

КОРРЕКЦИЯ КАНАЛА РАЗРЕЖЕНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДНОЙ В КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Сапогова А.М.¹, Курганов В.В.²

¹ НИ ТПУ, г. Томск (студент гр. 8Т12 ОАР, ИШИТР), e-mail: ams46@tpu.ru

² НИ ТПУ, г. Томск (к.т.н., доцент ОАР, ИШИТР), e-mail: kurganov@tpu.ru

Аннотация

В докладе рассматривается метод коррекции разрежения воздуха в топке котельной установке с коррекцией по производные давления воздуха. Выполнено моделирование резкого увеличения подачи воздуха для анализа динамики системы, с целью минимизации времени положительного разрежения, повышение точности регулирования и снижение риска аварийных ситуаций в процессе горения.

Ключевые слова: производная, канал регулирования, котельная установка, моделирование, система управления, коррекция разрежения, каскадные регуляторы.

Введение

В современных системах автоматического управления особое внимание уделяется обеспечению стабильности и точности регулирования технологических процессов. Эффективность таких систем во многом зависит от правильного выбора методов регулирования, позволяющих учитывать динамические характеристики управляемого объекта. Одним из ключевых инструментов для управления сложными динамическими объектами являются каскадные регуляторы [1], которые обеспечивают более точное и устойчивое регулирование за счет взаимодействия нескольких контуров управления.

Котельные установки представляют собой сложные объекты автоматизированного управления, в которых все параметры, характеризующие их работу взаимосвязаны через объект (температура, давление топлива и воздуха, разрежение в топке). Особую роль в процессе нормального горения играет разрежение, которое обеспечивает удаление продуктов горения в дымовую трубу. Его чрезмерное снижение может привести к срыву пламени, а переход в положительную область – к обратному потоку дымовых газов, что создает угрозу безопасности персонала и снижает эффективность работы котла. Кроме того, колебания разрежения могут приводить к неравномерному распределению воздушно-газовой смеси, что отрицательно сказывается на процессе горения и увеличивает выбросы вредных веществ.

Давление воздуха и разрежение связаны через процессы горения, подачи воздуха и удаления продуктов сгорания. Разрежение создается тягой в дымоходе или работой дымососов, обеспечивая движение газов из топки в газоход. Давление воздуха, подаваемого в топку вентиляторами, определяет интенсивность горения и распределение температур. Баланс между давлением воздуха и разрежением критичен: при недостаточном разрежении ухудшается удаление дымовых газов, а при избыточном – возрастает подсос холодного воздуха, снижая КПД котла. Оптимальное соотношение этих параметров обеспечивает устойчивое горение, эффективную передачу тепла и минимальные выбросы.

Для повышения эффективности работы регулятора разрежения в данной работе предложено ввести в него коррекцию по производной давления воздуха, что позволит снизить негативное влияние изменения давления воздуха на разрежение. Коррекция по производной исключает влияние давления воздуха на работу регулятора разрежения в стационарном режиме. Величину коррекции предлагается варьировать с помощью коэффициента усиления. Критериями выбора оптимального коэффициента являются классические показатели качества: перерегулирование и время регулирования. Но особое место в работе регулятора разрежения занимает время нахождения разрежения в положительной области, которое связано с системой безопасности установки. Предложенный подход к регулированию

разрежения с коррекцией по производной давления воздуха позволит повысить эффективность системы управления и снизить риск возникновения аварийных ситуаций.

Цель работы заключается в ограничении нахождения разрежения в положительной области путем оптимизации работы регулятора разрежения.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Разработать математическую модель котельной установки с учетом взаимных связей её параметров.
- Проанализировать влияние изменения давления воздуха на процесс горения.
- Предложить метод регулирования разрежения с коррекцией по производной давления воздуха.
- Провести моделирование предложенной системы регулирования и оценить ее эффективность.

Разработка модели котельной установки

Идентификация котельной установки как объекта управления была выполнена по переходным характеристикам (кривым разгона) на рисунке 1, которые были сняты на реальном объекте. Реальный объект с передаточной функцией первого порядка с запаздыванием:

$$W_O(s) = \frac{k}{Ts+1} e^{-\tau s}. \quad (1)$$

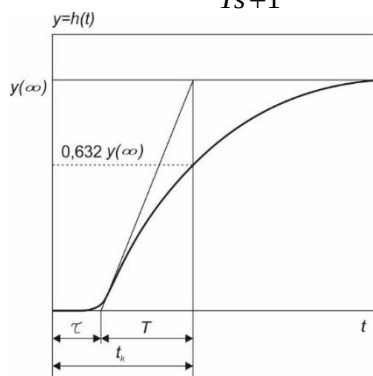


Рис. 1. График переходной характеристики реального объекта, имеющего передаточную функцию первого порядка с запаздыванием

На основе данной передаточной функции и графика были идентифицированы все каналы регулирования объекта. На рисунке 2 представлена операторно-структурная схема модели системы управления котельной установкой, созданная в среде для моделирования.

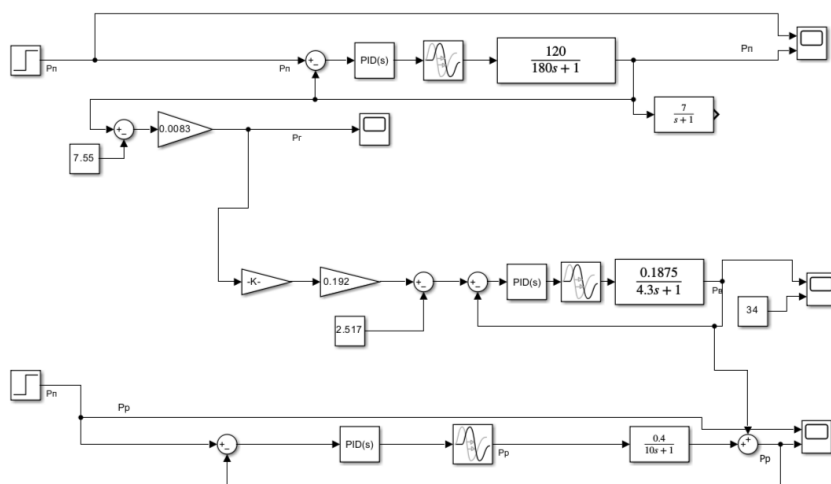


Рис. 2. Операторно-структурная схема

Влияние разрежения на процесс горения и управление котельной установкой

Разрежение [2] в топке котельной установки оказывает значительное влияние на процесс горения топлива, распределение газов и безопасность эксплуатации. Оно определяется разностью давлений между внутренней камерой топки и окружающей средой. Основное уравнение, описывающее разрежение, может быть выражено как:

$$\Delta P = P_{атм} - P_{топка}, \quad (2)$$

где ΔP – разрежение в топке.

$P_{атм}$ – атмосферное давление.

$P_{топка}$ – давление внутри топки.

Разрежение влияет на подачу воздуха и на коэффициент избытка воздуха α , который определяется соотношением

$$\alpha = \frac{L_{факт}}{L_{стех}}, \quad (3)$$

где $L_{факт}$ – фактический объём воздуха, подаваемый в зону горения.

$L_{стех}$ – стехиометрический объём воздуха, необходимый для полного сгорания топлива.

При недостаточном разрежении ($\Delta P \rightarrow 0$ или $\Delta P > 0$) возникает риск обратного потока дымовых газов, что может привести к:

- ухудшению условий горения и увеличению выбросов CO и NOx.
- попаданию выхлопных газов в рабочую зону, что представляет опасность для персонала.
- снижению эффективности теплопередачи в котле.

При чрезмерном разрежении ($\Delta P \ll 0$) увеличивается скорость потока газов через топку, что может привести к:

- неравномерному распределению воздушно-газовой смеси и ухудшению процесса горения.
- увеличению выбросов несгоревших частиц и потерь тепла с уходящими газами.
- возможному срыву пламени.

Метод коррекции разрежения с учетом производной давления воздуха

Регулятор разрежения один из ключевых регуляторов в работе котельной установки [3]. Существенные возмущения, связанные с технологией работы котельной установки, на этот регулятор воздействуют в двух случаях:

- в момент розжига.
- при изменении нагрузки.

В первом случае в момент розжига котельной установки в топке возникает большое избыточное давление за счет резкого расширения сжигаемого газа. Из-за того дымосос обладает большой инерционностью, он не успевает среагировать на изменение условий, и, как следствие, разрежение уменьшается и в какой-то момент может быть больше нуля. Это может стать причиной останова установки. Поэтому на этапе пуска, как правило, отключение котла по этой причине блокируют.

Во втором случае причиной возмущения на регулятор разрежения является изменение нагрузки парового котла (изменение расхода пара), проявляющегося в изменении давления пара. Система управления стремится компенсировать изменение давления пара изменением расхода (давления) газа (топлива) к горелкам топки котла. Давление газа связано с давлением воздуха регулятором соотношения. Таким образом изменение нагрузки является возмущением для регулятора разрежения через давление воздуха и газа.

Особенно важно учитывать скорость изменения разрежения при его переходе в положительную область и время нахождения его там. Кратковременное отклонение может привести к обратному потоку выхлопных газов и нарушению процесса горения. Длительное отклонение может привести к срабатыванию системы защиты и останову котла. В такие моменты регулятор должен активнее работать, корректируя свою уставку в обратную сторону для компенсации возникающего отклонения. После устранения возмущения разрежение должно вернуться к регламентному значению, соответствующему уставке регулятора.

Одним из возможных решений поставленной задачи является введение в регулятор разрежения коррекции по скорости изменения давления воздуха.

Рассмотрим классический ПИД-регулятор [4] и место корректирующего воздействия:

$$u(t) = k_n e(t) + k_u \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (4)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие на дымосос;

$e(t) = p_{зад} - p_{разр} - k \frac{dp_{возд}}{dt}$ – ошибка регулирования по каналу разрежения;

$k \frac{dp_{возд}}{dt}$ – коррекция по скорости изменения давления воздуха;

k_n, k_u, k_d – коэффициенты регулятора;

k – коэффициент усиления корректирующего воздействия.

Моделирование предложенного способа коррекции позволяет оценить его эффективность и возможность применения в реальных условиях эксплуатации котельных установок или подобных объектов.

Моделирование канала регулирования разрежения с учётом коррекции

Целью моделирования является оценка влияния коэффициента усиления k корректирующего воздействия на показатели качества регулирования разрежения и времени нахождения разрежения в области положительных значений.

На рисунке 3 представлена операторно-структурная схема, в которой в канал регулирования разрежения введена коррекция по производные изменения давления воздуха с соответствующим коэффициентом усиления.

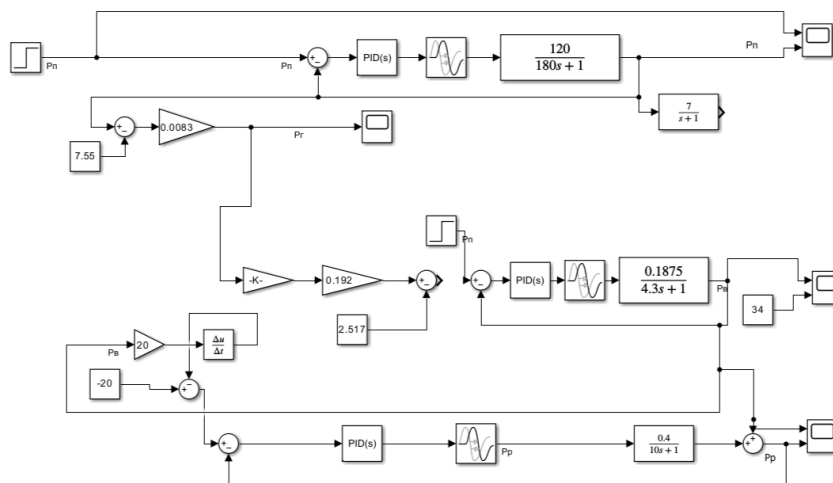


Рис. 3. Операторно-структурная схема с коррекцией разрежения по производные деления воздуха

Моделирование производится подачей ступенчатого возмущения в канал регулирования воздуха. Результаты моделирования представлены на рисунке 4, 5, 6, 7.

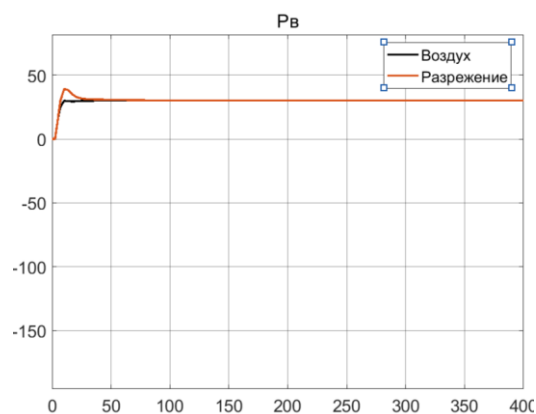


Рис. 4. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором $K=0$ (коррекция отсутствует)

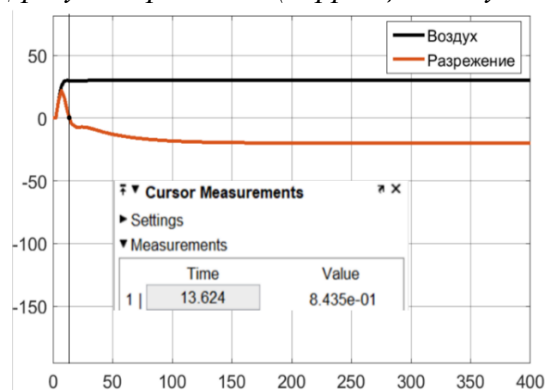


Рис. 5. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором $K=5$

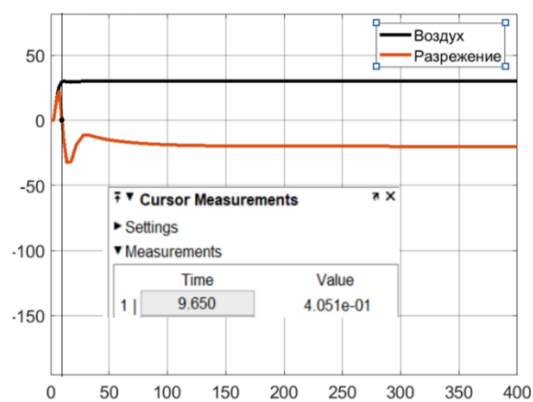


Рис. 6. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором $K=20$

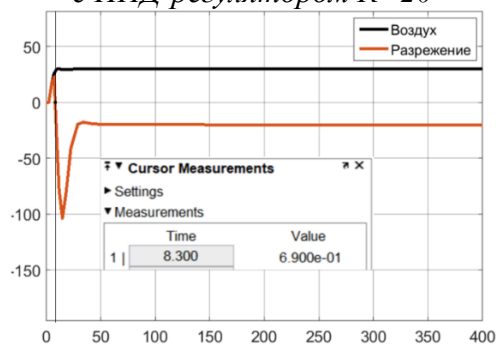


Рис. 7. Переходная характеристика системы по каналу регулирования разрежения с ПИД-регулятором $K=50$

Заключение

В ходе исследования проведен анализ влияния изменения коэффициента усиления k корректирующего воздействия на динамические характеристики системы регулирования разряжения.

Установлено, что увеличение значения коэффициента усиления приводит к сокращению времени пребывания разряжения в положительной области. Однако при чрезмерном увеличении коэффициента наблюдается значительное усиление динамического отклика системы, что выражается в резком скачке разряжения в отрицательную область.

Такой переход в минусовую зону может оказать негативное воздействие на процесс горения, вплоть до срыва пламени, что представляет собой серьезный риск для стабильности и безопасности работы системы.

На основании проведенного анализа было определено оптимальное значение коэффициента усиления, при котором достигается баланс между минимизацией времени нахождения в положительной области и предотвращением чрезмерного скачка разряжения. Данный коэффициент составляет $k = 20$, что обеспечивает эффективное управление процессом и стабильность функционирования системы.

Список использованной литературы

1. Rossiter J.A. Cascade Control: A Review of Applications and Developments // Annual Reviews in Control. – 2009. – Vol. 33, № 2 – P. 168-178.
2. Средства автоматизации. Регулирование разряжения в топке // SuperHeater: сайт. [Электронный ресурс] – URL: superheater.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=143&Itemid=14 (дата обращения: 25.03.2025)
3. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. – М. : Издательство МЭИ, 2005. – 352 с.
4. Сидорова А.А. Исследование модифицированного метода настройки промышленного ПИД-регулятора // СТТ: Труды XVIII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Томск : Изд-во ТПУ, 2012. – С. 15-16.