

## КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТЕВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Под сетевым динамическим объектом понимается совокупность элементов, связанных между собой физическими узлами, через которые осуществляются целенаправленные распределения потоков (электрический ток, потоки жидкостей и газов, и т.п.).

Сетевые объекты распространены в различных областях техники как класс объектов исследования, проектирования, наблюдения и управления. Реальные сети имеют большое количество элементов, сильную взаимосвязанность управляемых переменных, нелинейность и распределенность параметров. В качестве примеров могут выступать электрические и вентиляционные сети, элементы которых приведены на рис. 1.1.

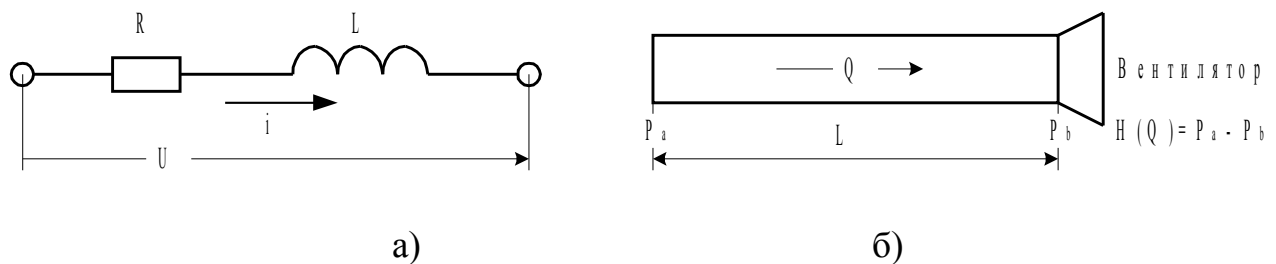


Рисунок 1.1 - Элементы электрической а) и вентиляционной б) сетей

Сложность сетей и их систем управления как объектов моделирования, многочисленные постановки задач при исследовании и проектировании таких систем с помощью вычислительных машин определяют следующие требования к математическим моделям. Модели должны отражать процессы в сетях с реальной сложностью. Большие размерности сетей, где число ветвей больше 200 и число узлов больше 50, вызывают значительные трудности и возможные ошибки при их формальном описании дифференциальными уравнениями. Поэтому при составлении модели с использованием ЭВМ необходимо иметь минимум информации по структуре и параметрах объекта. Сетевые модели

должны решать задачи реального времени для связи с реальными компонентами систем управления. При этом необходимо исследовать все этапы их разработки (моделирование алгоритмов и структур, вплоть до обучения пользовательского персонала).

### **Вентиляционные сети**

Вентиляционные сети играют важную роль для решения задач безопасности в шахтах, где они обеспечивают распределение воздуха между объектами проветривания. Объектами проветривания являются очистные и подготовительные забои, а также горные выработки, в которых правилами безопасности регламентируются величины расходов воздуха и концентрации вредных примесей. К объектам проветривания поступают свежие струи воздуха и отводятся на поверхность исходящие струи с вредными примесями через воздухоподающие и воздухоотводящие выработки, которыми являются стволы, штреки, уклоны. Объекты проветривания, воздухоподающие и воздухоотводящие выработки образуют шахтные вентиляционные сети (ШВС), которые являются сложными объектами моделирования: большое число каналов проветривания и связанных узлов; каждый канал представляется как нелинейная аэродинамическая система; есть штреки, где решающими являются газодинамические процессы, регулируемые сопротивления и шлюзы имеют нелинейные, зависящие от расходов воздуха характеристики. Источниками разности давлений, обеспечивающими движения воздуха, являются вентиляторы.

### **Электрические сети**

К электрическим сетевым объектам относятся сети электроснабжения и схемы замещения, которые позволяют представить сложные электротехнические объекты в виде, удобном для анализа и расчета,

исследования переходных процессов. Множество одинаковых схем замещения образуют таким образом электрическую сеть, в ветвях которой происходят изменения электрических токов. Основными элементами ветвей являются активные сопротивления (линейные и нелинейные), индуктивности и емкости. Источниками энергии являются генераторы, выпрямители, специальные источники электропитания.

### **Гидравлические сети**

Гидравлические сети представляют собой сложные соединения трубопроводов различного диаметра с водорегулирующей арматурой. Источниками давления (напора) воды являются насосные станции и локальные насосы.

### **Топология сетей**

Сетевой объект представляется в виде ориентированного графа  $G(U, Q)$ , где  $U, Q$  – множества узлов и ветвей графа, причем  $|U| = n$  – число узлов,  $|Q| = m$  – число ветвей графа и кодируется специальной таблицей, в которой каждая строка хранит номер начального и конечного узлов, номер ветви, ее физические параметры и вербальное описание существенных для предметной области признаков ветвей и узлов графа в форме комментариев:

$$AKJ, EKK, QI, PAR, KOM \quad (1.1)$$

Из этой таблицы формируется матрица инциденций, однозначно отражающая связи между узлами и ветвями сетей:

$$A = F_{M.I}(AKJ, EKK, QI), \quad (1.2)$$

где  $F_{M.I}$  – условное обозначение алгоритма построения матрицы инциденций.

Также из таблицы (1.1) формируется матрица независимых контуров сети:

$$S = F_{ПК}(AKJ, EKK, QI), \quad (1.3)$$

где  $F_{ПК}$  – условное обозначение алгоритма построения контуров.

### Математическое описание сетей

Для элемента электрической сети (рис. 1.1, а) ток  $I$  определяется из выражения:

$$L \frac{dI}{dt} + R \cdot I = E, \quad (1.4)$$

где  $L$ ,  $R$  – параметры элемента (индуктивность, сопротивление соответственно);  $E(t)$  – разность потенциалов в узлах сети, к которым элемент подключен.

В случае вентиляционной сети поток воздуха (газа) в отдельном элементе (рис. 1.1, б) можно упрощенно (пренебрегая сжимаемостью потока) описать следующим дифференциальным уравнением:

$$K \frac{dQ}{dt} + RQ^2 = H(Q), \quad (1.5)$$

где  $K$  – коэффициент, характеризующий инерционность воздушного потока ( $\frac{\rho l}{F}$ ,  $\rho$  – плотность воздуха;  $l$ ,  $F$  – длина и площадь поперечного сечения ветви),  $R$  – аэродинамическое сопротивление,  $Q$  – поток (расход) воздуха (газа),  $H$  – депрессия (разность давлений в начальном и конечном узлах ветви).

Введя векторы токов  $I = (I_1, I_2, \dots, I_m)^T$ , расходов (потоков)  $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_m)^T$ , диагональные матрицы параметров  $L$ ,  $R$ ,  $K$ , векторы нелинейной зависимости  $Z = (Q_1^2, Q_2^2, \dots, Q_m^2)^T$  и источников напряжения  $E = (E_1, E_2, \dots, E_m)^T$ , давлений турбомашин  $H = (H_1, H_2, \dots, H_m)^T$ , можно записать матрично-векторные уравнения сетевых объектов в виде:

$$\begin{cases} A \neq 0 \\ S \frac{dI}{dt} + S R = I S E \end{cases} \quad (1.6)$$

или

$$\begin{cases} A \neq 0 \\ S \frac{dQ}{dt} + S R = Z S H \end{cases} \quad (1.7)$$

пользуясь матрицами инцидентий  $A$  (1.2) и независимых контуров  $S$  (1.3), которые будут формироваться топологическим анализатором.

### **Задачи моделирования сетевых объектов**

Для современных индустриальных ШВС реальной сложности актуальными задачами моделирования являются следующие:

- естественное и управляемое воздухораспределение;
- исследование газодинамических процессов;
- поиск аэродинамических сопротивлений при заданном воздухораспределении;
- исследование и сопровождаемое моделями проектирование систем автоматизации проветривания шахт;
- моделирование критически опасных ситуаций и разработка мероприятия по их устранению.

Для сетевых объектов иной природы задачи моделирования аналогичны. В дальнейшем будем рассматривать только шахтные вентиляционные сети.

## **Выводы**

1. Сетевые динамические объекты широко распространены в технике и являются сложными объектами анализа, инженерного проектирования и автоматизации.
2. Общими для сетевых объектов являются их топологические свойства, отражаемые путем представления объектов в виде ориентированных графов.
3. Матрично-векторное описание динамических процессов в сетевых объектах является основой для построения их математических моделей.