

– 284 с.

5. Калманок А. С. Расчет балок-стенок. – М.: Госстройиздат, 1956. – С. 35-67.

6. Яшин А. В. Расчет прочности железобетонных балок-стенок с учетом упруго-пластических свойств железобетона: Учебн. пособие. Казань: КазХТИ, 1986. – 32 с.

7. Бай Г. Расчет балок-стенок. – М.: ОНТИ, 1935. – С. 20-46.

8. Варвак П. М. Новые методы решения задач сопротивления материалов. – К.: Вища школа, 1985. – 160 с.

9. Безухов Н. И. Теория упругости и пластичности. – М., 1953. – 420 с.

Получено 16.04.2001

КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 628.84

Е. М. БЕЛОВА, канд. техн. наук, А. А. КРИВОУС

Полтавский государственный технический университет им. Юрия Кондратюка

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕПЛО-, ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ДОВОДЧИКОВ

Рассматриваются проблемы, связанные с проектированием и эксплуатацией местно-центральных систем кондиционирования воздуха зданий. Выполнена формализация процесса потокораспределения в системе тепло-, холодоснабжения вентиляторных доводчиков.

Общественные и промышленные здания с большим количеством помещений оборудуют центральной системой кондиционирования воздуха (СКВ), обеспечивающей подачу в помещения минимального расхода наружного воздуха, и местными рециркуляционными системами, которые могут быть с теплообменниками прямого испарения или вентиляторными доводчиками. Преимуществом последних систем являются экологическая безопасность, возможность круглогодичного поддержания заданных параметров воздуха, отсутствие необходимости устройства систем отопления.

Проектирование производят на расчетные режимы, когда нагрузки на СКВ максимальные по всем помещениям одновременно. Нагрузка на теплообменник фанкойла изменяется как за рабочее время суток от 100 до 10%, так и в течение года. Даже для расчетных режимов гидравлические режимы для теплого (определяющего) и холодного периодов отличаются значительно. Поддержание заданных параметров воздуха в каждом помещении возможно только путем управления

СКВ.

Существующие решения предполагают местное регулирование тепло-, хладопроизводительности фанкойлов с помощью регулирующих клапанов в конструкции доводчика и изменения скорости вращения вентилятора, а также центральное регулирование количества хладоносителя в системе [1,2]. Срабатывание двухходового клапана, изменяющего расход воды через определенный фанкойл, вызывает перераспределение потоков тепло-, хладоносителя через другие фанкойлы и другие ветви гидравлической системы. Для постоянства давления в системе на стояках двухтрубной вертикальной системы или ветках горизонтальной системы устанавливают автоматические балансировочные клапаны. Потери давления на балансировочных клапанах ориентировочно составляют около 40% от давления, развиваемого насосом, чему соответствуют определенные затраты электроэнергии. Применение насоса с переменным расходом холодной воды обеспечивает снижение потребляемой насосом электроэнергии [1,2], но приводит к перераспределению потоков воды в системе, а следовательно, к ее гидравлической разрегулировке.

Добиться согласованного функционирования системы кондиционирования воздуха, обеспечивающей требуемые параметры микроклимата при минимальных затратах, можно при оптимальном управлении микроклиматом, которое реализуется с использованием ЭВМ. Для решения этой задачи на первом этапе требуется формализация изучаемых процессов путем разработки математической модели энергетического баланса здания.

Система тепло-, холодоснабжения является одной из подсистем общей энергопотребляющей системы – здания, тесно взаимосвязанной с другими подсистемами. Используя метод декомпозиции, выделим подсистему тепло-, холодоснабжения децентрализованной СКВ и составим математическую модель потокораспределения в ней.

Введем следующие определения и допущения для описания гидравлической сети. Сеть включает в себя активный элемент – насос гидравлического модуля и пассивные элементы: участки трубопроводов, регулирующие клапаны, теплообменники фанкойлов. Каждый элемент характеризуется двумя величинами – расходом, перепадом давления, а также параметрами и выбранным направлением движения среды. Схему соединения элементов сети можно рассматривать как конечный связный ориентированный граф, который можно описать математически с помощью теории графов. Для решения поставленной задачи наиболее удобной является форма представления графа в виде матрицы инцидентий и циклов. Каждый столбец матрицы инцидентий

А соответствует одному из ветвей графа, а строки – узлам. На пересечении строк и столбцов матрицы А записываются элементы a_{ij} , которые в зависимости от инцидентности ветви j и узла i могут принимать следующие значения: неинцидентны $a_{ij}=0$, инцидентны и теплоноситель входит в узел $a_{ij}=1$, инцидентны и теплоноситель выходит из узла $a_{ij}=-1$.

Матрица циклов устанавливает номера ветвей, входящих в q -й контур (цикл), с учетом направления движения теплоносителя относительно выбранного направления обхода контуров. На пересечении строк и столбцов матрицы В записываются элементы b_{qj} , которые в зависимости от наличия или отсутствия ветви j в контуре q могут принимать следующие значения: не входит $b_{qj}=0$, входит и направление движения теплоносителя совпадает с принятой ориентацией ветви $b_{qj}=1$, входит и направление движения теплоносителя не совпадает с принятой ориентацией ветви $b_{qj}=-1$.

В нелинейных гидравлических сетях имеют место законы Кирхгофа. Согласно его первому закону для каждого i -го узла (по закону сохранения количества несжимаемой жидкости):

$$\sum_i G_{Tj} = 0. \quad (1)$$

Суммирование производим по ветвям, примыкающим к i -му узлу, причем для ветвей, выходящих из узла, принимаем знак "минус", для входящих ветвей – знак "плюс".

По второму закону для каждого q -го контура (по закону сохранения энергии)

$$\sum_q \Delta p_j = 0. \quad (2)$$

Для каждой j -й ветви падение давления составит:

$$\Delta p_j = \Delta p_r - H_j, \quad (3)$$

где Δp_r – гидравлические потери давления на трение и местные сопротивления в трубопроводах, Па; H_j – располагаемое давление, для активного элемента – давление насоса, для участков трубопроводов – гидростатическое давление в j -й ветви, Па.

Потери давления на трение и местные сопротивления на j -й ветви

можно представить через расход теплоносителя G_{Tj} в следующем виде:

$$\Delta p_{Tj} = A_j \left(\frac{\lambda_j}{d_{Bj}} L_j + \sum \zeta_j \right) G_{Tj}^2, \quad (4)$$

где A_j – удельное динамическое давление на j -й ветви, Па/(кг/с)²; λ_j – коэффициент гидравлического трения; L_j – длина j -го участка, м; d_{Bj} – внутренний диаметр трубопровода, м; $\sum \zeta_j$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Потери давления на клапане определяем по формуле

$$\Delta p_{клj} = \left(\frac{G_{Tj}}{k_{vj}} \right)^2, \quad (5)$$

где k_{vj} – коэффициент пропускной способности клапана, м³/ч.

Зависимость давления, развиваемого насосом, от расхода воды называется характеристикой насоса, которая представляет собой набор экспериментальных данных и приводится в каталогах. Располагая экспериментальными характеристиками насоса, а также зависимостями мощности от расхода в широком пределе изменения расхода для определенной частоты оборотов, с помощью метода наименьших квадратов можно аппроксимировать характеристики многочленами оптимальной степени.

Если геометрические свойства схемы соединений системы тепло-, холодоснабжения выразить в виде матрицы инцидентий A и матрицы циклов B , то система уравнений из (1) и (2) может быть представлена наиболее компактно в матричной форме в краткой записи:

$$\begin{cases} AG_T = 0; \\ B\Delta p = 0. \end{cases} \quad (6)$$

После преобразования система уравнений имеет вид:

$$\begin{bmatrix} A \\ BSG_T' \end{bmatrix} \cdot G_T = \begin{bmatrix} 0 \\ |B|H \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где $\Delta p, G_T, H$ – одностолбцовые матрицы падения давления, расходов теплоносителя и располагаемого напора; S, G_T' – диагональные

матрицы характеристики сопротивления и расхода; O – одностолбцовая матрица рангом $(q-1)$, элементы которой равны нулю.

Матрица инцидентий и матрица циклов имеет число элементов, зависящих от количества узлов в системе γ . Размерность матриц может достигать значения $(\gamma-1)\gamma$ для матрицы инцидентий, $(p-\gamma+1)p$ – для матрицы циклов. Большая часть элементов матриц имеет нулевое значение. Поэтому на этапе программной реализации матрицы удобно представлять в списочной форме.

Система нелинейных уравнений представляет собой математическую модель потокораспределения в системе тепло-, холодоснабжения, на основе которой могут быть решены задачи синтеза и анализа сети.

1. Кокорин О.Я. Архипов К.П. Снижение расхода электроэнергии в системах кондиционирования воздуха // Холодильная техника. – 1999. – №2.

2. Кокорин О.Я., Деметьев В.В. Энергосберегающие режимы регулирования процессов охлаждения воздуха в СКВ с помощью насосов фирмы “Грундфос” // Холодильная техника. – 1999. – №11.

3. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1990.

Получено 10.04.2001

УДК 697.9

А.Ф.СТРОЙ, д-р техн. наук, Ю.К.ПРИПОТЕНЬ

Полтавський державний технічний університет ім.Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК ГРАВІТАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ У ПРИМІЩЕННЯХ З ІНФРАЧЕРВОНИМ ОПАЛЕННЯМ

При використанні пальників інфрачервоного випромінювання для опалення приміщення виникає необхідність у його вентиляції. На основі аналізу процесів, що відбуваються при формуванні теплоповітряного режиму, розроблена математична модель, яка дозволяє врахувати взаємозв'язок системи опалення та вентиляції.

Застосування променевого опалення за допомогою високотемпературних випромінювачів дає можливість значно зменшити витрати на опалення приміщень [1]. Однак такі системи мають недолік: продукти спалювання можуть надходити у приміщення. Це викликає необхідність його активної вентиляції. Для відведення продуктів спалювання може застосовуватися механічна або гравітаційна системи вентиляції. Розрахунок кожної з них має свої особливості.

Кількість продуктів спалювання, що потрапляють у приміщення, можна визначити за допомогою рівняння