Записки Ленинградского горного института.
Т. 128. СПб, 1991

УДК 622.621.5

В.В.КЛАССЕН, С.С.СМОРОДИН

РАСЧЕТ ВОЗДУХОПРОВОДОВ РУДНИЧНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ НА ЭВМ

Применение средств вычислительной техники для решения инженерных и научных задач обуславливает необходимость разработки стандартных алгоритмов, программ, информационного обеспечения задач. Трудоемкость этих работ, как правило, достаточно велика и требует определенной подготовки в области программирования [I, 3]. Разработка оригинальных программ решения задач и пакетов целевого назначения, объединенных в единую организационную структуру-банк, позволяет расширить круг пользователей ЭВМ, существенно сократить время на разработку программ и повысить эффективность исследований в целом [4].

Математическая модель расчета воздухопроводов рудничной компрессорной установки основана на поузловом методе расчета воздухопроводов [2, 5]. При этом расчетная схема воздухопроводов горного предприятия представляется следующим образом (рис.I): показывают все без исключения участки воздухопроводов; нумерация узлов в данном направлении воздухоснабжения (за направление принята часть воздухопроводов, обслуживающих блок или крыло шахтного поля данного горизонта) производится от самого удаленного узла к компрессорной станции (КС), при этом самому удаленному узлу в последующем направлении присваивается номер последнего узла в предыдущем направлении у ствола (группового или общешахтного воздухопровода) плюс один; если в узле направления имеется ответвление, то после нумераций такого узла последнему узлу в ответвлении присваивается номер узла плюс один;

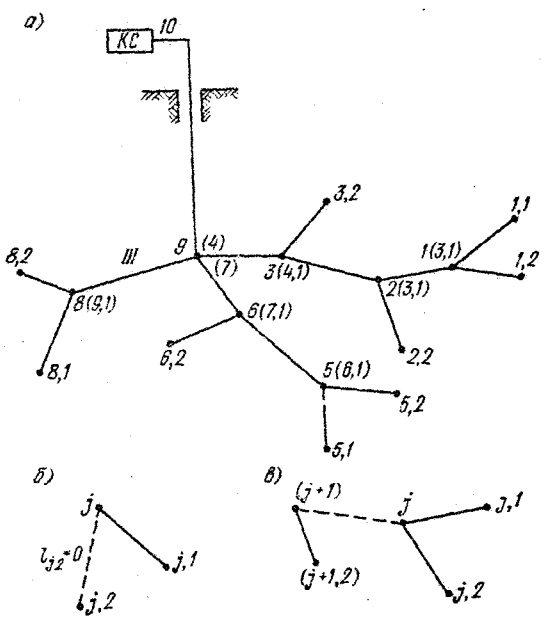


Рис.1. Расчетная схема воздухопроводной сети (а) и эквивалентных преобразований (б, в)

воздухопроводам, выходящим из узла, присваивается двойной индекс, где первый индекс характеризует узел, а второй – номер воздухопровода в узле. Аналогичным образом нумеруются параметры воздухопроводов и потребителей пневматической энергии. При расчете последующего узла предыдущий является мнимым потребителем пневматической энергии, которому присваивается номер J1. Если же в узле один магистральный воздухопровод (второй потребитель находится в узле), то второй показывается условно, и в расчет принимаются расчетная длина трубопровода $l_{ji} = 0$ (рис.I,б), если из узла выходит три воздухопровода, то этот узел разбивается на два, а расчетную длину соединительного магистрального воздухопровода принимают $l_{ji} = 0$ (рис.I,б).

Воздухопроводная сеть описывается тремя матрицами чисел.

Матрица YO(J) определяет характеристику узла. Последнему узлу в направлении или в ответвлении присваивается индекс 2, если из узла выходит ответвление, узлу присваивается индекс I, если из узла выходит простой трубопровод, то узлу присваивается индекс 0.

Матрица YOK(K,IK) описывает номера последних узлов в ответвлениях, где K – номер данного направления; IK – порядковый номер ответвления в данном направлении. Если в направлении ответвление отсутствует, то узлу присваивается 0.

Матрица YK(K) описывает номера последних узлов в направлениях. Математическая модель расчета воздухопроводов рудничной компрессорной установки включает в себя следующие уравнения.

Полезный расход воздуха потребителями [5]

$$Q_{\text{пр}ji} = 2{,}261\, n_{\text{э}ji}\, p_{\text{пр}ji}^{0{,}76}, \qquad (I)$$

где $n_{\text{э}ji}$ – число одновременно работающих эквивалентных потребителей; $p_{\text{пр}ji}$ – давление воздуха у потребителей, МПа; j – номер узла; i – номер простого ответвления в узле.

Общий расход воздуха потребителями с учетом утечек в месте подключения рассчитывается по формуле

$$Q_{ji} = \left[1 + b\left(p_{\text{пр}ji}/0{,}5\right)^{1{,}3}\right] Q_{\text{пр}ji}, \qquad (2)$$

где b – коэффициент, характеризующий утечки воздуха на участке.

Скорость движения воздуха по воздухопроводу

$$C_{ji} = 0{,}00212\, d_{ji}^{-2}\left(p_{\text{пр}ji} + 0{,}1\right)^{-1} Q_{ji} \qquad (3)$$

или

$$C_{ji} = 0{,}00212\, d_{ji}^{-2}\left(p_{j-1} + 0{,}1\right)^{-1} Q_{j-1}, \qquad (4)$$

где d_{ji} – внутренний диаметр воздухопровода, м; Q_{j-1} – суммарный расход воздуха в предыдущем узле, м^3/мин; p_{j-1} – давление воздуха в предыдущем узле, МПа.

Диаметр воздухопровода выбирается таким образом, чтобы скорость движения воздуха была близкой к наивыгоднейшей $4 \leq C_{ji} \leq 8$. Если данное условие не выполняется, то принимаются два воздухопровода.

Утечки воздуха по длине участкового воздухопровода

$$\Delta Q_{ji} = a d_{ji} l_{ji} p_{\text{пр}ji}^{1,3}, \qquad (5)$$

для магистрального воздухопровода

$$\Delta Q_{ji} = a d_{ji} l_{ji} p_{j-1}^{1,3}, \qquad (6)$$

где a – коэффициент, характеризующий тип соединений воздухопроводов;
l_{ji} – расчетная длина воздухопровода, м.

Потери давления в участковом воздухопроводе

$$\Delta p_{ji} = 0{,}573 \cdot 10^{-12} l_{ji} (p_{\text{пр}ji} + 0{,}1)^{-1} d_{ji}^{-5,3} Q_{ji}^2, \qquad (7)$$

магистральном воздухопроводе

$$\Delta p_{ji} = 0{,}573 \cdot 10^{-12} l_{ji} d_{ji}^{-5,3} (p_{\text{пр}ji} + 0{,}1)^{-1} Q_{j-1}^2. \qquad (8)$$

давление воздуха в узле

$$p_j = p_{\text{пр}ji} + \Delta p_{ji}. \qquad (9)$$

Суммарный расход воздуха в первом узле направления

$$Q_j = \sum_{i=1}^{2} (Q_{ji} + \Delta Q_{ji}). \qquad (10)$$

Суммарный расход воздуха в последующих узлах

$$Q_j = Q_{j-1} + Q_{j,1} + \sum_{i=1}^{2} \Delta Q_{ji}. \qquad (11)$$

Динамическое равновесие потоков в узле при расчете направления достигается методом простой итерации по уравнению [2]

$$p_{\text{пр}ji}^{[l+1]} = p_{\text{пр}ji}^{[l]} + \left(p_j - p_j^{[l]}\right), \qquad (12)$$

где l – шаг итерации; p_j – давление воздуха в узле, рассчитанное по ji ветви, МПа.

Динамическое равновесие потоков воздуха в узле с разветвлением или у ствола достигается также методом простой итерации [2]:

$$p_{\text{пр}n+1,1}^{[l+1]} = p_{\text{пр}n+1,1}^{[l]} + \left(p_n - p_j^{[l]}\right), \qquad (13)$$

где $p_j^{[l]}$ – давление воздуха в узле с ответвлением при его расчете или давление воздуха у ствола при расчете данного направления, МПа; n – номер узла с ответвлением или номер узла у ствола предыдущего направления, $n+1$ – номер первого узла в ответвлении или номер первого узла данного направления.

Давление воздуха у компрессорной станции

$$p_{\text{кс}} = p_j + \Delta p_{ji} - 0{,}121 \cdot 10^{-3} H_{\text{ш}} (p_j + 0{,}1), \qquad (14)$$

где p_j – давление воздуха в узле у ствола у последнего направления, МПа;
Δp_{ji} – потери давления воздуха в воздухопроводе между компрессорной

Идентификаторы величин, используемых при расчете воздухопроводов рудничной компрессорной установки

Наименование	Условное обозначение	Идентификатор
Число одновременных работающих эквивалентных потребителей	$n_{эji}$	R(J,I)
Внутренний диаметр трубы	d_{ji}	D(J,I)
Расчетная длина трубопровода	l_{ji}	H(J,I)
Число трубопроводов в одной нитке	N_{ji}	NTP(J,I)
Коэффициент, характеризующий тип соединения труб	a	A
Коэффициент, характеризующий утечки на участке	b	B
Глубина шахты	$H_{ш}$	HB
Число направлений воздухопроводной сети	–	L
Начальное давление у самого удаленного потребителя в наиболее загруженном направлении воздухопроводной сети	p	PM
Скорость движения воздуха по воздухопроводу	c_{ji}	C(J,I)
Полезный расход воздуха потребителями	$q_{прji}$	QR(J,I)
Общий расход воздуха потребителями	q_{ji}	Q(J,I)
Расход воздуха в узле	q_j	QY(J)
Утечки воздуха по длине трубопровода	Δq_{ji}	DQ(J,I)
Давление воздуха у потребителей	$p_{прji}$	PR(J,I)
Потери давления в трубопроводе	Δp_{ji}	DP(J,I)
Давление воздуха в узле	p_i	PY(J)

станцией и узлом у ствола, МПа; $H_{ш}$ – глубина шахты, м.

Суммарный расход воздуха во всех направлениях воздухоснабжения

$$Q_к = Q_к + Q_j, \qquad (15)$$

где $Q_к$ – суммарный расход воздуха в предыдущих направлениях, м³/мин; Q_j – расход воздуха в последнем узле рассчитываемого направления, м³/мин.

Для использования разработанного алгоритма расчета воздухопроводов с помощью ЭВМ составлены блок-схема (рис.2) и таблица идентификаторов величин. Из описания логики (рис.2) следует, что весь расчет делится на ряд отдельных этапов:

I. Вычисление полезного и общего расхода воздуха потребителями для i = I первого узла J в рассчитываемом направлении K по формулам (I), (2).

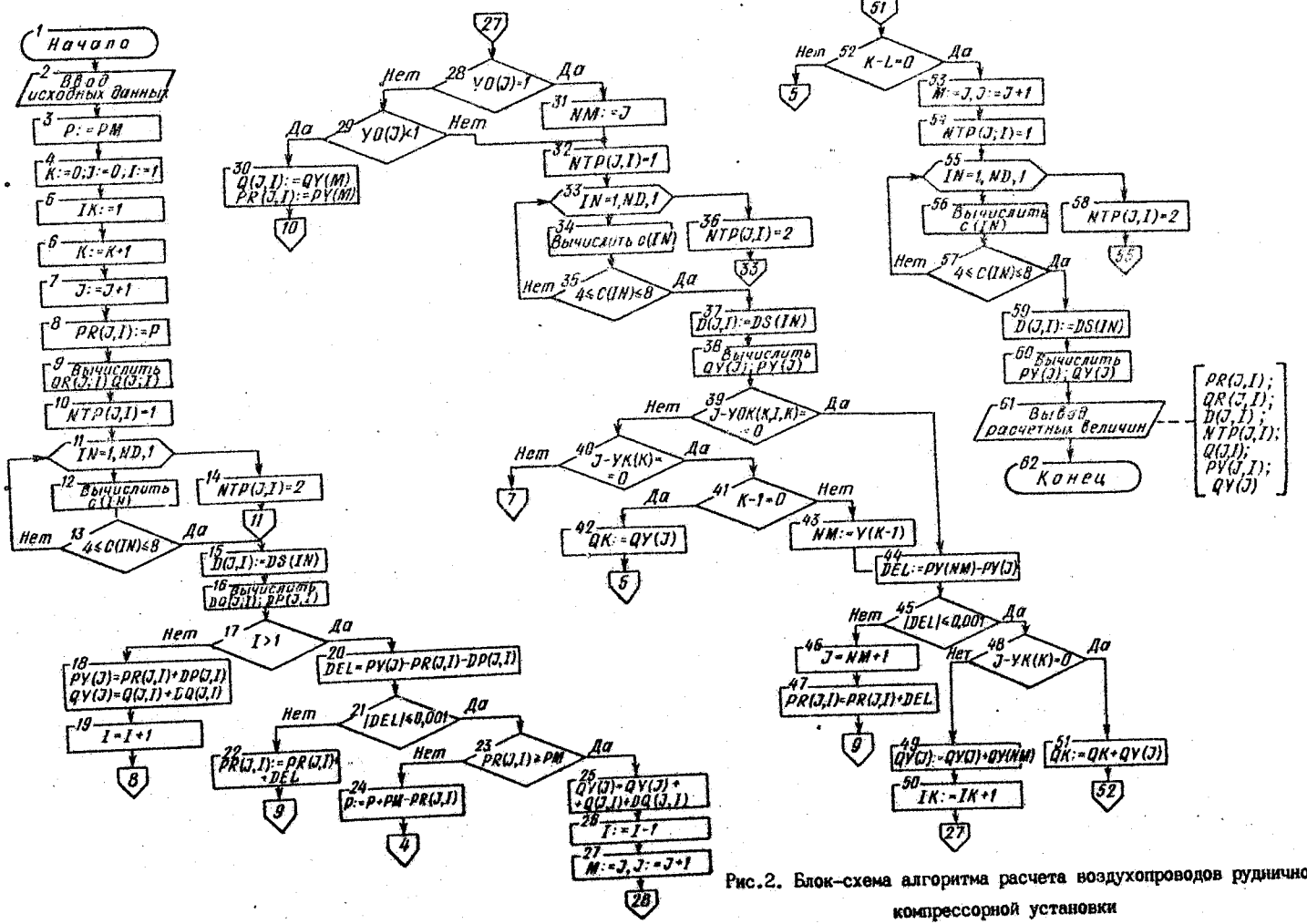


Рис.2. Блок-схема алгоритма расчета воздухопроводов рудничной компрессорной установки

2. Определение диаметра воздухопровода для $i = 1$ первого узла J в рассчитываемом направлении K по наивыгоднейшей скорости движения воздуха по формуле (3).

3. Вычисление потерь давления и утечек воздуха по длине воздухопровода для $i = 1$ первого узла рассчитываемого направления по формулам (5), (7).

4. Определение диаметра воздухопровода для $i = 2$ первого узла J в рассчитываемом направлении K по наивыгоднейшей скорости движения воздуха по формуле (3).

5. Определение полезного, общего расхода потребителями, утечки воздуха по длине трубопровода и давление в узле J для $i = 2$ рассчитываемого направления K по формулам (1), (2), (5).

6. Согласование давления в узле J по давлению воздуха у потребителей для $i = 2$ по формуле (12).

7. Определение общего расхода воздуха в узле J по формуле (10).

8. Повторение расчета по пунктам 2-5 для всех узлов рассчитываемого направления K. Если в рассчитываемом направлении K имеются ответвления, то его рассчитывают в соответствии с пунктами 1-5, а давление в узле согласуется с давлением у самого удаленного потребителя в ответвлении по уравнению (13).

9. Расчет давления и расхода воздуха в узле у ствола для направления K.

10. Повторение расчета по пунктам 1-7 для всех направлений воздухопроводной сети $K = 2, 3, \ldots, L$. При этом давление воздуха у ствола согласуется с давлением у самого удаленного потребителя в рассчитываемом направлении по уравнению (13).

11. Определение диаметра магистрального воздухопровода, соединяющего узел у ствола с компрессорной станцией, по наивыгоднейшей скорости по формуле (4).

12. Определение расхода воздуха по магистральному воздухопроводу, соединяющему узел у ствола с компрессорной станцией, и потери давления в нем по формулам (14), (15).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дудин Б.И. *Исследование вопросов оптимального проектирования пневматических сетей* угольных шахт: Автореф. канд. дис. / ДГИ. Днепропетровск, 1975.

2. Классен В.В. Исследование характеристик сетей рудничных компрессорных сетей при централизованном воздухоснабжении горных предприятий: Автореф. канд. дис. / Ленинградский горный ин-т. Л., 1980.

3. Моисеев Л.Л. Оптимизация режимов работы компрессорных станций горных предприятий: Автореф. докт. дис. / ИГД СО АН СССР. Новосибирск, 1975.

4. Мурэин В.В., Цейтлин Ю.А. Расчет пневматических сетей шахт. М.: Недра, 1971.

5. Смородин С.С. Рудничные воздухопроводные сети. М.: Госгортехиздат, 1963.