рассматриваемой задачи оптимизации с использованием указанного метода.

*Ключевые слова: централизованная система теплоснабжения, моделирование, оптимизация, температура теплоносителя.*

### **Введение**

Системы централизованного теплоснабжения нашли широкое применение в крупных городах благодаря высокой эффективности совместной выработки тепловой и электрической энергии на теплоэлектростанциях [1]. Такие системы состоят из одного или нескольких источников тепла и множества потребителей, соединённых сетью трубопроводов. Потребителями в такой системе являются объекты различного назначения: промышленные предприятия, торговые комплексы, образовательные учреждения, офисные и жилые здания и др. [2]. При этом потребители тепловой энергии могут иметь собственные системы управления подачей и распределением тепловой энергии – автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (АИТП) [3].

Однако для многих систем централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в настоящее время характерно наличие объектов, в которых отсутствует АИТП. В этом случае на тепловых станциях применяется качественное регулирование, при котором подача тепловой энергии регулируется посредством изменения температуры подаваемого теплоносителя [4]. В связи с этим появилась задача поддержания оптимальной температуры теплоносителя на выходе источника тепла, достаточной для предоставления всем потребителям требуемого количества тепловой энергии.

Первым вариантом решения этой задачи стало составление температурных графиков зависимости температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха [5, 6]. Данное решение хорошо зарекомендовало себя на практике. Однако с развитием автоматизированных систем появился доступ не только к текущей и статистической информации о состоянии и характеристиках

потребителей [7–9], но и к инструментам имитационного моделирования параметров потребления и распределения тепловой энергии [10–12].

Имитационное моделирование тепловых и гидравлических режимов предоставило широкие возможности управлению системой централизованного теплоснабжения, позволив не только оперативно рассчитывать состояние системы теплоснабжения, но и оценивать параметры микроклимата отапливаемых помещений, что дало возможность учитывать при оптимизации как показатели экономии, так и качество микроклимата помещений. Требуемые параметры микроклимата определяются действующими санитарными нормами, которые необходимо учитывать при решении задач экономии энергоресурсов. Также стоит отметить, что для различных типов помещений нормативные температуры различаются, а также существуют допустимые диапазоны колебания температуры воздуха в помещениях [13, 14].

В зданиях, где отсутствуют АИТП, такие колебания температуры могут быть обусловлены изменением бытовых тепловыделений, инфильтрации воздуха, тепловых характеристик ограждающих конструкций и отопительных приборов, а также параметров подаваемого на ввод здания теплоносителя. При этом в больших микрорайонах присутствуют потребители с различными теплогидравлическими характеристиками, которые обусловлены не только текущим состоянием самих зданий, но и функционированием в их составе АИТП. Эти факторы влияют не только на температуру теплоносителя, но и на его расход и давление. В свою очередь изменение расходов и потерь давления на каждом здании приводит к колебаниям параметров теплоносителя на источнике.

Ввиду наличия указанных выше взаимосвязей для расчёта текущих характеристик функционирования городских систем теплоснабжения применяются специализированные математические модели [15] и программные комплексы (Termis Software [16], GRADES Heating [17]), способные учитывать текущую конфигурацию сети теплоснабжения (аварийные ситуации, отключенные или новые потребители), а также текущие эксплуатационные теплогидравлические характеристики объектов системы.

Поскольку описанные выше системы теплоснабжения обладают постоянно изменяющимися в определённых диапазонах теплогидравлическими характеристиками, необходимо создавать такие автоматизированные системы управления, которые будут выбирать в конкретный момент времени наиболее экономичные режимы функционирования объектов при соблюдении установленных диапазонов качества микроклимата помещений в условиях совмещения качественного и количественного принципов управления как на источниках, так и у потребителей.

В этой связи актуальной является задача разработки метода комплексной оптимизации температуры подаваемого теплоносителя в системе централизованного теплоснабжения зданий, обеспечивающего максимальную возможную экономию энергоресурсов на источниках с учетом требуемых параметров микроклимата для различных типов зданий. Далее рассмотрим решение данной задачи на основе имитационного моделирования с применением подхода к оптимизации, предложенного в работе [18].

### Метод оптимизации

В системах централизованного теплоснабжения основным параметром, регулируемым на источнике тепловой энергии, является температура теплоносителя, подаваемого в систему теплоснабжения. При этом тепловая энергия  $Q$ , потребляемая зданием, может быть выражена следующей формулой [18]:

$$Q = \frac{T_1 - T_H}{\frac{1}{k \cdot F} + \frac{0,5}{c \cdot G} + \frac{1}{q}}, \quad (1)$$

где  $q$  – удельное теплоснабжение здания;  $k$  – коэффициент теплопередачи нагревательных приборов;  $F$  – площадь поверхности нагревательных приборов;  $c$  – удельная теплоемкость теплоносителя;  $G$  – суммарный расход теплоносителя через нагревательные приборы;  $T_1$  – температура теплоносителя на входе в систему отопления;  $T_H$  – температура наружного воздуха.

Для системы отопления основным показателем качества микроклимата здания является средняя температура воздуха в помещениях, которую можно оценить по следующей формуле [18]:

$$T_B = T_H + \frac{T_1 - T_H}{q \cdot \left( \frac{1}{k \cdot F} + \frac{0,5}{c \cdot G} \right) + 1}. \quad (2)$$

Согласно (1) и (2) необходимо поддерживать такую минимальную температуру подаваемого теплоносителя, при которой средняя температура воздуха в помещениях в каждом здании будет наиболее комфортной. Такая задача относится к группе минимаксных задач оптимизации и может быть описана следующей системой целевых функций:

$$\begin{cases} Q(T_1) \rightarrow \min \\ M_{\Pi i}(T_1) \rightarrow \max, i = 1 \dots N \end{cases} \quad (3)$$

где  $M_{\Pi i}$  – оценка качества микроклимата с точки зрения температуры воздуха в помещениях  $i$ -го здания системы теплоснабжения;  $Q$  – суммарная генерируемая тепловая энергия, достаточная для теплоснабжения всех зданий в теплоэнергетическом комплексе;  $N$  – количество зданий, подключенных к системе теплоснабжения. При этом равномерный прогрев помещений внутри зданий должен достигаться путём балансировки системы отопления внутри здания, что является отдельной технической задачей, которая в рамках данной работы не рассматривается.

Чтобы оценить качество температуры воздуха в помещениях  $i$ -го здания системы теплоснабжения введем штрафную функцию  $R_1$  температуры воздуха в помещениях [18]:

$$R_{1i} = \begin{cases} 1 + N \cdot p_i \cdot (T_{\Pi i}^{\min} - T_{\Pi i}), T_{\Pi i} < T_{\Pi i}^{\min} \\ \frac{T_{\Pi i} - T_{\Pi i}^{\text{comf}}}{T_{\Pi i}^{\min} - T_{\Pi i}^{\text{comf}}}, T_{\Pi i}^{\min} \leq T_{\Pi i} < T_{\Pi i}^{\text{comf}} \\ \frac{T_{\Pi i} - T_{\Pi i}^{\text{comf}}}{T_{\Pi i}^{\max} - T_{\Pi i}^{\text{comf}}}, T_{\Pi i}^{\text{comf}} \leq T_{\Pi i} \leq T_{\Pi i}^{\max} \\ 1 + N \cdot p_i \cdot (T_{\Pi i} - T_{\Pi i}^{\max}), T_{\Pi i} > T_{\Pi i}^{\max} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $T_{\Pi i}$  – рассчитываемая макромоделью [18] средняя температура воздуха в помещениях  $i$ -го здания;  $T_{\Pi i}^{\min}$ ,  $T_{\Pi i}^{\text{comf}}$  и  $T_{\Pi i}^{\max}$  – минимальная, комфортная и максимальная средняя температура воздуха в помещениях  $i$ -го здания согласно санитарным нормам в зависимости от типа этого здания;  $p_i$  – штрафной коэффициент за нарушение требуемых температурных диапазонов.

График штрафной функции средней температуры воздуха в помещениях  $R_1$  для одного здания представлен на рис. 1.

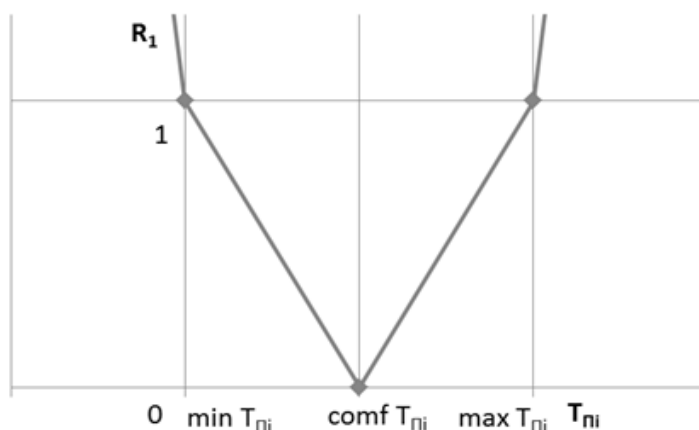


Рис. 1. График штрафной функции температуры воздуха в помещениях

Чтобы оценить величину экономии при оптимизации температуры теплоносителя системы теплоснабжения введем штрафную функцию  $R_2$  для генерируемой на нужды теплоснабжения суммарной тепловой энергии [18]:

$$R_2 = \begin{cases} 1 + p \cdot (\min Q - Q), & Q < \min Q \\ \frac{Q - \min Q}{\max Q - \min Q}, & \min Q \leq Q \end{cases} \quad (5)$$

где  $Q$  – суммарная генерируемая тепловая энергия;  $p$  – штрафной коэффициент за нарушение требуемых температурных диапазонов;  $\min Q$  и  $\max Q$  – минимальная и максимальная суммарная генерируемая тепловая энергия.

Минимальная суммарная генерируемая тепловая энергия  $\min Q$  – это энергия, которой достаточно для поддержания средней температуры воздуха в помещениях для каждого здания не ниже минимальной температуры, соответствующей этому типу здания согласно санитарным нормам. Величина  $\min Q$  рассчитывается при решении следующей оптимизационной задачи [18]:

$$\min Q = \begin{cases} Q(T_{1S}) \rightarrow \min \\ T_{\Pi i}(T_{1S}) \geq \min T_{\Pi i} \end{cases} \quad (6)$$

где  $T_{1S}$  – температура теплоносителя на выходе источника тепла;  $Q(T_{1S})$  – суммарная генерируемая источником тепловая энергия;  $T_{\Pi i}(T_{1S})$  – средняя температура воздуха в помещениях  $i$ -го здания.  $Q(T_{1S})$  и  $T_{\Pi i}(T_{1S})$  рассчитываются макромоделью [18] по заданной температуре теплоносителя на выходе источника тепла с учётом теплогидравлических характеристик зданий и трубопроводов системы теплоснабжения.

Максимальная суммарная генерируемая тепловая энергия  $\max Q$  – это энергия, которой достаточно для поддержания средней температуры воздуха в помещениях для каждого здания не ниже максимальной температуры, соответствующей этому типу здания согласно санитарным нормам. Величина  $\max Q$  рассчитывается при решении следующей оптимизационной задачи [18]:

$$\max Q = \begin{cases} Q(T_{1S}) \rightarrow \min \\ T_{\Pi i}(T_{1S}) \geq \max T_{\Pi i} \end{cases} \quad (7)$$

График штрафной функции потребления тепловой энергии  $R_2$  представлен на рис. 2.

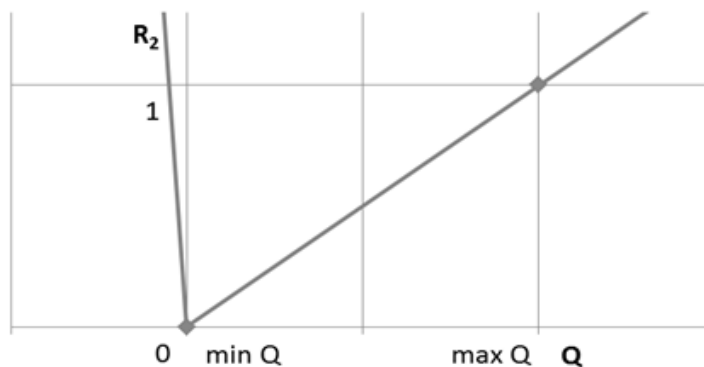


Рис. 2. График штрафной функции потребления тепловой энергии

С использованием штрафных функций (4) и (5) оптимизационная задача (3) может быть приведена к оптимизационной задаче, описываемой следующим выражением:

$$R(T_{1S}, \alpha) = \alpha \cdot R_2(Q_{\text{СУМ}}(T_{1S})) + (1 - \alpha) \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_1(T_{\Pi i}(T_{1S})) \rightarrow \min, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – весовой коэффициент, определяющий значимость критериев, по которым производится оптимизация температуры теплоносителя:

1) при  $\alpha = 1$  выполняется оптимизация по критериям максимальной экономии тепловой энергии при соблюдении минимально допустимых температур воздуха в помещениях. В этом случае решается оптимизационная задача (6);

2) при  $\alpha = 0$  выполняется оптимизация по критерию достижения наиболее комфортных температур воздуха в помещениях зданий. В этом случае решается оптимизационная задача по минимизации среднего значения по зданиям функции вида (4).

Таким образом, в оптимизационной задаче рассчитывается такая температура теплоносителя на выходе источника тепла, при которой минимизируется совокупность нежелательных оценок состояния системы теплоснабжения, возникающих при увеличении потребляемой энергии согласно штрафной функции  $R_2$ , с одной стороны, и при отклонении от максимально комфортных параметров микроклимата зданий согласно штрафной функции  $R_1$ , с другой стороны.

**Исследование значимости критериев экономии и комфортности микроклимата**

Чтобы изучить влияние коэффициента  $\alpha$ , регулирующего значимость критериев экономии и комфортности микроклимата, на результат оптимизации проведём имитационный эксперимент с применением модели южной части системы теплоснабжения Южно-Уральского государственного университета, использованной в работе [18]. В этой модели в качестве источника выступает газовая котельная, на которой оптимизируется температура подаваемого теплоносителя. При этом модель включает в себя 8 потребителей (5 объектов с АИТП и 3 – без АИТП). Критериями качества микроклимата помещений являются оценки температуры воздуха в помещениях 3 зданий без АИТП:

- 1) учебно-лабораторный корпус 3Д – допустимый диапазон температур воздуха в помещениях 20–24 °С;
- 2) ангары АТ-факультета – допустимый диапазон температур воздуха в помещениях 18–22 °С;
- 3) учебно-лабораторный корпус факультета валеологии – допустимый диапазон температур воздуха в помещениях 20–24 °С.

По температурам воздуха в помещениях для зданий с АИТП не строятся штрафные функции, поскольку они регулируются с использованием автономных алгоритмов локальных контроллеров, корректирующих температуру подаваемого от источника теплоносителя в соответствии с указанным для этого здания температурным графиком. Но по этим температурам ограничивается минимальная температура теплоносителя на выходе источника в случае, когда автоматика на АИТП не может поддерживать заданную температуру теплоносителя, подаваемого в систему отопления здания, из-за низкой температуры теплоносителя, подаваемого из тепловой сети на ввод здания.

На рис. 3 представлены результаты 3 серий экспериментов для 3 различных температур наружного воздуха (–10, –20, –30 °С). В каждой серии экспериментов коэффициент  $\alpha$  изменялся от 0 до 1 с шагом 0,01. Оптимизация производилась методом Пауэлла.

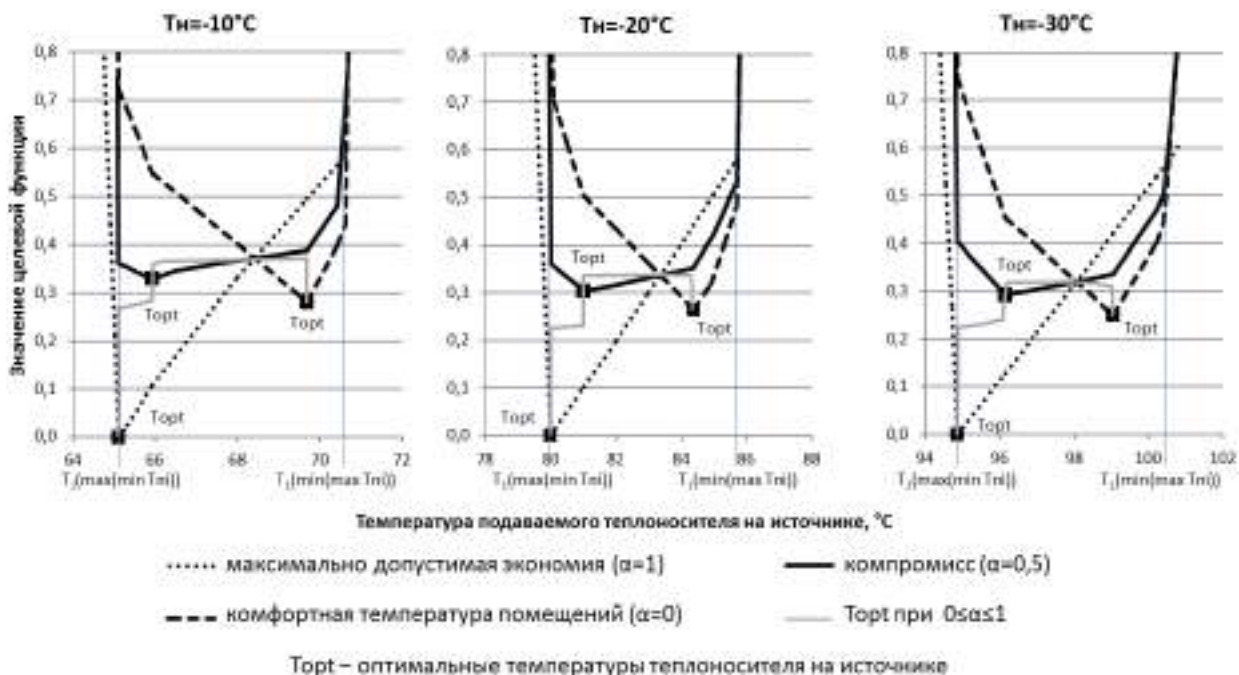


Рис. 3. Значения целевой функции при различных весах  $\alpha$

Графики на рис. 3 отражают зависимости значения целевой функции типа (8) от температуры подаваемого от источника теплоносителя для различных весовых коэффициентов  $\alpha$ :

1) серая сплошная линия представляет собой решения задачи оптимизации (минимумы целевых функций типа (8)) для  $0 \leq \alpha \leq 1$  с шагом 0,01;

2) чёрные линии – значения целевых функций типа (8) в зависимости от температуры теплоносителя:

а) пунктирная линия – решение задачи максимальной экономии в пределах диапазонов допустимых температур воздуха в помещениях ( $\alpha = 1$ );

б) штриховая линия – решение задачи нахождения максимально комфортных температур воздуха в помещениях зданий в пределах диапазонов допустимых температур в условиях. При этом положительное отклонение температуры воздуха от максимально комфортной в помещениях одних зданий сопровождается отрицательным отклонением температуры воздуха от максимально комфортной в помещениях других зданий ( $\alpha = 0$ );

в) сплошная линия – решение одновременно задачи экономии и комфортности температуры воздуха в помещениях – нахождение компромисса с коэффициентом значимости  $\alpha = 0,5$ .

Отметим особенности, которые проявились при изменении весового коэффициента  $\alpha$ :

1) при увеличении значимости экономии  $\alpha$  снижается оптимальная температура подаваемого от источника теплоносителя. При этом в модели наблюдалось снижение общего потребления тепловой энергии, а также для одного из зданий была достигнута минимально допустимая температура воздуха в помещениях (20 °С);

2) для суммы кусочно-заданных составляющих целевой функции (8) вида (4) и (5) наблюдается наличие единственного локального минимума;

3) при изменении  $0 \leq \alpha \leq 1$  наблюдаются зоны устойчивых решений, когда при изменении  $\alpha_i$  в некоторой окрестности  $\beta_{i1} \leq \alpha_i \leq \beta_{i2}$ , значение оптимальных температуры теплоносителя и температур воздуха в помещениях остаётся неизменной. При этом наблюдается резкий переход от одного устойчивого решения к другому. Также наблюдается одно устойчивое решение – минимум температуры теплоносителя, который соответствует максимальной экономии, а количество оставшихся устойчивых решений (которых в данном примере два) соответствует количеству различных диапазонов температур воздуха в помещениях (в данном примере 2 диапазона: для двух зданий – 20–24 °С, для одного здания – 18–22 °С).

4) на каждом графике наблюдается единственная точка пересечения представленных целевых функций при различных значениях  $0 \leq \alpha \leq 1$ , которая, возможно, является одним из решений задачи оптимизации на множестве  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Таким образом, представленные эксперименты по изучению влияния коэффициента значимости экономии  $\alpha$  на результаты вычислений показывают, что диапазон весов  $\alpha$  можно разделить на несколько непересекающихся областей, в каждой из которых будет находиться устойчивое решение. В итоге, рассмотренный метод оптимизации дает возможность нахождения и классификации оптимальных температур теплоносителя по степени важности соблюдения различных диапазонов температур воздуха в помещениях.

### Заключение

Предложенный метод оптимизации особенно актуален для систем централизованного теплоснабжения, в которых применяется качественный метод регулирования, а на части потребителей отсутствуют автоматизированные индивидуальные тепловые пункты.

Метод позволяет рассчитать такое значение температуры теплоносителя на выходе источника тепла, при поддержании которого будет достигаться наиболее комфортная температура воздуха в помещениях потребителей по системе теплоснабжения в целом. При этом за счёт изменения коэффициента значимости экономии можно в допустимых по нормативам пределах температур воздуха в помещениях снижать потребление тепловой энергии.

Также стоит отметить, что метод оптимизации применим для имитационных моделей системы теплоснабжения, которые могут создаваться и рассчитываться в любой среде моделирования, поддерживающей обмен исходными данными, а также параметрами и результатами моделирования источника и потребителей системы теплоснабжения со сторонним программным обеспечением. В этом случае предложенный метод может быть реализован как в стороннем программном

обеспечении, так и средствами среды моделирования при условии поддержки средой использования пользовательских алгоритмов расчётов.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП: «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 год» по проекту «Разработка энергосберегающей геоинформационной системы реального времени для оптимального управления теплогидравлическими режимами систем теплоснабжения муниципального образования» (шифр заявки «2014-14-579-0003-035») в соответствии с Соглашением о предоставлении субсидии № 14.577.21.0026 от 05.06.2014 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0026).

### Литература/References

1. Nuorkivi A. District Heating and Cooling Policies Worldwide. *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, 2015, pp. 17–41.
2. Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J.E., Hvelplund F., Mathiesen B.V. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating Smart Thermal Grids into Future Sustainable Energy Systems. *Energy*, 2014, vol. 68, pp. 1–11.
3. Brand M., Della Rosa A., Svendsen S. Energy-Efficient and Cost-Effective In-House Substations Bypass for Improving Thermal and DHW (Domestic Hot Water) Comfort in Bathrooms in Low-Energy Buildings Supplied by Low-Temperature District Heating. *Energy*, 2014, vol. 67, pp. 256–267.
4. Olike I. Steam Turbines for Cogeneration Power Plants. *J. Eng. Power*, 1980, vol. 102, pp. 482–485.
5. Апарцев М.М. Настройка водяных систем централизованного теплоснабжения. М.: Энергоатомиздат, 1983. 204 с. [Аpartsev M.M. *Naladka vodyanykh sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya* (Adjustment of Water Systems of the Centralized Heat Supply). Moscow, Energoatomizdat, 1983. 204 p.]
6. Madsen H., Sejling K., Sogaard H.T., Palsson O.P. On Flow and Supply Temperature Control in District Heating Systems. *Heat Recovery Systems and CHP*, 1994, vol. 14, pp. 613–620.
7. Bohm B., Danig P.O. Monitoring the Energy Consumption in a District Heated Apartment Building in Copenhagen, with Specific Interest in the Thermodynamic Performance. *Energy and Buildings*, 2004, vol. 36, pp. 229–236.
8. Iacob M., Andreescu G.D., Muntean N. SCADA System for a Central Heating and Power Plant. *Proceedings of the 5th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*. Timisoara, 2009, pp. 159–164.
9. Shnayder D., Abdullin V. A WSN-Based System for Heat Allocating in Multi-Flat Buildings. *36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing*, 2013, pp. 181–185.
10. Lukas G., Swan V., Ugursal I. Modeling of End-Use Energy Consumption in the Residential Sector: a Review of Modeling Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, vol. 13, pp. 1819–1835.
11. Allegrina J., Orehounigb K., Mavromatidis G., Rueschd F., Dorerb V., Evins R. A Review of Modelling Approaches and Tools for the Simulation of District-Scale Energy Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 52, pp. 1391–1404.
12. Lima S., Parkb S., Chungb H., Kimc M., Baikd Y., Shin S. Dynamic Modeling of Building Heat Network System Using Simulink. *Applied Thermal Engineering*, 2015, vol. 84, pp. 375–389.
13. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Утв. Госкомсанэпиднадзором России 01.10.1996. М.: Информ.-издат. центр Минздрава России, 1997. 20 с. [*SanPiN 2.2.4.548–96*. (Hygienic Requirements to Occupational Microclimate). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (accessed 23 September 2016). (in Russ.)]
14. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Утв. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2013. 15 с. [*GOST 30494–2011*. (Residential and Public Buildings. Microclimate Parameters for Indoor Enclosures. Available at: <http://proekt-tmn.ru/06.%20GOST%2030494-2011.pdf> (accessed 23 September 2016). (in Russ.)]
15. Шишкин М.В., Шнайдер Д.А. Моделирование теплогидравлических систем в среде VisSim. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии,

управление, радиоэлектроника». 2004. Вып. 3. № 9 (38). С. 120–123. [Shishkin M.V., Shnaider D.A. (Simulation of Thermal-Hydraulic Systems in VisSim Environment). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2004, iss. 3, no. 9 (38), pp. 120–123. (in Russ.)]

16. Termis Software. Available at: <http://www.schneider-electric.com/en/product-range/61418-termis-software/> (accessed 23 September 2016).

17. PÖYRY: DH Network Simulations – Important Tool in Operation and Construction of DHC Systems. Available at: [http://www.lsta.lt/files/events/2011-05-09-10\\_EHP%20kongresas/geguzes%2010%20d\\_pranesimai/16\\_Poyry\\_DistrictHeatingNetworkSimulations\\_v3.pdf](http://www.lsta.lt/files/events/2011-05-09-10_EHP%20kongresas/geguzes%2010%20d_pranesimai/16_Poyry_DistrictHeatingNetworkSimulations_v3.pdf) (accessed 23 September 2016).

18. Basalaev A.A., Barbasova T.A., Shnayder D.A. Simulation Study on Supply Temperature Optimization of University Campus Heating System. *Procedia Engineering*. 2015, vol. 129, pp. 587–594.

**Басалаев Александр Анатольевич**, старший преподаватель кафедры автоматики и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [basalaevaa@susu.ru](mailto:basalaevaa@susu.ru).

**Шнайдер Дмитрий Александрович**, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматики и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [shnaiderda@susu.ru](mailto:shnaiderda@susu.ru).

*Поступила в редакцию 3 октября 2016 г.*

---

DOI: 10.14529/ctcr170102

## A SIMULATION-BASED METHOD FOR SUPPLY TEMPERATURE OPTIMIZATION IN DISTRICT HEATING SYSTEM

**A.A. Basalaev**, [basalaevaa@susu.ru](mailto:basalaevaa@susu.ru),

**D.A. Shnayder**, [shnaiderda@susu.ru](mailto:shnaiderda@susu.ru)

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

Numerous district heating systems in Russian Federation are still characterized by consumers which are not equipped with an automated individual heating system. The main approach to control heat energy consumption in such systems is changing of heating plant supply temperature. With the diverse changes of pipeline network structure and changes of consumers' thermohydraulic characteristics, on-line determination of optimal heating plant supply temperature is the pressing issue.

The article is devoted to supply temperature optimization at the district heating plant using simulations. It deals with method of supply temperature optimization based on penalty functions considering indoor temperature and heat energy consumed. The authors investigate the influence of weights of concurrent economy and indoor temperature comfort estimates on simulation results of the optimization task using the specified method.

*Keywords: district heating, heating system, simulation, temperature optimization, supply temperature.*

*Received 3 October 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Басалаев, А.А. Метод оптимизации температуры подаваемого теплоносителя в системе централизованного теплоснабжения зданий на основе имитационного моделирования / А.А. Басалаев, Д.А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 15–22. DOI: 10.14529/ctcr170102

### FOR CITATION

Basalaev A.A., Shnayder D.A. A Simulation-Based Method for Supply Temperature Optimization in District Heating System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 15–22. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr170102