

К ВОПРОСУ ВЫБОРА КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СОСТОЯНИЕМ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ДОБЫЧНЫХ УЧАСТКОВ ШАХТ

И. Ф. Еременко, Ю. И. Ларионов

Х а р ь к о в

Характерной особенностью построения современных систем автоматического управления является стремление оптимизировать процессы управления. Постановке и решению задачи синтеза оптимальных автоматических систем предшествует получение математических моделей управляемых объектов и формулировка критерия оптимальности или цели управления.

Статистический анализ объектов проветривания и исследование на его основе их динамических характеристик позволяет утверждать [1], что наиболее общим уравнением линейной модели объекта проветривания является дифференциальное уравнение вида

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + x = b_2 \frac{d^2\sigma}{dt^2} + b_1 \frac{d\sigma}{dt} + b_0\sigma, \quad (1)$$

где x — относительное отклонение концентрации метана;

σ — относительное отклонение дебита воздуха;

β, b_0, b_1, b_2 — постоянные коэффициенты.

Как отмечают многие исследователи, на практике часто встречаются добычные участки, где ступенчатое увеличение дебита воздуха приводит в первый момент времени к «всплеску» концентрации метана в исходящей струе. Такие добычные участки относятся к классу неминимально-фазовых объектов управления и описываются уравнением (1) при следующих значениях постоянных коэффициентов:

$$\beta > 0; \quad b_2 = 0; \quad b_1 > 0; \quad b_0 < 0.$$

В пространстве фазовых координат этому уравнению соответствует система уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= -x_1 - \beta x_2 + b_0 x_3 + b_1 u; \\ \dot{x}_3 &= u, \end{aligned} \quad (2)$$

где $x_1 \equiv x, x_2, x_3 \equiv \sigma$ — фазовые координаты;

$u = \frac{d\sigma}{dt}$ — управляющий параметр.

Естественными требованиями, предъявляемыми к переходному газодинамическому процессу на добычном участке, где в качестве регулируемой величины принимается концентрация метана, являются:

1) ограниченность максимального отклонения концентрации метана в пределах норм Правил безопасности;

2) минимальное время переходного процесса.

Однако такой критерий оптимальности переходных процессов не аналитичен. Поэтому в настоящее время при синтезе оптимальной системы управления проветриванием в качестве оптимизирующих, как правило, используют функционал вида

$$I = \int_0^{\infty} \left(\sum_i c_i x_i^2 \right) dt, \quad u \in U \quad (3)$$

или рассматривают системы, оптимальные по быстродействию.

В случае использования функционалов (3) задача синтеза оптимальной системы становится практически полезной лишь при таком выборе весовых коэффициентов c_i , которые обеспечивают переходные процессы, удовлетворяющие хотя бы приближенно п. 1 и п. 2 приведенных выше требований. Однако выбор коэффициентов c_i в этом случае сопряжен с серьезными математическими трудностями [2].

Чтобы иметь возможность судить об области применения критерия быстродействия при оптимизации системы управления неминимально-фазовым объектом (2), рассмотрим в ней переходные процессы.

Движение объекта будем рассматривать в замкнутой области фазового пространства, определяемой вблизи границ неравенствами

$$\begin{aligned} g_1(x_3) &= x_3 - x_{3\max} \leq 0; \\ g_2(x_3) &= -x_3 - x_{3\min} \leq 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Для описания движения замкнутой системы к уравнениям (2) необходимо добавить уравнения ошибок ϵ_1 и ϵ_2 и выражение закона управления σ . Эти соотношения имеют вид

$$\epsilon_1 = x_1 + f_i(t) - x_1^*; \quad (5)$$

$$\epsilon_2 = x_2 - x_2^*; \quad (6)$$

$$\sigma = F(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3). \quad (7)$$

Отметим, что если вектор (x_1^*, x_2^*) программных движений концентрации метана и ее скорости остается постоянным и тождественно равным нулю (режим стабилизации), то программное движение x_3^* координаты x_3 меняется в зависимости от нагрузки $f_i(t)$ — изменения концентрации метана, вызванного работой добычного механизма на i -ой скорости подачи.

Можно считать, что $f_i(t)$ не зависит в некотором диапазоне от режима проветривания, т. е. кривые, отвечающие статическим характеристикам объекта проветривания при остановленном и работающем добычном механизме, получены в этом диапазоне простым сдвигом по оси ординат на величину $f_i(t)$.

Тогда имеем

$$x_3^* = -\frac{f_i(t)}{b_0}. \quad (8)$$

В установившемся режиме должно выполняться условие

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = 0. \quad (9)$$

Допустимым в данном случае будем считать возмущения $f_i(t)$, удовлетворяющие условиям

$$-\frac{f_i(t)}{b_0} < x_{3\max}, \quad \frac{f_i(t)}{b_0} > x_{3\min}. \quad (10)$$

Объединяя формулы (2), (5) и (6), получим следующие уравнения движения разомкнутой системы:

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_1 &= \varepsilon_2; \\ \dot{\varepsilon}_2 &= -\varepsilon_1 - \beta\varepsilon_2 + b_0\varepsilon_3 + b_1u; \\ \dot{\varepsilon}_3 &= u.\end{aligned}\quad (11)$$

Следовательно, фазовое пространство системы при обработке допустимых воздействий оказывается стационарным, так как фазовые траектории не деформируются при изменении величины возмущения $f_i(t)$.

Для объекта, параметры которого получены в результате обработки экспериментальных данных работы [3] ($\beta = 2,7$; $b_0 = -1,97$; $b_1 = 6,2$) методом фазового пространства, найдено оптимальное управление $u(t)$ и функции $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$, $\varepsilon_3(t)$, удовлетворяющие следующим условиям: $\varepsilon_1(0) = 0,15$; $\varepsilon_2(0) = 0,5$; $\varepsilon_3(0) = 0$ и $|u| \leq 0,16$. Кривые приведены на рис. 1.

Оптимальное управление имеет три интервала постоянства знака:

- | | |
|------------------------|---------------|
| 1. $0 < t < 0,95$; | $u = +0,16$; |
| 2. $0,95 < t < 2,50$; | $u = -0,16$; |
| 3. $2,50 < t < 3,20$; | $u = +0,16$. |

В переходном процессе максимальная ошибка $\varepsilon_{1\max} = +0,43$; она превышает предельно допустимую по правилам безопасности величину $\varepsilon_{1\text{доп}} = +0,33$, что соответствует 1% концентрации метана.

Для сравнения на рисунке приведен переходный процесс в той же, но не управляемой системе (кривая $\varepsilon_{1н}$). Время практически полного затухания переходного процесса при свободном движении втрое больше, чем в оптимальной системе, однако максимальное отклонение $\varepsilon_{1\max} = 0,25$, что не влечет за собой прекращения работ в лаге.

Как видно из рисунка, максимальное отклонение $\varepsilon_{3\max} = 0,15$. Такой дополнительный дебит воздуха обычно лежит в пределах технических возможностей системы проветривания.

При больших величинах допустимого управляющего воздействия оптимальные траектории на некоторых интервалах времени могут принадлежать границам области G , определяемым формулой (4) при знаках равенства.

Рассмотрим пример, когда движение разомкнутой системы описывается уравнениями, полученными в результате обработки экспериментальных данных [4],

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_1 &= \varepsilon_2; \\ \dot{\varepsilon}_2 &= -\varepsilon_1 - 2,36\varepsilon_2 - 1,36\varepsilon_3 + 5,77u; \\ \dot{\varepsilon}_3 &= u.\end{aligned}\quad (12)$$

Пусть $\varepsilon_1(0) = 0,2$; $\varepsilon_2(0) = 0$; $\varepsilon_3(0) = 0$; $|u| \leq 1$. Для получения зависимостей, определяющих $u(t)$, можно воспользоваться методом стыкования фазовых траекторий, предложенным в работе [5]. Оптимальные переходные процессы показаны на рис. 2. Максимальное отклонение $\varepsilon_{1\max}$ в переходном режиме равно $+0,50$ и превышает величину, предельно допустимую по Правилам безопасности.

Приведенные примеры позволяют сделать вывод, что переходные процессы в системе, оптимальной по быстродействию при соизмеримых величинах b_0 и b_1 , сопровождаются значительными «всплесками» концентрации метана. Это, в свою очередь, приводит к неоправданным остановкам добычных механизмов.

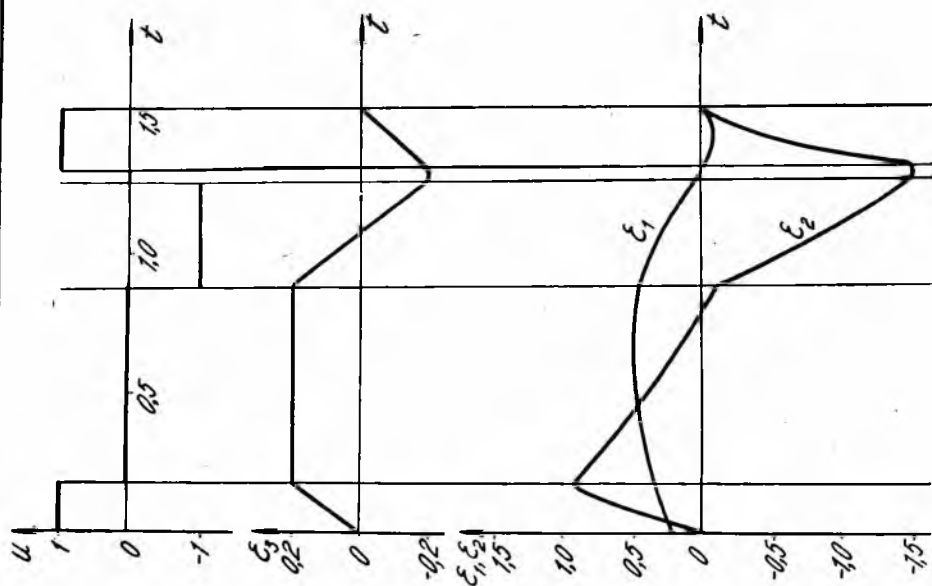


Рис. 2.

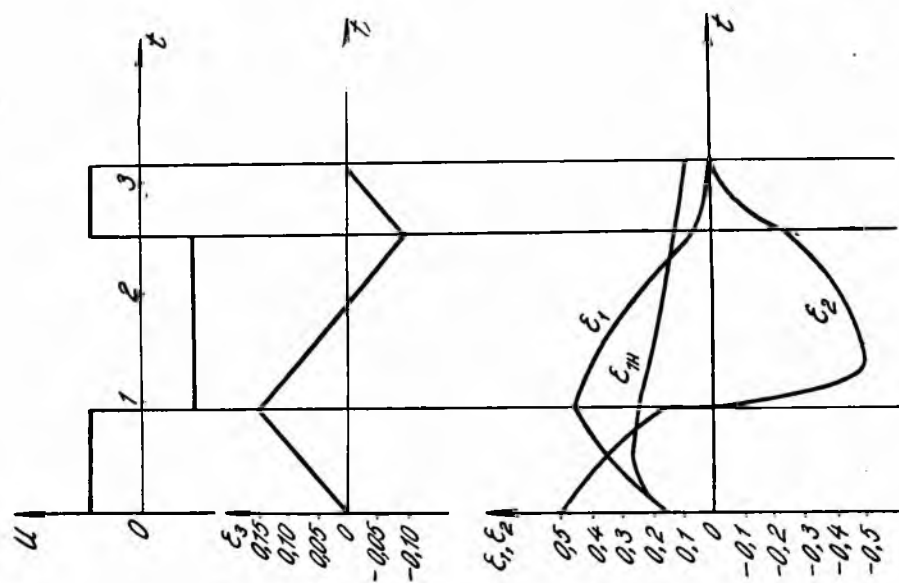


Рис. 1.

Таким образом, применение критерия быстрогодействия для оптимизации системы управления добычного участка (2) нецелесообразно и такой критерий скорее может быть предложен при ликвидации аварийных отклонений концентрации метана.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Белогуров. Идентификация объектов проветривания шахт. Автореф. канд. дисс. Харьков, 1967.
 2. А. М. Летов. Выбор оптимизирующего функционала в проблеме аналитического конструирования. Сб. «Оптимальные системы». Изд-во «Наука», 1967.
 3. И. М. Местер. Некоторые вопросы автоматизации и телемеханизации шахтного вентиляционного комплекса. Сб. «Автоматизация проветривания шахт». Изд-во «Недра», 1965.
 4. И. П. Игнатенко. Влияние вентиляционного режима на газовыделение на участках. Сб. «Автоматизация проветривания шахт». Изд-во «Недра», 1965.
 5. Ю. Г. Антамонов. Автоматическое управление с применением вычислительных машин. Судпромгиз, Л., 1962.
-