

С.И. Выпанасенко, д-р техн. наук,

Ю.В. Хацкевич

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ВОЗДУШНО-ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ, ОСНОВАННОГО НА ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ПОМЕЩЕНИЯ

Системы воздушно-лучистого отопления являются современным, экономичным типом систем отопления производственных помещений. Они имеют высокий потенциал энергосбережения, вызванный особенностями их построения и режимами работы [1].

Несмотря на наличие у систем воздушно-лучистого отопления энергосберегающих свойств, существует возможность повышения их энергоэффективности. Автор видит эти возможности в усовершенствовании режимов работы систем с учетом их особенностей.

Проанализируем отличительные черты систем воздушно-лучистого отопления и режимы их работы. Система воздушно-лучистого отопления состоит из одной или нескольких газовых горелок с автоматикой безопасности, воздуховодов-излучателей различной формы и вытяжных вентиляторов (рис. 1).

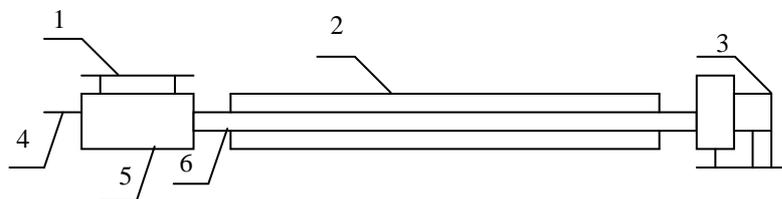


Рис. 1. Элемент системы воздушно-лучистого отопления

1- разъем с отверстием в защитном кожухе для подачи воздуха; 2-экраны теплового излучения; 3-вытяжной вентилятор; 4-штуцер подачи газа; 5-горелка в защитном кожухе; 6-воздуховод-излучатель (радиационная труба).

Принцип действия данных систем состоит в следующем [2]. Через штуцер в горелку подается природный газ. Продукты его сгорания удаляются наружу по находящимся внутри помещения воздуховодам-излучателям, передавая им свою тепловую энергию. Воздуховоды в свою очередь передают теплоту в виде конвективной и лучистой составляющей воздуху и поверхностям внутри помещения. Необходимо отметить, что на выходе из горелки температура продуктов сгорания составляет от +350 до +600 °С, а на выходе из воздуховода – от +60 до +80 °С. Протяженность воздуховода излучателя может составлять от нескольких до нескольких десятков метров.

Процесс включения системы воздушно-лучистого отопления с выполнением всех операций, необходимых для обеспечения безопасности, занимает менее минуты. Это является достоинством данных систем и создает основу для их

высокого быстродействия. Отметим также, что воздуховоды-излучатели имеют высокую скорость нагрева и охлаждения [2]. Т. е. характерной особенностью систем воздушно-лучистого отопления является их низкая тепловая инерция по сравнению с традиционными типами отопления [3]. Это создает дополнительные возможности для формирования энергоэффективных тепловых режимов помещений на основе управления ими по наперед заданному алгоритму изменения температуры.

Другим отличительным фактором, который необходимо принимать во внимание при рассмотрении систем воздушно-лучистого отопления, является их протяженность и неравномерность распределения температуры по длине радиационных труб [2]. Последнее не позволяет рассматривать системы воздушно-лучистого отопления как объекты с сосредоточенными параметрами, так как замена реальных значений температуры некоторым одним усредненным значением приведет к неадекватности расчетов теплопоступлений от элементов системы. Это отличает системы воздушно-лучистого отопления от других систем, которые позволяют представить нагревательные приборы точечными источниками некоторой тепловой мощности, и является одной из важнейших особенностей, которые необходимо принимать во внимание при разработке управления.

Неравномерность выделяемого количества теплоты вдоль воздуховодов-излучателей может приводить к неравномерному нагреву воздуха в помещении. Поэтому помещение с такой системой также необходимо рассматривать как объект с распределенными параметрами, поскольку численные значения и характер изменения температуры во времени могут существенно отличаться.

Расположение элементов системы воздушно-лучистого отопления в помещении также существенно влияет на тепловой режим. При одинаковой единичной мощности, но различном расположении элементов системы воздушно-лучистого отопления, температурный режим будет различным. Это вызвано неравномерностью распределения теплопоступлений по длине элементов системы и их совместным влиянием на температуру помещения. Поэтому существует необходимость учета расположения элементов системы отопления в помещении. Данная задача осложняется тем, что система воздушно-лучистого отопления производственного помещения может состоять из десятков элементов и для управления ею должно быть учтено положение каждого из них.

Управление системами отопления осуществляется с целью обеспечения требуемого теплового режима. Проанализируем принципы формирования режима при использовании систем воздушно-лучистого отопления для определения резервов экономии энергии при управлении данными системами. Для промышленных помещений требования к тепловому режиму в рабочее время определяются технологическими требованиями и «Санитарными нормами и правилами» для обеспечения комфортных условий для рабочего персонала [4].

На сегодняшний день наиболее современным и экономичным принципом управления тепловым режимом помещений является программное управление температурой. Такой подход предполагает снижение температуры производственных помещений в периоды отсутствия людей или в нерабочее время до ми-

нимально возможной по условиям эксплуатации (установка дежурного отопления) или изменение температуры помещения по наперед заданному закону.

При программном управлении тепловым режимом необходимо обеспечить требуемое значение температуры отапливаемого помещения к наперед заданному моменту времени (например, к началу рабочей смены). Однако решение данной задачи требует исследования нестационарных процессов нагрева помещения при переходе с дежурного на рабочий режим. Эти переходные процессы вызваны наличием тепловой инерции отапливаемого помещения. На рис. 2 изображена упрощенная схема теплового режима промышленного помещения при программном управлении температурой. Здесь отрезки АВ, АС и АД показывают возможные траектории перехода с дежурного отопления с температурой $T=T_{\text{нач}}$ на рабочий режим с температурой $T=T_{\text{тр}}$, $t=t_3$ – это момент времени, начиная с которого температура в помещении должна быть равна требуемой и далее поддерживаться на том же уровне.

Существует значение длительности переходного процесса нагрева помещения t_n , которое при минимальных энергозатратах позволит обеспечить к заданному моменту времени t_3 требуемую температуру помещения $T_{\text{тр}}$. Такой переходный процесс нагрева соответствует, например, отрезку АВ на рис. 2. Реализация указанного управления возможна путем включения системы воздушноручистого отопления в момент времени t_B :

$$t_B = t_3 - t_n.$$

В зависимости от параметров, рассматриваемых далее, система отопления может выйти на установившийся режим раньше требуемого момента времени t_3 (на рис.2 длительность переходного процесса t_n'). Тогда будет наблюдаться перерасход топлива. Например, для единичного элемента системы воздушноручистого отопления мощностью 100 кВт выход на установившийся режим на 1 час раньше требуемого срока приведет к перерасходу природного газа примерно на 10 м^3 , а за год перерасход газа этим элементом может составить около 1800 м^3 . Если система отопления выйдет на режим позже требуемого момента времени (длительность переходного процесса t_n'' на рис.2), то будут нарушены требования к тепловому режиму, что является недопустимым. Т. е. точность определения длительности переходного процесса играет важную роль в работе системы отопления.

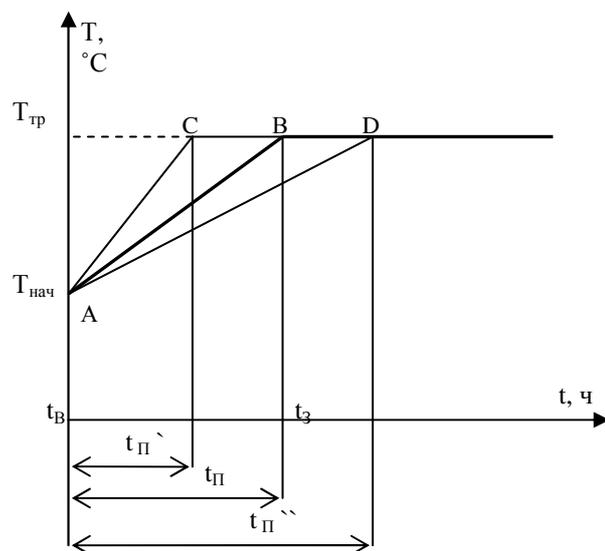


Рис. 2. Упрощенная схема теплового режима промышленного помещения

Определение длительности переходного процесса нагрева помещения с системой воздушно-лучистого отопления является важной, но непростой задачей, так как она зависит от следующих факторов: начальных значений параметров теплового режима в помещении; значений наружных и внутренних возмущающих воздействий; требуемых значений параметров теплового режима; характеристик и взаимодействия элементов системы воздушно-лучистого отопления; характеристик отапливаемого помещения. Необходимо обратить внимание на то, что возмущающие воздействия могут изменяться случайным образом, их численные значения трудно прогнозировать достоверно. Эти факторы исключают точный расчет продолжительности процесса и позволяют вести речь о прогнозной оценке длительности процесса.

В настоящее время управление переходным процессом нагрева помещения происходит следующим образом: лицо, принимающее решения, на основании собственного опыта ежедневно прогнозирует длительность нагрева помещения до требуемой температуры. В соответствии с этим прогнозом осуществляется включение элементов системы отопления. С учетом многообразия параметров, влияющих на длительность переходного процесса, достоверность и точность оценки, сделанной таким образом, весьма сомнительна. Такой подход недопустим, так как приводит к нарушению требований к тепловому режиму или перерасходу топлива.

Таким образом, управление тепловым режимом помещений, обеспечивающее требуемое значение температуры к наперед заданному моменту времени, предполагает определение длительности переходного процесса, связанного с выходом на указанный режим. Работа системы воздушно-лучистого отопления с учетом длительности переходного процесса нагрева будет способствовать экономии энергии и обеспечит требуемые значения температуры в помещении.

Для решения задачи прогнозирования длительности переходного процесса нагрева помещения с системой воздушно-лучистого отопления необходима разработка математической модели, обладающей следующими особенностями:

1. Модель должна позволять рассчитывать нестационарные тепловые режимы помещений.

2. В модели элементы системы отопления и само помещение должны рассматриваться как объекты с распределенными параметрами в связи с неравномерностью распределения температуры вдоль воздуховодов-излучателей и в помещении.

3. Модель должна описывать процессы теплообмена внутри радиационных труб и их теплообмен с окружающей средой.

4. Необходимо учесть влияние на тепловой режим нескольких элементов системы отопления с различной мощностью и координация их работы.

5. Модель должна позволять рассчитывать значения температуры в зонах отапливаемого помещения и их изменение во времени при различных исходных данных и начальных условиях.

Рассмотрим известные модели тепловых режимов помещений и возможности их применения для управления системами воздушно-лучистого отопления. Одни из первых математических моделей для управления тепловым режимом помещений были получены при разработке теории теплоустойчивости [5]. Их основным недостатком является отсутствие учета начальных условий теплообмена в помещении, хотя они оказывают существенное влияние на протекание переходного процесса. Исследование переходных процессов для управления тепловыми режимами помещений осуществлялось также в научных работах, посвященных разовому нагреву и остыванию [6, 7]. В данной теории все сложные взаимосвязи теплообмена старались свести к одному уравнению, предложенные формулы не дают достаточно надежных результатов, поэтому не могут быть использованы для управления тепловым режимом помещений. Некоторые исследователи для получения динамических характеристик представляют объект управления как совокупность соединенных параллельно и последовательно звеньев [3]. Однако особенности системы отопления как объекта управления не дают возможности составить детальную формализованную модель всей системы и заставляют ограничиться разработкой некоторого комплекса упрощенных математических моделей, рассчитанных на решение конкретных задач. При этом динамические характеристики систем воздушно-лучистого отопления и связанные с ними задачи управления в рамках данного направления не рассматривались. Существует подход, основанный на экспериментальном исследовании переходных процессов и дальнейшем их изучении с помощью ЭВМ [8]. Однако в большинстве случаев разработанные алгоритмы являются решениями частных задач и применение их в других случаях затруднительно. Помимо сказанного, все рассмотренные теории имеют еще один существенный недостаток – они представляют отапливаемое помещение и отопительные приборы как объекты с сосредоточенными параметрами. При исследовании систем воздушно-лучистого отопления такой подход приведет к недостоверным результатам.

Проведенный анализ существующих научных работ в области переходных процессов тепловых режимов показал, что математические модели, описы-

вающие нестационарные тепловые режимы помещений с системами воздушно-лучистого отопления не разработаны.

Необходимо исследовать характер тепловых переходных процессов в помещениях с системами воздушно-лучистого отопления и на этой основе разработать математическую модель и метод оперативного управления системами воздушно-лучистого отопления, позволяющие управлять нестационарными тепловыми режимами в помещении и обеспечивающие экономию энергоресурсов. А именно, предлагается прогнозировать длительность переходного процесса нагрева производственного помещения при использовании системы воздушно-лучистого отопления, которая обеспечит минимально возможный расход топлива при соблюдении всех требований к тепловому режиму.

На основании всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Проанализированы особенности систем воздушно-лучистого отопления. Одна из основных особенностей данных систем отопления состоит в том, что они обладают низкой тепловой инерцией. Это создает дополнительные возможности для формирования энергоэффективных тепловых режимов помещений на основе управления ими по наперед заданному алгоритму изменения температуры во времени.

2. Для адекватности моделирования тепловых режимов помещений с системами воздушно-лучистого отопления источники тепла и отапливаемое помещение необходимо рассматривать как объекты с распределенными параметрами. Следует также учитывать взаимное расположение элементов системы отопления в здании.

3. Оперативное управление тепловым режимом помещений, обеспечивающее требуемое значение температуры к наперед заданному моменту времени, предполагает определение длительности переходного процесса, связанного с выходом на указанный режим. Такой подход способствует экономии энергии при обеспечении требуемого значения температуры в помещении.

4. Длительность переходного процесса зависит от совокупности управляемых и неуправляемых факторов, которые могут изменяться во времени случайным образом. Значение длительности переходного процесса может быть найдено на основе прогнозной оценки.

5. Для реализации управления системой воздушно-лучистого отопления, основанного на определении длительности переходного процесса нагрева помещения, необходима математическая модель, описывающая нестационарный тепловой режим в помещении и рассматривающая помещение и отопительные приборы как объекты с распределенными параметрами.

Список литературы

1. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
2. Infrared Handbook. Roberts-Gordon, Inc. 1994. – 104 P.

3. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления/ С.А. Чистович, В.К. Аверьянов, Ю.А. Темпель, С.И. Быков. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1987. – 248 с.
4. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 2.04.05-91*У. – Изд. офиц. - К.: Киев ЗНИИЭП, 1996. – 64 с.
5. Богословский В.Н. Система уравнений тепловоздушного режима в помещении // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1988. - №8. – С. 83-87.
6. Шкловер А.М. Теплоустойчивость зданий. - М.: Госстройиздат, 1952. – 167 с.
7. Соколов В.С. Нестационарный теплообмен в строительстве. – М.: Профиздат, 1953. – 336 с.
8. Строй А.Ф. Управление тепловым режимом зданий и сооружений: [Монография]. – К.: Вища шк., 1993. – 155 с.
9. Story D. Creation of Nonsteady Comfort Heating Conditions// 7th REHVA World Congress CLIMA 2000 Napoli. Thermal Comfort. – Napoli, 2001. — P.116-127.