

## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



# Влияние авторегулирования на параметры энергопотребления жилых зданий

К.Ю. Курочкина<sup>1</sup>, А.С. Горшков<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 697.11 Научная статья	Подана в редакцию 24 ноября 2014 Принята 26 марта 2015	энергосбережение, энергетическая эффективность, тепловая энергия, потери тепловой энергии, уравнение теплового баланса здания, индивидуальный тепловой пункт, приборы учета тепловой энергии, автоматизированные системы регулирования

## АННОТАЦИЯ

В статье представлено технико-экономическое обоснование систем автоматического регулирования потребляемой тепловой энергии. Обоснована эффективность их применения. Описаны основные методы регулирования систем теплоснабжения. Показано влияние методов регулирования параметров теплоносителя на энергетическую эффективность зданий. Представлена методика расчета энергосберегающего эффекта в течение отопительного периода, который может быть достигнут за счет авторегулирования параметров подачи тепла в здание. Показана эффективность систем авторегулирования для решения проблемы перетопа зданий..

## Содержание

1.	Введение	221
2.	Литературный обзор	221
3.	Постановка цели и задач	222
4.	Описание систем автоматического регулирования потребляемой тепловой энергии	222
5.	Техническое обоснование	223
6.	Заключение	226

1

Контактный автор:

+7 (981) 813 4924, [Ksushcik@bk.ru](mailto:Ksushcik@bk.ru) (Курочкина Ксения Юрьевна, студент)

2

+7 (921) 388 4315, [alsgor@yandex.ru](mailto:alsgor@yandex.ru) (Горшков Александр Сергеевич, к.т.н., доцент)

## 1. Введение

Удельное потребление тепловой энергии в жилых и общественных зданиях, расположенных на территории России, существенно выше по сравнению с ведущими европейскими странами при сопоставимых климатических условиях. Отставание России в этом аспекте обусловлено множеством причин, но основными из них являются: более низкие требования к уровню теплоизоляции наружных ограждающих конструкций и более низкий уровень оснащенности зданий эффективными инженерными системами [1-14]. Одним из способов снижения потерь тепловой энергии на отопление является устройство в зданиях систем учета, автоматизации и регулирования тепловой энергии. Преимуществом данного способа энергосбережения является то обстоятельство, что автоматизированные системы регулирования могут быть предусмотрены как на этапе проектирования нового здания, так и установлены на этапе эксплуатации существующего здания [15].

## 2. Литературный обзор

«Гражданский кодекс Российской Федерации», Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и другие законодательные и нормативные документы требуют от каждого производителя любых видов энергии и от каждого потребителя любых видов энергии наличия у них приборов учета произведенных и потребленных количеств энергии [16, 17].

Вопросы целесообразности внедрения систем автоматического регулирования подачи теплоты с целью оптимизации режимов теплоснабжения и повышения энергетической эффективности многоквартирных домов рассмотрены в работах [18-22].

Огромное внимание оценке энергосберегающего потенциала систем авторегулирования параметров теплоносителя уделяется не только в отечественной литературе, но и в зарубежной [23-30]. В работе [24] изучены вопросы повышения энергоэффективности здания за счет установки датчиков регулирования в различных системах жизнеобеспечения зданий, в том числе отопления. Экономия энергии за счет увеличения автоматизации управления системами отопления описана в работе [25].

Работа [26] описывает, как управление системой отопления, подключенной к сети централизованного теплоснабжения через теплообменник, может быть оптимизировано, чтобы обеспечить минимально возможную температуру обратной воды. Это может быть достигнуто при помощи оптимального сочетания температуры подающей воды в контур системы и расхода циркуляционной воды.

Результаты испытаний, представленные в работе [27], показывают, что 20-30% тепловой энергии теряется из-за плохой регулировки отопительной системы.

Значительная часть исследований по данному вопросу посвящена проектированию новых зданий. Значительно меньше исследований посвящено вопросам повышения энергетической эффективности существующих зданий. При этом и они имеют свой потенциал энергосбережения. В статье [28] описаны испытания, проведенные на реальном здании в Праге, с применением модели интеллектуального контроля.

Потребление энергии отопительной системой определяется не только из чистого спроса, необходимого для конкретного здания, но и от эффективности оборудования, и того, как оно используется жителями. Результаты исследований [29] показывают, что уменьшить потребление тепловой энергии в существующих зданиях возможно при помощи внедрения интеллектуальных контроллеров.

Авторами публикации [30] представлен интеллектуальный контроллер, который может использовать тепловую мощность здания и минимизировать потребление энергии. Он может также поддерживать внутреннюю температуру, независимо от внешних погодных условий, на нужном уровне. Во время отопительного сезона 2009-2010 годов, контроллер был протестирован на здании Чешского технического университета в Праге и по сравнению с обычным контроллером была достигнута экономия 17-24%.

### 3. Постановка цели и задач

Цель исследования: качественная оценка влияния параметров автоматического регулирования температуры теплоносителя на энергетическую эффективность зданий.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести обзор возможных методов регулирования температуры теплоносителя;
- составить уравнение теплового баланса здания с учетом параметров автоматического регулирования теплопотребления;
- определить за счет чего может быть достигнута экономия тепловой энергии при автоматическом регулировании температуры теплоносителя;
- представить аналитическое обоснование предложенного способа энергосбережения.

### 4. Описание систем автоматического регулирования потребляемой тепловой энергии

В настоящее время исторически сложились два метода регулирования системы отопления: субъективный и объективный.

Первый метод основан на стремлении жителей к энергосбережению для того, чтобы меньше платить за отопление. В основу такого метода поставлен человек со своими индивидуальными (субъективными) особенностями и с врожденным стремлением к рациональному потреблению, в том числе и по отношению к использованию энергии. При этом методе основной упор в авторегулировании делается на термостаты – автоматические устройства индивидуального регулирования теплоотдачи отопительных приборов. Типичными представителями внедрения такого направления среди стран Европы являются Дания, Германия.

Схемные решения по автоматизации индивидуального регулирования представлены на рисунке 1 [31].

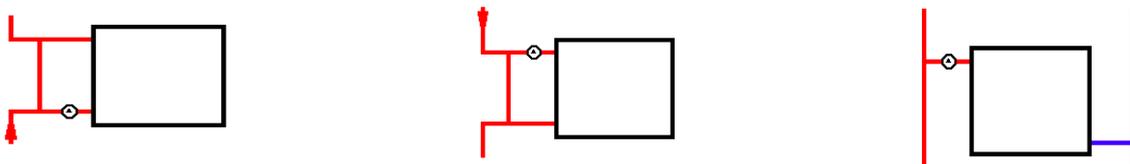


Рисунок 1. Схемы установки термостатических головок на приборах

Второй метод – объективный, он основан на законах физики о влиянии климатических изменений самого здания и его систем жизнеобеспечения на микроклимат отапливаемых помещений. Это метод принудительного воздействия на режим подачи тепловой энергии, обеспечивающий комфортные, но не избыточные, условия пребывания в квартире при получении максимального энергетического эффекта. В этом методе основной упор в авторегулировании делается на разработку оптимального режима подачи теплоты в систему отопления дома, в том числе с обратной связью через температуру воздуха в помещениях, и реализацию этого режима в ИТП (индивидуальный тепловой пункт на вводе тепловых сетей в здание) или АУУ (автоматизированный узел управления системой отопления при теплоснабжении от ЦТП). Термостаты при этом выполняют вспомогательную роль по учету индивидуальных желаний жителей и снятия возможного перегрева от солнечной радиации при правильной настройке прибора [20].

Опыт показывает, что второй метод для России наиболее приемлем, особенно на начальной стадии массового внедрения авторегулирования отопления. Эффективность такого метода, достигнутого в реальных условиях эксплуатации, показана в [21]. О том какие недостатки существуют при применении первого метода рассказано в статье [22].

Энергосберегающие мероприятия в жилых домах должны обеспечивать реальное снижение величины оплаты за тепловую энергию и комфортные условия проживания, предусмотренные требованиями государственного стандарта [32].

## 5. Техническое обоснование

Рассмотрим уравнение теплового баланса здания [31]:

$$Q_{ов}^2 = [Q_{тр}^2 + Q_{вент}^2 + Q_{инф}^2 - (Q_{быт}^2 + Q_{солн}^2) \cdot \nu_{ин} \cdot \zeta] \cdot \beta_h, \quad (1)$$

где  $Q_{ов}^2$  – годовой расход тепловой энергии на отопление в холодный и переходный периоды года, МДж/год;

$Q_{тр}^2$  – трансмиссионные потери зданием тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции за отопительный период, МДж/год;

$Q_{вент}^2$  – потери зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена за отопительный период, МДж/год;

$Q_{инф}^2$  – потери зданием тепловой энергии за счет инфильтрации холодного воздуха за отопительный период через наружные ограждающие конструкции, МДж/год;

$Q_{быт}^2$  – бытовые теплопоступления в квартирах и помещениях общественного назначения за отопительный период, МДж/год;

$Q_{солн}^2$  – теплопоступления через наружные светопрозрачные ограждающие конструкции от солнечной радиации с учетом ориентации фасадов по восьми румбам за отопительный период, МДж/год;

$\nu_{ин}$  – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций;

$\zeta$  – коэффициент эффективности систем автоматического регулирования подачи теплоты на отопление;

$\beta_h$  – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системой отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, с их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки ограждающих конструкций, с теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения.

В уравнение баланса (1) входит коэффициент  $\zeta$ , учитывающий эффективность систем автоматического регулирования подачи теплоты на отопление. В Своде Правил по тепловой защите [33] для данного коэффициента приведены следующие рекомендуемые значения:

- $\zeta = 1,0$  в однотрубной системе с термостатами и с пофасадным авторегулированием на вводе или поквартирной горизонтальной разводкой;
- $\zeta = 0,95$  в двухтрубной системе отопления с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе;
- $\zeta = 0,9$  в однотрубной системе с термостатами и с центральным авторегулированием на вводе или в однотрубной системе без термостатов и с пофасадным авторегулированием на вводе, а также в двухтрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;
- $\zeta = 0,85$  в однотрубной системе отопления с термостатами и без авторегулирования на вводе;
- $\zeta = 0,7$  в системе без термостатов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха;
- $\zeta = 0,5$  в системе без термостатов и без авторегулирования на вводе – регулирование центральное в ЦТП или котельной.

Из уравнения (1) следует, что чем выше коэффициент  $\zeta$ , тем большее количество теплопоступлений мы можем учесть при составлении уравнения баланса и тем меньшими окажутся суммарные потери тепла на отопление здания в течение отопительного периода  $Q_{ов}^2$ . Так установка термостатов с однотрубной системе отопления и пофасадное авторегулирование ( $\zeta = 1,0$ ) могут в 2 раза увеличить составляющую теплопоступлений –  $(Q_{быт}^2 + Q_{солн}^2)$  в уравнении баланса (2) по сравнению с системами без термостатов и с центральным регулированием на ЦТП ( $\zeta = 0,5$ ).

Введение данного коэффициента в расчеты обусловлено следующими причинами. В системах без авторегулирования параметров подачи тепла могут происходить перетопы, когда теплопоступления превышают теплопотери. В этом случае температура воздуха внутри помещений возрастет, в

результате чего жители домов активно открывают форточки и интенсивно сбрасывают лишнее тепло на улицу. Только по той причине, что они не могут уменьшить подачу теплоты в батареях. В результате, в периоды оттепелей люди активно отапливают улицу вокруг своего дома.

Установка систем авторегулирования на вводе здания в совокупности с установкой термостатов на отопительных приборах в большинстве случаев позволяет решить эту проблему без интенсивного сброса тепла на улицу. Уменьшение параметров теплоносителя в системе отопления при наличии в здании централизованных или индивидуальных приборов учета тепла, позволяет уменьшить подачу теплоты в здание.

Системы автоматизации позволяют уменьшить потребление тепловой энергии в зданиях не только в периоды оттепелей, но и в течение всего отопительного периода. В ГОСТ 30494 [32] приведены оптимальные и допустимые интервалы температур внутреннего воздуха. При расчете потребляемой в зданиях энергии на отопление, а также при теплотехническом проектировании ограждающих конструкций, температура внутреннего воздуха в зданиях определяется по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по табл. 1 (в интервале 20-22 °С [32]), т.е. для жилых зданий равной 20 °С. В последние годы в большинстве крупных городов температура внутреннего воздуха редко оказывается ниже 23-24 °С, в отдельных случаях температура может достигать 28 °С, т.е. значительный перетоп может наблюдаться в течение всего отопительного периода. Особенно актуальна эта проблема для зданий, которые прошли этап капитального ремонта фасадов и кровли с дополнительным их утеплением без соответствующей модернизации системы отопления. В таких зданиях, не оборудованных системами автоматического регулирования подачи тепла, практически всегда наблюдается перетоп.

Температура внутреннего воздуха при расчете теплового баланса здания не входит прямо в уравнение (1), но она учитывается при расчете трансмиссионных потерь зданием тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции  $Q_{mp}^c$  [31]:

$$Q_{mp}^c = 0,0864 \cdot \left( \frac{A_{cm}}{R_{cm}^{np}} + \frac{A_{ок}}{R_{ок}^{np}} + \frac{A_{ф}}{R_{ф}^{np}} + \frac{A_{дв}}{R_{дв}^{np}} + \frac{A_{нокр}}{R_{нокр}^{np}} + \frac{A_{перекр}}{R_{перекр}^{np}} + \frac{A_{ч.перекр}}{R_{ч.перекр}^{np}} + \frac{A_{ц.перекр}}{R_{ц.перекр}^{np}} + \frac{A_{пол}}{R_{пол}^{np}} \right) \times \times ГСОП, \quad (2)$$

где  $A_{cm}$ ,  $R_{cm}^{np}$  – соответственно площадь, м<sup>2</sup>, и расчетное значение приведенного сопротивления теплопередаче, м<sup>2</sup>·°С/Вт, наружных стен здания (за исключением проемов);

$A_{ок}$ ,  $R_{ок}^{np}$  – то же, заполнений светопроемов (оконных блоков и балконных дверей, витрин и витражей);

$A_{ф}$ ,  $R_{ф}^{np}$  – то же, фонарей с вертикальным остеклением;

$A_{дв}$ ,  $R_{дв}^{np}$  – то же, наружных дверей и ворот;

$A_{нокр}$ ,  $R_{нокр}^{np}$  – то же, совмещенных покрытий (в том числе над эркерами), чердачных перекрытий холодных чердаков;

$A_{перекр}$ ,  $R_{перекр}^{np}$  – то же, перекрытий над проездами и под эркерами;

$A_{ч.перекр}$ ,  $R_{ч.перекр}^{np}$  – то же, чердачных перекрытий теплых чердаков;

$A_{ц.перекр}$ ,  $R_{ц.перекр}^{np}$  – то же, цокольных перекрытий над неотапливаемыми подвалами и подпольями;

$A_{пол}$ ,  $R_{пол}^{np}$  – то же, ограждающих конструкций отапливаемых подвалов, контактирующих с грунтом; полов по грунту для зданий без подвала (подполья);

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут;

0,0864 – коэффициент пересчета трансмиссионных потерь тепловой энергии из Вт в сут в МДж.

Также температура внутреннего воздуха учитывается в течение отопительного периода при расчете потерь зданием тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена  $Q_{вент}^c$  [31]:

$$Q_{вент}^c = 0,024 \cdot (L_{жс} + L_{общ}) \cdot c_v \cdot \rho_v^{om} \cdot ГСОП \cdot (1 - \eta_{рек}), \quad (3)$$

где 0,024 – коэффициент пересчета продолжительности отопительного периода, входящего в формулу для расчета ГСОП из суток в часы, и потерь тепловой энергии за счет вентиляционного теплообмена из

кДж в МДж (1 сут = 24 ч, 1 кДж =  $10^{-3}$  МДж:  $24 \times 10^{-3} = 0,024$ );

$L_{жс}$  – количество приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч, принимаемое для жилых зданий при механической вентиляции вне зависимости от назначения здания согласно расчета, а при неорганизованном притоке (естественной вентиляции) для:

- жилых зданий, предназначенных гражданам с учетом социальной нормы (с расчетной заселенностью квартиры 20 м<sup>2</sup> общей площади и менее на человека) –  $L_{жс} = 3 \cdot A_{жс}$ ;
- других жилых зданий (с расчетной заселенностью квартиры более 20 м<sup>2</sup> общей площади на человека) –  $L_{жс} = 0,35 \cdot h_{эт} \cdot A_{жс}$ , но не менее  $30 \cdot m$  (где  $m$  – расчетное число жителей в здании);

$L_{общ}$  – количество приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч, принимаемое для общественных и административных зданий (а также для встроенных в жилые здания помещения общественного назначения) при механической (принудительной) вентиляции вне зависимости от назначения здания согласно расчета, а при неорганизованном притоке (естественной вентиляции):

- для административных зданий, офисов, объектов сервисного обслуживания, складов и супермаркетов –  $4 \cdot A_p$ ,
- для учреждений здравоохранения и образования, комбинатов бытового обслуживания –  $5 \cdot A_p$ ,
- для спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений –  $6 \cdot A_p$ ,
- для физкультурно-оздоровительных и культурно-досуговых комплексов, ресторанов, кафе, вокзалов –  $10 \cdot A_p$ .

$A_{жс}$ ,  $A_p$  – для жилых зданий – площадь жилых помещений ( $A_{жс}$ ), к которым относятся спальни, детские, гостиные, кабинеты, библиотеки, столовые, кухни-столовые; для общественных зданий – расчетная площадь ( $A_p$ ), определяемая согласно СП 118.13330 [34] как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, проходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей [м<sup>2</sup>];

$c_e$  – удельная массовая теплоемкость воздуха, принимается - 1,005 кДж/(кг·°С);

$\rho_e^{om}$  – средняя плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут;

$\eta_{рек}$  – коэффициент полезного действия установки рекуперации вытяжного воздуха при механической вентиляции помещений, т.к. температура внутреннего воздуха входит в состав формулы для расчета градусо-суток отопительного периода:

$$ГСОП = (t_e - t_{om}) \cdot z_{om}, \quad (4)$$

где  $t_e$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для теплотехнического расчета ограждающих конструкций жилых зданий 20 °С, общественных зданий 18 °С, дошкольных учреждений 22 °С, поликлиник, лечебных учреждений и домов-интернатов 21 °С, общеобразовательных школ 20 °С;

$t_{om}$ ,  $z_{om}$  – соответственно средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330 [35] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10 °С – при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений, домов-интернатов для престарелых, общеобразовательных школ, залов плавательных бассейнов и не более 8 °С – в остальных случаях.

При неизвестном значении средней за отопительный период температуры внутреннего воздуха в эксплуатируемом здании теоретический потенциал энергосбережения  $\Delta \mathcal{E}_{\text{аитп}}$ , достигаемый за счет внедрения систем автоматического регулирования температуры теплоносителя на вводе в здание, может быть рассчитан исходя из следующего выражения:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{АИТП}} = \Delta Q_{\text{ов}}^2 = (Q_{\text{быт}}^2 + Q_{\text{солн}}^2) \cdot v_{\text{ин}} \cdot (\zeta_{\text{АИТП}} - \zeta_{\text{ЦТП}}) \cdot \beta_h, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{ов}}^2$ ,  $Q_{\text{быт}}^2$ ,  $Q_{\text{солн}}^2$ ,  $v_{\text{ин}}$ ,  $\beta_h$  – то же, что и в уравнении (1);

$\zeta_{\text{АИТП}}$  – коэффициент, учитывающий эффективность установленной системы автоматического регулирования подачи теплоты на отопление;

$\zeta_{\text{ЦТП}}$  – коэффициент, учитывающий эффективность центрального регулирования в ЦТП или котельной.

Уравнение (5) показывает, что использование более эффективной системы регулирования температуры теплоносителя  $\zeta_{\text{АИТП}}$  позволяет в большей степени использовать бытовые и солнечные теплопоступления для обеспечения требуемых параметров микроклимата по сравнению с системами центрального регулирования  $\zeta_{\text{ЦТП}}$ . При этом в каждом конкретном случае параметры  $\zeta_{\text{АИТП}}$  и  $\zeta_{\text{ЦТП}}$  требуют соответствующего технического обоснования.

Таким образом, уравнение (5) позволяет произвести оценочное значение энергосберегающего эффекта, достигаемого за счет установки автоматического регулирования температуры теплоносителя на вводе в здание. При известном значении средней за отопительный период температуры внутреннего воздуха, энергосберегающий эффект может быть рассчитан более точно.

## 6. Заключение

В работе произведена качественная оценка влияния параметров автоматического регулирования температуры теплоносителя на энергетическую эффективность зданий.

Произведен обзор возможных методов регулирования температуры теплоносителя. Доказана актуальность представленного исследования в связи с тем, что в большинстве эксплуатируемых жилых зданий температура внутреннего воздуха превышает нормируемые ГОСТ 30494 параметры микроклимата. Составлено уравнение теплового баланса здания с учетом параметров регулирования теплоснабжения. Показано, что энергосберегающий эффект может быть достигнут за счет:

- отсутствия перетопов;
- уменьшения температуры внутреннего воздуха в эксплуатируемых помещениях, но не ниже нижней границы допустимого интервала (18-24 °С по табл. 1 [32]) в холодный период эксплуатации здания;
- оптимизации режимов теплоснабжения.

Обоснована необходимость внедрения систем автоматического регулирования температуры теплоносителя во всех жилых и общественных зданиях, эксплуатируемых на территории Российской Федерации, в связи с тем, что в большинстве из них температура внутреннего воздуха превышает нормируемые ГОСТ 30494 параметры микроклимата. Получено уравнение, позволяющее произвести оценку энергосберегающего эффекта, достигаемого за счет установки автоматического регулирования теплоснабжения на вводе в здание.

## Литература

- [1]. Горшков А.С. Инженерные системы. Руководство по проектированию, строительству и реконструкции зданий с низким потреблением энергии: учеб. пособие / А.С. Горшков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 162 с.
- [2]. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8. С. 4-14.
- [3]. Ватин Н.И., Немова Д.В., Горшков А.С. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии и эксплуатационных затрат на отопление для загородного частного дома при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. №1. С. 36-39.
- [4]. Горшков А.С., Немова Д.В., Рымкевич П.П. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии, эксплуатационных затрат на отопление и затрат топливно-энергетических ресурсов для многоквартирного жилого здания при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Кровельные и изоляционные материалы. 2013. № 2. С. 34-39.
- [5]. Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7. С. 49-63.
- [6]. Горшков А.С., Дерунов Д.В., Завгородний В.В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. №3 (8). 2013. С. 12-23.
- [7]. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана марки «SPU-INSULATION» в строительстве жилых общественных и промышленных зданий / Ватин Н.И., Величкин В.З., Горшков А.С., Пестряков И.И., Пешков А.А., Немова Д.В., Киски С.С. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3(8). С. 1-264.
- [8]. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома / Немова Д.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №8(23). С. 93-115.
- [9]. Колубков А.Н., Шилкин Н.В. Реализация энергосберегающих мероприятий в инженерных системах многоквартирных жилых домов // АВОК. 2011. № 7. С. 12-23.
- [10]. Васильев Г.П., Шилкин Н.В. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2003. № 2. С. 52.
- [11]. Васильев Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2007. № 5. С. 58.
- [12]. Васильев Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2004. № 6. С. 33-41.
- [13]. Васильев Г.П., Тимофеев Н.А. Энергетический потенциал вентиляционных выбросов жилых зданий в Москве // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2010. № 1. С. 36.
- [14]. Васильев Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии грунта поверхностных слоев земли для теплоснабжения здания // Теплоэнергетика. 1994. № 2. С. 31.
- [15]. Задвинская Т.О., Горшков А.С. Методика повышения энергоэффективности типового многоквартирного дома путем внедрения систем учета, автоматизации и регулирования тепловой энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №8 (23). С. 79-92.
- [16]. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий / Аверьянов С.К., Байкова С.А., Горшков А.С., Гришкевич А.В., Кочнев А.П., Леонтьев Д.Н., Мележик А.А., Михайлов А.Г., Рымкевич П.П., Тютюнников А.И. // Жилищное строительство. 2012. №3. С. 2-4.
- [17]. Горшков А.С., Байкова С.А., Крянев А.С. Нормативное и законодательное обеспечение государственной программы об энергосбережении и повышении энергетической эффективности зданий и пример ее реализации на региональном уровне // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2012. №3. С. 24.
- [18]. Ливчак В.И. Обеспечение энергоэффективности многоквартирных домов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. Т.8. №8. С. 52-61.

- [19]. Ливчак В.И. Как повысить энергоэффективность потребления тепловой энергии при независимом операторе коммерческого учета // Энергосовет. 2013. №1(26). С. 43-55.
- [20]. Ливчак В.И. Установление уровней удельного годового расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение многоквартирных домов и обеспечивающих их систем автоматизации теплоснабжения // Энергосовет. 2012. №4(23). С. 73-82.
- [21]. Ливчак В.И., Забегин А.Д. Преодоление разрыва между политикой энергосбережения и реальной экономией энергоресурсов // Энергосбережение. 2011. №4.
- [22]. Ливчак В.И. Сомнения в обоснованности энергоэффективности некоторых принципов автоматизации систем водяного отопления // Новости теплоснабжения. 2012. №6.
- [23]. Задвинская Т.О. (Zadvinskaya T.O.), Горшков А.С. (Gorshkov A.S.) Comprehensive method of energy efficiency of residential house // Advanced Materials Research. 2014. Т. 953-954. Pp. 1570-1577.
- [24]. Is there anybody in there? / Yavari E., Song C., Lubecke V., Boric-Lubecke O. // IEEE Microwave Magazine. Volume 15. 2014. Pp. 57-64.
- [25]. Boait P.J., Rylatt R.M. A method for fully automatic operation of domestic heating // Energy and Buildings. Volume 42. 2010. Pp. 11-16.
- [26]. Lauenburg P., Wollerstrand J. Adaptive control of radiator systems for a lowest possible district heating return temperature // Energy and Buildings. 2014. Pp. 132-140.
- [27]. Lanbin Liu, Lin Fu, Yi Jiang. A new "wireless on-off control" technique for adjusting and metering household heat in district heating system // Applied Thermal Engineering. 2012. Pp. 202-209.
- [28]. Experimental analysis of model predictive control for an energy efficient building heating system / Široký Jan, Oldewurtel Frauke, Cigler Jiří, Prívvara Samuel. // Applied Energy. 2011. Pages 3079-3087.
- [29]. Control of heating systems in residential buildings: Current practice / Peeters J., Van der Veken H., Hens L., Helsen W., D'haeseleer. // Energy and Buildings. 2008. Pages 1446-1455.
- [30]. Model predictive control of a building heating system: The first experience / Samuel Prívvara, Jan Široký, Lukáš Ferkl, Jiří Cigler. // Energy and Buildings. 2011. Pages 564-572.
- [31]. РМД 23-16-2012 Санкт-Петербург. Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий (утверждены Распоряжением Комитета по строительству Правительства Санкт-Петербурга от 13.09.2012 г. № 114).
- [32]. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Госстрой России. М., 1999.
- [33]. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003). Минрегион России. М., 2012.
- [34]. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения (Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009). Минрегион России. М., 2013.
- [35]. СП 131.13330.2012. (Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*) Строительная климатология. Минрегион России. М., 2013.
- [36]. Nord N., Sjøthun S.F. Success factors of energy efficiency measures in buildings in Norway // Energy and Buildings. 2014. Pages 476-487
- [37]. Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings—research methodology and surveyed results / Lopes L., Hokoi Sh., Miura H., Shuhei K. // Energy and Buildings. 2014. Pp. 698-706.
- [38]. Entropa A. G., Brouwersb H. J. H., Reindersc A. H. M. E. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate // Energy and Buildings. 2010. Pp. 618-629.

## Influence of automatic control on the power consumption of residential buildings

K.Yu. Kurochkina<sup>1</sup>, A.S. Gorshkov<sup>2</sup>

*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskayast., St.Petersburg, 195251, Russia.*

---

### ARTICLE INFO

Original research article

### Article history

Received 24 November 2014  
Accepted 26 March 2015

### Keywords

energy saving,  
energy efficiency,  
heat energy,  
waste of the heat energy,  
heat-balance equation of the building,  
domestic heating plant,  
automated control unit of the heating  
system,  
heat meter,  
automated control system

---

### ABSTRACT

Paper presents feasibility study of the automatic control systems of the heat energy consumption. Base methods of the buildings' heating energy control are described. Paper shows influence of the described methods on the energy efficiency of the whole building. Also calculation methodology is presented in the paper. Calculation helps to determine economical effect of the energy control system functioning during the heating period. The results of the conducted study show that the automatic control systems can significantly improve energy saving during heating season. Also the problem of the building overheating can be solved as well.

---

1

*Corresponding author:*

+7 (981) 813 4924, Ksushcik@bk.ru (Ksenia Yurievna Kurochkina, Student)

2

+7 (921) 388 4315, alsgor@yandex.ru (Aleksandr Sergeevich Gorshkov, Ph.D., Associate Professor)

## References

- [1]. Gorshkov A.S. *Inzhenernyye sistemy. Rukovodstvo po proyektirovaniyu, stroitelstvu i rekonstruktsii zdaniy s nizkim potrebleniyem energii: ucheb. posobiye* / A.S. Gorshkov. – SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2013. 162 s.
- [2]. Vliyaniye urovnya teplovooy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy na velichinu poter teplovooy energii v zdanii / Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. // *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2012. №8. S. 4-14.
- [3]. Vatin N.I., Nemova D.V., Gorshkov A.S. *Sravnitelnyy analiz poter teplovooy energii i ekspluatatsionnykh zatrat na otopleniye dlya zagorodnogo chastnogo doma pri razlichnykh minimalnykh trebovaniyakh k urovnyu teplovooy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy* // *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2013. №1. S. 36-39.
- [4]. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Rymkevich P.P. *Sravnitelnyy analiz poter teplovooy energii, ekspluatatsionnykh zatrat na otopleniye i zatrat toplivno-energeticheskikh resursov dlya mnogokvartirnogo zhilogo zdaniya pri razlichnykh minimalnykh trebovaniyakh k urovnyu teplovooy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy* // *Krovelnyye i izolyatsionnyye materialy*. 2013. № 2. S. 34-39.
- [5]. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Vatin N.I. *Formula energoeffektivnosti* // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2013. № 7. S. 49-63.
- [6]. Gorshkov A.S., Derunov D.V., Zavgorodny V.V. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitelstva zdaniya s nulevym potrebleniyem energii* // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. №3 (8). 2013. S. 12-23.
- [7]. *Albom tekhnicheskikh resheniy po primeneniyu teploizolyatsionnykh izdeliy iz penopoliuretana marki «SPU-INSULATION» v stroitelstve zhilykh obshchestvennykh i promyshlennykh zdaniy* / Vatin N.I., Velichkin V.Z., Gorshkov A.S., Pestryakov I.I., Peshkov A.A., Nemova D.V., Kiski S.S. // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2013. №3(8). S. 1-264.
- [8]. *Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye meropriyatiy po utepleniyu ograzhdayushchikh konstruksiy individualnogo zhilogo doma* / Nemova D.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S., Kashabin A.V., Rymkevich P.P., Tseytin D.N. // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2014. №8(23). S. 93-115.
- [9]. Kolubkov A.N., Shilkin N.V. *Realizatsiya energosberegayushchikh meropriyatiy v inzhenernykh sistemakh mnogokvartirnykh zhilykh domov* // *AVOK*. 2011. № 7. S. 12-23.
- [10]. Vasilyev G.P., Shilkin N.V. *Ispolzovaniye nizkopotentsialnoy teplovooy energii zemli v teplonasosnykh sistemakh* // *AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2003. № 2. S. 52.
- [11]. Vasilyev G.P. *Geotermalnyye teplonasosnyye sistemy teplosnabzheniya i effektivnost ikh primeneniya v klimaticheskikh usloviyakh Rossii* // *AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2007. № 5. S. 58.
- [12]. Vasilyev G.P. *Geotermalnyye teplonasosnyye sistemy teplosnabzheniya* // *Teploenergetika*. 2004. № 6. S. 33-41.
- [13]. Vasilyev G.P., Timofeyev N.A. *Energeticheskiy potentsial ventilyatsionnykh vybrosov zhilykh zdaniy v Moskve* // *AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2010. № 1. S. 36.
- [14]. Vasilyev G.P. *Ispolzovaniye nizkopotentsialnoy teplovooy energii grunta poverkhnostnykh sloyev zemli dlya teplokhladonosnabzheniya zdaniya* // *Teploenergetika*. 1994. № 2. S. 31.
- [15]. Zadvinskaya T.O., Gorshkov A.S. *Metodika povysheniya energoeffektivnosti tipovogo mnogokvartirnogo doma putem vnedreniya sistem ucheta, avtomatizatsii i regulirovaniya teplovooy energii* // *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*. 2014. №8 (23). S. 79-92.
- [16]. *Regional'naya kontseptsiya obespecheniya energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* / Averyanov S.K., Baykova S.A., Gorshkov A.S., Grishkevich A.V., Kochnev A.P., Leontyev D.N., Melezhik A.A., Mikhaylov A.G., Rymkevich P.P., Tyutyunnikov A.I. // *Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2012. №3. S. 2-4.
- [17]. Gorshkov A.S., Baykova S.A., Kryanev A.S. *Normativnoye i zakonodatelnoye obespecheniye gosudarstvennoy programmy ob energosberezhenii i povyshenii energeticheskoy effektivnosti zdaniy i primer yeye realizatsii na regionalnom urovne* // *Inzhenernyye sistemy*. AVOK – Severo-Zapad. 2012. №3. S. 24.
- [18]. Livchak V.I. *Obespecheniye energoeffektivnosti mnogokvartirnykh domov* // *AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*. 2012. T.8. №8. S. 52-61.
- [19]. Livchak V.I. *Kak povysit energoeffektivnost potrebleniya teplovooy energii pri nezavisimom operatore kommercheskogo ucheta* // *Energosovet*. 2013. №1(26). S. 43-55.

- [20]. Livchak V.I. Ustanovleniye urovney udelnogo godovogo raskhoda teplovoy energii na otopleniye, ventilyatsiyu i goryacheye vodosnabzheniye mnogokvartirnykh domov i obespechivayushchikh ikh sistem avtomatizatsii teplopotrebleniya // *Energoversovet*. 2012. №4(23). S. 73-82.
- [21]. Livchak V.I., Zabegin A.D. Preodoleniye razryva mezhdru politikoy energosberezheniya i realnoy ekonomiyey energoresursov // *Energosberezheniye*. 2011. №4.
- [22]. Livchak V.I. Somneniya v obosnovannosti energoeffektivnosti nekotorykh printsipov avtomatizatsii sistem vodyanogo otopleniya // *Novosti teplosnabzheniya*. 2012. №6.
- [23]. Zadvinskaya T.O. (Zadvinskaya T.O.), Gorshkov A.S. (Gorshkov A.S.) Comprehensive method of energy efficiency of residential house // *Advanced Materials Research*. 2014. T. 953-954. Pp. 1570-1577.
- [24]. Is there anybody in there? / Yavari E., Song C., Lubecke V., Boric-Lubecke O. // *IEEE Microwave Magazine*. Volume 15. 2014. Pp. 57-64.
- [25]. Boait P.J., Rylatt R.M. A method for fully automatic operation of domestic heating // *Energy and Buildings*. Volume 42. 2010. Pp. 11-16.
- [26]. Lauenburg P., Wollerstrand J. Adaptive control of radiator systems for a lowest possible district heating return temperature // *Energy and Buildings*. 2014. Pp. 132-140.
- [27]. Lanbin Liu, Lin Fu, Yi Jiang . A new "wireless on-off control" technique for adjusting and metering household heat in district heating system // *Applied Thermal Engineering*. 2012. Pp. 202-209.
- [28]. Experimental analysis of model predictive control for an energy efficient building heating system / Široký Jan, Oldewurtel Frauke, Cigler Jiří, Privara Samuel. // *Applied Energy*. 2011. Pages 3079-3087.
- [29]. Control of heating systems in residential buildings: Current practice / Peeters J., Van der Veken H., Hens L., Helsen W., D'haeseleer. // *Energy and Buildings*. 2008. Pages 1446-1455.
- [30]. Model predictive control of a building heating system: The first experience / Samuel Privara, Jan Široký, Lukáš Ferkl, Jiří Cigler. // *Energy and Buildings*. 2011. Pages 564–572.
- [31]. RMD 23-16-2012 Sankt-Peterburg. Rekomendatsii po obespecheniyu energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy (utverzhdeny Rasporyazheniyem Komiteta po stroitelstvu Pravitelstva Sankt-Peterburga ot 13.09.2012 g. № 114).
- [32]. GOST 30494-96. Zdaniya zhilyye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyakh. Gosstroy Rossii. M., 1999.
- [33]. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy (Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003). Minregion Rossii. M., 2012.
- [34]. SP 118.13330.2012. Obshchestvennyye zdaniya i sooruzheniya (Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 31-06-2009). Minregion Rossii. M., 2013.
- [35]. SP 131.13330.2012. (Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01-99\*) Stroitel'naya klimatologiya. Minregion Rossii. M., 2013.
- [36]. Nord N., Sjøthun S.F. Success factors of energy efficiency measures in buildings in Norway // *Energy and Buildings*. 2014. Pages 476–487
- [37]. Energy efficiency and energy savings in Japanese residential buildings—research methodology and surveyed results / Lopes L., Hokoi Sh., Miura H., Shuhei K. // *Energy and Buildings*. 2014. Pp. 698-706.
- [38]. Entropa A. G., Brouwersb H. J. H., Reindersc A. H. M. E. Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate // *Energy and Buildings*. 2010. Pp. 618–629.
- Курочкина К.Ю., Горшков А.С. Влияние авторегулирования на параметры энергопотребления жилых зданий // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. №4(31). С. 220-231.**
- Kurochkina K.Yu., Gorshkov A.S. Influence of automatic control on the power consumption of residential buildings. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 2015, 4(31), Pp. 220-231. (rus)**