

ОБ ОДНОМ ПРИНЦИПЕ ПОСТРОЕНИЯ САМООПТИМИЗИРУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ АВТОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ ШАХТЫ

А. А. Волков, Э. А. Чернин

Харьков

Задача оптимального управления проветриванием шахт в соответствии с ее общей постановкой [1] может быть разрешена как на основе построения аналитических (вычислительных) самонастраивающихся систем управления, использующих универсальные вычислительные машины (УВМ), так и построением многосвязных самооптимизирующихся систем управления с простейшим логическим устройством (ЛУ).

Первый принцип построения систем оптимального управления (с УВМ) целесообразно использовать при построении систем диспетчерского контроля и управления с использованием УВМ в качестве советчика диспетчера.

Второй принцип построения этих систем (с простейшим ЛУ в многосвязной системе), предлагаемый в данной работе, целесообразно использовать при построении простой и надежной в эксплуатации системы авторегулирования проветриванием шахт.

В настоящей работе рассматривается принцип построения многосвязной самооптимизирующейся системы авторегулирования проветриванием шахты с простейшим ЛУ, обеспечивающим стабилизацию в заданных пределах контролируемых параметров состояния рудничной атмосферы (например, дебита воздуха и процентного содержания метана) при оптимальном управлении воздушораспределением в сети. Под оптимальным управлением воздушораспределения подразумевается управление, обеспечивающее минимальные энергозатраты на проветривание.

В [2] рассмотрена задача оптимального воздушораспределения для вентиляционной сети, содержащей регулируемый главный вентилятор проветривания и дросселирующие устройства в некоторых ветвях сети, когда число ветвей сети с регулируемым дебитом воздуха меньше или равно цикломатическому числу S сети [3], и все независимые контуры сети содержат вентилятор главного проветривания и одну ветвь с регулируемым дебитом (связь дерева сети [3]).

Как показано в [2], оптимальное потокараспределение достигается в этом случае полным открытием дросселирующего устройства хотя бы в одном из независимых контуров сети с максимальной депрессией.

В общем случае, когда в контурах содержится более одной ветви с регулируемым дебитом и соответственно несколько дросселирующих устройств, условие оптимальности заключается в полном открытии всех дросселирующих устройств в контуре с максимальной депрессией. Это условие становится очевидным, если структурную схему вентиляционной сети (рис. 1) преобразовать в эквивалентную ей структурную схему,

...ую из параллельных ветвей, при сохранении прежней суммарной дебита воздуха через вентилятор (q_v) и каждый объект проветривания O_i (q_i , $i \in I$). Действительно, к преобразованной схеме применим критерий оптимальности [2], что подтверждает указанное выше оптимальности для сложной топологии вентиляционной сети.

На рис. 2 приведена структурная схема самооптимизирующейся системы, которая состоит из:

- множества O объектов проветривания, $O_i \in O$, $i = 1, 2, 3$;
- вентиляционной сети C ;
- множества D пассивных регулирующих органов — дросселей с приводами, $D_i \in D$, $i = 1, 2, 3$;
- активного регулирующего органа — главного вентилятора проветривания V ;
- множества P трехпозиционных релейных датчиков отрицательной обратной связи по отклонению дебита воздуха в каждом объекте проветривания от номинального значения (q_i^*) $P_i \in P$, $i = 1, 2, 3$;
- множества Γ четырехпозиционных релейных датчиков отклонения концентрации метана (γ_i) на данном объекте проветривания (O_i) от расчетного значения (γ_i^*), $\Gamma_i \in \Gamma$, $i = 1, 2, 3$. Датчики Γ_i срабатывают при отклонении величины концентрации метана за пределы расчетной зоны и предельного допустимого значения концентрации метана;
- множества K трехпозиционных релейных датчиков положения координаты α_i регулирующего органа (дросселя D_i), $K_i \in K$, $i = 1, 2, 3$;
- управляющего ЛУ.

На ЛУ поступают следующие входные сигналы:

- 1) сигналы $\gamma_i \in \gamma$ ($i = 1, 2, 3$) отклонений концентрации метана за расчетные (нижнее γ_i^- и верхнее γ_i^+) и предельно допустимое (γ_i^*) значения;
- 2) сигналы $\alpha_i \in \alpha$ ($i = 1, 2, 3$) от концевых контактов в сторону увеличения (α_i^+) и уменьшения (α_i^-) дебита воздуха;
- 3) сигналы $q_i \in q$ ($i = 1, 2, 3$) отклонения дебита воздуха от расчетного значения в сторону увеличения (q_i^+) и уменьшения (q_i^-).

С выхода ЛУ поступают управляющие сигналы на дроссели и вентилятор.

Схема системы, приведенная на рис. 2, работает следующим образом.

1. Если во всех объектах проветривания, расположенных в данном контуре сети, величины γ_i находятся внутри зоны $\gamma_i^- - \gamma_i^+$ и ни в одном из контуров сети дроссели полностью не открыты ($\alpha_i < \alpha_i^+$), то ЛУ вырабатывает управляющий сигнал на все дроссели в сторону увеличения дебита воздуха.

Действие управляющего сигнала прекращается после полного открытия всех дросселей, расположенных в контуре сети с максимальной дебитом, о чем в ЛУ поступают сигналы α_i^+ с указанных дросселей.

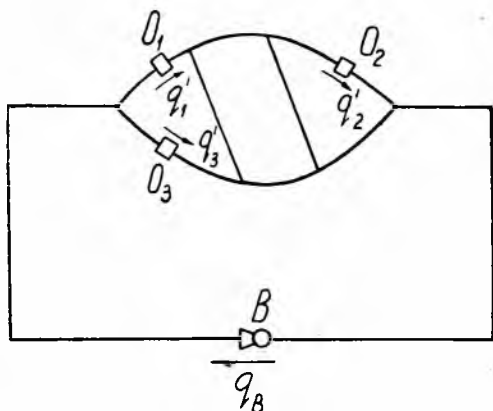
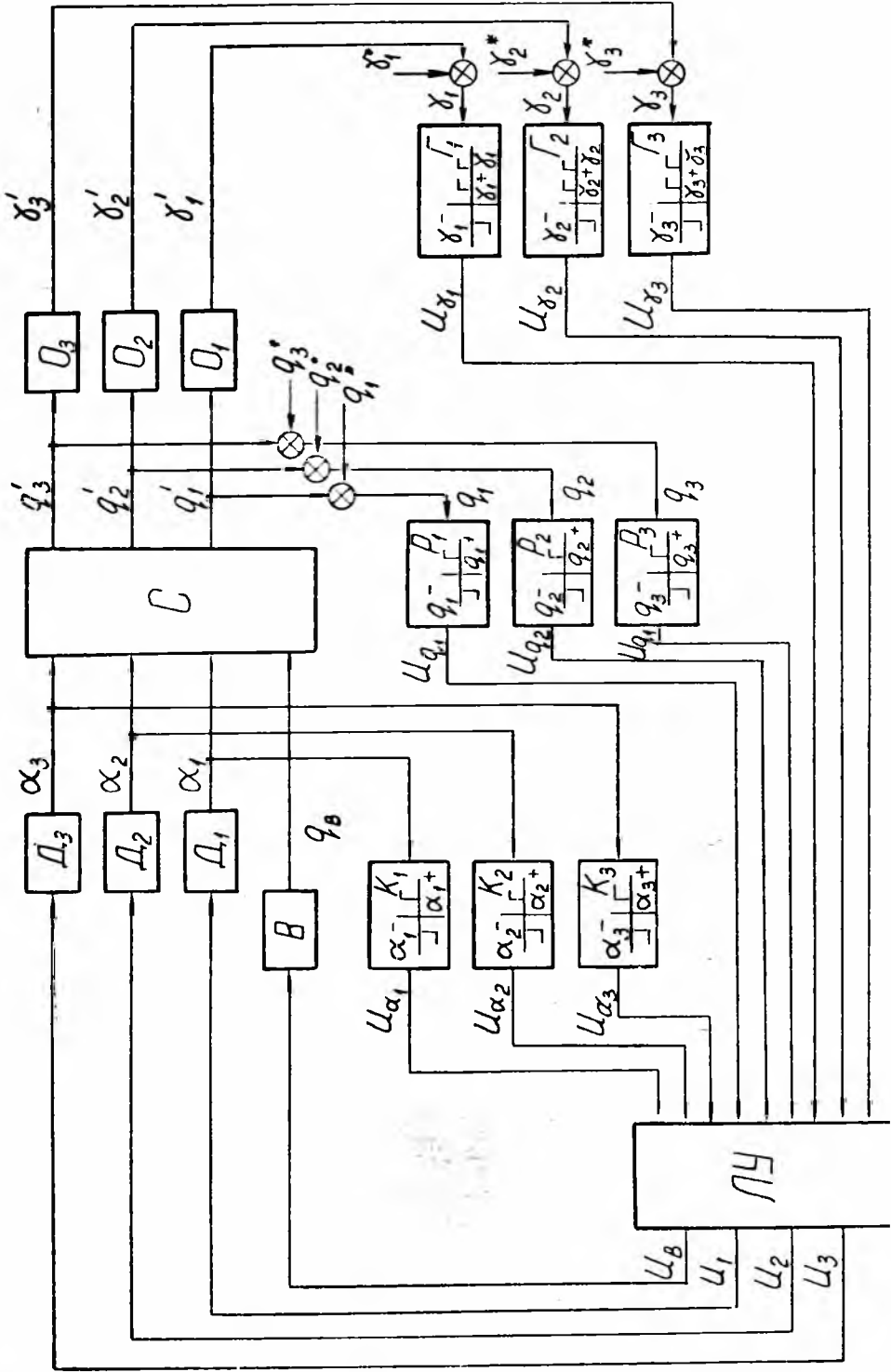


Рис. 1. Топология простейшей вентиляционной сети:

V — главный вентилятор проветривания; O_1 , O_2 , O_3 — объекты проветривания с регулирующими дросселирующими устройствами



Полное открытие одного из направлений проветривания обеспечит выполнение полученного выше условия оптимальности потокораспределения в сети.

2. При выходе γ_i за пределы зоны $\gamma_i^- - \gamma_i^+$ в одном из объектов О. ЛУ вырабатывает управляющий сигнал на увеличение (при $\gamma_i \geq \gamma_i^+$) или уменьшение (при $\gamma_i \leq \gamma_i^-$) дебита воздуха дросселем D_i , регулирующим объект проветривания O_i .

При этом управляющий сигнал на уменьшение дебита воздуха (при $\gamma_i \leq \gamma_i^-$) поступает на дроссели D_i только в случае, если ни в одном из остальных объектов проветривания O_j , расположенных в одном контуре сети с рассматриваемым объектом O_i , величина γ_j не превышает γ_j^+ .

3. Если полного открытия дросселя D_i окажется недостаточным для компенсации действующих возмущений, и величина γ_i будет превышать γ_i^+ , то ЛУ вырабатывает управляющие сигналы на полное открытие остальных дросселей D_j , расположенных в данном контуре сети, в котором находится рассматриваемый объект проветривания O_i .

Если при закрытии дросселя D_i на полный диапазон $\alpha_i \leq \alpha_i^-$ остается $\gamma_i \leq \gamma_i^-$, то управляющий сигнал на закрытие остальных дросселей D_j не подается.

4. После отработки γ_i до значения $\gamma_i^+ > \gamma_i > \gamma_i^-$, ЛУ подает на дроссели управляющий сигнал для вывода их в положение, соответствующее номинальному значению дебита воздуха с точностью до величины зоны $q_i^- - q_i^+$.

При этом под действием возмущения величина γ_i может опять выйти за пределы зоны $\gamma_i^- - \gamma_i^+$; процесс регулирования повторится и будет иметь автоколебательный характер.

5. В случае действия больших по величине или градиенту возмущений, когда $\gamma_i \geq \gamma_i^+$, ЛУ вырабатывает управляющий сигнал на увеличение производительности вентилятора, который отключается при уменьшении γ_i до величины $\gamma_i < \gamma_i^+$. Одновременно подается управляющий сигнал на дроссели до полного открытия одного из направлений проветривания.

Если под действием возмущений величина γ_i снова превысит значение γ_i^+ , то процесс регулирования повторится и будет иметь автоколебательный характер.

Параметры упомянутых автоколебаний процессов регулирования с помощью дросселей и вентилятора определяются параметрами элементов системы авторегулирования проветриванием шахты. Следует отметить, что в связи с большой инерционностью объектов проветривания частота автоколебаний и включений дросселей и вентилятора будет достаточно низкой.

Однако в ряде случаев автоколебания нежелательны. Для их исключения в рассмотренную схему системы (рис. 2) необходимо ввести дополнительное регулирование по производной от отклонения концентрации газа ($\dot{\gamma}_i$) в O_i . Такая система авторегулирования проветриванием шахты рассмотрена ниже.

6. При уменьшении γ_i во всех объектах O_i ниже величины γ_i^- ЛУ вырабатывает управляющий сигнал на уменьшение производительности вентилятора. Одновременно подается управляющий сигнал на все дроссели для полного открытия одного из направлений проветривания.

В случае увеличения γ_i в одном из объектов проветривания до величины $\gamma_i > \gamma_i^-$, сигнал на уменьшение производительности вентилятора отключается.

При этом также возможен автоколебательный процесс регулирования, аналогичный ранее рассмотренному.

Рассмотренный выше принцип работы системы авторегулирования проветриванием шахты обеспечивает:

а) минимизацию расхода мощности (N) на проветривание

$$N = \sum_{i=1}^n h_i^n q_i = \min,$$

где h_i^n — депрессия пассивного регулирующего устройства в i -той ветви;
 n — количество объектов проветривания;

б) поддержание концентрации метана в объектах проветривания в заданных пределах

$$\gamma_i^{\min} \leq \gamma_i \leq \gamma_i^{\max}.$$

Сформулируем требования к логической функции ЛУ, обеспечивающие рассмотренный принцип работы системы. Для этого используем символы исчисления предикатов [4]: квантор общности Π , квантор существования Σ , квантор единственности Σ_1 и символы исчисления предложений — конъюнкцию $\wedge$, дизъюнкцию $\vee$, импликацию $\rightarrow$, эквивалентность $\equiv$, отрицание — (черта над буквой).

Указанные требования к логической функции ЛУ в соответствии с рассмотренным выше принципом работы системы формулируются следующим образом:

$$1. O \neq \emptyset \wedge \Pi_{O_i \in O} (\gamma_i^+ > \gamma_i > \gamma_i^-) \wedge \Pi_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \rightarrow \Pi_{D_i \in D} (U_i = U_i^+). \quad (1)$$

$$2. O \neq \emptyset \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i^0 > \gamma_i \geq \gamma_i^+) \wedge \Sigma_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \rightarrow \Sigma_{D_i \in D} (U_i = U_i^+); \quad (2)$$

$$O \neq \emptyset \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i \leq \gamma_i^-) \wedge \Pi_{O_i \in O} (\gamma_i < \gamma_i^+) \wedge \wedge \Sigma_{D_i \in D} (\alpha_i > \alpha_i^-) \rightarrow \Sigma_{D_i \in D} (U_i = U_i^-). \quad (3)$$

$$3. D \neq \emptyset \wedge \Sigma_{D_i \in D} (\alpha_i \geq \alpha_i^+) \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i^0 > \gamma_i \geq \gamma_i^+) \wedge \wedge \Sigma_{D_j \in D} (\alpha_j < \alpha_j^+) \rightarrow \Sigma_{D_i \in D} (U_i = 0) \wedge \Sigma_{D_j \in D} (U_j = U_j^+); \quad (4)$$

$$D \neq \emptyset \wedge \Sigma_{D_i \in D} (\alpha_i \leq \alpha_i^-) \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i \leq \gamma_i^-) \wedge \Sigma_{D_j \in D} (\alpha_j > \alpha_j^-) \wedge \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i^+ > \gamma_i > \gamma_i^-) \rightarrow \Sigma_{D_i \in D} (U_i = 0) \wedge \Sigma_{D_j \in D} (U_j = 0). \quad (5)$$

$$4. O \neq \emptyset \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i^+ > \gamma_i > \gamma_i^-, q_i \geq q_i^+) \rightarrow \Sigma_{D_i \in D} (U_i = U_i^-), \quad (6)$$

$$O \neq \emptyset \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i^+ > \gamma_i > \gamma_i^-, q_i \leq q_i^-) \rightarrow \Sigma_{D_i \in D} (U_i = U_i^+). \quad (7)$$

$$5. O \neq \emptyset \wedge \Sigma_{O_i \in O} (\gamma_i \geq \gamma_i^0) \rightarrow \Sigma_1 (U_B = U_B^+) \wedge [\Pi_{D_i \in D} (U_i = U_i^+) \wedge \Pi_{D_i \in D} (U_i = U_i^+) \equiv \Sigma_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \wedge \Sigma_{D_j \in D} (\alpha_j < \alpha_j^+)]. \quad (8)$$

$$O \neq \emptyset \wedge \prod_{O_i \in O} (\gamma_i \leq \gamma_i^-) \wedge \prod_{O_j \in O} (\gamma_j \leq \gamma_j^-) \rightarrow \sum_B (U_B = U_B^-) \wedge \wedge_{D_i \in D} [\prod_{U_i = U_i^+} \wedge \prod_{D_j \in D} (U_j = U_j^+) \equiv \sum_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \wedge \sum_{D_j \in D} (\alpha_j < \alpha_j^+)]. \quad (9)$$

Логическая функция ЛУ, удовлетворяющая указанным требованиям (1) — (9), при любой топологии сети может быть описана следующей системой логических уравнений, определяющих условия поступления управляющего сигнала с выхода ЛУ на дроссели и вентилятор:

$$U_i^+ = \bigcap_{j=1}^m \left(\alpha_i^+ \wedge \bigcap_{i=1}^{ik} \alpha_j^+ \right) \wedge \left[\bigcap_{i=1}^n (\gamma_i^+ \wedge \gamma_i^-) \vee \bigcup_{i=1}^n \gamma_i^0 \vee \bigvee_{i=1}^n \gamma_i^- \right] \vee \gamma_i^+ \wedge \alpha_i^+ \vee \alpha_i^+ \wedge \bigcup_{j=i1}^{ik} (\gamma_j^+ \vee \alpha_j^+) \vee q_i^- \wedge \gamma_i^-; \quad (10)$$

$$U_i^- = \gamma_i^- \wedge \alpha_i^- \wedge \overline{U_i^+} \wedge \bigcap_{j=i1}^{ik} \overline{\gamma_j^+} \vee q_i^+ \wedge \gamma_i^+; \quad (11)$$

$$U_i = 0 = \overline{U_i^+} \wedge \overline{U_i^-}; \quad (12)$$

$$U_B^+ = \bigcup_{i=1}^n \gamma_i^0; \quad (13)$$

$$U_B^- = \bigcap_{i=1}^n \gamma_i^-; \quad (14)$$

$$U_B = 0 = \overline{U_B^+} \wedge \overline{U_B^-}, \quad (15)$$

где $v = I, II \dots m$ — количество независимых направлений проветривания;
 n — общее количество объектов проветривания в данной вентиляционной сети ($O_i, i = 1 \dots n$);
 k — количество других объектов проветривания O_j ($j = i1, i2 \dots ik$) помимо рассматриваемого объекта O_i в данном контуре сети.

На рис. 3 приведена структурная схема ЛУ, обеспечивающая выполнение логических операций в соответствии с уравнениями (1) — (9) для топологии сети, приведенной на рис. 1. Схема ЛУ состоит из стандартных логических ячеек, выполняющих логические операции «не», «и», «или», взаимная коммутация которых может быть выведена на пульт или наборное поле ЛУ, что позволяет просто набирать необходимую логическую функцию в соответствии с заданными описывающими ее логическими уравнениями.

В связи с простотой схемы и возможностью использования стандартных логических элементов, ЛУ обладает такими важными преимуществами по сравнению с аналоговыми усилительными устройствами и УВМ, как высокая надежность, простота эксплуатации и экономичность.

Как упоминалось выше, для устранения автоколебательности процессов регулирования концентрации метана необходимо ввести в закон регулирования производную (γ_i).

На рис. 4 показана схема самооптимизирующейся системы автоматического регулирования проветриванием шахты с регулированием концентрации по γ_i и γ_i .

При введении регулирования по производной γ_i отпадает необходимость во внутренней отрицательной обратной связи по промежуточному результату (отклонение дебита воздуха q_i). Кроме того, в связи с ис-

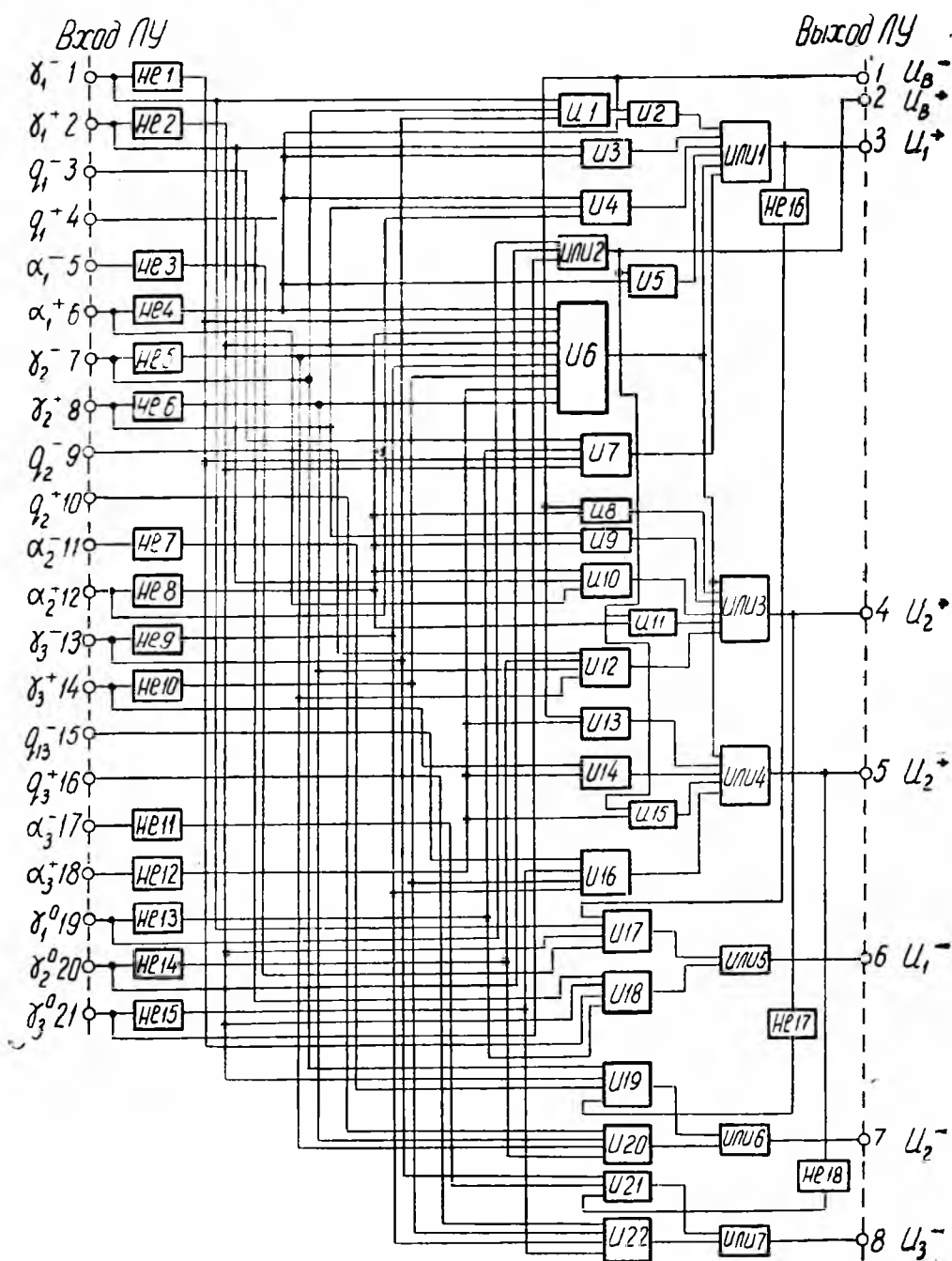


Рис. 3. Структурная схема логического устройства

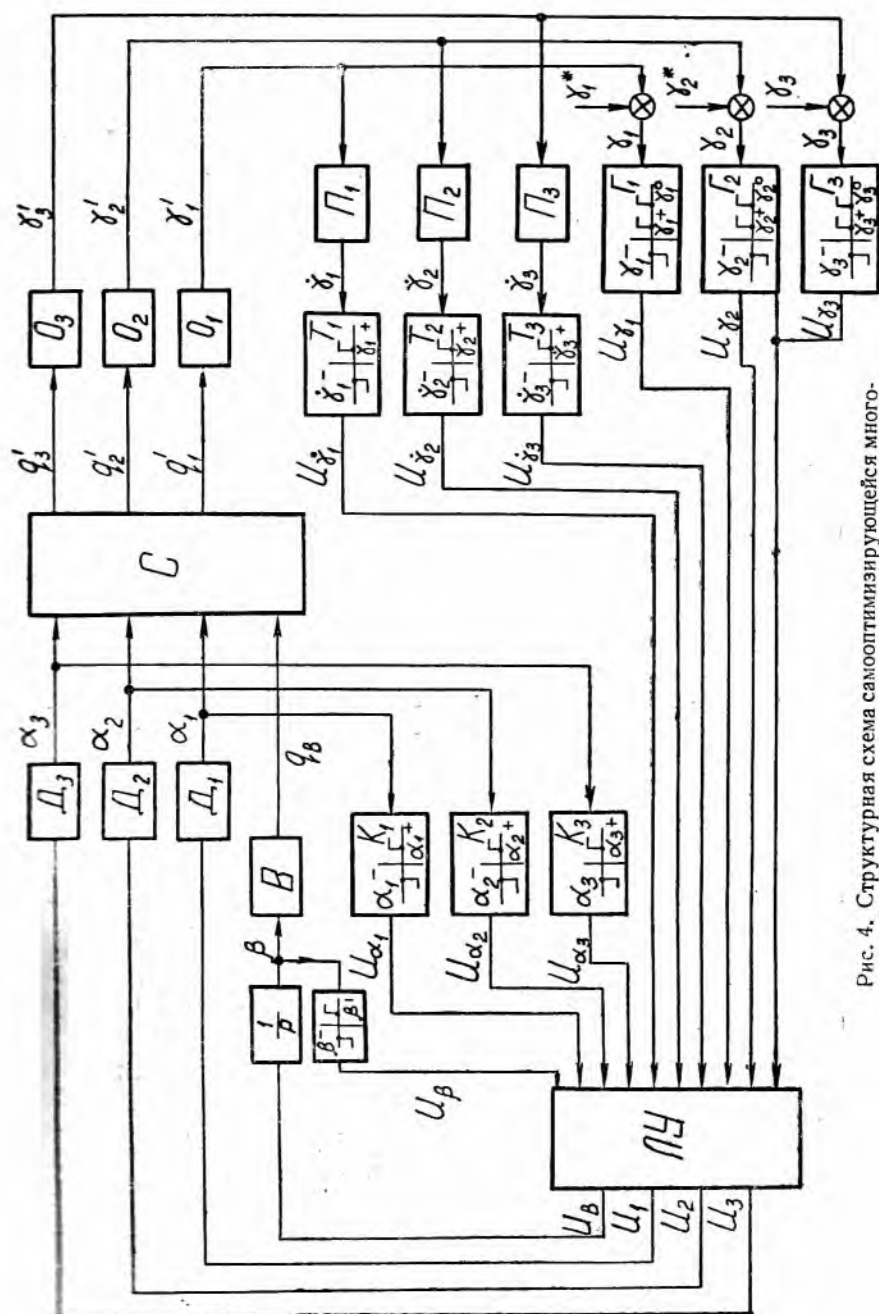


Рис. 4. Структурная схема самооптимизирующейся много-
связной системы с логическим устройством при регулиро-
вании по производной и отклонению концентрации метана

пользованием ЛУ, сигнал производной отклонения концентрации метана от расчетного значения должен иметь релейную характеристику, что облегчает построение логической функции с учетом этого сигнала.

В связи с изложенным, схема системы на рис. 4 отличается от схемы на рис. 2 следующими элементами:

— наличием множества T трехпозиционных релейных датчиков скорости изменения концентрации метана $T_i \in T$ вместо релейного датчика P обратной связи по отклонению дебита воздуха q_i ;

— наличием множества Π дифференцирующих контуров, $\Pi_i \in \Pi$;

— введением интеграла и конечных контактов, ограничивающих диапазон (β) увеличения (β^+) и уменьшения (β^-) производительности вентилятора для обеспечения требуемой логической функции ЛУ.

Требования к логической функции ЛУ с учетом рассмотренных выше особенностей схемы (рис. 4) формулируются в виде системы логических уравнений часть которых совпадает с уравнениями (1) — (5); а остальные (учитывающие указанную специфику) имеют следующий вид:

$$1. \quad 0 \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\dot{\gamma}_i > \dot{\gamma}_i^+, \gamma_i^+ > \gamma_i > \gamma_i^-) \wedge \sum_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \rightarrow \\ \rightarrow \sum_{D_i \in D} (U_i = U_i^+); \quad (16)$$

$$0 \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\dot{\gamma}_i \leq \dot{\gamma}_i^-, \gamma_i^+ > \gamma_i > \gamma_i^-) \wedge \prod_{O_j \in O} (\gamma_j < \gamma_j^+) \wedge \\ \wedge \sum_{D_i \in D} (\alpha_i > \alpha_i^-) \rightarrow \sum_{D_i \in D} (U_i = U_i^-); \quad (17)$$

$$2. \quad 0 \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\dot{\gamma}_i > \dot{\gamma}_i^+, \gamma_i \leq \gamma_i^-) \wedge \prod_{O_j \in O} (\gamma_j < \gamma_j^+) \wedge \sum_{D_i \in D} (\alpha_i > \alpha_i^-) \rightarrow \\ \rightarrow \sum_{D_i \in D} (U_i = U_i^-); \quad (18)$$

$$0 \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\dot{\gamma}_i \leq \dot{\gamma}_i^-, \gamma_i^0 > \gamma_i \geq \gamma_i^+) \wedge \sum_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \rightarrow \\ \rightarrow \sum_{D_i \in D} (U_i = U_i^+); \quad (19)$$

$$3. \quad 0 \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\gamma_i \geq \gamma_i^0) \wedge \sum_B (\beta < \beta^+) \rightarrow \sum_B (U_B = U_B^+) \wedge \left[\prod_{D_i \in D} (U_i = U_i^+) \wedge \prod_{D_j \in D} (U_j = U_j^+) \equiv \sum_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \wedge \sum_{D_j \in D} (\alpha_j < \alpha_j^+) \right]; \quad (20)$$

$$0 \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\gamma_i \geq \gamma_i^0) \wedge \sum_B (\beta \geq \beta^+) \rightarrow \sum_B (U_B = 0); \quad (21)$$

$$0 \neq \emptyset \wedge \prod_{O_i \in O} (\gamma_i \leq \gamma_i^-) \wedge \prod_{O_j \in O} (\gamma_j \leq \gamma_j^-) \wedge \sum_B (\beta > \beta^-) \rightarrow \\ \rightarrow \sum_B (U_B = U_B^-) \wedge \left[\prod_{D_i \in D} (U_i = U_i^+) \wedge \prod_{D_j \in D} (U_j = U_j^+) \equiv \sum_{D_i \in D} (\alpha_i < \alpha_i^+) \wedge \sum_{D_j \in D} (\alpha_j < \alpha_j^+) \right]; \quad (22)$$

$$0 \neq \emptyset \wedge \prod_{O_i \in O} (\gamma_i \leq \gamma_i^-) \wedge \prod_{O_j \in O} (\gamma_j \leq \gamma_j^-) \wedge \sum_B (\beta \leq \beta^-) \rightarrow \\ \rightarrow \sum_B (U_B = 0); \quad (23)$$

$$O \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\gamma_i \geq \gamma_i^+, \gamma_i^0 > \gamma_i > \gamma_i^-) \wedge \sum_{D_i \in D} (\alpha_i \geq \alpha_i^+) \wedge \bigwedge_{D_j \in D} (\alpha_j \geq \alpha_j^+) \wedge \sum_B (\beta < \beta^+) \rightarrow \sum_B (U_B = U_B^+); \quad (24)$$

$$O \neq \emptyset \wedge \sum_{O_i \in O} (\gamma_i \leq \gamma_i^-, \gamma_i < \gamma_i^-) \wedge \bigwedge_{O_j \in O} (\gamma_j < \gamma_j^+) \wedge \bigwedge_{D_i \in D} (\alpha_i \leq \alpha_i^-) \wedge \bigwedge_{D_j \in D} (\alpha_j \leq \alpha_j^-) \wedge \sum_B (\beta > \beta^-) \rightarrow \sum_B (U_B = U_B^-). \quad (25)$$

Логическая функция ЛУ, удовлетворяющая требованиям (1) — (5) и (16) — (25), описывается следующей системой логических уравнений:

$$U_i^+ = \bigcap_{j=1}^m \left(\alpha_i^+ \wedge \bigcap_{j=1}^{ik} \alpha_j^+ \right) \wedge \left[\bigcap_{i=1}^n (\overline{\gamma_i^+} \wedge \overline{\gamma_i^-}) \vee \bigcup_{i=1}^n \gamma_i^0 \vee \bigvee_{i=1}^n \gamma_i^- \right] \vee \gamma_i^+ \wedge \overline{\alpha_i^+} \vee \overline{\alpha_i^+} \wedge \bigcup_{j=1}^{ik} (\gamma_j^+ \wedge \alpha_j^+) \vee \gamma_i^+ \wedge \overline{\gamma_i^-}; \quad (26)$$

$$U_i^- = \gamma_i^- \wedge \overline{\alpha_i^-} \wedge \overline{U_i^+} \wedge \bigcap_{j=1}^{ik} \overline{\gamma_j^+} \vee \gamma_i^- \wedge \overline{\gamma_i^+}; \quad (27)$$

$$U_i = 0 = \overline{U_i^+} \wedge \overline{U_i^-}; \quad (28)$$

$$U_B^+ = \overline{\beta^+} \wedge \bigcup_{i=1}^n \gamma_i^0 \vee \overline{\beta^+} \wedge \bigcup_{i=1}^n (\gamma_i^+ \wedge \gamma_i^- \wedge \alpha_i^+ \wedge \bigcap_{j=1}^{ik} \alpha_j^+) \quad (29)$$

$$U_B^- = \overline{\beta^-} \wedge \bigcap_{i=1}^n \gamma_i^- \vee \overline{\beta^-} \vee \bigcap_{i=1}^n (\gamma_i^- \wedge \gamma_i^+ \wedge \alpha_i^-) \wedge \bigcap_{i=1}^n \overline{\gamma_i^+} \quad (30)$$

$$U_B = 0 = \overline{U_B^+} \wedge \overline{U_B^-}. \quad (31)$$

ВЫВОДЫ

Рассмотренный принцип построения системы автоматического управления проветриванием шахты дает возможность обеспечить оптимальное расходу мощности на проветривание управление состоянием рудничной атмосферы при помощи простейшего логического устройства; значительно упрощает систему и повышает ее надежность по сравнению с вычислительными самонастраивающимися системами, содержащими УВМ.

Такого рода системы, вследствие их простоты и экономичности, могут найти широкое практическое применение.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Волков. Постановка задач оптимального управления проветриванием шахт. В кн. «Механизация и автоматизация проветривания шахт», под ред. акад. АН УССР А. Н. Щербана. Гостехиздат, Киев, 1965.
2. А. А. Волков, А. Г. Евдокимов. Алгоритмы оптимального управления распределением воздуха в шахтных вентиляционных сетях. ГосНИТИ, № 5—65—328/8, 1965.
3. А. А. Волков, А. Г. Евдокимов. Математическое описание и дискретное моделирование на ЭВМ установившихся процессов потокораспределения в гидравлических сетях. ГосНИТИ, № 5—64—1130/31, М., 1964.
4. Е. Слупецкий, Л. Борковский. Элементы математической логики и множеств. Изд-во «Прогресс», М., 1965.