

УДК 536.24:697.1

**КРУКОВСКИЙ П.Г.,
ТАДЛЯ О.Ю., МЕТЕЛЬ М.А.***Институт технической теплофизики НАН Украины*

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБА ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ОТАПЛИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ С РАЗЛИЧНОЙ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИЕЙ

За допомогою комп'ютерного моделювання показано, що ефективність способу економії теплової енергії за рахунок зниження температури повітря в опалюваних приміщеннях з різними характеристиками теплової інерції (0,62...2,56) та термічним опором зовнішніх огорожень (0,373...0,699) приблизно однакова.

С помощью компьютерного моделирования показано, что эффективность способа экономии тепловой энергии за счет снижения температуры воздуха в отапливаемых помещениях с различными характеристиками тепловой инерции (0,62...2,56) и термическим сопротивлением наружных ограждений (0,373...0,699) примерно одинакова.

It is shown that the efficiency of thermal save energy method by means of periodical air temperature decline for heated apartments with different thermal inertia (0,62...2,56) and an external building members thermal resistance (0,373...0,699) is approximately equal.

C – теплоемкость;
 D – тепловая инерция ограждения/помещения;
 F – площадь ограждения;
 Q – мощность отопительного прибора;
 R – сопротивление теплопередаче;
 S – коэффициент теплоусвоения ограждения;
 Z – расчетный период времени;
 δ – толщина ограждения;

λ – коэффициент теплопроводности материала;
 ρ – плотность;
 τ – время.

Индексы:

P – параметр, относится к помещению;
 Σ – суммарная величина;
 I – индекс относит величину к i -тому ограждению;
 c_p – среднеинтегральное значение.

В настоящее время вопрос энергоэффективности жилых, общественных и производственных помещений для Украины является весьма актуальным. В частности, в [1] указывается, что среди существующих способов снижения энергозатрат на отопление помещений способ регулирования энергопотребления здания является одним из самых важных. Там же отмечается, что снижение температуры воздуха в офисных помещениях в ночное время, в выходные и праздничные дни дает 15...20 % экономии энергии за отопительный период. Цифры приводятся со ссылкой на международный опыт.

Потенциал снижения энергозатрат хорошо известен для стационарного режима, когда снижение температуры воздуха в помещении на 1 °С

(на уровне 20 °С) позволяет снизить теплопотери на 2...5 %. Потенциал снижения относительных энергозатрат (теплопотерь) при более значительном снижении температуры воздуха в помещениях для разных температур окружающей среды показан на рис. 1. Под снижением относительных энергозатрат (экономией энергии) подразумевается отношение разности между теплопотерями при 20 °С и сниженной температуре воздуха в помещении к теплопотерям при 20 °С. Такая характеристика снижения относительных энергозатрат удобна тем, что она одинакова для различных типов и размеров помещений.

Для нестационарного режима помещений использование такого способа для экономии тепловой энергии также основано на снижении теп-



Рис. 1. Зависимость экономии энергии на отопление от температуры воздуха в помещении при различных температурах окружающей среды.

1 – температура окружающей среды 0 °С, 2 – -10 °С, 3 – -20 °С.

лопотерь помещения через ограждающие конструкции и воздухообменом с наружной средой из-за снижения температуры воздуха в помещении, но выполняется это периодически, когда люди отсутствуют. Отсутствие людей позволяет снижать температуру в помещении в такие периоды (продолжительностью от 8 до 15 часов в сутки) настолько низко, насколько это позволяют накопленная в стенах теплота и сохранность оборудования и предметов в помещениях.

В работе [2] был рассмотрен этот способ экономии энергии для жилого помещения днем, когда люди находятся на работе. Компьютерное моделирование теплового состояния помещения позволило провести сравнительный анализ вариантов уменьшения энергозатрат в рабочие дни недели (в течение 5 суток) путем снижения температуры воздуха жилого помещения (экономный режим отопления) в периоды отсутствия людей при работе отопительного прибора в прерывистом режиме. Были рассмотрены различные комбинации режимов комфортной, экономной и ночной температур в жилом помещении. Результаты показали, что для рассматриваемого жилого помещения ежесуточное использование экономного режима в течение 5-и рабочих дней недели позволяет уменьшить энергозатраты на отопление до 15% по сравнению с режимом поддержания постоянной комфортной температуры 20 °С.

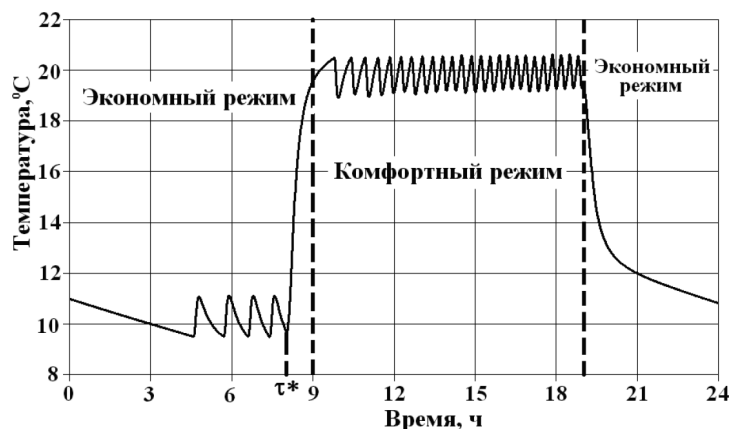


Рис. 2. Типичное суточное изменение температуры воздуха в помещении при использовании способа экономии тепловой энергии за счет снижения температуры воздуха в отапливаемых помещениях.

Очевидно, что для офисных помещений применение такого способа уменьшения энергозатрат будет более эффективным, поскольку недельная протяженность экономного режима в офисных помещениях по сравнению с жилыми, рассмотренная, например, в [2], может быть до двух раз выше (примерно 120 часов вместо 60). В рабочие дни днем с 9 до 19 часов в офисных помещениях должна поддерживаться комфортная температура около 20 °С, а в остальное время температуру в помещении можно снижать, но не ниже заданной экономной температуры (мы выбрали температуру 10 °С, см. рис.2), что и позволяет снижать энергозатраты на отопление помещений.

Представляет научный и особенно практический интерес вопрос об эффективности рассматриваемого способа экономии тепловой энергии (его можно назвать комфортно-экономным) для отапливаемых помещений с различными характеристиками тепловой инерции и термическим сопротивлением ограждений этих помещений. Другими словами, насколько эффективен этот способ для помещений с “толстыми” и “тонкими” наружными и внутренними ограждениями? Ответ на такой вопрос не очевиден, и на первый взгляд может показаться, что в помещениях с большой тепловой инерцией (“толстыми” стенами) эффективность должна быть выше.

Анализ литературы показал отсутствие ответа на такой вопрос, а в упомянутой выше работе [1]

Табл. 1. Геометрические и теплофизические характеристики помещений 1 и 2

Геометрия и свойства ограждений помещений 1 и 2	Наружная стена		Внутренние стены		Пол и потолок		Окно	
	Помещение 1	Помещение 2	Помещение 1	Помещение 2	Помещение 1	Помещение 2	Помещение 1	Помещение 2
Толщина, м	0,6	0,06	0,25	0,15	0,11	0,05	0,15	0,06
Теплопроводность, Вт/м·К	0,6	0,13	0,6	0,57	1,5	0,8	0,57	0,13
Теплоемкость, Дж/кг·К	880	1006	880	1100	840	840	1100	1006
Плотность, кг/м ³	1800	365	1800	104	2400	2400	104	365
Термическое сопротивление, м²·К/Вт	1,0	0,4	0,417	0,263	0,073	0,16	0,263	0,333
Тепловая инерция	8,31	1,26	3,46	0,57	1,09	0,55	0,57	0,65

приводится цифра экономии без ее теоретического или экспериментального подтверждения, поэтому целью данной работы и является исследование эффективности способа экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в отапливаемом офисном помещении с различной тепловой инерцией и термическим сопротивлением ограждений.

Введем некоторые определения, используемые в работе. Понятия комфортный и экономный режимы, показанные на рис. 2, приведены в [2]. Под эффективностью рассматриваемого способа экономии тепловой энергии будем подразумевать то количество энергии, которое можно сэкономить с помощью периодического снижения температуры воздуха в помещении в периоды отсутствия в нем людей по сравнению с режимом поддержания постоянной комфортной температуры.

Для однородной стены (ограждения) тепловая инерция есть произведение термического сопротивления этой стены $R = \frac{\delta}{\lambda}$ на коэффициент теп-

лоусвоения $D = RS$ [3], где $S = \sqrt{\frac{2\pi\lambda c\rho}{Z}}$ – коэффи-

циент теплоусвоения материала ограждающей конструкции, который характеризует способность материала ограждения воспринимать или отдавать теплоту при колебании температуры на его поверхности.

Обычно в литературе (например, [4]) это понятие применяется только для наружных ограждений помещений. В настоящей статье предлагается расширить понятие тепловой инерции отдельного ограждения на все ограждения помещения, включающие в себя наружные и внутренние стены, окна, а также пол и потолок, поскольку нестационарное изменение теплового состояния помещения зависит от емкостных свойств всех ограждений этого помещения. Тогда тепловая инерция всех ограждений помещения (всего помещения) может быть рассчитана как средняя по всей площади помещения величина тепловых инерций отдельных ограждений

$$D_{\Pi} = \frac{\sum D_i F_i}{F_{\Sigma}}$$

Сравнение эффективности рассматриваемого способа экономии энергии для помещений с различной тепловой инерцией проводилось с помощью моделирования (вычислительного эксперимента), в ходе которого анализировались нестационарные тепловые режимы (прерывистый режим отопления) двух помещений с большим и малым значениями тепловой инерции и термическим сопротивлением наружной стены (табл. 1). Примером помещения с большой тепловой инерцией и термическим сопротивлением ограждений может быть старое здание с массивными наружными стенами и перекрытиями, а с

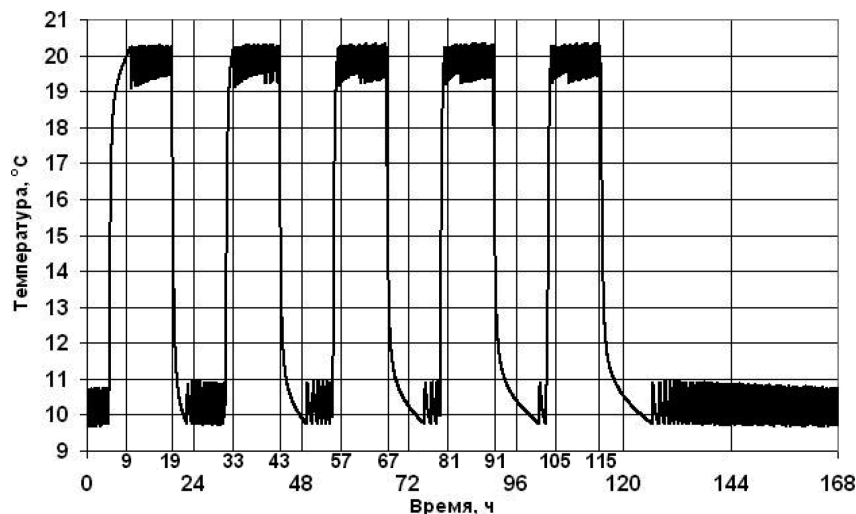


Рис. 3. Изменение температуры воздуха в помещении 1 при комфортном и экономном режимах работы системы отопления.

малой — легкие тонкостенные конструкции, например торговые сооружения и др. Моделируемые помещения имеют одинаковую планировку, размеры (5,0×5,6×2,5 м) и площадь окна (5,1 м²), а различие в тепловой инерции и термических сопротивлениях ограждений достигается за счет различия в их толщинах и теплофизических свойствах (табл. 1).

Нестационарный тепловой режим помещений моделировался с учетом отдельных радиационной и конвективной составляющих теплообмена внутри помещений. Теплообмен с окружающей средой учитывался посредством граничного условия третьего рода, эффективно учитывающего радиационную составляющую, теплообмен с соседними помещениями отсутствовал, кратность воздухообмена принималась равной 1. Температура окружающей среды принималась —15 °С.

Математическая и компьютерная модели этих помещений подобны помещению, описанному в 2. Моделировался недельный период теплового режима помещений, состоящий из 5-и рабочих дней и 2-х выходных, являющийся типичным для офисных помещений. В рабочие дни с 9 до 19 часов поддерживалась комфортная температура 20 °С, в остальное время и в выходные дни — экономная 10 °С (см. рис. 2). Температура воздуха в комфортном и экономном режимах поддерживалась в диапазоне 0,5 °С от заданной величины с помощью радиатора, установленного под окном. Время начала перехода от экономного к комфорт-

ному режиму (τ^* на рис. 2) вычислялось с помощью специального алгоритма так, чтобы комфортный режим (комфортная температура) наступал к заданному моменту времени суток — 9 часам утра.

Теплопотери в стационарном комфортном режиме составляли для помещения 1—1,7 кВт, для помещения 2 — 2,0 кВт. Мощность системы отопления в нестационарном комфортно-экономном режиме должна быть и была выше теплопотерь стационарного комфортного режима и для обоих помещений выбиралась равной 4,0 кВт.

На рис. 3 приведено изменение температуры воздуха в помещении 1 во времени в течение недели по часам от ее начала согласно заданному выше режиму отопления. Из рисунка хорошо видно, что время включения отопительного прибора (радиатора) было разным и, как указывалось выше, вычислялось с помощью специального алгоритма.

Значения эффективности рассматриваемого способа экономии тепловой энергии в соответствии со сделанным выше определением рассчитывались как отношение разности энергозатрат (теплопотерь помещения) в постоянном комфортном режиме (при 20 °С) и энергозатрат в недельном комфортно-экономном режиме к энергозатратам комфортного режима. В соответствии с [2] энергозатраты в недельном комфортно-экономном режиме определялись как среднеинтегральная мощность отопительного прибора $Q_{ср}$,

Табл. 2. Эффективность исследуемого способа экономии энергии для помещений с различной тепловой инерцией и термическими сопротивлениями наружных ограждений, %

		Помещение 1	Помещение 2
Термическое сопротивление наружных ограждений	Значение сопротивления, (м ² ·С)/Вт	0,7	0,37
	Эффективность способа	19,0	17,7
Тепловая инерция	Значение инерции	2,56	0,62
	Эффективность способа	17,6	17,8

рассчитываемая как сумма произведений мощности отопительного прибора Q_i на время его включения или выключения τ_i , деленное на суммарное время включенного или выключенного состояния его работы $\Sigma\tau_i$: $Q_{cp} = \Sigma Q_i \tau_i / \Sigma \tau_i$.

Результаты анализа эффективности рассмотренного способа экономии энергии для помещений с различной тепловой инерцией показывают (табл. 2), что величина тепловой инерции помещения практически не влияет на эффективность рассмотренного способа экономии энергии. Т.е. в нашем случае изменение тепловой инерции помещения в 4 раза (с 0,62 до 2,56) не оказывает влияния на величину экономии энергозатрат помещения, из чего можно сделать важный вывод, что этот способ в равной степени пригоден для помещений с разной тепловой инерцией.

Результаты анализа эффективности рассмотренного способа экономии энергии для помещений с различными термическими сопротивлениями наружных ограждений показывают незначительное преимущество (1,3%) для помещения 1 по сравнению с помещением 2, из чего можно сделать подобный вывод, что изменение термического сопротивления наружных ограждений помещения примерно в 2 раза (с 0,37 до 0,7) также не оказывает существенного влияния на величину экономии энергозатрат помещения. Из последнего заключения можно также сделать важный вывод, что этот способ пригоден для помещений с разным термическим сопротивлением наружных ограждений.

Выводы

1. Эффективность рассмотренного способа экономии тепловой энергии за счет снижения температуры воздуха в рассмотренных офисных помещениях и недельном цикле комфортно-экономного режима для рассмотренного помещения достигает 17...19%.

2. Рассмотренный способ экономии тепловой энергии одинаково эффективен для любых типов помещений с различной тепловой инерцией и термическими сопротивлениями наружных ограждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Табунициков Ю.А. Малозатратные оперативные мероприятия по экономии энергии // ЭКСО. – 2007. – № 8. – http://esco-ecosys.narod.ru/2007_8/art108.htm
2. 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.
3. Маляренко В.А., Редько А.Ф., Чайка Ю.И., Поволочко В.Б. Техническая теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. – Харьков: Рубикон, 2001. – 280 с.
4. СНиП II-3-79 Строительная теплотехника. – М.: Госстрой России, 1998. – 23 с.

Получено 18.11.2008 г.