



ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМЫ,
МАТЕРИАЛЫ И ПРИБОРЫ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES, SYSTEMS,
MATERIALS, AND INSTRUMENTS

Статья поступила в редакцию 02.07.18. Ред. рег. № 2675

The article has entered in publishing office 02.07.18. Ed. reg. No. 2675

УДК 38.3

ОБ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИИ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА В КОМПЛЕКСЕ «ЭНЕРГОСИСТЕМА-ДОМ»*

А.Н. Лямбель, В.М. Пахалуев, С.Е. Щеклеин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
д. 19, ул. Мира, г. Екатеринбург, 620002, Россия
тел.: +7(343)375-95-08; e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2018.19-21.091-100

Заключение совета рецензентов: 06.07.18 Заключение совета экспертов: 09.07.18 Принято к публикации: 12.07.18

Анализовалась проблема значительной суточной неравномерности энергопотребления, которая требует изменения производства электроэнергии в течение суток, что, в свою очередь, приводит к снижению коэффициента использования установленной мощности и повышению расхода топлива на ТЭС. Расходование электроэнергии на нужды отопления позволяет решить проблему накопления и последующего использования «ночной» электроэнергии в часы провалов графика нагрузки энергосистемы с применением двухтарифного принципа ценообразования. Эффективность системы электроотопления заметно возрастает при небольшом перегреве здания в ночной период на 1–4 °С, что практически не оказывает влияния на комфортности режима проживания.

Предложенная в данной работе схема незначительного перегрева здания ведет к некоторому росту потребления электроэнергии для отопления, но при этом снижаются финансовые затраты вследствие переноса нагрузки на ночной период с низким тарифом и значительного сокращения потребления электроэнергии для отопления в дневной период. Расчеты на основе нестационарного теплового баланса многоквартирного дома в г. Екатеринбурге с электроотоплением показали возможное снижение финансовых затрат на отопление на 3,86–5,18 руб/м² при перегреве строительных конструкций здания на 2–3 °С по сравнению с электроотоплением без перегрева в ночной период. Сравнение с конвективно-водяным отоплением также говорит о целесообразности применения предлагаемой схемы электроотопления с суточным регулированием.

Ключевые слова: отопление; двухтарифная система; энергоэффективность; энергосбережение; аккумуляция энергии.

ON THE HEATING OF AN APARTMENT HOUSE IN THE POWER-HOUSE COMPLEX

A.N. Lyambel, V.M. Pahaluev, S.E. Shcheklein

Ural Federal University Named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
19 Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russia
tel.: +7(343)375 95 08, e-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2018.19-21.091-100

Referred 6 July 2018 Received in revised form 9 July 2018 Accepted 12 July 2018

* Лямбель А.Н., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. Об электроотоплении многоквартирного дома в комплексе «энергосистема-дом» // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2018;19-21:91-100.



The paper deals with the problem of large daily uneven energy consumption which leads to the need to change energy production within a day resulting in lower utilization of installed capacity, improving fuel consumption by thermal power plants. The use of electricity for heating solves the problem of the accumulation and subsequent application of electricity in the night hours of power system load failure with double tariff of the pricing principle. Electrical heating system efficiency is greatly increased when overheated buildings in the night period on 1–4 °C that almost does not affect the comfort of the residency.

The paper proposes a scheme of a minor overheating building which leads to some energy consumption for heating, but reduces financial costs as a result of load transfer for the night period with low tariff and significant reducing electric power consumption for heating in the daytime period. The calculations using non-stationary thermal balance of the Yekaterinburg's apartment house with electric heating have showed that reduction of financial expenses for heating the 5.18–3.86 rub/m² when overheated constructions building at 2–3 °C is possible compared with direct connection without overheating in the night period; comparison with convection heating also demonstrates the appropriateness of the proposed scheme with daily electrical heating regulation.

Key words: heating; double tariff system; energy efficiency; energy saving; energy accumulation.



Сергей Евгеньевич
Щеклеин
Sergey Shcheklein

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; действительный член Международной энергетической академии; член редколлегии журнала «Известия вузов. Ядерная энергетика»; Международного научного журнала «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE); сборника трудов УГТУ-УПИ «Теплофизика ядерных энергетических установок»; Трудов Одесского национального политехнического университета; Научно-технического журнала «Энергоэффективность и анализ».

Награды: Заслуженный энергетик России; Национальная экологическая премия им. В.И. Вернадского; медаль «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972 г.).

Область научных интересов: термодинамика ядерных энергетических установок; проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков; продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС; солнечная энергетика; ветроэнергетика; биоэнергетика.

Публикации: более 350, включая 2 монографии, 20 изобретений.
h-index 11

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor, the Head of Atomic Stations and Renewable Energy Sources Department, Urals Federal University; a member of International Energy Academy; a member of the editorial board of "Institute of Higher Education News. Nuclear Power"; International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE); "Nuclear Power Units Heat Engineering" USTU; Odessa National Polytechnic University article collection; Scientific Journal of "Energy Effectiveness and Analysis".

Awards: Honored Power Engineer of the Russian Federation; V.I. Vernadsky National Environmental Award; Medal "Veteran of Nuclear Energy and Industry".

Education: Urals Polytechnic Institute, 1972.

Research interests: nuclear power units thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics.

Publications: more than 350, including 2 monographs, 20 inventions.



Анастасия Николаевна
Лямбель
Anastasiya Lyambel

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Образование: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ) (2015 г.).

Область научных интересов: энергосбережение; экономика энергетики; участник ряда реализованных инновационных проектов, в т.ч. «Электродом для Урала».

Публикации: 6.
h-index (РИНЦ) 1.

Information about the author: Ph.D. Student, Department of Atomic Stations and Renewable Energy Sources, Urals Federal University.

Education: Urals Federal University, 2015.

Research interests: energy saving; energy economy; participant in several implemented innovative projects, including the "Electro House for the Urals".

Publications: 6.



Валерий Максимович
Пахалуев
Valery Pakhaluev

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; действительный член Международной академии наук о природе и обществе.

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1961 г.).

Награды: Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области (2011 г.).

Область научных интересов: теплофизические и физико-химические процессы в теплоэнергетике и металлургической теплотехнике; разработка физических основ нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Публикации: более 90, в том числе 1 монография.

h-index 3

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor at Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources, Urals Federal University; Member of International Academy of Natural and Social Sciences.

Education: Ural State Technical University, 1961.

Awards: Diploma of the Ministry of Energy and Housing and Utilities of the Sverdlovsk region, 2011.

Research interests: thermophysical and physical and chemical processes in thermal power generation and metallurgical engineering with the development of the physical foundations of alternative and renewable energy sources.

Publications: more than 90, including 1 monograph.



1. Введение

Одной из ключевых проблем современной электроэнергетики является значительная суточная неравномерность энергопотребления, связанная с жизненным циклом населения и промышленных производств. Неравномерность энергопотребления приводит к необходимости изменения в широких пределах уровня производства электроэнергии в течение

коротких промежутков времени, что снижает коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) как электростанций, так и электросетевого и трансформаторного оборудования, повышает удельный расход топлива, снижает надежность и ресурс оборудования [1–3]. На рис. 1 показан суточный график изменения потребляемой мощности в зимний период для крупного промышленного центра Российской Федерации.

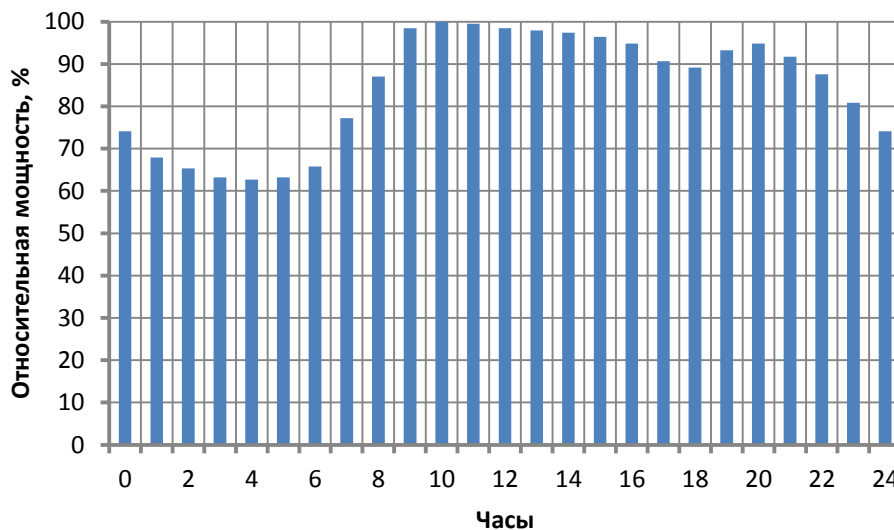


Рис. 1 – График суточного изменения потребляемой мощности
Fig. 1 – Schedule daily changes in power consumption

Очевидно, что снижение потребления энергии в ночной период до 40 % от номинальной мощности энергосистемы ведет к значительным экономическим потерям. Для выравнивания суточных графиков энергопотребления в России и других странах мира широко применяется метод тарифного регулирования, устанавливающий пониженный тариф на ноч-

ные периоды, характеризующиеся резким снижением нагрузок потребителей.

Разрабатываются различные методы накопления энергии в ночное время суток (гидроаккумулирование, производство водорода, накопление энергии в аккумуляторных батареях (АКБ) разного типа, супермаховиках и пр.) [1–3]. Однако достижения в



этой сфере пока не позволяют радикально решить проблему суточной неравномерности энергопотребления. Наиболее близкими к реализации являются проекты по использованию «ночной» электроэнергии для зарядки АКБ электротранспорта (электромобили, трамваи, троллейбусы и пр.), которые способны работать на ограниченных запасах энергии – она может накапливаться в современных АКБ (литий-ионных, ионисторных и пр.), обеспечивающих мощность порядка десятков и сотен киловатт.

В то же время наиболее изучено и широко применяется во многих странах мира использование электрической энергии для отопления и горячего

водоснабжения [4–8]. Данный вид потребления электрической мощности позволяет решить проблему накопления и последующего использования «ночной» электроэнергии с помощью отработанных и простых в инженерном исполнении методов с существующей двухтарифной системой ценообразования в энергетике.

В настоящей работе поставлена задача разработать универсальную методику анализа эффективности систем нестационарного электрообогрева и ее верификации на первом масштабном проекте «Электродома» (микрорайон Академический, г. Екатеринбург), построенном по проекту корпорации «Ренова».

Список обозначений	
<u>Буквы греческого алфавита</u>	
β	Коэффициент аккумуляции здания
ϑ	Температура охлаждения/нагрева воздуха в здании в данный момент времени
τ	Время
<u>Буквы латинского алфавита</u>	
Q	Тепловая мощность источников теплоты
q	Удельные теплотери
T	Температура, °C
V	Наружный объем здания
<u>Буквы русского алфавита</u>	
Т	Тариф
Ц	Затраты
<u>Индексы верхние</u>	
*	Значения при перегреве в ночное время
д	Дневная
н	Ночная
<u>Индексы нижние</u>	
i	Номер месяца
вн	Внутренняя
д	Дневная
кв	Конвективно-водяное
н	Ночная
нар	Наружная
о	Нормативная
уд	Удельная
<u>Аббревиатуры</u>	
АКБ	Аккумуляторная батарея
КИУМ	Коэффициент использования установленной мощности

2. Теоретический анализ

2.1. Системы электроотопления

Самым распространенным видом отопления промышленных и гражданских объектов является централизованное водяное настенное отопление [9–11]. Данный вид отопления имеет ряд недостатков, главный из которых – неравномерность распределения температуры нагреваемого воздуха по высоте помещений: минимальная температура вблизи пола и максимальная на уровне потолка. Напольное отопление является более эффективным, так как тепловой поток распространяется снизу вверх от нагреваемой поверхности пола. Максимальная нагреваемая зона

соответствует высоте человеческого роста, что создает комфортные условия для жителей дома [12–16]. Применение напольного отопления следует рассматривать для домов с малыми тепловыми потерями, так как данная система может обеспечить тепловой поток в помещении не более 100 Вт/м². Системы напольного отопления не занимают полезную площадь помещений, характеризуются меньшим расходом металла по сравнению с радиаторными и конвекторными системами, а также выравниванием температуры воздуха по высоте помещения. При этом средняя температура обогреваемого пола не превышает 26 ÷ 28 °C, а температура нагревательных элементов в бетонной стяжке пола ограничивается



40 ÷ 50 °С во избежание обезвоживания и разрушения бетона [12, 13].

В практике эксплуатации жилых зданий при электро- и теплоснабжении целесообразно применять прерывистую систему отопления. Прерывистое отопление не всегда ведет к экономии тепловой энергии, поскольку расход тепла зависит от средней температуры воздуха внутри помещения [14]. Однако в данном случае периодичность теплоснабжения обусловлена использованием внепиковой электроэнергии. Этот метод сводится к накоплению тепла в конструкции здания исключительно в часы ночных провалов графика нагрузки энергосистемы (аккумуляционное отопление) или во внепиковые периоды (полуаккумуляционное отопление). Использование

теплоаккумулирующей способности массивных бетонных плит межэтажных перекрытий в системах отопления и охлаждения предлагалось еще в 1980 г. в СССР и несколько позднее в Швейцарии [17]. С этой целью в бетонные плиты помещались трубы с циркулирующим теплоносителем. Подобные системы позволяют задействовать высокую тепловую инерцию бетонных плит для сглаживания пиковых нагрузок, возникающих при изменении наружной температуры воздуха. Использование электрической энергии для обогрева позволяет применять более эффективное напольное отопление [18–22]. Схема отопления здания с электронагревом (теплый пол) приведена на рис. 2.

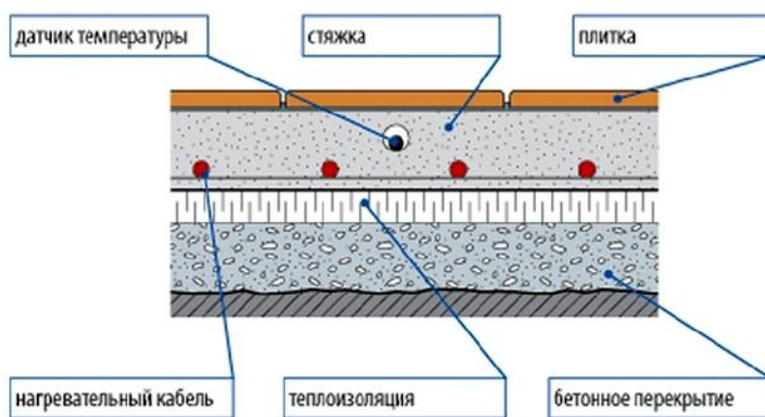


Рис. 2 – Основные элементы напольного электроотопления многоквартирного дома
Fig. 2 – Basic elements of electrical heating floor of the apartment building

2.2. Нестационарный тепловой баланс здания

Динамика теплового режима здания рассматривалась в виде дифференциального уравнения теплового баланса с регулируемыми параметрами разности температур внутри и снаружи помещения $\vartheta(\tau) = (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})$. С этой целью применялось известное уравнение Е.Я. Соколова [10].

$$\vartheta(\tau) = \frac{Q}{q_0 V} + \left(\vartheta^* - \frac{Q}{q_0 V} \right) e^{-\tau/\beta}, \quad (1)$$

где $\vartheta(\tau) = (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})$ и ϑ^* – температура охлаждения/нагрева воздуха в здании в данный момент времени и начальная температура в момент нарушения теплового режима по отношению к меняющейся температуре наружного воздуха $t_{\text{нар}}(\tau)$; β – коэффициент аккумуляции здания; q_0 и V – удельные теплотери и наружный объем здания соответственно; Q – тепловая мощность источников теплоты.

Если температура внутри помещений остается на уровне 20 °С в течение суток, а разность $\vartheta(\tau)$ меняется за счёт изменения температуры наружного воздуха в дневные и ночные часы, то требуемая тепловая мощность для поддержания заданной разности

температур в дневной и ночной периоды определяется следующим образом:

$$Q_{\text{д}} = [\vartheta_{\text{д}} - \vartheta_{\text{н}} e^{-\tau_{\text{д}}/\beta}] (1 - e^{-\tau_{\text{д}}/\beta})^{-1} (q_0 V), \quad (2)$$

$$Q_{\text{н}} = [\vartheta_{\text{н}} - \vartheta_{\text{д}} e^{-\tau_{\text{н}}/\beta}] (1 - e^{-\tau_{\text{н}}/\beta})^{-1} (q_0 V), \quad (3)$$

где $\vartheta_{\text{д}} = t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}^{\text{д}}$ и $\vartheta_{\text{н}} = t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}^{\text{н}}$ – значения разности внутренней и наружной температуры воздуха в дневные и ночные часы; $\tau_{\text{д}}$ и $\tau_{\text{н}}$ – продолжительность дневного и ночного тарифа соответственно (16 ч и 8 ч для города Екатеринбурга).

Рост потребления электроэнергии на отопление в ночное время позволяет не только выравнять график суточного потребления энергии, но и дает возможность сократить финансовые затраты на отопление, поскольку ночной тариф примерно в 2 раза ниже дневного. Значительная теплоаккумулирующая способность ограждающих конструкций здания вместе с бетонной подушкой, в которую вмонтирован электронагреватель, способствует накоплению избыточной тепловой энергии для использования её в

дневное время, снижая потребление электроэнергии в этот период.

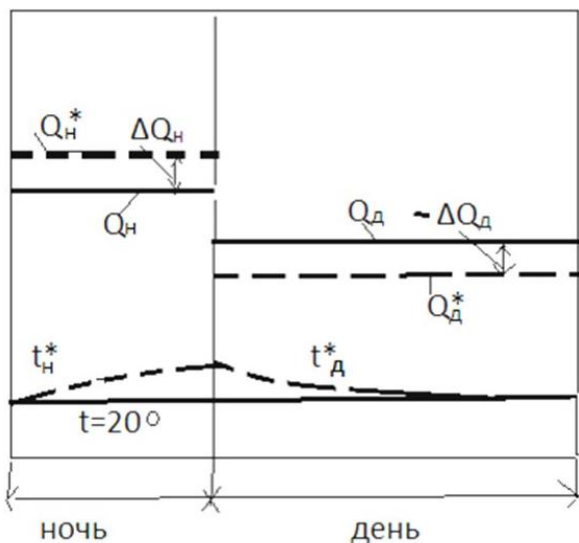


Рис. 3 – Характер изменения подводимой тепловой мощности и температуры в помещении в течение суток: Q^* и t^* – тепловая мощность и температура в помещении при перегреве в ночное время

Fig. 3 – Character of changes of input thermal power and temperature indoors at night when overheated

Динамика изменения подводимой тепловой мощности в ночное и дневное время суток, а также соответствующее изменение температуры в помещении,

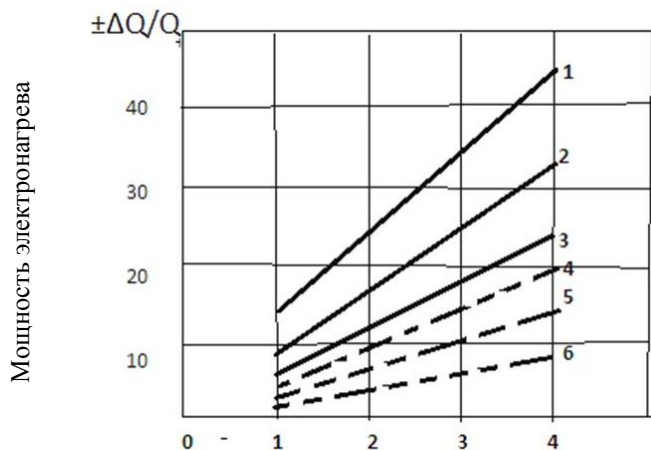


Рис. 4 – Влияние перегрева помещений здания на отопительные характеристики в ночное и дневное время: 1, 2, 3 – возрастание ночной нагрузки при $\beta = 40$ ч, 60 ч и 90 ч; 4, 5, 6 – при тех же условиях снижение дневной нагрузки

Fig. 4 – Effect of overheating of premises building on heating characteristics in night and day periods: 1, 2, 3 are increasing night load $\beta = 40$ h, 60 h, and 90 h; 4, 5, 6 – reducing daily workload under the same conditions

В качестве примера реализации возможности эффективного использования принципа накопления теплоты в ночной период выбран электродом в г. Екатеринбурге с обогреваемой площадью 4 500 м², общей площадью 6 874 м² и установленной мощностью 585 кВт. В работе [23] приводятся данные по электропотреблению квартир дома за 7 месяцев отопительного периода в дневной и ночной периоды с указанием средней температуры наружного воздуха

приведены на рис. 3. При этом теплопоступления имеют П-образный (периодический) характер.

Известно [22], что при изменении температуры в помещении в пределах, не превышающих 4 °С, нарушения комфортного режима проживания не происходит. С помощью выражений (2) и (3), увеличение мощности электронагрева в ночное время ΔQ_n и снижение его потребления в дневной период за счёт некоторого повышения температуры помещения в ночное время на Δt определяется:

$$\Delta Q_n = \Delta t (1 - e^{-\tau_n/\beta})^{-1} Q_{уд}, \quad (4)$$

$$\Delta Q_d = \Delta t e^{-\tau_d/\beta} (1 - e^{-\tau_d/\beta})^{-1} Q_{уд}, \quad (5)$$

где Δt – превышение температуры в ночной период относительно принятой температуры $t_{вн} = 20$ °С внутри здания.

3. Экспериментальное исследование влияния перегрева здания на отопительные характеристики в ночное и дневное время

Электроотопление, как это видно на рис. 4, характеризуется возрастанием ночной электронагрузки и снижением соответствующей дневной нагрузки. При этом влияние перегрева Δt в значительной степени зависит от аккумулирующей способности здания.

(рис. 5). На основании этих данных и данных Гидрометцентра г. Екатеринбурга по среднемесячным температурам наружного воздуха в эти периоды определялись удельные теплопотери здания $Q_{уд}$ и соответствующий коэффициент аккумуляции. При этом предполагалось, что скорость охлаждения/нагрева здания обусловлена среднемесячными температурами ϑ_d и ϑ_n и продолжительностью дневного и ночного периодов.

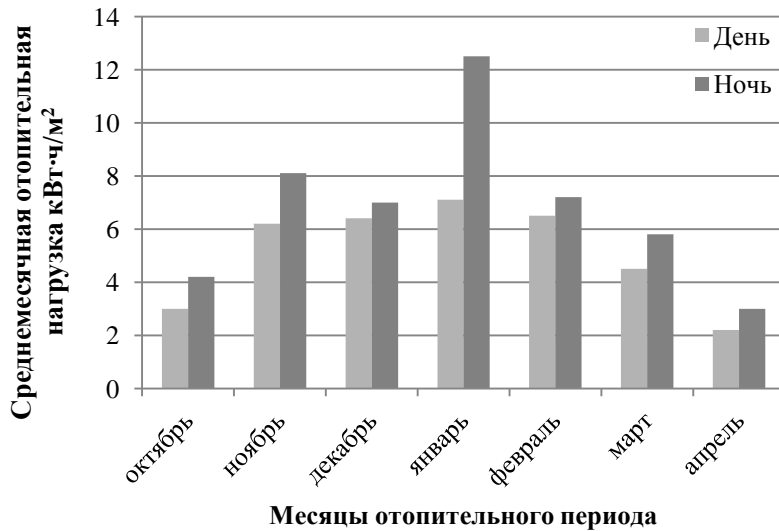


Рис. 5 – Среднемесячная электроотопительная нагрузка многоквартирного дома за отопительный период
Fig. 5 – Average monthly electric heating load of the apartment building for the heating season



Расчетные соотношения (6) и (7) представлены в виде суммы среднемесячных параметров $Q_{уд}$ и β за дневной и ночной периоды, осредненной за отопительный сезон (7 месяцев).

$$Q_{уд} = (q_0 V) = \frac{1}{7} \left[\sum_1^i \frac{\mathcal{E}_д}{\tau_д * \vartheta_i^д} + \sum_1^i \frac{\mathcal{E}_н}{\tau_н * \vartheta_i^н} \right], \quad (6)$$

$$\beta = \frac{1}{7} \sum_1^i \left[\tau_д \left(\ln \frac{\vartheta_i^д Q_{уд} - Q_д}{\vartheta_i^д Q_{уд} - Q_д} \right)^{-1} + \tau_н \left(\ln \frac{\vartheta_i^н Q_{уд} - Q_н}{\vartheta_i^н Q_{уд} - Q_н} \right)^{-1} \right] \quad (7)$$

где $\mathcal{E}_д$ и $\mathcal{E}_н$ – среднемесячное потребление электроэнергии на отопление в дневное и ночное время; $\vartheta_i^д$ и $\vartheta_i^н$ – среднемесячная разность температур воздуха

внутри и снаружи помещения; $\tau_д$ и $\tau_н$ – число часов потребления энергии в дневное и ночное время соответственно.

Расчёты показали, что удельные теплотери электродома с наружным объемом 18 560 м³ составляли $Q_{уд} = 8\,166$ Вт/°С, коэффициент аккумуляции здания = 61,6 ч.

4. Результаты и их обсуждение

В таблице приведены расчётные данные увеличения $\Delta Q_н$ и уменьшения $\Delta Q_д$ потребности энергии в ночной и дневной периоды отопления, а также снижение месячных затрат $\Delta Ц$ в расчете на 1 м² площади теплого пола.

Потребность в энергии в ночной и дневной периоды
 Energy demand in day and night periods

Таблица
 Table

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\Delta Q_н, \text{кВт}$	$\Delta Q_д, \text{кВт}$	$\Delta \mathcal{E}_д, \text{кВт ч/год}$	$\Delta \mathcal{E}_н, \text{кВт ч/год}$	$\Delta Ц, \text{руб/м}^2 \text{мес}$
1	68	-26,7	114 240	-85 712	1,72
2	136	-53,4	228 480	-179 424	3,86
3	204	-80,1	342 720	-269 136	5,78
4	272	-106,8	456 960	-342 848	6,87

Среднемесячный расход финансовых средств на электроотопление при ночном тарифе (1,26 руб/кВт ч) и дневном тарифе (2,64 руб/кВт ч) составляет 22,63 руб/м² мес [23]. С учетом дополнительной аккумуляции тепловой энергии в ночной период, связанной с перегревом помещения на 2 ÷ 3 °С, имеется возможность снизить удельные затраты на элек-

троотопление на 3,86 или 5,78 руб/м², то есть до 18,77 руб/ м² и 16,85 руб/ м² в месяц соответственно.

Оценка эффективности систем напольного отопления иллюстрируется рис. 6, где приведены сравнительные данные потребления тепловой энергии при напольном электроотоплении здания и аналогичного здания с традиционным конвективно-водяным отоплением, снабжаемого теплотой от газовой котельной



(Академический микрорайон г. Екатеринбург). Среднегодовые значения потребляемой энергии на отопление в первом случае равны 5,24 кВт ч/м² мес и

6,98 кВт ч/м² мес для дневного и ночного периодов отопления, во втором случае – 24,23 кВт ч/ м² мес (0,021 Гкал/м² мес.).

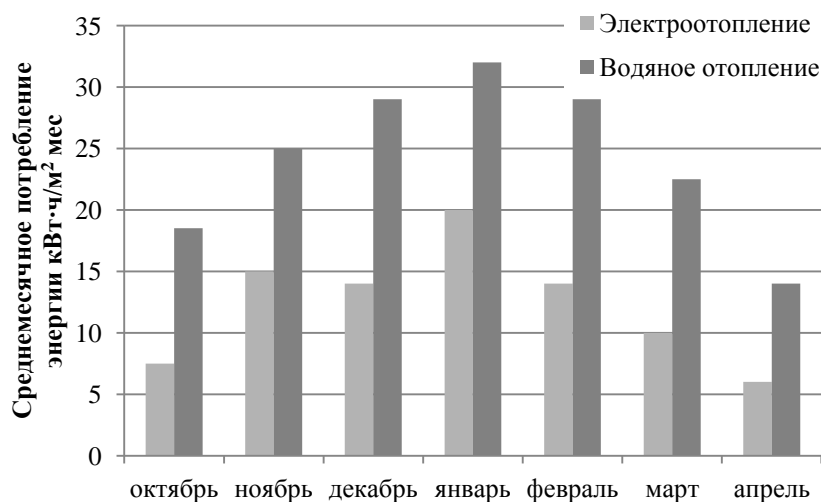


Рис. 6 – Среднемесячная отопительная нагрузка при электроотоплении и водяном отоплении здания

Fig. 6 – Average monthly heating load when electric heating and water heating for the building

Финансовые среднемесячные затраты двух систем за отопительный период (7 месяцев) можно оценить с помощью соответствующих тарифов:

$$C_э = \frac{1}{7} \sum \mathcal{E}_i T_d + \mathcal{E}_i T_n \quad \text{и} \quad C_{х-в} = \frac{1}{7} \sum Q_i T_{кв} \quad (8)$$

Учитывая, что дневной T_d и ночной T_n тарифы на электроэнергию составляют соответственно 2,64 руб./кВт ч и 1,26 руб./кВт ч, финансовые затраты на электроотопление составят 22,63 руб./м² мес. В то время как для конвективно-водяного отопления аналогичные затраты составят 27,95 руб./м² мес (при тарифе $T_{кв} = 1\,331,1$ руб/Гкал).

Годовая экономия финансовых средств, например для жилого помещения 100 м², достигает 500 руб./мес и составляет за отопительный период года более 3 000 руб.

Таким образом, суммарное потребление электроэнергии с использованием ночного перегрева помещений несколько возрастает, но смещается в область более дешевого тарифа, чем и объясняется снижение удельных финансовых затрат на отопление.

5. Заключение

Использование дополнительной аккумуляции тепла зданием за счет перегрева на 1 ÷ 3 °С в ночной период ведет к некоторому возрастанию потребления электроэнергии на отопление, однако финансовые затраты при этом снижаются за счет использования более дешевого ночного тарифа.

Данная система отопления позволяет наилучшим образом сочетать график потребления электроэнергии для нужд обогрева с суточным графиком нагрузки на энергосистему путем рационального использо-

вания аккумулирующих свойств комплекса «Энергосистема-дом».

Список литературы

- [1] Казарян, В.А. Использование крупномасштабных подземных аккумуляторов энергоносителей для регулирования неравномерности энергопотребления / В.А. Казарян // Известия Российской академии наук: Энергетика. 2013. – № 3. – С. 3–26.
- [2] Ольховский, Г.Г. Методы регулирования неравномерности электропотребления / Г.Г. Ольховский, В.А. Казарян, А.Я. Столяревский. – М.: Ижевск: ИКИ, 2012. – 712 с.
- [3] Лисин, Е.М. Повышение экономической устойчивости региональных энергетических систем в условиях роста неравномерности энергопотребления / Е.М. Лисин [и др.] // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2017. – Т. 4. – № 31. – С. 42–50.
- [4] Шилкин, Н.В. Термоактивные системы отопления и охлаждения зданий / Н.В. Шилкин // АВОК. – 2012. – № 5. – С. 36–47.
- [5] Элякова, И.Д. Объективные факторы перевода на электроотопление потребителей западного энергорайона республики Саха / И.Д. Элякова, В.В. Баранова // Экономика и управление. – 2013. – Т. 11. – № 97. – С. 53–57.
- [6] Об электроэнергетике: Закон Российской Федерации от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ (в ред. от 29.06.2012. № 96-ФЗ) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2003. – № 13. – Ст. 1177 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.komi.fas.gov.ru/page/>. – (Дата обращения: 29.06.18).



[7] Olesen, B.W. Теплоаккумуляционные системы отопления и охлаждения помещений офисных зданий // В.В. Olesen / АВОК. – 2012. – № 2. – С. 13–18.

[8] Kolarik, J. Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperatures / J. Kolarik // Energy and Buildings. – 2011. – Vol. 43. – No. 11. – С. 2988–2997.

[9] СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

[10] Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – М.: изд. МЭИ. 2001. – 422 с.

[11] Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

[12] Мохов, Л.М. Системы напольного отопления / Л.М. Мохов, О.О. Самарин // АВОК. – 2003. – № 5. – С. 32–37.

[13] Писарев, Е. Теплый пол. Водяной или электрический / Е. Писарев. – Самиздат, 2012. – 48 с.

[14] Сахаров, И.А. Расчет взаимного влияния тепловых и конструктивных параметров водяного теплого пола / И.А. Сахаров, М.И. Низовцев // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3/2. – С. 33–37.

[15] Лукьянов, М.Ю. Водяной и инфракрасный теплый пол. Сравнение систем / М.Ю. Лукьянов // Инновационная наука. – 2015. – Т. 12. – № 2. – С. 90–92.

[16] Вавилин, К.В. Сравнение отопительных систем с использованием тёплого пола / К.В. Вавилин, Д.Н. Сурсанов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2018. – Т. 1. – С. 360–369.

[17] Сахибзадинов, А.Ф. Теплые полы. Учебное пособие. – М.: Изд. «Застройщик», 2008. – 335 с.

[18] Olesen B. W. International standards for the indoor environment // Indoor Air. – 2004. – Vol. 14. – No. s7. – С. 18–26.

[19] Olesen, B. W. Control of slab heating and cooling systems studied by dynamic computer simulations / B. W. Olesen, K. Sommer, B. Düchting. // ASHRAE Transactions. – 2000. – No. 108 (2). – P. 646–707.

[20] ISO 11855-3: Building Environment Design – Standards for the Design, Construction and Operation of Radiant Heating and Cooling Systems – Part 3: Design and dimensioning. – 2012.

[21] Olesen, B.W. Operation and control of activated slab heating and cooling systems. CIB / B.W. Olesen, F.C. Curro Dossi // World Building Congress. – 2004.

[22] Бодров, В.И. Методика расчета теплового режима зданий массовой застройки в период «температурных срезов» / В.И. Бодров, М.В. Корягин // Известия высших учебных заведений: Строительство. – 2007. – № 2. – С. 42–46.

[23] Лямбель, А.Н. Анализ эффективности использования электроотопления многоквартирного дома / А.Н. Лямбель, В.М. Пахалуев, С.Е. Щеклеин // НПК «Перспективные энергетические технологии» –

Екатеринбург: УралЭНИН, ФГАОУ ВО «УрФУ». – 2016. – С. 89–91.

References

[1] Kazaryan V.A. The use of large-scale underground battery energy to regulate energy consumption inequality (Ispol'zovanie krupnomasshtabnyh podzemnyh akkumulyatorov ehnergonositelej dlya regulirovaniya neravnomernosti ehnergotrebleniya). *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Ehnergetika*, 2013;3:3–26 (in Russ.).

[2] Ol'hovskij G.G., Kazaryan V.A., Stolyarevskij A.Ya. Methods for regulating consumption inequality (Metody regulirovaniya neravnomernosti ehlektrotrebleniya). Izhevsk: IKI Publ., 2012; 712 p. (in Russ.).

[3] Lisin E.M., Zhovtyak P.G., Kurdyukova G.N., Anisimova Yu.A. Improving the economic sustainability of regional power systems in the face of rising energy consumption inequality (Povyshenie ehkonomicheskoy ustojchivosti regional'nyh ehnergeticheskikh sistem v usloviyah rosta neravnomernosti ehnergotrebleniya). *Vektor nauki Tol'yattinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ehkonomika i upravlenie*, 2017;4(31):42–50 (in Russ.).

[4] Shilkin N.V. Thermoset heating and cooling systems in buildings (Termoaktivnye sistemy otopeniya i ohlazhdeniya zdaniy). *AVOK*, 2012;5:36–47 (in Russ.).

[5] Ehlyakova I.D., Barahova V.V. Objective factors translate to consumer electric West jenergorajona Republic of Sakha (Ob"ektivnye faktory perevoda na ehlektrootoplenie potrebitelej zapadnogo ehnergorajona respubliky Saha). *Ehkonomika i upravlenie*, 2013;11(97):53–57 (in Russ.).

[6] About the electric power industry: the law of the Russian Federation from March 26, 2003 No. 35-FZ (ed. on Jun 29, no. 96-FZ) (Ob ehlektroehnergetike: Zakon Rossijskoj Federacii ot 26 marta 2003. № 35-FZ (v red. ot 29.06.2012. № 96-FZ)). *Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii*, 2003, No. 13, Ar.1177. Available on: <http://www.komi.fas.gov.ru/page/06.29.18>) (in Russ.).

[7] Olesen B.W. Heat accumulation, heating and cooling office buildings (Teploakkumulacionnye sistemy otopeniya i ohlazhdeniya pomeshchenij ofisnyh zdaniy). *AVOK*, 2012;2:13–18 (in Russ.).

[8] Kolarik J. Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperatures. *Energy and Buildings*, 2011;43(11):2988–2997(in Eng).

[9] SNiP 2.04.05-91 heating, ventilation and air conditioning (SNiP 2.04.05-91 Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie vozduha) (in Russ.).

[10] Sokolov E.Ya. Thermofication and heat networks (Teplofikaciya i teplovye seti). Moscow: MEHI Publ., 2001; 422 p. (in Russ.).

[11] Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M. Mathematical simulation and optimization of the thermal effi-



ciency of buildings (Matematicheskoe modelirovanie i optimizaciya teplovoj ehffektivnosti zdaniy). Moscow: AVOK-PRESS, 2002; 194 p. (in Russ.).

[12] Mohov L.M., Samarin O.O. Underfloor heating system (Sistemy napol'nogo otopeniya). AVOK, 2003; 5:32–37 (in Russ.).

[13] Pisarev E. Warm floor. Water or electric (Teplyi pol. Vodyanoi ili ehlektricheskii). Samizdat Publ., 2012; 48 p. (in Russ.).

[14] Saharov I.A., Nizovcev M.I. Calculation of the mutual influence of thermal and design parameters of water floor heating (Raschet vzaimnogo vliyaniya teplovyh i konstruktivnyh parametrov vodyanogo teplogo pola). *Polzunovskij vestnik*, 2013; 3(2):33–37 (in Russ.).

[15] Luk'yanov M.Yu. Water and infrared heat-insulated floor. Comparison of systems (Vodyanoi i infrakrasnyi teplyi pol. Sravnenie system). *Innovacionnaya nauka*, 2015; 12(2):90–92 (in Russ.).

[16] Vavilin K.V., Sursanov D.N. Comparison of heating systems using hot floor (Sravnenie otopitel'nyh sistem s ispol'zovaniem teplogo pola). *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*, 2018; 1:360–369 (in Russ.).

[17] Sahibzadinov A.F. Warm floors. Tutoria (Teplye poly. Uchebnoe posobie). Moscow: Zastrojshchik Publ., 2008; 335 p. (in Russ.).

[18] Olesen B.W. International standards for the indoor environment. *Indoor Air*, 2004; 14(s7):18–26 (in Eng).

[19] Olesen B.W., K. Sommer B. DÜCHTING Control of slab heating and cooling systems studied by dynamic computer simulations. *ASHRAE Transactions*, 2000; 108(2):646–707 (in Eng).

[20] ISO 11855–3: Building Environment Design – Standards for the Design, Construction and Operation of Radiant Heating and Cooling Systems. Part 3: Design and dimensioning, 2012 (in Eng).

[21] Olesen B.W., Curro Dossi F.C. Operation and control of activated slab heating and cooling systems. CIB World Building Congress, 2004 (in Eng).

[22] Bodrov V.I., Koryagin M.V. Calculation method of the thermal regime of buildings during mass building “temperature slices” (Metodika rascheta teploвого rezhima zdaniy massovoi zastroiki v period “temperaturnyh srezov”). *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, 2007; 2:42–46 (in Russ.).

[23] Lyambel' A.N., Pahaluev V.M., Shcheklein S.E. Analysis of electrical heating efficiency multi-family homes (Analiz ehffektivnosti ispol'zovaniya ehlektrootopeniya mnogokvartirnogo doma). NPK Perspektivnye ehnergeticheskie tekhnologii [Advanced energy technology]. Yekaterinburg: UrFU Publ., 2016; pp. 89–91 (in Russ.).

Транслитерация по BSI



ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА И КОНФЕРЕНЦИЯ

1. Заключительный (всероссийский) этап по дисциплинам ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

2. Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ. НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ», посвященная памяти профессора Н.И. Данилова.

10–14 декабря 2018 г. г. Екатеринбург, УрФУ

С 2000 г. в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ, ранее – в УГТУ-УПИ) проводятся учебно-научные молодежные конкурсные мероприятия по энерго- и ресурсосбережению, нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии, в которых за это время приняли участие свыше 5 500 человек из нескольких десятков вузов России и зарубежья.

Приглашаем студентов и преподавателей принять участие в заключительном (всероссийском) этапе Всероссийской студенческой олимпиады по двум дисциплинам:

«Энерго- и ресурсосбережение» и «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», а также в Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение: Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» в декабре 2018 года.

Заключительный (всероссийский) этап олимпиады проводится для студентов следующих направлений подготовки (профилей):

– по дисциплине «Энерго- и ресурсосбережение»: 13.03.01, 13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника (промышленная теплоэнергетика; энергетика теплотехнологий; энергообеспечение предприятий);

– по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»: 13.03.02, 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника (нетрадиционные и возобновляемые источники энергии).

Положение об олимпиаде, программа и другие информационные материалы размещены на Интернет-портале УрФУ <http://urfu.ru/ru/students/study/olympic/energy/2017/> и на сайте УралЭНИН <http://enin.urfu.ru/>.

