

рисної дії та коефіцієнтів теплових втрат можуть слугувати для встановлення паспортних характеристик котла.

4. Поточні значення коефіцієнта корисної дії та коефіцієнтів теплових втрат можуть використовуватись для удосконалення конструкції та режимів роботи котла.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Трембовля В.И., Фигнер Е.Д., Авдеева А.А.* Теплотехнические испытания котельных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 416 с.

2. *Янкелевич В.И.* Настройка газомазутных промышленных котельных. – М.: Энергоатомиздат, 1998 – 216 с., ил.

3. *Межгосударственный стандарт ГОСТ 30735–2001* Котлы отопительные водогрейные

теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 16 с.

4. *Отраслевой стандарт ОСТ 21–39–82* Котлы отопительные водогрейные мощностью до 85 кВт. Методы государственных испытаний. Определение теплотехнических показателей. – М.: Министерство промышленности строительных материалов СССР, 1982. – 43 с.

5. *Тепловой расчет* котельных агрегатов (Нормативный метод) под ред. Н.В.Кузнецова и др. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

6. *Межгосударственный стандарт ГОСТ 2408.1–95 (ИСО 625–75)* Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 27 с.

Получено 10.06.2010 г.

УДК 536.24:697.1

Круковский П.Г., Пархоменко И.В.

Институт технической теплофизики НАН Украины

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ СПОСОБА ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОМЕЩЕНИЙ

Проведено аналіз проблем використання способу економії енергії за рахунок зниження температури повітря в приміщенні в період відсутності людей. Намічено шляхи вирішення проблем на основі моделей і пристроїв регулювання теплового режиму приміщень з метою максимальної економії енергії.

Проведен анализ проблем использования способа экономии энергии за счет снижения температуры воздуха в помещении в период отсутствия людей. Намечены пути решения проблем на основе моделей и устройств регулирования теплового режима помещений с целью максимальной экономии энергии.

The analysis of problems of method of economy of energy using due to the decline of temperature of air in an apartment in the period of the people absence is provided. The ways of the problems solution are set on the base of models and devices for the apartments thermal state control with the purpose of maximal energy saving.

t – температура;

τ – момент времени.

Индексы верхние:

* – переход от экономного режима к комфортному.

Индексы нижние:

k – комфортный;

oc – окружающая среда;

co – система отопления;

ε – экономный.

Существующие способы экономии энергии, идущей на отопление, в основном направлены на снижение теплопотерь через ограж-

дающие конструкции за счет увеличения их термического сопротивления. Такие способы в большинстве случаев требуют значитель-

ных капитальных затрат, которые определяются стоимостью работ и материалов. Известен способ экономии энергии за счет периодического снижения температуры воздуха в помещении (например, [1]), потенциал которого может составлять до 20 % за отопительный период. В [1] такой способ экономии энергии назван малозатратным. Для реализации такого способа экономии энергии необходимо некое программируемое устройство, которое управляет системой отопления (программатор, терморегулятор и т.п.), которое должно включать и выключать систему отопления в заданные моменты времени и поддерживать температуру воздуха в помещении при заданных уровнях температур в заданные промежутки времени. Суть способа состоит в том, что во время отсутствия людей температура воздуха в помещении снижается до определенного значения экономной температуры t_3 , (рис. 1). Затем, в момент времени τ^* система отопления вновь выходит из экономного режима для прогрева воздуха до комфортной для людей температуры t_k 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.

Для большинства жилых помещений комфортную температуру необходимо поддерживать с вечера до утра, для офисных – наоборот, с утра до вечера. Важно учитывать, что прогрев воздуха от экономной температуры до комфортной занимает промежуток времени от τ^* до τ_k , причем необходимо находить такое время выхода из экономного режима τ^* , чтобы в момент прихода людей температура воздуха была максимально близкой к комфортной. Время выхода из экономного режима τ^* является важной характеристикой устройства управления системой отопления, которая должна рассчитываться с помощью специальных алгоритмов, учитывающих инерционные характеристики помещения, уровень мощности системы отопления, температуру окружающей

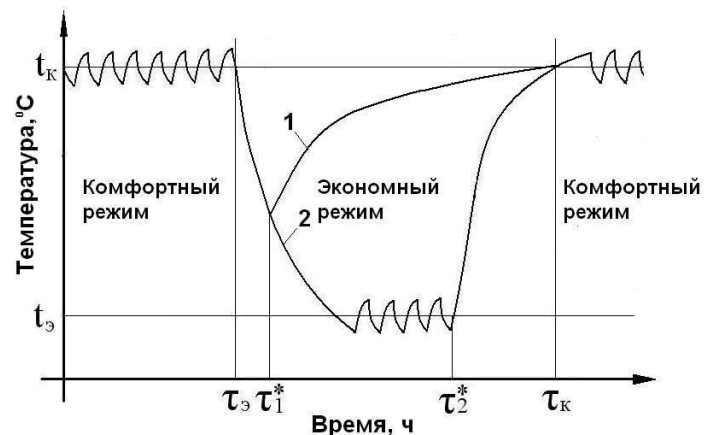


Рис. 1. Суточное изменение температуры воздуха в помещении (оптимальные кривые регулирования) при использовании рассматриваемого способа экономии энергии для разных уровней мощности системы отопления. 1 – малый уровень мощности, 2 – увеличенный уровень (запас) мощности.

среды и задаваемые в устройстве управления уровни комфортной и экономной температур в помещении.

Рис. 1 показывает оптимальное изменение температуры воздуха в помещении (оптимальные кривые регулирования) при разных уровнях мощности системы отопления. Видно, что малый уровень мощности системы отопления не позволяет снизить температуру до уровня экономной и требует более раннего включения системы отопления (τ_1^*) для выхода температуры воздуха на уровень комфортной в заданное время τ_k . В этом случае экономия получается ниже по сравнению со случаем увеличенного уровня мощности системы отопления (время выхода из экономного режима τ_2^*). Неоптимальные кривые регулирования имеют место, когда момент времени выхода из экономного режима τ^* выбрано неправильно. При этом комфортный режим достигается либо раньше времени τ_k , что приводит к потере части энергии, либо позже времени τ_k , что приводит к задержке наступления комфортного режима.

Рассматриваемый способ экономии энергии имеет потенциал экономии примерно 15 %, но к сожалению в данный момент он не получил широкого распространения вследствие как организационных причин (прежде всего отсутствие мотивации к экономии), так и неусовершенствованного аппаратно-методического обеспечения реализации этого метода.

Целью работы является анализ существующих проблем и дальнейших путей развития способа экономии энергии путем регулирования температуры помещений в периоды отсутствия людей с помощью устройств автоматического управления и методического (программного) обеспечения этих устройств для обеспечения заданных комфортных условий пребывания человека и максимально возможной экономии энергии.

В статьях [2–4] было показано, что величина экономии энергии на отопление помещения возрастает с увеличением длительности поддержания в нем экономичной температуры воздуха t_3 . Для жилых помещений в суточном цикле экономия будет составлять в среднем 14 %, для офисных помещений в недельном цикле регулирования она составит 16...20 % по сравнению с режимом поддержания постоянной комфортной температуры. В частности, там показано, что длительность этого периода может быть увеличена путем увеличения запаса мощности отопительной системы, из чего можно сделать вывод о том, 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_3 до t_k , а следовательно увеличивается общее время поддержания в нем экономичной температуры воздуха t_3 . Там же на примере анализа и суточного регулирования теплового режима офисного помещения показано, что экономия энергии за счет снижения температуры воздуха в помещении в периоды отсутствия людей экспоненциально зависит от

запаса мощности системы отопления и для наружной температуры $-20\text{ }^\circ\text{C}$ составляет 13,3 %. Чем выше запас мощности, тем большая экономия и снижение минимального значения температуры воздуха внутри помещения достигается. Таким образом, увеличение запаса мощности приводит к увеличению продолжительности экономного режима и самой величины экономии энергии.

Напомним, что запас мощности Z_M определяется как отношение разности между максимальной мощностью отопительного прибора Q_{CO} и теплопотерями помещения $Q_K(\Delta t)$ при комфортной температуре к теплопотерям помещения при комфортной температуре [2]

$$Z_M = \frac{Q_{CO} - Q_K(\Delta t)}{Q_K(\Delta t)} \quad (1)$$

$Q_K(\Delta t)$ зависит от разности температур $\Delta t = t_k - t_{OC}$ между комфортной температурой в помещении t_k (например $20\text{ }^\circ\text{C}$) и температурой окружающей среды t_{OC} .

Таким образом, наличие запаса мощности отопительного прибора является обязательным условием применения рассматриваемого метода экономии энергии. Как видно из (1), наличие такого запаса зависит от максимальной мощности отопительного прибора и температуры окружающей среды. В [2] показано, что применение рассматриваемого способа экономии энергии целесообразно при запасе мощности отопительного прибора выше 25 %.

Из рис. 1 следует, что для обеспечения максимально возможной экономии энергии необходимо обеспечить оптимальные кривые регулирования температуры в помещении, основным параметром которых является время перехода к комфортному режиму τ^* . Как отмечалось выше, это время зависит от инерционных характеристик помещения, уровня мощности системы отопления, температуры окружающей среды и задаваемых в устройстве управления уровня комфортной и экономной температур в помещении.

Аппаратная реализация рассматриваемого способа экономии энергии осуществляется с

помощью терморегуляторов-программаторов, которые поддерживают температуру воздуха в помещении в пределах заданных уровней комфортных и экономных температур в указанные промежутки времени присутствия или отсутствия людей. Ручное задание моментов времени τ^* перехода от экономных к комфортным температурам обычно приводит к неэффективному использованию указанного способа экономии энергии, что связано со сложностью учета постоянных изменений температуры окружающей среды, тепловой инерции помещения, отопительного прибора или системы отопления и главное, – мощности отопительного прибора.

Для решения этих проблем необходим прибор (регулятор, программатор) и соответствующее методическое обеспечение, которые должны поддерживать температуру в помещении в период отсутствия людей так, чтобы обеспечить заданные комфортные условия пребывания человека при максимально возможной экономии энергии, для чего на наш взгляд он должен выполнять следующие функции:

1. Автоматически находить оптимальные кривые регулирования и время τ^* перехода от экономного режима к комфортному, для чего:

- 1.1 определять и учитывать имеющийся запас мощности отопительного прибора;
- 1.2 при недостатке запаса мощности не применять этот способ экономии энергии;
- 1.3 определять и учитывать инерционные характеристики помещения;
- 1.4 определять минимально возможную экономную температуру в помещении, не вызывающую конденсацию влаги;
- 1.5 учитывать текущее изменение температуры окружающей среды и прогноз ее изменения.

2. Работать с различными системами отопления.

Рассмотрим кратко существующие приборы для поддержания и регулирования температуры в помещениях для экономии энергии,

которые условно можно разделить на следующие виды:

1. Термостаты;
2. Термостаты-программаторы;
3. Интеллектуальные программаторы.

Под термостатом следует понимать прибор со встроенным датчиком температуры, который позволяет поддерживать наперед заданную температуру воздуха в помещении в течение всего периода работы.

Термостаты-программаторы в отличие от термостатов, позволяют задавать и поддерживать наперед заданную температуру воздуха в помещении в зависимости от времени суток. Поддержание заданной температуры возможно также с учетом погодного регулирования.

Интеллектуальные программаторы позволяют задавать и поддерживать наперед заданную температуру в зависимости от времени суток не только с учетом изменения температуры окружающей среды, но и с учетом тепловой инерции помещения, в котором расположен прибор.

Наиболее распространенными являются термостаты. Эти приборы достаточно просты в настройке (необходимо задать требуемую температуру воздуха в помещении, которая должна поддерживаться). К недостаткам таких приборов можно отнести невысокую точность измерения и поддержания температуры в помещении, а также отсутствие каких-либо алгоритмов, способствующих энергосбережению. Для использования способа экономии энергии путем снижения температуры воздуха в помещении в периоды отсутствия людей эти приборы слабо пригодны, поскольку для снижения температуры пользователю необходимо вручную уменьшить температуру отопительного прибора в момент ухода из помещения и повысить ее в момент прихода, что сложно. К этому типу можно отнести термостаты Roomstat, выпускаемых фирмой ССТи, Honeywell CM927, термостатические радиаторные клапаны компаний Heimeier (рис. 2), Danfoss и т.д.

Более совершенными являются термостаты-

программаторы, которые предоставляют пользователю возможность задавать температуру воздуха в комнате в зависимости от времени суток (с точностью до 10 минут) и дня недели, а также обладают функцией антизамерзания помещения и учитывают изменение температуры окружающей среды. Из недостатков следует выделить невозможность избежать пере- и недорегулирования в переходных режимах, а также то, что прибор не учитывает имеющийся запас мощности отопительного прибора, т.е. не обладает необходимыми функциями № 1 и 2. Характерными представителями термостатов-программаторов являются Auraton 2016 (рис. 3), Devireg™ 540, Regulus TP01, IWARM выпускаемых фирмой ССТи и т.д.

Интеллектуальные программаторы обладают всеми плюсами двух предыдущих типов приборов с учетом поправок в алгоритмах управления, призванных минимизиро-

вать пере- и недорегулирования в переходных режимах. Так, к примеру, такой тип приборов позволяет снизить температуру воздуха в помещении, начиная с момента отсутствия людей в нем, и самостоятельно вывести температуру на комфортный уровень к указанному моменту времени с учетом теплоинерционных характеристик помещения. Недостатком таких приборов является то, что они предназначены только для систем отопления «теплый пол» с заданной постоянной мощностью нагрева и лишь частично могут обеспечить функцию №1 (только подфункции 1.3 и 1.5) и не обеспечивают функцию №2.

Примером таких интеллектуальных программаторов являются Devireg™ 550 (рис. 4) и Regulus TP07.

Таким образом, существующие приборы регулирования не обладают необходимыми функциями для эффективного использования способа экономии энергии за счет снижения температуры помещения в период отсутствия людей, что и является главной проблемой широкого использования этого способа. Эта проблема на наш взгляд может быть решена с помощью разработки более высокоинтеллектуальных регуляторов, обладающих всеми необходимыми функциями, перечисленными выше. Это возможно на основе разработки и использования специальных моделей регулирования теплового режима помещений с использованием измерений температуры воздуха внутри, снаружи помещения и отопительно-



Рис. 2. Термостатический радиаторный клапан Heimeier.



Рис. 3. Термостат-программатор Auraton 2016.



Рис. 4. Термостат-программатор Devireg™ 550.

го прибора. Такие модели должны обязательно быть способными самонастраиваться по основным параметрам модели, учитывающих особенности помещения и отопительного прибора. Только тогда они смогут определять оптимальные кривые регулирования (рис. 1) и максимально экономить тепловую энергию.

На основе изложенного модель регулирования можно определить как математическую и расчетную модели теплового режима помещения, позволяющие находить оптимальные кривые регулирования, которые в свою очередь обеспечивают заданные комфортные условия для человека и максимально возможную экономию энергии.

Как отмечалось выше, модель регулирования должна самонастраиваться по основным параметрам модели, учитывающих особенности помещения и отопительного прибора. Такая самонастройка возможна на основе постоянной идентификации [5] параметров модели с использованием постоянно измеряемых температур отопительного прибора и воздуха внутри и снаружи помещения. К таким идентифицируемым параметрам модели регулирования помещения следует отнести термические сопротивления и теплоемкость ограждающих конструкций, термическое сопротивление теплообмена от отопительного прибора к воздуху помещения, кратность воздухообмена и мощность отопительного прибора. Идентификация параметров осуществляется на основе решения обратных задач теплообмена, позволяющие определять такие параметры модели, которые дают расчетные температуры воздуха в помещении максимально близкими к измеренным.

Модель регулирования должна быть относительно простой для реализации в микропроцессорах программаторов-регуляторов и представлять из себя систему дифференциальных уравнений теплового состояния помещения для небольшого числа расчетных узлов (8...15) по температуре, основные (перечисленные выше) параметры которой постоянно

уточняются (идентифицируются) по измеряемым температурам. Алгоритм идентификации параметров использует экстремальный подход решения обратных задач, описанный например в [5], который также реализуется с помощью микропроцессора программаторов-регуляторов. Измерение влажности воздуха в помещении может использоваться для автоматического определения минимального значения экономной температуры, при которой возможна конденсация на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций, температура которых вычисляется моделью.

Таким образом в процессе работы настроенная по параметрам модель регулирования войдя в экономный режим прогнозирует оптимальную кривую регулирования (рис. 1) и тем самым определяет такие ключевые параметры регулирования, как момент времени τ^* перехода от экономного режима к комфортному и минимальное значение экономной температуры t_3 .

Если активным является комфортный режим, то происходит термостатирование помещения и идентификация параметров модели по измеренным температурам в экономном режиме.

Отметим еще раз, что рассмотренный способ экономии энергии не может быть применим в помещениях, в которых нет необходимого запаса мощности отопительных приборов. Исходя из этого, для определения возможности применения способа экономии энергии путем регулирования температуры помещения необходим аудит этого помещения. Для этого регулятор, снабженный рассмотренной моделью регулирования, необходимо поместить в помещение, где будет проводиться регулирование на несколько дней (до недели), чтобы он настроился на параметры данного помещения и определил возможность работы в нем в зависимости от запаса мощности. Однако следует помнить, что работоспособность рассмотренного способа экономии энергии зависит также от температуры окружающей среды, поэтому при других,

более высоких температурах окружающей среды аудит того же помещения может дать другие результаты.

Применение такого способа экономии энергии наиболее эффективно для существующих и строящихся домов, офисов и квартир с индивидуальными системами отопления. В случае квартир в многоэтажных зданиях, такой способ также потенциально применим, особенно при наличии индивидуальных тепловых пунктов, осуществляющих регулирование температуры в помещениях. На сегодня возможность реализации рассматриваемого способа зависит от таких факторов, как наличие необходимого минимального запаса мощности, приходящей к дому от котельной, технической возможности его использования и конечно желания (мотивации) жильцов квартир экономить тепловую энергию.

Авторы работы провели апробацию действующей модели регулирования теплового режима помещения, позволяющей находить оптимальные кривые регулирования, и изложат ее более подробно в последующих публикациях.

Выводы

1. Проведен анализ проблем использования способа экономии энергии за счет снижения температуры воздуха в помещении в период отсутствия людей, наибольшей из которых является отсутствие регуляторов и программаторов с необходимым уровнем интеллектуального регулирования.

2. Рассмотрены варианты оптимальных кривых регулирования теплового состояния помещений, обеспечивающих заданные комфортные условия пребывания человека и максимально возможную экономию энергии.

3. Приведен перечень необходимых функций регуляторов, обеспечивающих заданные комфортные условия пребывания человека и максимально возможную экономию энергии.

Сделан вывод об отсутствии среди существующих приборов регулирования устройств, удовлетворяющих необходимым функциям.

4. Сформулировано определение модели регулирования теплового режима помещения, позволяющей находить оптимальные кривые регулирования.

5. Изложена структура и схема функционирования модели регулирования теплового режима помещения, использование которой в регуляторах-программаторах позволит сделать способ экономии энергии за счет снижения температуры воздуха в помещении более эффективным.

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. Влияние запаса мощности системы отопления на эффективность способа экономии энергии за счет снижения температуры воздуха в помещении // Пром. теплотехника. – 2009. – № 2. – С. 76-82.

3. Круковский П.Г., Тадля О.Ю., Метель М.А., Пархоменко Г.А. Анализ путей уменьшения энергозатрат за счет периодического снижения температуры воздуха отапливаемых помещений // Пром. теплотехника. – 2008. – № 2. – С. 79-86.

4. 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 // Пром. теплотехника. – 2009. – № 1. – С. 57-61.

5. Круковский П.Г. Обратные задачи тепло-массопереноса (общий инженерный подход). – Киев: Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 224 с.

Получено 28.05.2010 г.