

# НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

*С.В. Панферов, А.И. Телегин, В.И. Панферов*

## SOME PROBLEMS OF ENERGY SAVING AND AUTOMATION OF BUILDINGS HEAT SYSTEMS

*S.V. Panferov, A.I. Telegin, V.I. Panferov*

Рассматривается решение проблемы энергосбережения при теплоснабжении зданий за счет применения систем автоматического управления. Приводится аналитический обзор по данной проблематике и выявляются основные направления совершенствования систем автоматизации теплового режима зданий.

*Ключевые слова: энергосбережение, температура, теплоснабжение, тепловой режим, принцип управления, система автоматизации, адаптация.*

We consider the problem of energy saving in heat supply of buildings through the use of automatic control systems. When the custom-analytical review on this issue, tick and identifies key issues for improving automation of thermal conditions of buildings.

*Keywords: energy saving, temperature, heat, heat treatment, the principle of control, automation system, adaptation.*

### Введение

Энергосбережение в жилищно-коммунальной сфере - это одна из первоочередных проблем настоящего времени, требующих незамедлительного решения. При этом следует заметить, что даже относительно небольшой успех в решении этой задачи в силу масштабности энергозатрат приводит к ощутимым эффектам в абсолютном выражении. Данную проблему пытаются решить различными методами, например, часто утверждается, что существенный эффект можно получить за счет установки теплосчетчиков. Однако при этом необходимо учитывать следующее обстоятельство. Нужно очень отчетливо понимать, что установка теплосчетчиков это вообще-то неэнергосберегающее мероприятие, это то, что способствует энергосбережению, но само по себе по своей сути таковым не является. Финансовый выигрыш здесь получается из-за того, что нормы потребления завышены, фактическое энергопотребление ниже расчетного, поэтому оплата за энергоснабжение снижается. Настоящее энергосбережение начинается

только тогда, когда самым серьезным образом начинают заниматься тепловым режимом отапливаемых зданий, исследованием и выявлением его особенностей, разработкой и внедрением систем автоматизации отопления и теплоснабжения в целом. Объясняется это тем, что автоматическое управление позволяет экономить теплоту за счет учета (как правило, опосредованного) тех факторов, учет которых проектно-расчетными методами либо невозможен, либо достаточно проблематичен:

- 1) влияние солнечной радиации;
- 2) тепловыделений от оборудования и людей;
- 3) избыточной мощности системы отопления при данной температуре наружного воздуха;
- 4) оперативного учета колебаний температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра и других возмущений со стороны наружной среды;
- 5) хаотичности режима работы систем вентиляции и др.

Поэтому рассмотрим вопросы, связанные с автоматизацией систем отопления, и попытаемся выделить интересные, на наш взгляд, направления

---

Панферов Сергей Владимирович - аспирант кафедры систем управления и математического моделирования Миасского филиала ЮУрГУ; [tgsiv@mail.ru](mailto:tgsiv@mail.ru)

Телегин Александр Иванович - д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой систем управления и математического моделирования Миасского филиала ЮУрГУ; [tgsiv@mail.ru](mailto:tgsiv@mail.ru)

Панферов Владимир Иванович - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции ЮУрГУ; [tgsiv@mail.ru](mailto:tgsiv@mail.ru)

---

Panferov Sergei Vladimirovich - postgraduate student of Control Systems and Mathematical Modeling Department of The Miass Branch of SUSU; [tgsiv@mail.ru](mailto:tgsiv@mail.ru)

Telegin Alexander Ivanovich - PhD, professor, head of Control Systems and Mathematical Modeling Department of The Miass Branch of SUSU; [tgsiv@mail.ru](mailto:tgsiv@mail.ru)

Panferov Vladimir Ivanovich - PhD, professor, head of Heat and Gas Supply and Ventilation Department of SUSU; [tgsiv@mail.ru](mailto:tgsiv@mail.ru)

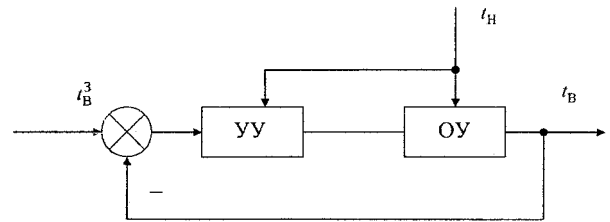
совершенствования автоматизированных систем управления (АСУ) отопительными установками.

### Анализ проблематики

Заметим, что в литературе широко известны алгоритмы Е.Л. Соколова [1], предназначенные для компенсации основного возмущения для температурного режима зданий - это температуры наружного воздуха. Эти алгоритмы рассчитаны на использование на источниках теплоты систем централизованного теплоснабжения, именно поэтому, как нам представляется, никакие конкретные теплотехнические характеристики отапливаемых зданий в явном виде в этих алгоритмах не присутствуют. В связи с этим необходимо проанализировать эти алгоритмы и выяснить, как и каким образом при их реализации должны учитываться вообще-то различные теплозащитные свойства зданий и различные теплотехнические и гидравлические характеристики их систем отопления. Как известно, решений, являющихся оптимальными для самых различных условий и характеристик объектов управления, просто быть не может, все должно быть вполне конкретным. Видимо, из-за недостаточной ясности по этим вопросам проблема о температурных графиках достаточно активно обсуждается и до сих пор [2-8]. Выявление этих вопросов позволит разработать концепцию построения интеллектуальных систем управления тепловым режимом зданий. При этом отметим, что для теплового режима зданий известны некоторые разработки в этом направлении [9-13]. Вместе с тем, проблема весьма далека от своего окончательного решения и совершенства.

Оценка характеристик зданий и систем отопления (статических и динамических) важна не только для целей автоматизации, для создания комфортного микроклимата и энергосбережения, но и, например, для определения допустимого времени устранения аварийных ситуаций, для определения теплопотерь зданий при отсутствии проектной документации и вообще каких-либо достоверных данных о материалах ограждений и размерах слоев многослойных конструкций и т. п.

При этом следует иметь в виду, что наиболее разумным, на наш взгляд, принципом управления тепловым режимом зданий является комбинированный принцип, когда в структуру системы управления вводится канал компенсации основного возмущения - температуры наружного воздуха и одновременно при этом в системе используется сигнал обратной связи о температуре воздуха внутри так называемых представительных помещений (в представительных точках) здания [14] (см. рисунок). Здесь  $t_n$  - температура наружного воздуха,  $t_b^3$ ,  $t_b$  - соответственно заданное и действительное значения температуры внутреннего воздуха, УУ и ОУ - соответственно управляющее устройство и объект управления.



Структурная схема системы управления

Известно, что эффективность применения принципа компенсации во многом зависит от точности модели, отражающей влияние возмущения на выходную величину объекта управления, т. е. от характеристик канала «температура наружного воздуха - регулируемая температура». Также хорошо известно, что эти характеристики заметно меняются, например, из-за старения здания и его системы отопления, при накоплении влаги в ограждающих конструкциях и т. п. Поэтому вполне понятно, что для построения высококачественной системы управления необходимо своевременно отслеживать изменение этих характеристик, т. е. решать задачу идентификации модели канала, причем лучше всего это делать с помощью адаптивного алгоритма, отличающегося достаточной оперативностью. При этом следует иметь в виду, что нецелесообразно и даже нереально [14, с. 24], чтобы система управления мгновенно реагировала на изменение температуры наружного воздуха. По данным [14, с. 8] подача теплоты по текущей наружной температуре может приводить к большим амплитудам колебания температуры внутреннего воздуха. Как установлено [15], достаточно отслеживать изменение средней за сутки (или средней дневной и средней ночной) температуры наружного воздуха, следовательно, допустимо воспроизводить лишь статическую модель канала, что удовлетворительно может быть реализовано и с помощью неадаптивного алгоритма. Вместе с тем заметим, что за счет обратной связи в рассматриваемой системе управления будут обрабатываться такие возмущения теплового режима как тешгопоступления от людей, от работающего оборудования, за счет солнечной радиации, увеличение потерь теплоты из-за ветра, а также и все погрешности реализации канала компенсации основного возмущения - температуры наружного воздуха, однако известно, что быстродействие контура обратной связи заметно ниже, чем канала компенсации [8].

В настоящее время на практике обычно применяются системы управления, осуществляющие только компенсацию основного возмущения - температуры наружного воздуха, это так называемые погодные регуляторы температуры (погодные компенсаторы). Обратная связь по температуре внутреннего воздуха здесь не реализуется, во многом это обуславливается некоторыми проблемами, связанными с измерением данной величины [16, 17]. В связи с этим были предложены системы управ-

ления по температуре физической модели здания [16, 17], которая, якобы, позволяет получить информацию о температуре внутреннего воздуха простейшим способом [17]. При этом задание погодным регуляторам температуры теплоносителя, подаваемого на вход системы отопления, вычисляется либо по упомянутой кривой *Е.Я. Соколова*, либо по указанной заказчиком кривой в зависимости от температуры наружного воздуха, для измерения которой могут применяться и специальные инерционные датчики [16, 17]. Причем кривую качественного регулирования можно корректировать (например, меняя ее коэффициент наклона (рассматриваемая кривая вообще-то достаточно близка к прямой) или за счет параллельного переноса), однако все это выполняется эвристическим способом, используя накопленный опыт эксплуатации [18; 19, с. 183], никаких формализованных процедур, как правило, нет. Так, например, пользовательский интерфейс контроллера OUMAN EH-201/L предусматривает возможность задания и последующей корректировки графика регулирования по трем точкам: при температурах наружного воздуха  $-20; 0; +20^{\circ}\text{C}$ . Установка требуемой температуры теплоносителя в этих точках осуществляется «ползучим образом» с помощью клавиш «+» или «-» [20]. Очевидно, что часть графика при температурах наружного воздуха выше  $+8^{\circ}\text{C}$  просто не используется. У контроллеров «Хента» так называемый график температуры подачи для погодного регулятора задается ломаной линией с помощью четырех точек, координаты которых указывают, какой должна быть температура теплоносителя на входе системы отопления при данной температуре наружного воздуха. Причем различаются отдельно режимы «день» и «ночь» (с 21:00 до 06:00 часов). Так, например, для г. Челябинска координаты точек графика подачи для режима «день», рекомендуемые Челябинскими тепловыми сетями для всех отапливаемых зданий?!!!, таковы:  $(-34; 95)$ ;  $(-10; 67)$ ;  $(0; 53)$ ;  $(20; 20)$ , здесь первая координата указывает температуру наружного воздуха, а вторая - температуру прямой воды.

Таким образом, задача создания математического и программного обеспечения АСУ, позволяющих оценивать как текущие статические характеристики, так и динамические свойства объекта управления (здания вместе со своей системой отопления) и в связи с этим достаточно качественно реализующих или принцип компенсации основного возмущения или (что заметно выгоднее) комбинированный принцип, является одной из первоочередных задач, стоящих перед разработчиками современных систем управления.

Поскольку такие значимые возмущающие воздействия как солнечная радиация, ветер действуют лишь на определенные фасады зданий и вызывают существенную неравномерность теплопотерь [21], то вполне естественным является разде-

ление систем отопления и автоматических устройств для них на пофасадные части. Все это следует иметь в виду при разработке АСУ. Как показывают исследования [21-28] пофасадное регулирование в климатических районах со значительными скоростями ветра и большим количеством солнечных дней позволяет получить экономию теплоты до 15-20%. Об эффективности этого способа регулирования говорят, например, результаты длительных эксплуатационных исследований, выполненных под руководством В.П. Туркина в жилых домах г. Челябинска [22, 23]. Возможно также разделение систем на зоны и по этажам зданий [8]. Пофасадному и позонному регулированию, как нам представляется, следует отдавать предпочтение, так как вполне очевидно, что чем менее пространственно распределенным является объект, тем выше при прочих равных условиях и качество управления.

Так как теплотехнические свойства отдельных помещений здания различны, как различны гидравлические и теплотехнические характеристики установленных в них отопительных приборов, то качественное поддержание требуемой температуры внутреннего воздуха невозможно без применения комнатных регуляторов температуры - так называемых термостатических вентилей [29-33]. Термостатические вентили позволяют также отрабатывать и влияние как горизонтальной, так и вертикальной (поэтажной) гидравлической разрегулировки систем отопления [34]. Термостатические вентили представляют собой регуляторы комнатной температуры прямого действия, выполняющие свою задачу за счет изменения расхода теплоносителя, поступающего в отопительный прибор. Достоинства и недостатки таких систем автоматического регулирования хорошо известны [29-33], отметим только, что по данным работы [29] экономия теплоты за счет их применения составляет до 10%, а все проблемы, возникающие из-за создаваемых ими возмущений гидравлического режима систем отопления, вполне решаемы [35].

При относительно высоких температурах наружного воздуха температура воды в тепловых сетях поддерживается на более высоком уровне, чем это требуется собственно для нужд отопления. Объясняется это тем, что тепловые сети регулируются по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (ГВС). Температура воды в системе ГВС должна быть  $55-60^{\circ}\text{C}$ , поэтому температура воды в тепловых сетях не может быть опущена ниже этого уровня. Вследствие этого при регулировании только на источнике теплоты наблюдается так называемый «перетоп» зданий [5, 36-38], системы автоматического управления (САУ) на абонентских вводах позволяют исключить это, здесь разумно применить импульсный режим отопления зданий [39]. Возможно решение этой проблемы и на центральных тепловых пунктах (ЦТП) [8, 38]. Заметим, однако, что если здание

оснащено автономным источником теплоты, то проблемы «перетопа» обычно не возникает, так как состав используемого основного оборудования, средств автоматизации и тепловая схема системы теплоснабжения обеспечивают достаточную независимость контуров ГВС и отопления [33]. При этом в системах ГВС применяются САУ с обратной связью по температуре воды, подаваемой к потребителям. Для решения этой задачи в недавнем прошлом использовали чаще всего регуляторы температуры прямого действия, а в последнее время задействуют отдельные контуры контроллеров отопления и ГВС.

Системы управления, реализующие импульсный режим отопления [39], конструируются по принципу компенсации основного возмущения - температуры наружного воздуха, обратная связь по температуре внутреннего воздуха здесь не используется. Период и скважность подачи расчетного расхода воды подбираются таким образом, чтобы мощность системы отопления равнялась теплопотерям здания. Такие системы управления следует отличать от так называемых систем регулирования пропусками, использующих обратную связь по температуре внутреннего воздуха и двухпозиционное регулирование этой температуры, как правило, методом неполного притока [8, 14,31].

В нерабочее время в общественно-административных и производственных зданиях температура внутреннего воздуха может быть значительно снижена, т. е. возможен так называемый режим прерывистого отопления, при реализации которого следует обеспечивать восстановление нормируемой температуры к началу использования помещения или к началу работы. При этом возникает вопрос об оптимальном способе как снижения температуры внутри зданий, так и разогрева помещений к нужному моменту времени, то есть, необходимо определить вид кривой, по которой необходимо «вести» температурный режим зданий, чтобы потребление тепловой энергии в этом процессе было бы минимальным. Другими словами, эту задачу можно сформулировать так: как наилучшим образом спроектировать и реализовать режим прерывистого отопления, и это также важная задача.

Необходимость управления температурным режимом общественно-административных зданий в течение суток указывалась во многих работах, данные по достигаемой при этом экономии теплоты достаточно различны, в частности, по оценкам авторов работы [40] экономия может достигать от 20 до 35 % в год. Достаточно детальное решение этой проблемы рассмотрено в работе [41].

Рекомендуется и в жилых зданиях в ночное время температуру внутреннего воздуха снижать на 3-4 °С, например, с 21 °С до 17 °С [8]. По данным [8, 26-28] за счет этого может быть сэкономлено до 5-7 % теплоты.

Утверждается также, что изменение температуры внутреннего воздуха с определенной частото-

той благоприятно сказывается на самочувствии людей [8], что, очевидно, следует иметь в виду при решении задач автоматизации.

Отметим, что все эти задачи должны быть реализованы только на индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) зданий, так как величина каждого ожидаемого эффекта зависит от точности определения характеристик конкретного здания и его системы отопления. Управляющее воздействие должно быть конкретным, нацеленным на выбранное здание. Здания, имеющие различные статические и динамические свойства, даже при одинаковом заданном значении температуры внутреннего воздуха будут требовать различных управляющих воздействий, подобрать одно воздействие (формируемое на ЦТП или источнике теплоты) одинаково хорошее для разных объектов управления просто не возможно. В связи с этим вполне понятно, что по достигаемой точности поддержания температуры воздуха внутри отапливаемых помещений системы автоматизации располагаются в следующей последовательности (в порядке возрастания точности регулирования): 1) системы, размещаемые на источниках теплоты; 2) системы, размещаемые на центральных тепловых пунктах (ЦТП); 3) системы, размещаемые в ИТП; 4) комнатные регуляторы температуры. По оценкам [14] по росту затрат на создание и эксплуатацию (конечно, в условиях сплошной автоматизации) системы автоматизации располагаются в той же последовательности. По этой причине во многих случаях ограничивались автоматизацией источников теплоты или, в лучшем случае, ЦТП.

Плохое качество централизованного регулирования объясняется еще и тем, что «...теплоснабжающая организация старается без особой нужды не дергать температурный график, держа его на приемлемом максимуме» [42]. Делается это из-за нежелания иметь проблемы, обусловленные температурными деформациями трубопроводных систем, а также и ввиду того, что для ТЭЦ выработка электроэнергии является основной задачей, причем объем электрической нагрузки «...мало зависит от погодных условий» [42]. «...В случае потепления надо либо продолжать гнать в систему теплоснабжения воду с повышенной температурой, либо обеспечивать иную ... утилизацию тепла водяного пара. Естественно, выбирается первый вариант» [42].

Регулирование температуры теплоносителя по температуре наружного воздуха возможно как на источнике теплоты, так и на ЦТП и на ИТП, понятно, что пофасадное (позонное) регулирование, также как и регулирование по температуре внутреннего воздуха в представительных помещениях зданий реализуется только на ИТП.

Подчеркивается, что «...необходимость комплексной (...сплошной) автоматизации всех тепловых пунктов тепловой сети или магистрали» обуславливается тем, что «...автоматизация еди-

ничного теплового пункта, принося экономию теплоты данному потребителю, не дает экономии теплоты в целом по сети, поскольку сэкономленный расход горячей воды поступает к другим потребителям, вызывая перегрев их помещений» [43]. Достаточно отчетливо это следует из анализа гидравлического режима тепловой сети [1]: при увеличении гидравлического сопротивления какого-либо абонента пьезометрический график сети, как образно говорят, «разбухает», потери напора на других абонентских вводах увеличиваются, что приводит к увеличению расхода воды на эти абоненты, т. е. к «перетопу». То же самое можно отметить и для комнатных регуляторов температуры: установка их в отдельных помещениях в целом по зданию может и не давать никакой экономии теплоты.

Если учесть вышеуказанное - индивидуальность характеристик зданий и их систем отопления, то становится понятным, почему на ЦТП «...удельная величина экономии (на 1 Гкал/ч присоединенной нагрузки) несколько меньше, чем при автоматизации местного теплового пункта, расположенного в здании особенно пофасадных систем отопления» [43].

Отмечается, что экономическая целесообразность размещения средств автоматизации только на ЦТП повышается при увеличении степени застройки обслуживаемого района зданиями с примерно одинаковыми характеристиками [28], однако и в такой ситуации ветер и солнечная радиация все смещают в сторону автоматизированных ИТП. Если же район застроен зданиями с существенно различными характеристиками ограждающих конструкций и систем отопления, то средства автоматизации безусловно необходимо размещать на ИТП. Однако и в этом случае для получения эффекта по всей системе теплоснабжения необходима автоматизация всех ИТП.

Разработке систем автоматизации ИТП с элеваторным и насосным смешением посвящены работы [44, 45]. Указывается на целесообразность применения позиционного закона регулирования для элеваторных систем отопления [45] и на экономическую эффективность установки насоса смешения на перемычке между подающей и обратной трубами абонентского ввода зданий [44].

В работе [46] сообщается, что при позиционном (двухпозиционном) регулировании водяной системы потребительские качества отопления не ухудшаются, поэтому, учитывая простоту технической реализации, этот закон регулирования рекомендуется к применению в системах автоматизации.

В работе [47] рекомендуют при использовании комнатных регуляторов температуры (термостатических вентилей) отказываться от применения элеваторных узлов смешения, так как энергоэффективная работа системы отопления в этих условиях становится достаточно проблематичной

из-за меняющегося гидравлического сопротивления системы отопления.

По данным авторов работ [47-50] двухтрубные системы отопления выгодно отличаются от однострунных по эффективности совместного применения термостатических вентилей и автоматизированных ИТП.

Понятно, что качественное решение проблем автоматизации невозможно без использования математических моделей (статических и динамических) теплового режима зданий. Вопросы построения таких моделей и оценки статических и динамических свойств объекта управления рассматривались в работах [51-58].

Технологические аспекты автоматизации теплового режима зданий рассмотрены в работах [8, 22, 26-28, 31, 59-61]. В работе [61], в частности, утверждается, что погодная компенсация, реализуемая по температуре обратной воды, предпочтительнее, так как этот импульс отражает, в том числе, и величину расхода воды на абонентский ввод, т.е. позволяет косвенно контролировать гидравлический режим системы. При повышенном расходе воды на ввод при прочих равных условиях повышается температура обратной воды, а расходы воды на другие абоненты, как это следует из анализа гидравлического режима тепловой сети [1], снижаются, что приводит к ухудшению их режима теплоснабжения. Заметим, однако, что эта рекомендация имеет значение только при отсутствии в системе управления тепловым режимом здания контура обратной связи по температуре внутреннего воздуха.

### **Заключение**

Таким образом, все вышеизложенное свидетельствует о заметной незавершенности, о том, что необходимо найти ясные и недвусмысленные ответы на еще многие вопросы, связанные с проблемами энергосбережения и автоматизации в системах теплоснабжения зданий. Причем в случае успешного решения поставленных задач размер выигрыша в части энергосбережения будет достаточно весомым, т.к. в настоящее время ИТП зданий, как правило, не автоматизированы, некая автоматика имеется только на центральных тепловых пунктах (ЦТП) и на источниках теплоты (ТЭЦ, котельные), ориентирована она на управление группой зданий и поэтому в принципе не может достаточно удовлетворительно решить поставленные задачи. Только АСУ, учитывающая конкретные характеристики конкретных зданий и их систем отопления и непрерывно отслеживающая их изменение, а также содержащая в своем составе оптимально сконструированные локальные контура автоматического регулирования отдельных временных процесса теплоснабжения, способна определить именно то количество теплоты, которое фактически необходимо для поддержания требуемого температурного режима в здании.

### Литература

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. - 7-е изд., стер. — М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 472 с.
2. Рябцев, В.И. Определение значений нормативной температуры обратной сетевой воды в нерасчетном режиме / В.И. Рябцев, Г.А. Рябцев // *Новости теплоснабжения*. - 2001. - № 03. - С. 44-45.
3. Мелехин, Б. И. Определение температурного графика отпуска тепла от теплоисточника при выполнении гидравлического расчета и наладке тепловых сетей с учетом фактической работы элеваторных узлов / Б. И. Мелехин // *Новости теплоснабжения*. -2003. —№ 11. -С. 11-12.
4. Кравченко, Г.М. Регулирование параметров теплоносителя открытых систем теплоснабжения / Г.М. Кравченко, В.И. Бабенков, Л.Ф. Риполь-Сарагосси // *Новости теплоснабжения*. — 2004. - №10.-С. 17-19.
5. Шелудько, Л.П. Анализ возможности сокращения «перетопа» тепловых потребителей при «изломе» температурного графика теплосети / Л.П. Шелудько // *Новости теплоснабжения*. - 2004. -№05. -С. 41-44.
6. Балувев, Е.Д. Экономическая эффективность повышения минимальной температуры в водяных тепловых сетях / Е.Д. Балувев // *Изв. вузов. Энергетика*. - 1977. -№ 12. - С. 74-80.
7. Гершкович, В.Ф. Сто пятьдесят... Норма или перебор? (Размышления о параметрах теплоносителя) / В. Ф. Гершкович // *Энергосбережение*. — 2004.-№5.-С. 14-19.
8. Автоматика и автоматизация систем теплогасоснабжения и вентиляции: учеб. для вузов / А.А. Калмаков, Ю.Я. Кувшинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов. -М.: Стройиздат, 1986. - 479 с.
9. Табуничиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табуничиков, М.М. Бродач. —М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. - 194 с.
10. Автоматизированная система диспетчерского управления инженерными сетями и коммуникациями торгово-развлекательного комплекса / А. Быкадоров, Г. Гладышев, К. Наранов, В. Тыкшаев // *Современные технологии автоматизации*. — 2006.-№4.-С. 14-19.
11. Евдокимов, Я. Системы автоматизации зданий: комфорт плюс экономия. / Я. Евдокимов, А. Яковлев // *Современные технологии автоматизации*. -2007. -№2.- С. 32-43.
12. Швецов, Д. Как здания становятся интеллектуальными / Д. Швецов // *Современные технологии автоматизации*. — 2007. — №2. —С. 44—47.
13. Волков, Д. Интеллектуальный мир коттеджей / Д. Волков, Д. Швецов // *Современные технологии автоматизации*. - 2007. — № 4. - С. 40-45.
14. Зингер, Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бес-толченко, А.А. Жидков. — М.: Стройиздат, 1990. - 188 с.
15. Ливчак, В.И. Что ждет Россию в будущем — котельные в каждом доме или все-таки централизованное теплоснабжение на базе теплофикации? / В.И. Ливчак // *АВОК* -2008. -№2.- С. 10-18.
16. Сафонов, А.П. Регулирование отпуска тепла на отопление по соотношению температур воды и наружного воздуха / А.П. Сафонов, НА. Воронкова, В.А. Воронов // *Водоснабжение и санитарная техника*. — 1978. -№ 6. — С. 18—20.
17. Соколов, Е.Я. Групповое регулирование отопительной нагрузки / Е.Я. Соколов, А.В. Извеков, А.С. Бульчев // *Теплоэнергетика*. — 1985. — № 3. - С. 50-56.
18. Одноконтурные регуляторы температуры и давления для систем теплоснабжения. - <http://WWW:www.kontel.ru> E-mail: [kontel@vtsnet.ru](mailto:kontel@vtsnet.ru)
19. Монахов, Г.В. Моделирование управления режимами тепловых сетей / Г.В. Монахов, Ю.А. Войтинская. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 223 с.
20. OUMAN EH-201/L: инструкция. - <http://www.ouman.fi>
21. Грислис, В.Я. Автоматизация элеваторных узлов систем отопления / В.Я. Грислис, С.А. Чаки, И.А. Стуйт // *Водоснабжение и санитарная техника*. — 1981. — № 7. -С. 22—23.
22. Туркин, В.П. Автоматическое управление отоплением жилых зданий / В.П. Туркин, П. В. Туркин, Ю.Д. Тыщенко. -М.: Стройиздат, 1987. -192 с.
23. Туркин В.П. Экономия тепловой энергии на отопление жилых зданий при централизованном теплоснабжении / В.П. Туркин // *Водоснабжение и санитарная техника*. - 1982. — № 7. — С. 19-21.
24. Локшин, Л. С. Пофасадное регулирование отопления жилых зданий / Л.С. Локшин // *Водоснабжение и санитарная техника*. - 1983. -№ 4. — С. 17-19.
25. Эффективность пофасадного автоматического регулирования систем отопления / В.И. Ливчак, А.А. Чугункин, В.А. Оленев, В.Л. Карасев // *Водоснабжение и санитарная техника*. — 1986. — №5.-С. 11-13.
26. Чистович, С.А. Автоматизация установок и систем теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович. — М.: Стройиздат, 1964. — 180 с.
27. Чистович, С.А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович. —Л.: Стройиздат, 1975. - 159 с.
28. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / С.А. Чистович, В.К. Аверьянов, Ю.Я. Темпель, С.И. Быков. - Л.: Стройиздат, 1987. - 249 с.
29. Куклик, Л.Ф. Индивидуальное регулирование температуры в отапливаемых помещениях / Л.Ф. Куклик, В.Д. Курбан, С.П. Петров // *Водо-*

снабжение и санитарная техника. - 1983. - № 3. - С. 12-13.

30. Сергеев, И.С. Регуляторы температуры прямого действия для систем отопления / И.С. Сергеев, Б.Л. Табачник // Водоснабжение и санитарная техника. - 1976. - № 9. - С. 33-35.

31. Сафонов, А.П. Автоматизация систем централизованного теплоснабжения / А.П. Сафонов. - М.: Энергия, 1974. - 273 с.

32. Применение средств автоматизации «Данфосс» в системах водяного отопления зданий: пособие / разраб. В.В. Невский. - М.: ЗАО «Данфосс», 2005. - 36 с.

33. Автоматизация систем теплоснабжения коттеджей и квартир в многоэтажных зданиях: пособие / разраб. В.В. Невский. - М.: ООО «Данфосс», 2007. - 38 с.

34. Жадович, К.К. Автоматическое регулирование температуры воздуха в помещениях, оборудованных центральным водяным отоплением / К.К. Жадович // Проблемы отопления жилых и общественных зданий: тр. межвуз. науч. конф. — Минск: Изд-во Министерства высшего и среднего спец. обр. БССР, 1962. - С. 64-77.

35. Рябцев, Г.А. Совместная работа элеваторов и терморегуляторов в схемах отопления / Г.А. Рябцев, В.И. Рябцев // Новости теплоснабжения. - 2004. - №08. - С. 5-8.

36. Заовражнова, М.Н. О некоторых рациональных схемах и режимах регулирования теплофикационных систем / М.Н. Заовражнова, Л.А. Мелентьев, К.И. Мичурина // Вопросы автоматизации и режимов эксплуатации городских систем теплоснабжения: тр. Ленинградского инженерно-экономического института. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. - Вып. 43. - С. 5-15.

37. Черковский, Н.М. Особенности режимов работы систем теплоснабжения в условиях автоматизации потребителей тепла / Н.М. Черковский // Новости теплоснабжения. - 2004. - № 03. - С. 16-19.

38. Парамонов, А.А. Реконструкция зависимых систем отопления с организацией регулирования отпуска тепла на ЦТП / А.А. Парамонов // Энергосбережение. — 2007. — № 1. — С. 20—21.

39. Дегтярь, А.Б. Построение алгоритма импульсного отопления зданий и исследование режимов его работы / А. Б. Дегтярь, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». — 2008. — Вып. 8. - № 17(117). - С. 41-44.

40. Чеккинато, Л. Современная система управления температурным режимом отапливаемых помещений / Л. Чеккинато, А. Гастальделло, Л. Скибуола // Энергосбережение. - 2007. - № 6. - С. 74-78.

41. Анисимова, Е.Ю. Оптимизация температурных режимов общественно-административных и производственных зданий: дис. ... канд. техн. наук / Е.Ю. Анисимова. - Челябинск, 2008. - 172 с.

42. Лачков, В.И. Учет и регулирование теплопотребления / В.И. Лачков, В.К. Недзвецкий // Экологические системы. — 2005. — № 2. — [http://esco-ecosys.narod.ru/2005\\_2/art57.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2005_2/art57.htm)

43. Громов, Н.К. Автоматизация тепловых пунктов жилых микрорайонов / Н.К. Громов // Водоснабжение и санитарная техника. — 1985. — № 3. - С. 26-28.

44. Михайленко, В.К. Экономия тепла при автоматическом регулировании индивидуальных тепловых пунктов с насосами смешения / В.К. Михайленко, Б.С. Борисов // Водоснабжение и санитарная техника. - 1982. - № 3. — С. 11—13.

45. Драчнев, В.П. Автоматизированная система централизованного управления работой тепловых пунктов / В.П. Драчнев // Водоснабжение и санитарная техника. — 1982. — № 11. — С. 14—17.

46. Гершкович, В.Ф. Динамика изменения параметров отопительной системы при позиционном регулировании / В. Ф. Гершкович // Энергосбережение в зданиях. - 2002. - № 15 (№2 - 2002). - С. 15-17.

47. Грановский, В.Л. Применение двухтрубных систем отопления с комплексным авторегулированием / В.Л. Грановский, СИ. Прижижецкий, НА. Петров // АВОК -2001. - Мб.-С. 30-31.

48. Грановский, В.Л. Система отопления жилых зданий массового строительства и реконструкции с комплексным автоматизированием теплопотребления / В.Л. Грановский, СИ. Прижижецкий // АВОК. - 2002. - №5.-С. 66-69.

49. Яушовети, Р. Гидравлика - сердце водяного отопления / Р. Яушовети. — Вена: Изд-во Герц Артурен ГмБх, 2005. — 199 с.

50. Тиатор, И. Отопительные системы / И. Тиатор; пер. с нем. Т.Н. Зазаевой. — М.: Изд-во «Техносфера, Евроклимат», 2006. -271 с.

51. Оценка динамических качеств автоматизированной системы управления технологическими процессами центральных тепловых пунктов на базе микропроцессорного прибора «ТРАНСФОРМЕР» / В.А. Рыженков, М.В. Фролов, А.С. Разговоров, В.М. Кокорев // Новости теплоснабжения. — 2004. - №11.-С. 5-8.

52. Моделирование теплового режима здания / В.Ф. Постаушкин, Д.А. Шнайдер, П.В. Калинин, СТ. Касюк // Системы автоматического управления: темат. сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. - С. 66-73.

53. Шнайдер, Д.А. Автоматизация управления системами теплоснабжения промышленных объектов при низкотемпературных режимах: дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Шнайдер. — Челябинск, 2003. -147 с.

54. Казаринов, Л.С. Автоматическое регулирование на тепловых вводах зданий в дефицитных режимах / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер // Энергосбережение в промышленности и городском хозяйстве: сб. тез. докл. науч.-практ. конф. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. - С. 24-25.

55. Нагорная, А.Н. Математическое моделирование и исследование нестационарного теплового режима зданий: дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Нагорная. - Челябинск, 2008. - 148 с.

56. Глухов, В.Н. Регулирование одинаковых параллельных систем отопления / В.Н. Глухов, Е.А. Алешин // Системы автоматического управления: темат. сб. науч. тр. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. - С. 30-35.

57. Глухов, В.Н. Расчет параметров настройки процесса теплопотребления в зданиях / В.Н. Глухов, Е.А. Алешин // Приборостроение: темат. сб. науч. тр. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. - С. 150-156.

58. Алешин, Е.А. Энергосберегающая автоматизированная система управления тепловыми

режимами в закрытых тепловых сетях зданий в условиях неопределенности: дис. ... канд. техн. наук/Е.А. Алешин. - Челябинск, 2003. - 162 с.

59. Скрицкий, Л.Г. Основы автоматики и автоматизации систем теплогазоснабжения и вентиляции/Л.Г. Скрицкий. —М.: Стройиздат, 1968. - 248 с.

60. Благих, В. Т. Автоматическое регулирование отопления и вентиляции/В. Т. Благих. — Челябинск: Челябинское книжное издательство, 1964. —211 с.

61. Драчев, В.Г. Исследование системы местного автоматического регулирования расхода тепла в эксплуатационных условиях / В.Г. Драчев, С.Я. Фельдман //Автоматизация отопительных котельных: сб. науч. тр. — Вып. 6. —Л.: Недра, 1971. - С. 129-141.

**Поступила в редакцию 2 марта 2010 г.**