

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕДУКЦИОННО-ОХЛАДИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЭЦ

Редукционно-охладительные установки (РОУ) являются одними из объектов ТЭЦ Донбасса, требующих модернизации систем управления с использованием современных цифровых средств автоматизации. РОУ служат для редуцирования (понижения) давления острого пара и уменьшения его температуры до значений, требуемых потребителями пара, идущего на промышленные отборы и на собственные нужды ТЭЦ.

Для синтеза систем управления РОУ необходимо математическое описание протекающих в них динамических процессов.

Рассмотрим редуцирующую часть РОУ (рис. 1).

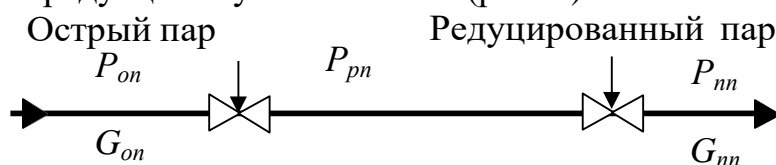


Рисунок 1 – Условная схема редуцирующей части РОУ

Уравнение материального баланса РОУ:

$$\frac{dm}{dt} = G_{on} - G_{pn}, \quad (1)$$

где G_{on} – массовый расход острого пара на входе РОУ, кг/с;
 G_{pn} – массовый расход редуцированного пара на выходе РОУ, кг/с;
 m – масса водяного пара в камере понижения давления РОУ.
 Уравнение (1) может быть преобразовано к виду:

$$V \frac{d\rho}{dt} = G_{on} - G_{pn}, \quad (2)$$

где V - объем водяного пара в камере понижения давления РОУ, м³,
 ρ - плотность водяного пара, кг/м³;
 С использованием уравнения состояния газа, получаем:

$$\frac{V}{RT} \frac{dP}{dt} = G_{on} - G_{pn} \dots \quad (3)$$

где P - давление газообразной среды, Па;
 T - абсолютная температура среды, °К;
 R - универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/моль·К;
 Массовый расход через регулирующийся входной клапан равен:

$$G_{on} = \mu_{pk} S_{pk} K_a \sqrt{\frac{P_{on} (P_{on} - P_{pn})}{RT}}, \quad (4)$$

где μ_{pk} - коэффициент расхода;
 S_{pk} - площадь проходного сечения регулирующего клапана, м²;
 P_{on}, P_{pn} - давление водяного пара до и после регулирующего клапана, Па;
 K_a - коэффициент, определяемый по формуле:

$$K_a = \sqrt{K \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K+1}{K-1}}}, \quad (5)$$

где K - коэффициент адиабаты перегретого водяного пара.
 Соответственно, уравнение, описывающее процессы в выходном возмущающем клапане имеет вид:

$$G_{pn} = \mu_{vk} S_{vk} K_a \sqrt{\frac{P_{pn} (P_{pn} - P_{nn})}{RT}}, \quad (6)$$

где μ_{vk} - коэффициент расхода выходного возмущающего клапана;
 S_{vk} - площадь проходного сечения выходного возмущающего клапана, м²;
 P_{pn}, P_{nn} - давление водяного пара до и после выходного клапана, Па.
 С учетом соотношений (4) и (6) уравнение (3) примет вид:

$$\frac{V}{RT} \frac{dP}{dt} = \mu_{pk} S_{pk} K_a \sqrt{\frac{P_{on} (P_{on} - P_{pn})}{RT}} - \mu_{vk} S_{vk} K_a \sqrt{\frac{P_{pn} (P_{pn} - P_{nn})}{RT}}. \quad (7)$$

Обозначим установившиеся значения переменных $P_{on}, P_{pn}, P_{nn}, S_{pk}, S_{vk}$ через $P_{on0}, P_{pn0}, P_{nn0}, S_{pk0}, S_{vk0}$.

Соответственно, величины $P_{on}, P_{pn}, P_{nn}, S_{pk}, S_{vk}$ выражаются через их установившиеся значения и приращения следующими соотношениями:

$$P_{on} = P_{on0} + \Delta P_{on}; P_{pn} = P_{pn0} + \Delta P_{pn}; P_{nn} = P_{nn0} + \Delta P_{nn}; S_{pk} = S_{pk0} + \Delta S_{pk}; S_{vk} = S_{vk0} + \Delta S_{vk}; \quad (8)$$

После линеаризации (7) разложением в ряд Тейлора:

$$\frac{V \cdot P_{pn0}}{G_{pk} RT} \cdot \frac{d\left(\frac{\Delta P_{pn}}{P_{pn0}}\right)}{dt} + \frac{P_{on0}(2P_{pn0} - P_{mn0}) - P_{pn0}^2}{(2P_{on0} - P_{pn0})(P_{pn0} - P_{mn0})} \cdot \frac{\Delta P_{pn}}{P_{pn0}} = \frac{\Delta S_{pk}}{S_{pk0}} - \frac{\Delta S_{ek}}{S_{ek0}} + \frac{(2P_{on0} - P_{pn0}) \Delta P_{on}}{2(P_{on0} - P_{pn0}) P_{on0}} + \frac{P}{2(P_{pn0} - P_{mn0})} \cdot \frac{\Delta P_{mn}}{P_{mn0}} \quad (9)$$

Введем следующие обозначения:

$$T_{\delta} = \frac{V \cdot P_{pn0}}{G_{pk} RT}; y(t) = \frac{\Delta P_{pn}}{P_{pn0}}; f_1(t) = \frac{\Delta S_{ek}}{S_{ek0}}; f_2(t) = \frac{\Delta P_{on}}{P_{on0}}; f_3(t) = \frac{\Delta P_{mn}}{P_{mn0}}; u(t) = \frac{\Delta S_{pk}}{S_{pk0}}; K_1 = \frac{P_{on0}(2P_{pn0} - P_{mn0}) - P_{pn0}^2}{2(P_{on0} - P_{pn0})(P_{pn0} - P_{mn0})}; K_2 = \frac{(2P_{on0} - P_{pn0})}{2(P_{on0} - P_{pn0})}; K_3 = \frac{P}{2(P_{pn0} - P_{mn0})} \quad (10)$$

С учетом соотношений (10) уравнение (9) имеет вид:

$$T_{\delta} \frac{dy(t)}{dt} + K_1 y(t) = u(t) - f_1(t) + K_2 f_2(t) + K_3 f_3(t) \quad (11)$$

После преобразования по Лапласу:

$$(T_{\delta} s + K_1) y(s) = u(s) - f_1(s) + K_2 f_2(s) + K_3 f_3(s) \quad (12)$$

где s - оператор Лапласа.

При расчете передаточных функций (ПФ) необходимо принять в расчет динамические характеристики регулирующего и возмущающего клапанов. Упрощенно ПФ регулирующего клапана можно представить как апериодическое звено 1-го порядка:

$$W_{pk}(s) = \frac{1}{T_{pk} s + 1} \quad (13)$$

где T_{pk} - постоянная времени регулирующего клапана, с.

Соответственно, ПФ возмущающего клапана:

$$W_{ek}(s) = \frac{1}{T_{ek} s + 1} \quad (14)$$

где T_{ek} - постоянная времени возмущающего клапана, с.

Из уравнений (12) - (14) получаем передаточные функции объекта.

ПФ по каналу управления:

$$W_1(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1}{T_{pk} s + 1} \cdot \frac{1/K_1}{T_{\delta} / K_1 s + 1} \quad (15)$$

По каналу возмущения «площадь проходного сечения выходного возмущающего клапана \Rightarrow давление редуцированного пара»:

$$W_2(s) = \frac{y(s)}{f_1(s)} = \frac{1}{T_{ek} s + 1} \cdot \frac{-1/K_1}{T_{\delta} / K_1 s + 1} \quad (16)$$

По каналу возмущения «давление острого пара \Rightarrow давление редуцированного пара»:

$$W_3(s) = \frac{y(s)}{f_2(s)(s)} = \frac{K_2 / K_1}{T_\delta / K_1 s + 1} \quad (17)$$

По каналу возмущения «давление пара на стороне потребителя \Rightarrow давление редуцированного пара»:

$$W_4(s) = \frac{y(s)}{f_3(s)} = \frac{1}{T_{\text{ок}} s + 1} \cdot \frac{K_3 / K_1}{T_\delta / K_1 s + 1} \quad (18)$$

Таким образом, получена математическая модель динамических процессов в РОУ в виде ПФ по каналам управления и возмущения.

Список используемых источников:

1. Демченко, В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС / В.А. Демченко. – Одесса: Астропринт, 2001. – 304 с.
2. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А.А. Иванов. - Москва: ФОРУМ, 2011. – 224 с.

**Чернышев Н.Н., к.т.н., доцент,
Зубин В.И., магистрант**