

## АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ГРАФОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Канд. техн. наук, доц. ПАСТУШЕНКО С. И.

*Николаевская государственная аграрная академия*

Одним из существенных средств повышения производительности труда и уровня работ в сельском хозяйстве является механизация транспортных работ. Среди средств механизации важное место занимает пневмотранспорт. Основные его достоинства заключаются в компактности, прочности устройства и обслуживания, возможности автоматизации производственного процесса и совмещения технологических операций.

На рис. 1 приведена схема нагнетательной пневмотранспортной установки.

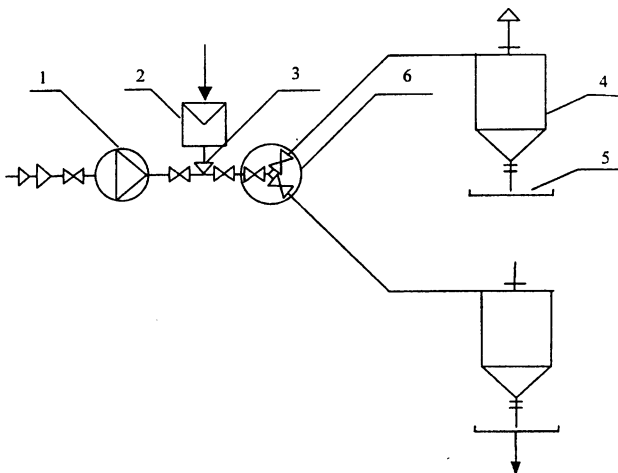


Рис. 1 1 — воздуходувная машина; 2 — питатель; 3 — смеситель;  
4 — отделитель; 5 — бункер; 6 — переключатель

Для определения технических характеристик рассматриваемой системы необходимо сформулировать ее математическую модель. При математической постановке задачи расчета пневмоустановки целесообразно обратиться к теории графов [1] и использовать ее топологическую модель в виде структурного графа (СТГ). Это позволяет составить систему уравнений математической модели пневмоагрегата в обобщенной форме.

Структурный граф пневмоагрегата — это взвешенный ориентированный граф, отражающий структуру агрегата, а также особенности распределения расходов и давлений по его элементам. Заметим, что граф — это топологическая фигура, так как ее свойства не изменяются при любых непрерывных и однозначных деформациях, производимых без разрывов или добавлением [1, 2].

Дуги СТГ называют полосным графом идеального компонента (гидравлические сопротивления системы, емкости и индуктивности,

источники расходов и давлений). Для дуг СТГ характерны две переменные: последовательная (расход тока  $M$ ) и параллельная (перепад давлений по концам дуги).

Вершины графа СТГ отображают точки соединения отдельных компонентов системы между собой и характеризуются узловым значением параллельной переменной – узловым давлением  $p^*$ , замеренным относительно базовой вершины графа. В качестве характеристики базовой вершины принято выбирать атмосферное давление  $p_0$ .

Каждая  $i$ -я вершина графа обладает собственной проводимостью  $\xi$ , а две смежные вершины имеют взаимную проводимость. Взаимная проводимость  $\xi = \xi_{ij} = \xi_{ji}$  между двумя вершинами  $i$  и  $j$  равна сумме проводимостей ветвей, расположенных между ними.

Описание особенностей СТГ производится при помощи матрицы. В зависимости от поставленной задачи используют следующие матрицы: смежностей, инцидентий, циклов, отсечений и цикломатическую матрицу. Поскольку матрица представлена в виде чисел, фигурирующих в математических уравнениях анализируемого процесса,

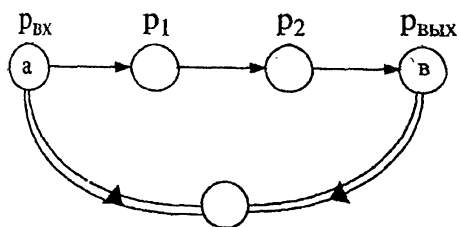


Рис. 2

можно определить основные показатели каждого варианта системы и выбрать оптимальную топологическую структуру. На рис. 2 приведен структурный граф схемы установки, представленной на рис. 1. Давление в узлах  $a$  и  $b$  соответствует давлению в точках всасывания и нагнетания системы.

Структурный граф дополняется матрицей сопротивлений  $Z_{ij}$ , которая определяется как характеристиками СТГ, так и параметрами сопротивлений гидравлической цепи пневмоустановки.

Таким образом, применение СТГ полностью формализует процесс получения системы уравнения математической модели пневмоустановки.

При расчете анализируемой пневматической (гидравлической) системы примем, что известны геометрические характеристики технических трубопроводов, а также физические параметры и режим течения жидкости по трубопроводу. В таком случае для каждого участка трубопровода могут быть определены коэффициенты сопротивления: местного  $\xi_{мс}$  и трения  $\lambda_T$ . Следовательно, для каждого компонента системы может быть записано уравнение

$$p_i(z) = Z_i[\lambda_T, \xi_{мс}, M_i^{n-1}(z)]M_i(z), \quad (1)$$

где  $p_i(z)$  – давление (перепад давлений);

$M_i(z)$  – расход сжимаемой (несжимаемой) жидкости;

$Z_i[\lambda_T, \xi_{мс}, M_i(z)]$  – гидравлический (пневматический) импеданс (в частном случае это гидравлическое сопротивление  $i$ -й компоненты);

$z$  – комплексная переменная преобразования Лапласа;

$n$  – константа, зависящая от числа Рейнольдса  $Re$ .

В сельскохозяйственных технических системах имеет место квадратичный закон гидравлического сопротивления. В этом случае  $n = 2$ , и уравнение каждой пассивной компоненты записывается следующим образом:

$$p_i(z) = Z_i[\lambda_T, \xi_{MC}, M_i(z)]M_i(z). \quad (2)$$

Для нестационарных процессов полюсные уравнения отображаются активными дугами СТГ: для источников расходов  $M_i = M_i(\tau)$ , для источников давлений  $p_j = p_j(\tau)$ , где  $M_j(\tau)$  и  $p_j(\tau)$  – заданные функции;  $\tau$  – время.

Для решения задачи оптимизации наиболее целесообразно обратиться к построению потоковых графов, которые отображают технологическую топологию системы. Из возможных групп потоковых графов в данном случае интерес представляют параметрические потоковые графы (ППГ) и энергетические потоковые графы (ЭПГ [2]).

Параметрические потоковые графы – это взвешенные по дугам и вершинам связные графы. Дуги ППГ соответствуют физическим потокам (массы, теплоты и др.). Вершины ППГ отображают элементы системы, а также точки соединения технологических трубопроводов, источники и стоки физических потоков.

Эксергетические потоковые графы отображают преобразование элементами системы, а также потери эксергии в элементах системы. Дуги ЭПГ соответствуют потокам эксергии, а также потерям эксергии в элементах системы. Вершины ЭПГ соответствуют элементам рассматриваемой пневмоустановки, осуществляющим преобразование расходов эксергии, а также источникам и стокам эксергии. Для каждой вершины ЭПГ справедливо соответствующее уравнение баланса эксергии [3].

Теоретико-графовые построения дополняются матрицами, которые представляют в виде чисел информацию об особенностях данного графа. Это позволяет перевести структурные особенности пневмо- (гидро-) системы на язык чисел, фигурирующих в математических уравнениях. В данном случае целесообразно обратиться к матрице инциденций.

Матрица инциденций  $[S]$  графа  $G(V, E)$  – это матрица порядка  $(\vartheta \times e)$ , состоящая из  $\vartheta = |V|$  вершин и  $e = |E|$  дуг. Строки матрицы соответствуют вершинам, а столбики – ребрам графа с элементами

$$S_{ij} = \begin{cases} -1, & \text{если } j\text{-я дуга выходит из } i\text{-й вершины;} \\ +1, & \text{если } j\text{-я дуга входит в } i\text{-ю вершину;} \\ 0, & \text{если } j\text{-я дуга не инцидентна } i\text{-й вершине.} \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 3 приведены параметрический потоковый граф, построенный для схемы установки, изображенной на рис. 1, а также соответствующая матрица инциденций.

|     |    |    |    |    |    |
|-----|----|----|----|----|----|
|     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| I   | -1 |    |    |    |    |
| II  | 1  | -1 |    |    |    |
| III |    | 1  | -1 |    |    |
| IV  |    |    |    | 1  | -1 |
| V   |    |    |    |    | 1  |
| VI  |    |    | 1  | -1 |    |

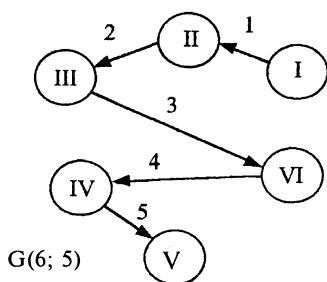
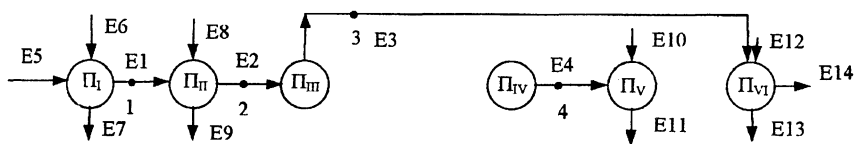


Рис. 3

Эксергетический потоковый граф и соответствующая матрица инцидентов показаны на рис. 4.



|     |    |    |    |    |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |
|-----|----|----|----|----|---|---|----|---|----|----|----|----|----|----|
|     | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 | 7  | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| I   | -1 |    |    |    | 1 | 1 | -1 |   |    |    |    |    |    |    |
| II  | 1  | -1 |    |    |   |   |    | 1 | -1 |    |    |    |    |    |
| III |    | 1  | -1 |    |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |
| IV  |    |    |    | -1 |   |   |    |   |    |    |    |    |    |    |
| V   |    |    |    | 1  |   |   |    |   |    | 1  | -1 |    |    |    |
| VI  |    |    | 1  |    |   |   |    |   |    |    |    | 1  | -1 | -1 |

Рис. 4

Сканируя по строкам матрицы инцидентов для ППГ и определяя булеву переменную на своем пути, ЭВМ рассчитывает все необходимые данные и определяет значения искомым параметров в конкретной узловой точке графа, а следовательно, и установки, значения массового потока и его параметров. Аналогично для матрицы ЭПГ ЭВМ находит значения эксергетических потоков и тем самым определяет степень энергетического совершенства рассматриваемой системы. Анализируя ряд технологических вариантов системы, можно определить оптимальное технологическое решение для данной пневмоустановки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б а с а к е р Р., С а а н т Т. Конечные графы и сети. — М.: Наука, 1973. — 368 с.
2. К а ф а р о в В. В., М е ш а л к и н В. П. Анализ и синтез химико-технологических систем. — М.: Химия, 1991. — 432 с.
3. Э н е р г е т и ч е с к и е расчеты технических систем: Справ. пособие / В. М. Бродянский, Г. П. Верхивкер, Я. Я. Карчев и др.; Под ред. А. А. Долинского, В. М. Бродянского. — Киев: Наук. думка, 1991. — 360 с.

Представлена ученым советом  
факультета механизации  
сельского хозяйства

Поступила 11.11.1999