

УДК 536.24:697.1

КРУКОВСКИЙ П.Г.,
ТАДЛЯ О.Ю., МЕТЕЛЬ М.А.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБА ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ

Наведено аналіз ефективності розглянутого способу економії теплової енергії для повітряної, радіаційної та конвективної систем опалення. Шляхом числового моделювання теплового режиму приміщення показано, що ефективність досягає найбільшого значення 14% при використанні повітряної системи опалення, а для радіаційної системи опалення “тепла підлога” – найменшого значення 1,5%.

Приведен анализ эффективности рассматриваемого способа экономии тепловой энергии для воздушной, радиационной и конвективной систем отопления. Путем численного моделирования теплового режима помещения показано, что эффективность достигает наибольшего значения 14% при использовании воздушной системы отопления, а для радиационной системы отопления “теплый пол” – наименьшего значения 1,5%.

Analysis of the efficiency of the heating-energy-saving method for air, radiation, and convective heating systems is presented. By numerical modeling of the room thermal state, it is shown that the efficiency reaches its maximum value 14% for air heating system and the minimum value 1.5% for radiation heating system “warm floor”.

Учитывая то, что в настоящее время в Украине до 40 % тепловой энергии расходуется для нужд отопления, рациональное её использование становится все более актуальным как для общественных, жилых и офисных зданий, так и для индивидуальных домов. Существуют различные способы экономии тепловой энергии, и в данной статье рассматривается способ экономии за счет периодического снижения температуры воздуха в помещении в период отсутствия в нем людей [1–3]. Суть способа состоит в том, что во время отсутствия людей температура воздуха в помещении снижается до определенного значения экономичной температуры $t_э$, (рис. 1). Затем в момент времени τ^* система отопления вновь включается для прогрева воздуха до комфортной для людей температуры $t_к$ к моменту их прихода в помещение. Таким образом, мощность системы отопления можно снижать или временно отключать вообще в те периоды, когда люди отсутствуют в помещениях, что позволяет сэкономить определенную часть тепловой энергии.

В статьях [1–3] было показано, что величина экономии энергии на отопление помещения возрастает с увеличением длительности поддержания в нем экономичной температуры воздуха $t_э$. В частности, в [3] было показано, что длительность этого периода может быть увеличена путем повышения мощности отопительной системы, откуда следует, что на величину экономии энергии при использовании рассматриваемого способа влияет скорость прогрева воздуха отопительной системой. Т.е. при увеличении запаса мощности уменьшается время прогрева воздуха от $t_э$ до $t_к$, а следовательно, увеличивается общее время поддержания в нем экономичной температуры воздуха $t_э$.

На скорость изменения температуры воздуха в помещении при изменении мощности системы отопления влияет много факторов, таких как аккумулирующая способность отопительного прибора, интенсивность теплообмена между отопительным прибором и воздухом, объем отапливаемого помещения и аккумулирующая способность его ограждающих конструкций. При этом

интенсивность теплообмена между отопительным прибором и воздухом определяется коэффициентом теплоотдачи и площадью теплообмена прибора. Тип отопительной системы и ее влияние на величину экономии при использовании рассматриваемого способа является предметом рассмотрения данной статьи.

Авторы предлагают ввести термин “скорость прогрева воздуха в помещении отопительным прибором”, которая зависит от инерционности системы “отопительный прибор–воздух помещения–ограждающие конструкции”. Очевидно, что отопительные системы с большей скоростью прогрева воздуха, а следовательно, большей чувствительностью температуры воздуха к изменению выделяемой в приборе мощности более пригодны при использовании рассматриваемого способа экономии тепловой энергии.

На сегодняшний день основным видом отопления жилых домов является централизованная водяная система отопления с преимущественно конвективным механизмом теплоотдачи от радиаторов к воздуху. Однако эта система отопления не является оптимальной ни по уровню комфорта, ни по технико-экономическим показателям. Она работает в постоянном режиме тепловыделения и с трудом поддается централизованному регулированию из-за большого количества потребителей теплоты и их удаленности от источника теплоснабжения. Однако способ экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в помещении в период отсутствия в нем людей [1–3] может быть реализован и в отдельном помещении с помощью специальной регулирующей аппаратуры. В литературе авторы статьи не нашли ответа на вопрос о том, какая из систем отопления может быть более экономична при данном способе экономии тепловой энергии.

Существуют также другие типы систем отопления, каждая из которых имеет свой диапазон скоростей прогрева воздуха в помещении. В данной статье проанализированы системы отопления наиболее и наименее быстро прогревающие воздух в нем. Рассмотрим эти системы отопления более подробно:

1. Радиационное отопление с расположением отопительного прибора в полу. Эта система отопления носит название панельно-лучистого

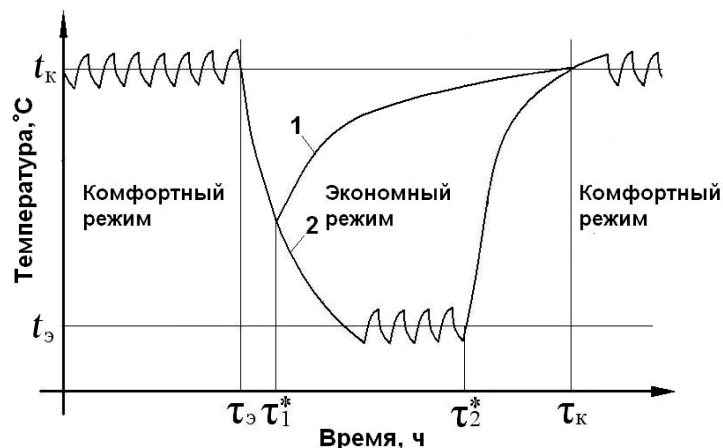


Рис. 1. Изменение температуры воздуха в помещении в комфортном и экономичном режимах с ограничением температуры снизу (кривая 2) и без него (кривая 1).

отопления, поскольку основная часть теплоты передается в помещение с помощью радиационного теплообмена. Эта система может быть в исполнении с водяным теплоносителем (укладка полиэтиленовых труб в полу) и электрическая, когда греющим элементом является электрокабель, проложенный в полу.

2. Воздушное отопление с отопительным прибором в виде тепловентилятора. Основным элементом такой системы воздушного отопления, например коттеджа, является воздухонагреватель, работающий на газе или дизельном топливе. В нем теплота, получаемая при сжигании топлива, передается через теплообменник воздуху, нагнетаемому вентилятором. После очистки в фильтре горячий воздух поступает в отапливаемое помещение по воздуховодам, а продукты сгорания газа удаляются в атмосферу через дымоходы. Система легко поддается регулировке, малоинерционная и быстро и равномерно нагревает весь объем помещения. Эта система широко распространена в США для индивидуальных домов, а автоматика позволяет регулировать тепловой режим по отдельным помещениям.

3. Конвективная система отопления с отопительным прибором в виде радиатора. Для сравнения теплового состояния помещений была выбрана традиционная для большинства жилых домов старой и новой постройки конвективная система отопления с отопительными приборами в виде радиаторов.

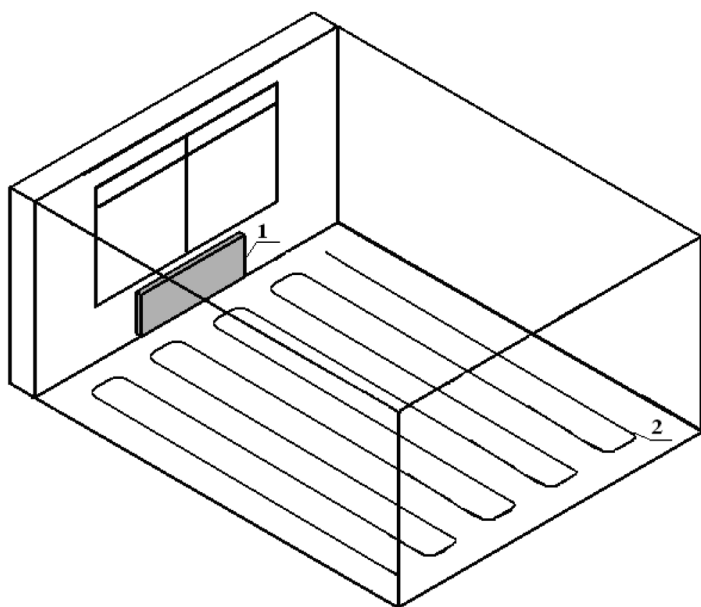


Рис. 2. Схема помещения: 1 – радиатор; 2 – “теплый пол”.

Радиационная и воздушная системы отопления были выбраны постольку, поскольку они реализуют граничные случаи скорости изменения температуры воздуха в помещении при изменении мощности отопительного прибора, – первая из систем инерционна (прогревает в первую очередь ограждающие конструкции помещения), вторая – неинерционна (непосредственно греет воздух в помещении). Третий вариант с радиатором выбран для сопоставления с первыми двумя, чтобы показать, какой экономии можно добиться в типовом помещении дома.

В данном случае под системой отопления подразумевается отопительный прибор, размещенный непосредственно в помещении и напрямую контактирующий с воздухом. Для воздушной системы отопления отопительный прибор – тепловентилятор, для конвективной – радиатор с теплоносителем водой, для радиационной – пол с проложенными электрическими кабелями. В стационарном режиме количество теплоты, отданное любой системой отопления в помещение, принимается одинаковым, в нестационарном режиме прогрева из-за разной степени интенсивности переноса теплоты к воздуху это количество будет различным. Тепловентилятор быстро греет непосредственно воздух, вода в радиаторе нагревает сам радиатор, после чего нагретый радиатор

отдает теплоту в воздух; электрические кабели должны вначале прогреть весь массив пола, после чего он нагревает воздух.

Целью работы является анализ эффективности способа экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в помещении в период отсутствия людей при использовании отопительных приборов, имеющих различную скорость прогрева воздуха при изменении их мощности.

Для этого рассчитывался тепловой режим помещения с каждым из трех предложенных вариантов систем отопления, и по результатам расчетов было определено, какая из систем даст большую экономию энергии при периодическом снижении температуры воздуха в помещении в период отсутствия людей. Рассматривалось также влияние аккумуляционных свойств систем отопления на возможность экономии энергии. Авторы статьи предполагают, что воздушная система отопления из-за своей малой инерционности будет давать наибольшую экономию энергии.

Проведем анализ теплового состояния офисного помещения размером $5,0 \times 5,6 \times 2,5$ м (рис. 2), в котором люди находятся в рабочие дни с 9 до 19 часов при комфортной температуре 20°C , а в остальное время система регулирования настроена на поддержание экономной температуры воздуха в помещении 9°C . Кратность воздухообмена в помещении равнялась 1, помещение имело окно и одну наружную стену. На наружной поверхности наружной стены задано граничное условие третьего рода с коэффициентом теплоотдачи $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Площадь окна составляла $4,05 \text{ м}^2$, толщина наружной стены – $0,4$ м, внутренних стен – $0,14$ м. Теплопроводность стен равна $0,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, эквивалентная теплопроводность окна – $1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Размеры радиатора в варианте с конвективной системой отопления – $1,6 \times 0,7$ м. Степень черноты всех поверхностей внутри комнаты составляет $0,8$, а поверхности радиатора – $0,3$. Теплообмен с соседними помещениями отсутствовал.

Моделирование проводилось с помощью компьютерной программы ТАВС (Thermal Analysis of Building Construction) расчета теплового режима и теплопотерь помещений. Количество узлов модели составляло 161, количество теп-

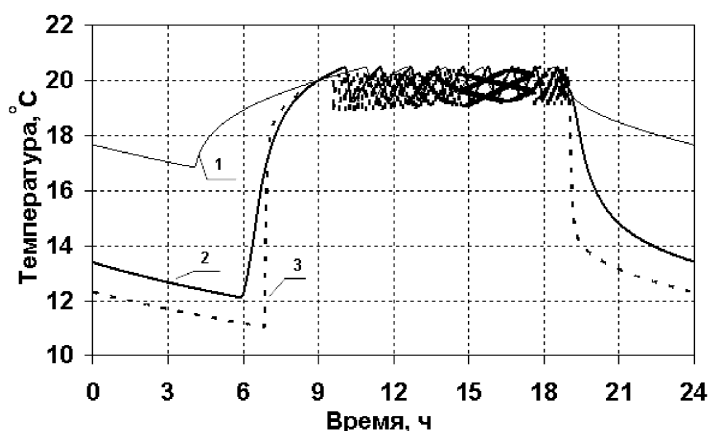


Рис. 3. Зависимость температуры воздуха в помещении при различных системах отопления: 1 – “теплый пол”; 2 – радиатор; 3 – тепловентилятор.

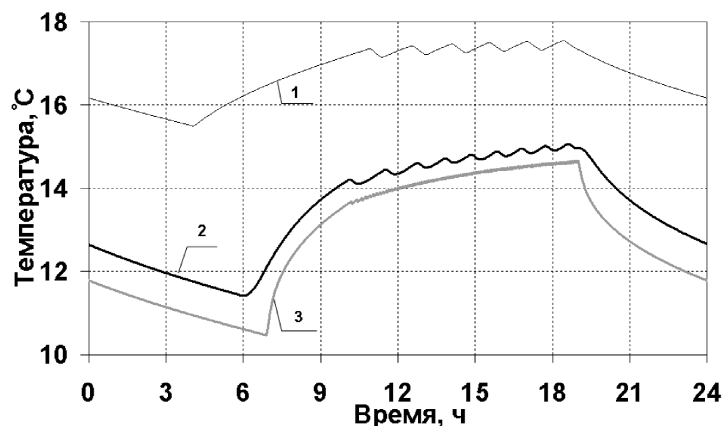


Рис. 4. Зависимость температуры внутренней поверхности наружной стены с различными системами отопления: 1 – “теплый пол”; 2 – радиатор; 3 – тепловентилятор.

ловых связей между узлами — 199. Узлы располагались по одному в воздухе помещения и на радиаторе и по 20 — по толщине каждого ограждения. Моделирование проводилось в нестационарной постановке. В качестве начального условия использовалось стационарное распределение температур в расчетных узлах помещения с такой мощностью Q_K отопительного прибора (радиатора), для которой имела место комфортная температура в помещении 20 °C при данной температуре окружающей среды. Диапазон поддержания температуры воздуха составлял 0,25 °C от заданной величины.

Тепловой режим помещения рассчитывался для вариантов с конвективной системой отопления (отопительный прибор — радиатор), радиационной системой отопления (отопительный прибор — “теплый пол”), воздушной системой отопления (отопительный прибор — тепловентилятор) при температуре окружающей среды — 10 °C и мощностью системы отопления в комфортно-экономичном режиме 2,177 кВт.

На рис. 3 приведены зависимости температуры воздуха в помещении при различных системах отопления.

Как видно из рис. 3, система воздушного отопления 3 включается позже, чем конвективная и радиационная системы отопления, вследствие чего в этом варианте наблюдается меньшая температура воздуха в помещении. Также можно увидеть, что частота включения воздушной сис-

темы отопления 3 гораздо выше, чем конвективной 2, а при выключении воздушной системы отопления температура воздуха в помещении падает быстрее и ниже. Это можно объяснить тем, что температуры стен в помещении при воздушной системе отопления имеют более низкую температуру, чем при конвективной системе отопления (рис. 4), и кривая температуры воздуха имеет перегиб при 14 °C, когда ограждающие конструкции помещения начинают отдавать свою теплоту воздуху помещения.

В таблице приведены результаты анализа относительной экономии энергии в помещениях с различными системами отопления. Относительная экономия, представленная в таблице, — это величина экономии энергии по отношению к затратам энергии на поддержание постоянной комфортной температуры.

Результаты, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что радиационная система отопления (“теплый пол”), как самая инерционная, имеет максимальную температуру воздуха в помещении в конце экономного режима, в то время как воздушная система отопления (тепловентилятор) за счет малой инерционности имеет минимальную температуру воздуха. Соответственно и экономия энергии в варианте “теплого пола” минимальна, а в варианте тепловентилятора — максимальна. Согласно полученным результатам можно заключить, что для данного способа экономии энергии самой лучшей систе-

Таблица. Величины относительной экономии энергии в помещениях с различными системами отопления

Вид системы отопления	Время включения отопительного прибора, часы суток	Минимальная температура воздуха, °С	Относительная экономия, %
«Теплый пол»	4,04	16,85	1,5
Радиатор	5,9	12,11	9,5
Тепловентилятор	6,84	11,05	14,0

мой отопления является та, что быстрее всех прогревает воздух в помещении, т.е. воздушная система.

Использование теплоаккумуляционных отопительных приборов, также относящихся к группе систем воздушного отопления, дает дополнительную возможность экономии денег за счет использования более дешевых ночных тарифов на электроэнергию и максимально быстро прогреть воздух в помещении в необходимое время суток.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что максимальные значения относительной экономии 14,0 % для суточного периода достигаются для воздушной системы отопления, 9,5 % – для конвективной системы отопления, 1,5 % – для радиационной системы отопления.

Выводы

1. Рассмотрены три вида систем отопления: воздушная (с отопительным прибором в виде тепловентилятора или теплоаккумуляционного прибора), радиационная (с отопительным прибором в виде “теплого пола”) и конвективная (с отопительным прибором – радиатором).

2. Путем численного моделирования теплового режима помещения показано, что воздушная система отопления, имеющая самую высокую скорость прогрева воздуха в помещении, дает наибольшую экономию энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в

помещении. Использование теплоаккумуляционных приборов и более дешевой ночной электроэнергии делает такую воздушную систему отопления еще более экономичной.

3. Для рассмотренного помещения в суточном периоде максимальные значения экономии энергии 14,0 % достигаются для воздушной системы отопления, 9,5 % – для конвективной системы отопления и 1,5 % – для радиационной системы отопления типа “теплый пол”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Круковский П.Г., Тадля О.Ю., Метель М.А., Пархоменко Г.А. Анализ путей уменьшения энергозатрат за счет периодического снижения температуры воздуха отапливаемых помещений // Промышленная теплотехника. – 2008. – № 2. – С. 79–86.
2. Круковский П.Г., Тадля О.Ю., Метель М.А. Об эффективности способа экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в отапливаемых помещениях с различной тепловой инерцией // Промышленная теплотехника. – 2009. – № 1. – С. 57–61.
3. Круковский П.Г., Тадля О.Ю., Метель М.А. Влияние запаса мощности системы отопления на эффективность способа экономии энергии за счет снижения температуры воздуха в помещении // Промышленная теплотехника. – 2009. – № 2. – С. 70–76.

Получено 06.02.2009 г.