

Н.Н. Ковальногов, А.С. Ртищева, Е.А. Цынаева, А.А. Цынаева

Ульяновский государственный технический университет, Россия

СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

АННОТАЦИЯ

Изложены технические, программно-информационные и организационно-методические решения по автоматизированному управлению и оптимизации теплопотребления учебного заведения. Представлены результаты исследования работы автоматизированной системы регулирования теплопотребления главного учебного корпуса и общежития Ульяновского государственного технического университета.

1. ВВЕДЕНИЕ

Удорожание тепловой энергии при относительном удешевлении средств автоматизации и компьютерной техники делает все более привлекательным использование автоматизированных систем управления теплопотреблением. В этой связи во исполнение решений президиума научно-технического совета по программе «Энергосбережение Минобразования России» от 23.12.2002 г. и от 31.10.2003 г. в Ульяновском государственном техническом университете (УлГТУ) развернуты работы по оснащению учебных корпусов и общежитий автоматизированными системами управления теплопотреблением и эффективной их эксплуатации. В рамках этой работы в декабре 2004 г. введена в действие автоматизированная система управления теплопотреблением главного учебного корпуса УлГТУ [1]. На втором этапе работ осуществлен монтаж и ввод в эксплуатацию аналогичной системы в общежитии №3. Одновременно разрабатывался инструментарий для эффективного использования такого рода систем и оптимизации теплопотребления, включающий комплекс программно-информационных продуктов, технических средств мониторинга и организационно-методических решений [2 – 7].

Программно-информационные средства включают программу управления работой системы, электронную базу данных, программу автоматизированной их обработки с отображением результатов расчета, а также реализованную в компьютерной программе тепловую математическую модель здания. В базу данных по локальной вычислительной сети с периодом 5 минут поступает информация с датчиков автоматизированной системы, с периодом 1 час – с датчиков приборов коммерческого учета тепловой энергии, с периодом 3 часа по интернету принимается метеорологическая информация о параметрах наружного воздуха. Часть информации, поступающая из разных источников, дублируется и используется для

самотестирования программно-информационных средств. Тепловая математическая модель используется для разработки оптимальных алгоритмов управления автоматизированной системой и мероприятий по теплосбережению.

Организационно-методические решения включают оригинальные методики определения экономии тепловой энергии в процессе эксплуатации системы (в режиме реального времени), экономии средств, идущих на оплату потребленной энергии, как за счет экономии самой энергии, так и за счет правильного (приборного) ее учета, методику постоянного мониторинга параметров поступающего теплоносителя и установления степени их соответствия нормативным значениям, методику использования системы в качестве экспертной для анализа тепловых потерь из помещений и их соответствия нормативам. Для целей мониторинга тепловых потерь и работы отопительных приборов используется современная тепловизионная техника (тепловизор типа IRI 1011).

2. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Для оптимизации теплопотребления главного корпуса УлГТУ использована система управления, спроектированная в НПО «Лайф» (г. Новосибирск). В общежитии использована аналогичная система, разработанная в ЗАО «Промсервис» (г. Ульяновск). Автоматизированная система позволяет регулировать теплопотребление всего здания в целом (регулирование 1-го уровня), регулировать тепловые ветви (стояки) для оптимального распределения тепла внутри здания (регулирование 2-го уровня или пофасадное регулирование) и поддерживать заданную потребителем температуру непосредственно в конкретном помещении (регулирование 3-го уровня). Управление системой осуществляется с одного рабочего места при помощи персонального компьютера или специального переносного пульта.

В состав системы входит теплорегулятор, который представляет собой программный контроллер. Он осуществляет управление исполнительными механизмами по заложенной в него программе, основываясь на показаниях датчиков. Датчики, установленные в трубопроводах теплоносителя (на подающей и обратной магистралях), в помещениях и на улице; передают информацию о температуре на теплорегулятор. Исполнительные механизмы представляют собой клапаны. Приводом клапана служит специальное малогабаритное устройство сильфон-

ного типа. Связь теплорегулятора с компьютером осуществляется по локальной вычислительной сети через специальный адаптер.

Система обеспечивает реализацию управления тепловым режимом здания по текущим значениям температуры наружного воздуха и температуры воздуха в помещениях; реализацию ночного режима отопления, позволяющего снизить теплопотребление здания в заданный промежуток времени; реализацию режима выходного дня, позволяющего снизить температурный режим в течение выходных дней; реализацию режима форсированного обогрева, позволяющего увеличить теплопотребление здания в заданные промежутки времени и восстановить температурный режим после снижения теплопотребления.

Управление осуществляется индивидуально для четырех (в учебном корпусе) или двух (в общежитии) групп помещений (имеется 4 или 2 независимых контура управления). В контрольных помещениях каждой группы размещаются датчики температуры. Управление теплопотреблением для каждой группы помещений осуществляется по среднему значению температуры, измеряемой несколькими датчиками в контрольных помещениях. Общее число датчиков в помещениях учебного корпуса равно 24. Анализ сигналов этих датчиков помимо прочего позволяет оперативно выявить помещения с недостаточной теплоизоляцией или неисправными отопительными приборами. Наличие индивидуальных контуров управления для каждой из групп помещений позволяет эффективно использовать тепловую энергию при изменении направления ветра, интенсивности солнечного излучения и т.п.

Для управления теплопотреблением каждой из четырех групп помещений используется схема с тремя каналами регулирования: температура смеси (теплоносителя, поступающего на вход в отопительные приборы) – температура наружного воздуха; температура в обратной магистрали – температура наружного воздуха; температура в обратной магистрали – температура сети (в подающей магистрали). Эта схема отображается на экране монитора в процессе наблюдения за работой системы или при ее настройке. В характерных узлах схемы приводятся одно или два значения температуры. При отображении двух температур: нижняя соответствует заданному значению (уставке) или требуемому значению, вычисленному с помощью программы прикладного математического обеспечения (ПМО); верхняя представляет собой фактическое значение, измеренное с помощью датчиков. При отображении одной температуры она соответствует требуемому значению, вычисленному с помощью программы прикладного математического обеспечения. На схеме отображаются также три регулятора (по одному для каждого канала регулирования). При настройке системы имеется возможность с компьютера или переносного пульта изменять некоторые характеристики этих регуляторов и па-

раметры регулирования с целью обеспечения наиболее эффективной работы системы.

В процессе работы системы формируется электронный архив данных, в котором содержатся текущие дата и время, а также значения температур наружного воздуха, внутреннего воздуха в контрольных помещениях, теплоносителя в прямой и обратной магистралях и т.п. Информация о температурах заносится в архив каждые 5 минут. Общая емкость архива такова, что позволяет хранить информацию, накопленную за полгода работы системы

Программа ПМО обеспечивает работу с системой в режимах настройки и наблюдения. Программное обеспечение системы позволяет получить полную информацию о температурах, измеряемых всеми датчиками в текущий момент времени, а также о температурах, хранящихся в архиве.

3. ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ, ОБОРУДОВАННОГО СИСТЕМОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

Тепловая модель здания позволяет для заданных условий окружающей среды (температуры наружного воздуха, направления и скорости ветра, атмосферного давления и т.п.) при заданном графике центрального качественного регулирования температуры теплоносителя (сетевой воды) определить потребную тепловую мощность на отопление, температуру внутреннего воздуха в каждом помещении главного корпуса и их зависимость от положения исполнительных механизмов системы регулирования. Под помещением понимается замкнутый объем пространства (аудитория, комната, кабинет, лестничная клетка, санузел, вентиляционные и лифтовые шахты и т.д.), сообщающийся с другими помещениями как на одном этаже, так и на выше- и нижерасположенных этажах, а также с окружающей средой через стены, окна и дверные проемы. Необходимые для моделирования поэтажные планы учебного корпуса реализованы в электронной форме.

Для каждого помещения в электронной базе данных тепловой модели заданы следующие параметры: объем, площадь, толщины всех стен, окон и дверных проемов; перечень всех помещений, сообщающихся с рассматриваемым, на одном этаже; перечень всех помещений вышерасположенного этажа, сообщающихся с рассматриваемым помещением; то же для нижерасположенного этажа; площади стен, окон и дверных проемов, сообщающихся с наружной средой; количество людей; мощность осветительных приборов. Кроме того, для каждого помещения производится расчет массового расхода инфильтрующегося и вентиляционного воздуха; характеристик отопительных приборов; средней температуры теплоносителя в отопительном приборе; коэффициентов теплоотдачи к внутренней и наружной поверхности каждой стены или перекрытия.

Температура воздуха в помещении определяется путем решения системы балансовых уравнений, составленных для каждого из помещений.

Зависимость температур теплоносителя в подающей и обратной магистралях от температуры наружного воздуха выражается утвержденным графиком центрального регулирования.

Температура теплоносителя определяет температуру внутреннего воздуха в помещениях и расход тепловой энергии. Задача оптимизации теплопотребления заключается в обеспечении минимального расхода тепловой энергии на отопление здания при условии поддержания на заданном уровне температуры внутреннего воздуха за счет автоматического регулирования температуры теплоносителя на входе в отопительные приборы.

4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Оценка эффективности автоматизированной системы предполагает сравнение количества потребленной объектом тепловой энергии за определенный промежуток времени при ее наличии и отсутствии. Однако напрямую (путем сопоставления теплопотребления в анализируемый период и в соответствующий период, предшествующий монтажу системы) такое сравнение провести невозможно, поскольку метеорологические условия в сравниваемые периоды будут неодинаковы. Для разработки адекватной методики сопоставления следует четко представлять источники эффекта.

До установки автоматизированной системы регулирование теплопотребления осуществлялось в элеваторных узлах, где путем смешивания в определенной (неизменной во времени) пропорции теплоносителей из подающей и обратной магистралей готовится теплоноситель, поступающий в нагревательные приборы. Температуру смеси (теплоносителя, поступающего в нагревательные приборы) t_3 , пренебрегая зависимостью плотности и удельной теплоемкости теплоносителя (воды) от температуры, можно выразить следующим балансовым соотношением:

$$t_3 = t_1 g + t_2 (1 - g), \quad (1)$$

где $g = G_1 / G_3$ – коэффициент подмешивания; $G_3 = G_1 + G_2$ – массовый расход теплоносителя через нагревательные приборы.

Таким образом, при отсутствии автоматизированной системы управления в элеваторных узлах обеспечивается реализация такого постоянного во времени коэффициента подмешивания g' , при котором для принятого графика центрального регулирования достигается расчетная температура теплоносителя t'_3 на входе в нагревательный прибор (в рассматриваемых условиях $t'_3 = 95^\circ\text{C}$). При этом температура воздуха в помещениях в течение всего отопительного периода не должна опуститься ниже

значения, регламентированного санитарными нормами.

Очевидно, что в этом случае будут существовать периоды, в течение которых температура внутреннего воздуха окажется выше нормативного значения, теплопотребление окажется выше необходимо и произойдет перерасход тепловой энергии.

При наличии автоматизированной системы коэффициент подмешивания g автоматически изменяется таким образом, чтобы температура теплоносителя t_3 принимала значение, обеспечивающее заданную температуру внутреннего воздуха в помещениях. Таким образом, относительная экономия тепловой энергии η в рассматриваемых условиях за промежуток времени $\Delta\tau$, обусловленная наличием системы автоматического регулирования, может быть определена выражением

$$\eta = \frac{1}{\Delta\tau} \int_0^{\Delta\tau} \left(\frac{\bar{t}_3 - t_3}{t_3 - t_2} \right) d\tau, \quad (2)$$

где τ – текущее время.

Здесь \bar{t}_3 – значение температуры смеси, соответствующее значению коэффициента подмешивания $g = g'$.

Определяемая выражением (2) экономия отнесена к фактически потребленной тепловой энергии при наличии автоматизированной системы.

В условиях несоблюдения поставщиком тепловой энергии установленных параметров теплоносителя существенно повышается роль приборов учета тепловой энергии. Степень снижения потребляемой тепловой энергии ϕ при неконтролируемом уменьшении параметров теплоносителя в подающей магистрали определяется выражением

$$\phi = \frac{1}{\Delta\tau} \int_0^{\Delta\tau} \left(\frac{t_1 - t_2}{t_{1p} - t_{2p}} \right) d\tau. \quad (3)$$

Использование приборов учета позволяет фиксировать недопоставку тепловой энергии из-за снижения параметров теплоносителя в подающей магистрали. Параметр ϕ представляет собой долю фактически поставленной тепловой энергии от той энергии, которая поступила бы при расчетных параметрах теплоносителя в подающей магистрали.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ

С использованием разработанных средств получена детальная информация о работе автоматизированной системы управления отоплением в течение первого года ее эксплуатации (с декабря 2004 г. по ноябрь 2005 г.). На рис. 1 приведено ежемесячное потребление (светлые столбцы) и экономия (затемненные столбцы) тепловой энергии.

Следует заметить, что с 20.04.2005 по 5.10.2005 система отопления была отключена на летний период. В феврале 2005 г. была отключена на профи-

лактику автоматизированная система, поэтому экономии тепловой энергии в феврале не было.

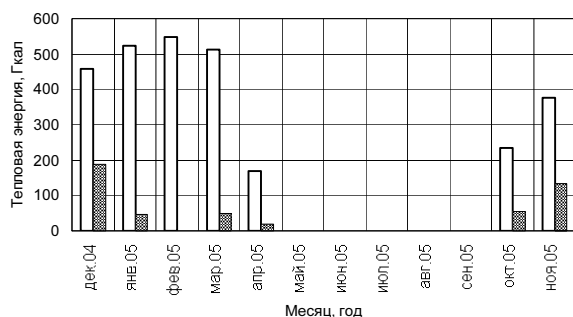


Рис. 1. Потребление и экономия тепловой энергии

Анализ приведенных на рис.1 результатов позволяет отметить, что наибольшая экономия тепловой энергии, достигающая 41%, имела место в осенне-зимний период. В зимне-весенний период экономия составляла 9 – 11 %.

В среднем за год система позволила сэкономить около 17,5% тепловой энергии. В денежном выражении годовая экономия на отоплении главного учебного корпуса составила более четверти миллиона рублей, что полностью окупило затраты на создание системы.

Аналогичный анализ, выполненный для общежития №3 за январь 2005 г. (первый месяц эксплуатации системы), показал, что экономия тепловой энергии составляет 18%.

С помощью разработанного программно-информационного обеспечения удалось установить также степень несоответствия параметров теплоносителя нормативным значениям и определить эффект от использования приборов коммерческого учета тепловой энергии. Установлено, что поставщиком тепловой энергии существенно занижалась температура теплоносителя в подающей магистрали и вместо графика 150 – 70 центральное регулирование отпуска теплоты осуществлялось в соответствии с графиком 81 – 70.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная в УлГТУ комплексная система оптимизации теплоснабжения обеспечивает существенную экономию тепловой энергии и финансовых ресурсов и может быть рекомендована к использованию в высших учебных заведениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (приказы Минобрнауки РФ №474 от 11.02.2003; №801 от 20.02.2004, письмо заместителя руководителя Федерального агентства по образованию №16-55-76 ин/02-13 от 18.03.2005).

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- t_1 – температура воды в подающей магистрали, °С;
- t_{1p} – температура теплоносителя в подающей магистрали, соответствующая графику центрального регулирования, °С;
- t_2 – температура воды в обратной магистрали, °С;
- t_{2p} – температура теплоносителя в обратной магистрали, соответствующая графику центрального регулирования, °С;
- t_3 – температура воды на входе в отопительные приборы, °С;
- g – коэффициент подмешивания;
- G_1 – расход воды из подающей магистрали, кг/с;
- G_2 – расход воды из обратной магистрали, кг/с;
- G_3 – расход воды, поступающей в отопительные приборы, кг/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизированная** система управления теплоснабжением главного корпуса УлГТУ / Н.Н. Ковальнов, А.С. Ртищева, А.Н. Фомин, А.Н. Афонин, Ю.П. Свиридов, И.М. Мердеев, В.М. Абрамов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2004. № 4. С. 57 – 61.
2. **Ковальнов Н.Н.** Автоматизированная система оптимизации теплоснабжения учебного заведения. Ульяновск: УлГТУ, 2005. 46 с.
3. **Ковальнов Н.Н., Ртищева А.С.** Оценка эффективности использования автоматизированной системы управления теплоснабжением главного корпуса УлГТУ // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2005. № 2. С. 55 – 57.
4. **Тепловая** модель главного учебного корпуса УлГТУ, оборудованного системой оптимизации теплоснабжения / Н.Н. Ковальнов, В.Н. Ковальнов, А.С. Ртищева, А.Н. Афонин // Математические методы и модели в прикладных задачах науки и техники «Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейронная информатика в науке и технике». Том 7. Ульяновск, 2004. С. 102 – 106.
5. **Ковальнов Н.Н.** Анализ эффективности автоматизированной системы управления теплоснабжением зданий высшего учебного заведения // Тезисы докладов III Международной научной школы-конференции «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидродинамики». Алушта, 2005. С. 105 – 106.
6. **Ковальнов Н.Н., Ртищева А.С.** Автоматизированная система оптимизации теплоснабжения учебного заведения. Энергоэффективность. Опыт. Проблемы. Решения. Вып. 1. Нижний Новгород, 2005. С. 61 – 67.
7. **Ковальнов Н.Н., Ртищева А.С.** Автоматизированная система управления теплоснабжением здания высшего учебного заведения // Материалы III Международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы транспорта». Ульяновск, 2005. С. 84 – 87.