

**MODELING QUALITY CONTROL OF HEAT SUPPLY AND DHW  
HEATING MODES USING MATLAB**

**Buralkin E.S.<sup>1</sup>, Egunova A.I.<sup>2</sup> (Russian Federation)**

**Email: Buralkin513@scientifictext.ru**

*<sup>1</sup>Buralkin Evgeny Sergeevich – Master Student;*

*<sup>2</sup>Egunova Alla Ivanovna – Candidate of Historical Sciences,*

*DEPARTMENT OF AUTOMATED INFORMATION PROCESSING AND  
MANAGEMENT SYSTEMS,*

*NATIONAL RESEARCH MORDOVIAN STATE UNIVERSITY*

*NAMED AFTER N.P. OGAREV,*

*SARANSK*

**Abstract:** *the article provides algorithms that allow optimizing the quality control of heat supply and the modes of heating hot water on real data from the coolant. Test experiments showed a fairly objective model of the system, on which possible violations of the quality of heat supply and possible methods of optimizing the heating mode were identified. As a result of the study of the optimization algorithm for heating hot water, positive results were found to adjust the optimal supply of thermal energy to homes.*

**Keywords:** *algorithm, optimization, temperature, heat supply, coefficients, standard, quality control.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
И РЕЖИМОВ ПОДОГРЕВА ГВС С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЛАБ**

**Буралкин Е.С.<sup>1</sup>, Егунова А.И.<sup>2</sup> (Российская Федерация)**

*<sup>1</sup>Буралкин Евгений Сергеевич – студент-магистрант;*

*<sup>2</sup>Егунова Алла Ивановна – кандидат исторических наук,  
кафедра автоматизированных систем обработки информации и  
управления,*

*Национальный исследовательский Мордовский государственный  
университет им. Н.П. Огарёва,*

*г. Саранск*

**Аннотация:** *в статье приводятся алгоритмы, позволяющие оптимизировать контроль качества теплоснабжения и режимы подогрева горячего водоснабжения на реальных данных с теплоносителя. Тестовые эксперименты показали достаточно объективную модель системы, на которой были определены возможные нарушения качества теплоснабжения и возможные методы оптимизации режима подогрева. В результате исследования алгоритма оптимизации подогрева горячего*

*водоснабжения были выявлены положительные результаты для регулировки оптимальной подачи тепловой энергии в дома.*

**Ключевые слова:** *алгоритм, оптимизация, температурный режим, теплоснабжение, коэффициенты, норматив, контроль качества.*

В настоящее время в преддверии реформирования теплоэнергетики и внедрения новой целевой модели рынка теплоснабжения одними из основных потребностей крупных потребителей тепловой энергии являются минимизация рисков на долгосрочную перспективу, связанных с возможным ростом тарифов на тепловую энергию (мощность), а также минимизация затрат на оплату тепловой энергии. Одновременно с этим не менее важная потребность генерирующих компаний — сохранение существующих потребителей, получающих тепловую энергию от централизованных источников тепловой энергии. Механизмом, способным на долгосрочную перспективу минимизировать риски, связанные с переходом к новой модели рынка теплоснабжения, может послужить переход к применению нерегулируемых цен на тепловую энергию (мощность) в продолжительном временном периоде [7].

Функции подачи тепла потребителям тепловыми сетями, подключёнными к источникам тепла, могут быть выполнены лишь при получении потребителями горячей воды при заданном гидравлическом перепаде напоров и температуре в подающей линии в соответствии с температурным графиком. Был реализован переход с качественного на количественно-качественное регулирование. Для решения задач количественного регулирования была предложена система автоматического регулирования, которая позволит [1]:

- минимизировать «перетопы» в период температур наружного воздуха выше точки излома температурного графика;
- получить инструмент для экономии тепла за счёт оптимизации системы потребления;
- обеспечить значительную экономию топлива.

Контроль качества теплоснабжения регулируется договором между территориально-сетевой организацией и потребителем, нормативно-правовыми актами. В соответствии с нормативно-правовыми актами контроля качества теплоснабжения производится на границах балансовой принадлежности между теплоснабжающей организацией и потребителем [8].

В общем случае причинами нарушения качества теплоснабжения могут быть различные ситуации, в том числе и аварийного характера в системе теплоснабжения, а не только вблизи границы балансовой принадлежности. Контроль параметров качества со стороны теплоснабжающей организации должен также производиться в других контрольных точках системы, где

для выполнения этой цели устанавливаются контрольно-измерительные приборы.

Перечень контрольных точек выполняет измерение параметров качества из соображений обеспечения наиболее оперативной реакции по устранению причин, которые могут вызвать нарушения качества теплоснабжения. Контроль качества теплоснабжения выполняется путем сравнения архивных значений измеряемых параметров с нормативом. Кроме сравнения расчетных значений с нормативом, также должен быть определен коридор отклонений, внутри которого значение измеряемого параметра считается соответствующим установленным требованиям качества.

Системы централизованного теплоснабжения (СЦТС) значительно чаще, чем другие системы жизнеобеспечения, подвержены критике со стороны населения – за сомнительную обоснованность роста тарифов, за ненадежность и низкое качество услуг. События последних лет показывают, что эта проблема имеет общероссийское значение. Основными причинами сохранения негативной ситуации являются неэффективность концептуальных подходов к рассмотрению взаимодействия СЦТС с другими системами жизнеобеспечения. В частности, отсутствует системный подход к анализу состояния СЦТС и безотказности их работы. Также отсутствует полномасштабный анализ последствий отказов теплоснабжения для потребителей. Это результат молчаливого согласия властных структур с действиями хозяйствующих субъектов, формально основанного на невмешательстве в дела частных предприятий. Однако это влияние мы наблюдаем в виде частичного бюджетного инвестирования, тарифного регулирования и других мер [2].

Значения нормативов могут быть постоянными, так и функционально зависимыми от других измеряемых величин. К последним относятся значения температур  $T_1$  и  $T_2$  теплоносителя, используемого для отопления, которые при качественном регулировании в системе теплоснабжения определяются как функции от значения температуры наружного воздуха ( $T_{нв}$ ) – в виде температурного графика работы источника тепловой энергии, либо температурного графика на которой рассчитана система теплоснабжения потребителя. Под  $T_1$  будем брать температуру в подающем трубопроводе, а под значением  $T_2$  температуру в обратном трубопроводе.

Температурный режим теплоснабжения определяется температурным графиком, который представляет собой функциональные зависимости от температуры наружного воздуха  $T_{нв}$ :

$$T_1 = F_1(T_{нв}) \text{ и } T_2 = F_2(T_{нв}) \quad (1)$$

Допускаемые отклонения от температурного графика определены в «Правилах технической эксплуатации тепловых энергоустановок» и составляют:

$$\Delta T_1 = \pm 3\%$$

$$\Delta T_2 = +5\%$$

Анализ отклонений  $T_1$  и  $T_2$  в соответствии с теми же ПТЭ ТЭ должен производиться для среднесуточных значений температур. Полная информация для нахождения формулы (1), приведена в [3].

Для любого нарушения режима существенными его характеристиками являются:

- Глубина нарушения, т.е. величина отклонения параметра от допускаемой величины;
- Продолжительность нарушения.

Соответственно, для нарушений температурного режима будем анализировать [4]:

- в качестве глубины нарушения величину отклонения фактического значения  $T_1$  и  $T_2$  от графика в процентах, если она выходит за установленные допускаемые пределы;

- в качестве продолжительность нарушения – период времени в сутках, когда это нарушение имело место.

Интегральный коэффициент нарушения температурного режима  $T_1$ , включающий в себя и глубину, и продолжительность нарушения:

$$K_{HT1} = N_{T1}(п) * K_1 + \Delta T_{1cp}(п) * K_2 + N_{T1}(н) * K_1 - \Delta T_{1cp}(н) * K_2, \quad (2)$$

где:

- $N_{T1}(п)$  и  $N_{T1}(н)$ : относительные периоды перегрева и недогрева  $T_1$ .
- $\Delta T_{1cp}(п)$  и  $\Delta T_{1cp}(н)$ : относительные значения отклонений  $T_1$  от графика при перегреве и недогреве.
- $K_1$  и  $K_2$  – весовые коэффициенты, равные в данном случае 0,25.

Коэффициент нарушения режима  $T_2 K_{HT2}$  определяется аналогично по формуле (2). Полная информация для нахождения формулы (2), представлена в [3].

Поскольку нарушение режима  $T_1$  является первичным, то расчёт коэффициента  $K_{HT2}$  ведётся только для того периода времени, когда график  $T_1$  соблюдался [9]. Для ослабления требований по нарушениям режима  $T_1$  перед формированием отчета можно задать любой другой допускаемый диапазон отклонений взамен  $\pm 3\%$ . Величина коэффициента нарушения температурного режима не имеет конкретного физического смысла, но её можно интерпретировать следующим образом:

1) Значение  $K_n = 0$  говорит о том, что соответствующих нарушений режима в рассматриваемом периоде не было.

2) Приняв условно некоторые параметры нарушений за несущественные, можно определить нижнюю ненулевую границу коэффициента, ниже которой значения  $K_n$  также можно считать несущественными. Если считать несущественными отклонения  $T_1$  от графика в пределах  $\pm 5$  в течение продолжительности общего интервала не более чем на 10% (5% на

перегрев и 5% на недогрев), то несущественными значениями  $K_{HT1}$  можно считать величины равные и менее 0,05.

Для сравнения разномасштабных объектов между собой в части нарушения ими режима  $T_2$  используется средневзвешенный коэффициент  $K_{HT2}$ :

$$K_{HT2\text{взвеш.}} = K_{HT2} * Q_{\text{ср}} / \sum(Q_{\text{ср}}), \text{ где} \quad (3)$$

$Q_{\text{ср}}$  – среднесуточная величина тепловой энергии, потребляемой данным объектом, а  $\sum(Q_{\text{ср}})$  – сумма среднесуточного потребления всех объектов, входящих в отчёт.



Рис. 1. Отклонение температуры ПТ от графика

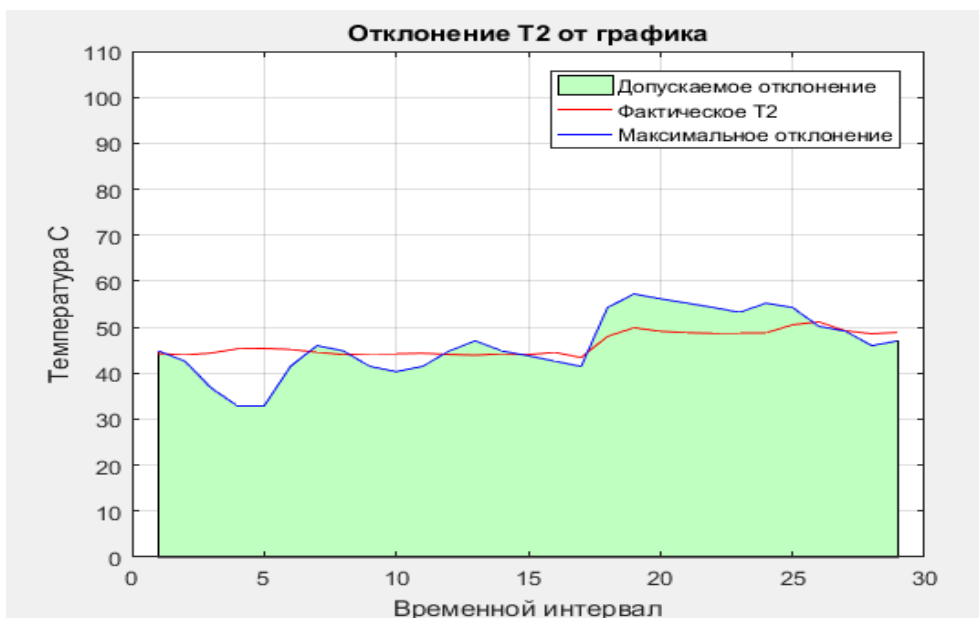


Рис. 2. Отклонение температуры ОТ от графика

Отклонение T2 от нормативных значений с отображением допускаемого коридора значений. Полная информация для нахождения формулы (3), представлена в [3].

Качество теплосъема на объекте в сравнении с температурным графиком.

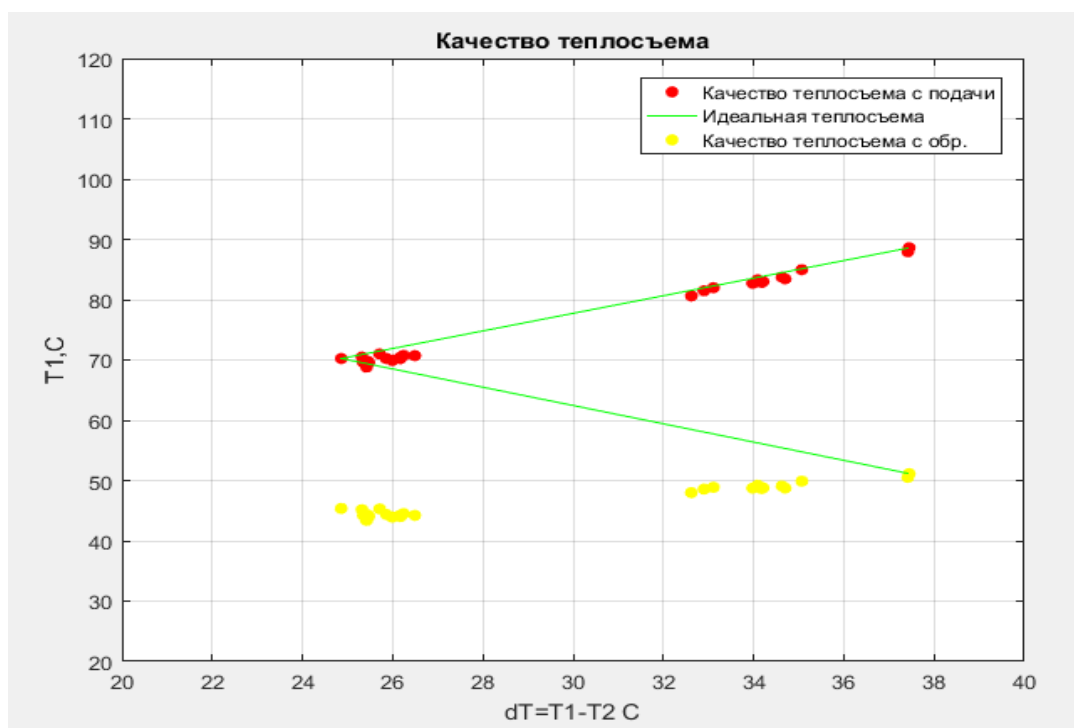


Рис. 3. Качество теплосъема

Тепловую энергию ГВС, расходуемую в контуре с циркуляцией, можно разделить на две составляющие – с утечкой горячей воды и расходуемую без утечки только на нагрев трубопровода и полотенцесушителей. Выполнив алгебраические преобразования в известной формуле вычисления количества тепловой энергии можно выделить соответствующие составляющие:

$$\begin{aligned} Q &= (M_1 - M_2)(h_1 - h_{хв}) + M_2(h_1 - h_2) \\ Q_{ут} = Q_{реал} &= (M_1 - M_2)(h_1 - h_{хв}) \\ Q_{цирк} = Q_{вд} &= M_2(h_1 - h_2) \end{aligned} \quad (4)$$

Определим набор безразмерных коэффициентов, позволяющих сравнивать между собой разномасштабные объекты:

-  $q = Q_{вд} / Q_{реал}$  – показывает, во сколько раз выпадающая из реализации часть тепловой энергии ГВС превышает реализуемую часть.

-  $m = M_2 / (M_1 - M_2)$  – показывает, во сколько раз циркуляционный расход горячей воды превышает реализованное её количество.

Следовательно, фактический норматив на подогрев ГВС (условную энтальпию) можно записать так:

$$h = (h_1 - h_{хв}) + m(h_1 - h_2) \quad (5)$$

Исходя из уравнения (5) можно сделать вывод, для снижения выпадающей из реализации доли тепловой энергии ГВС необходимо снижать величину коэффициента  $m$  (либо циркуляционный расход  $M_2$ ) [6].

Из имеющихся в наличии суточных архивов узла учёта строится зависимость  $q = F(m)$  и определяется соответствующая ей линия тренда. По уравнению линии тренда и новому значению  $m$  вычисляется новое значение  $q$ . Полученные результаты сводятся в таблицу, где кроме описанных параметров дополнительно представлены:

- Новое оптимизированное значение  $Q_{вд}$  в Гкал и %;
- Прогнозируемое снижение  $Q_{вд}$  в Гкал/сутки и %.

Объекты сортируются по прогнозируемой величине снижения  $Q_{вд}$  [Гкал/сут] с целью выделения объектов, эффект оптимизации режима на которых будет наибольшим [5].

Оценка эффекта представлена в таблице 1.

Исходные данные представлены в таблице 2.

*Таблица 1. Оценка эффекта оптимизации подогрева ГВС*

h, Гкал/т	m, т/сут	M2, т/сут	T2гвс, °С	q, Гкал	Qвд, Гкал	Сокр Qвд, Гкал/сут	Сокр Qвд, %
0.09	2.241	23.3	48.8	0.325	4.88	0.05	24.4

*Таблица 2. Исходные данные для оптимизации ГВС*

M1гвс	M2гвс	m	T1гвс	T2гвс	Qгвс	Qвд	Qреал	q	h
39,7	32,0	4,070	58,5	48,0	0,794	0,260	0,534	0,486	0,1011

42,6	32,5	3,225	58,7	48,5	0,924	0,238	0,686	0,347	0,0916
40,4	31,8	3,708	58,7	48,3	0,835	0,251	0,584	0,429	0,0972
40,0	31,6	3,763	58,7	48,5	0,817	0,236	0,571	0,430	0,0972
40,3	31,8	3,764	58,7	48,6	0,816	0,241	0,575	0,420	0,0966
42,0	33,3	3,846	58,7	49,0	0,830	0,242	0,589	0,409	0,0957
40,8	31,7	3,519	58,6	48,6	0,849	0,235	0,613	0,384	0,0941
43,2	35,0	4,294	58,7	49,1	0,816	0,260	0,554	0,486	0,1011
46,9	37,8	4,155	58,8	49,8	0,876	0,238	0,619	0,347	0,0916
38,9	30,4	3,559	58,8	49,6	0,779	0,251	0,580	0,343	0,0913
43,5	35,0	4,139	58,8	49,3	0,828	0,253	0,575	0,440	0,0979
38,7	30,5	3,698	58,6	48,0	0,806	0,245	0,561	0,438	0,0927
39,6	30,2	3,226	58,6	48,2	0,867	0,231	0,637	0,363	0,0891
40,3	29,9	2,878	58,7	48,2	0,925	0,219	0,706	0,310	0,0939
38,6	30,3	3,640	58,7	49,1	0,805	0,239	0,566	0,423	0,0968
38,4	30,4	3,783	60,2	49,7	0,789	0,244	0,546	0,446	0,0983
38,8	30,4	3,622	61,4	49,7	0,841	0,270	0,570	0,474	0,1002
38,6	30,5	3,469	61,5	49,9	0,855	0,305	0,551	0,553	0,1056
39,1	30,4	3,125	61,4	49,8	0,898	0,303	0,595	0,509	0,1026
39,9	30,2	3,025	61,5	49,9	0,942	0,285	0,657	0,433	0,0975

Выпадающая из реализации энергия представлена на рисунке 4.

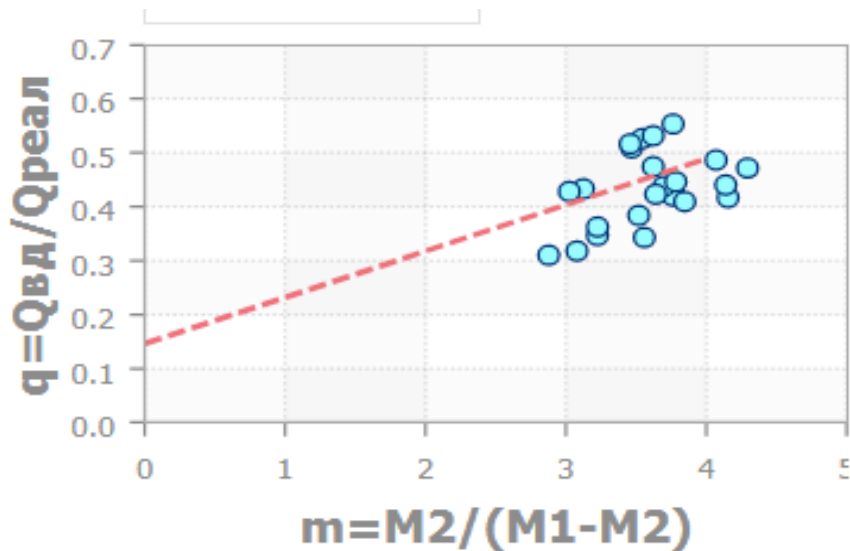


Рис. 4. Выпадающая из реализации энергия

Оптимизированная температура подогрева горячего водоснабжения представлена на рисунке 5.



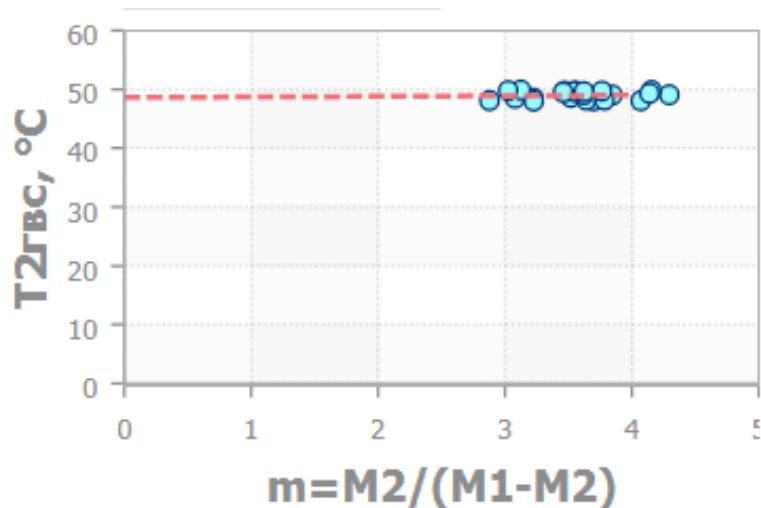


Рис. 5. Оптимизированный  $T_{2\text{ГВС}}$

### Заключение

В ходе моделирования было выявлено, что алгоритм оптимизации подогрева ГВС очень эффективен для оптимальной подачи тепловой энергии в дома. Для того чтобы данная идея была внедрена, необходимо на нормативном уровне задать коэффициент реализуемой части тепловой энергии на источник потребления. Тем самым решая несколько проблем:

1. Превышение реализуемой части тепловой энергии на одном потребителе и выпадение из реализации тепловой энергии на другом потребителе. Данная картина встречается очень часто, одни жители получают большой объем тепла, а другие его не дополучают [10].

2. Уменьшение финансовых потерь энергосберегающей организацией, сведения коммерческого учёта к оптимальной балансовой схеме.

3. Улучшение уровня обслуживания и комфорта населения в подаче тепла в жилые помещения.

### Список литературы / References

1. Авдюнин Е.Г., Сенников В.В., Неверов И.В. Устойчивость системы теплоснабжения как критерий обеспечения качества теплоснабжения // В сборнике: Состояние и перспективы развития теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения) Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса, 2017. С. 315-317.
2. Гусев Б.В., Гришан А.А. Системная оценка централизованного теплоснабжения (системы централизованного теплоснабжения, отказы систем, последствия отказов, кризис теплоснабжения) // Двойные технологии, 2011. № 4 (57). С. 22-28.

3. *Ерофеев В.Т., Максимова И.Н., Афонин В.В.* Методы обработки экспериментальных данных // Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Саранск, 2019.
4. *Мозгова А.С.* Инновационные подходы к повышению экономической эффективности систем теплоснабжения // Вестник Российской академии естественных наук (Санкт-Петербург), 2011. № 4. С. 21-22.
5. *Охотин В.С.* Сравнительный термодинамический анализ различных схем теплоснабжения по удельному расходу топлива // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ, 2011. № 1. С. 14-20.
6. *Спирин А.В., Малая Э.М.* Снижение надежности систем централизованного теплоснабжения при несоблюдении температурного графика // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2010. Т. 2. № 1 (45). С. 199-203.
7. *Суханова О.* Долгосрочные нерегулируемые договоры теплоснабжения как способ минимизации рисков в теплоснабжении // Энергетика и право, 2015. № 1. С. 25-27.
8. *Фокин, В.М.* Основы энергосбережения и энергоаудита. М.: Машиностроение-1, 2006. 256 с.
9. *Шарапов В.И., Ротов П.В.* Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. М.: Новости теплоснабжения, 2007. 164 с.
10. *Яковлев Б.В.* Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. М.: Новости теплоснабжения, 2008. 448 с.