

УДК 621.18.05:681.536

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА**

**DEVELOPMENT OF DIGITAL SYSTEM MODEL
OF REGULATION OF A POWER COPPER SUPERHEATED
STEAM TEMPERATURE**

С.С. КУЗНЕЦОВ, Е.А. РЫЖКОВА
S.S. KUZNETSOV, E.A. RYZHKOVA

(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))
(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))
E-mail: kuznecovsergej@mail.ru

В статье предложена схема цифровой системы автоматического регулирования температуры перегретого пара энергетического котла на базе закона регулирования ПИД, приведены результаты моделирования цифровой системы.

In article the digital system scheme of automatic control of a power copper superheated steam temperature on the basis of the regulation law PID is offered, results of digital system modeling are given.

Ключевые слова: температура, пароперегреватель, динамическая характеристика объекта, передаточная функция.

Keywords: temperature, superheater, dynamic characteristics of object, transfer function.

Текстильные предприятия и объекты легкой промышленности [1] относятся к энергоемким производствам, так как в большом количестве потребляют пар, горячую и холодную воду, сжатый воздух и электроэнергию. Эффективность использования энергии во многом зависит от уровня автоматизации энергетических объектов, поэтому главной задачей управления теплоэнергетическими процессами в текстильном производстве является оптимизация

режимов производства, распределения и потребления различных видов энергоносителей при обеспечении энергоресурсосбережения. Автоматизация теплоиспользующего оборудования в текстильном производстве обеспечивает не только значительную экономию энергоресурсов, но и оптимальное протекание процессов в текстильном оборудовании.

Автоматическая система регулирования температуры перегрева пара предназначена

для поддержания заданного температурного режима [2] в паровом тракте котла. С этой целью весь паровой тракт котельного агрегата разбивается на ряд участков. На выходе каждого из них должно поддерживаться заданное значение температуры, определенное заводом-изготовителем или наладочной организацией. Для опытной проверки эффекта возрастания температуры пара в промежуточных сечениях пароперегревателя при снижении температуры пара за котлом впрыском исследован тепловой режим пароперегревателя котла ТП-87 при различных нагрузках [3], [4]. Полученные зависимости позволили определить, что температура пара на каждом участке имеет отклонение от задания порядка 20°C, что является показателем малой эффективности существующей системы регулирования. Известно, что для обеспечения надежной и экономичной работы котла и турбины отклонение температуры перегрева от номинального значения на котлах среднего и высокого давлений не должно превышать 10°C [5].

В работе [6] благодаря реализации измерительной схемы экспериментально были получены динамические характеристики пароперегревателя при различных нагрузках и предложено в качестве образцовой зависимости для проведения параметрической идентификации использовать среднеквадратическую характеристику, полученную из общего числа экспериментов. Как показали дальнейшие исследования, математическая модель объекта с передаточной функцией в виде апериодического звена первого порядка с запаздыванием не отвечает физической природе неравновесных режимов теплотехнических объектов управления.

Переходные характеристики реальных объектов управления дифференцируемы, этот факт имеет принципиальное значение при параметрическом синтезе автоматических систем регулирования (АСР) высокой динамической точности – АСР с ПИД – регуляторами. В этом случае необходимы математические модели объекта более высокого порядка. Достаточно простыми и более полно отражающими свойства реальных объектов являются модели второго и третьего порядка с запаздыванием. В связи с этим

проведен сравнительный анализ и выбран "чистый" эксперимент, реализованный при наиболее благоприятных условиях [7], [8]. В ходе проведения параметрической идентификации в среде Matlab степень совпадения исходных и моделируемых данных задана равной 95%. Спрогнозированный результат от интерполяции экспериментальных кривых кубическими сплайнами в процессе идентификации был достигнут и составил степень совпадения 98%.

Особенностью динамических характеристик пароперегревателя при любых возмущениях является наличие запаздывания изменения температуры пара при выходе из пароперегревателя после поступления возмущающего воздействия. Наиболее значительно запаздывание при возмущении теплосодержанием пара на входе в пароперегреватель. Запаздывание объясняется тем, что при снижении температуры пара первые порции охлажденного пара, поступающего в пароперегреватель, нагреваются не только за счет переданного от газов тепла, но и частично за счет тепла, аккумулированного металлом труб пароперегревателя. Время запаздывания и время разгона тем больше, чем больше толщина стенки и длина труб пароперегревателя [5]. Известно, что запаздывание отрицательно сказывается на устойчивости, точности и качестве замкнутой системы [9]. Поэтому для решения указанной проблемы предложенная в работе [10] структурная схема компенсатора Смита в цифровой системе послужила основой для синтеза модели системы регулирования температуры перегретого пара котла. Структурная схема одного из потоков представлена на рис. 1 (структурная схема модели системы регулирования температуры перегретого пара, где $G_0(s)$ – передаточная функция объекта без запаздывания; e^{ts} – передаточная функция звена запаздывания; $G_0^M(z)$ – дискретная передаточная функция объекта без запаздывания; z^{-d} – дискретная передаточная функция звена запаздывания; $R(z), R_1(z)$ – цифровой регулятор; x – желаемое поведение объекта; Saturator – ограничитель амплитуды; Step – ступенчатая переходная функция; y_0, y_1 – выходной сигнал объектов

1 и 2; y – выходной сигнал системы; u, u_1 – управляющее воздействие; e, e_1 – сигнал

ошибки; f – возмущение нагрузкой; f_1 – возмущения топочного режима; f_t – сигнал по отклонению выходной величины).

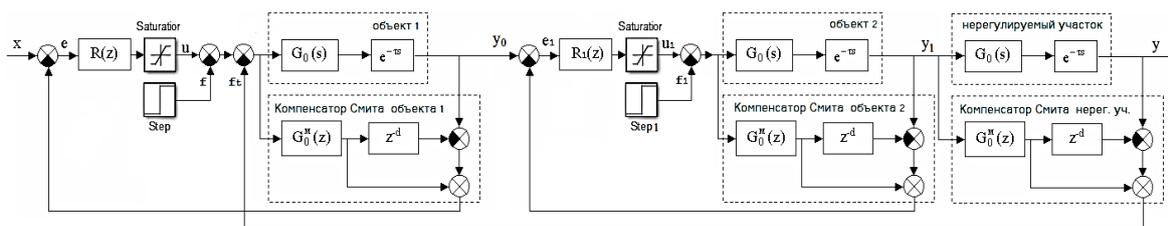


Рис. 1

Параметры ограничителя управляющих воздействий заданы от -5 до +5. Это обусловлено тем, что в реальных условиях аналого-цифровой преобразователь цифрового регулятора получает сигнал ошибки в диапазоне 0...5 мВ. Величина возмущения по нагрузке выбрана равной величине задания, причем сигнал на вход объекта подается не S-образной формы (как в реальных условиях), а в виде единичного ступенчатого воздействия, что является наиболее неблагоприятным условием для качественной работы системы регулирования.

В среде Matlab, используя интерактивный инструмент для моделирования и анализа динамических систем Simulink [11],

найлены параметры цифровых регуляторов, обеспечивающих качественное поддержание температуры пара на выходе каждого объекта регулирования и при поступлении резких отклонений по возмущению. Результаты моделирования представлены в виде графиков переходного процесса $y_0(t)$, $y_1(t)$, $y(t)$ и изменения управляющего воздействия $u(t)$, $u_1(t)$ на рис. 2, 3, 4 (рис. 2 – изменение во времени выходной и управляющей величины объекта 1; рис. 3 – изменение во времени выходной и управляющей величины объекта 2; рис. 4 – переходная характеристика системы регулирования до (1) и после введения обратной связи по выходному параметру (2)).

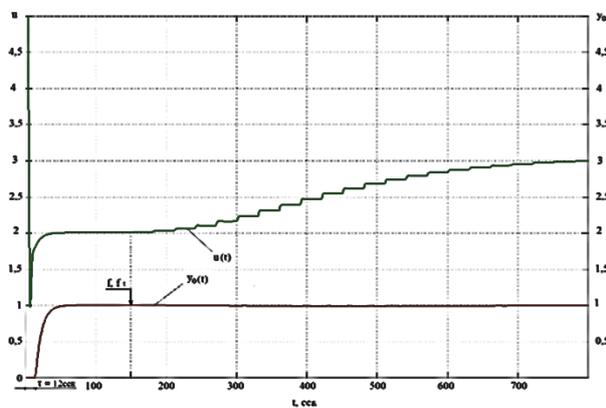


Рис. 2

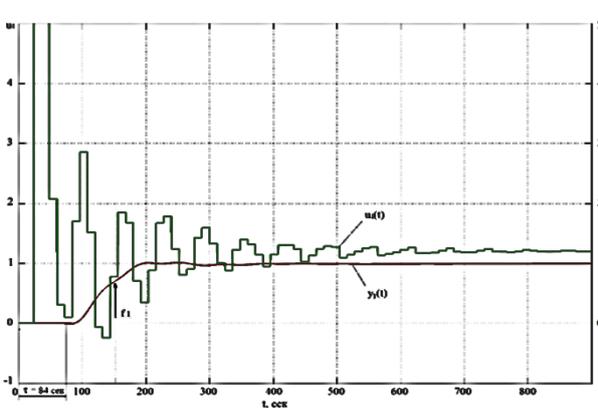


Рис. 3

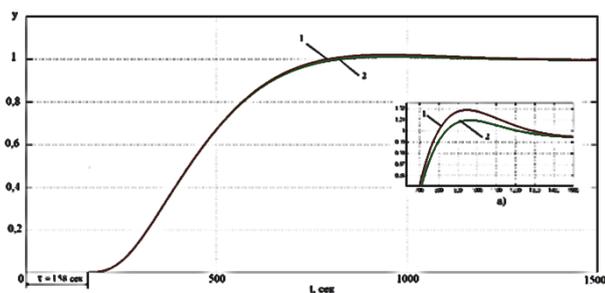


Рис. 4

Время запаздывания определено по экспериментальным данным с высокой степенью точности, так как фиксация параметров велась непрерывно с интервалом 0,5 секунд. В связи с тем, что выходной сигнал объекта управления 1 является входным для объекта управления 2 и т.д., время запаздывания выходной координаты равно сумме величин запаздывания на всех участ-

ках системы. При восстановлении дискретной передаточной функции шаг дискретизации выбирался из условия кратности времени запаздывания с использованием программного обеспечения Matlab. Эквивалентность непрерывной части объекта и дискретной модели доказана графически.

Из рис. 2 и 3 видно, что в момент приложения возмущений f , f_1 регулятор формирует сигнал управления незамедлительно, не допуская выхода параметра из 5%-ной зоны, а подача на порядок меньшего возмущения f_1 не оказывает существенного влияния на процесс управления.

Благодаря введению обратной связи по изменению выходного параметра был достигнут эффект снижения амплитуды и плавности переходной характеристики (рис. 4). Для данного технологического процесса этот факт имеет значение, так как система автоматического регулирования температуры пара должна обеспечивать поддержание температуры пара на выходе пароперегревателя в узких пределах, не допуская отклонения задания выше 5°C.

ВЫВОДЫ

Разработана модель цифровой системы регулирования температуры перегретого пара энергетического котла в среде Matlab, и найдены параметры регуляторов, позволяющие улучшить качественные показатели цифровой системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелудько А.Г., Власенко О.М., Байдова К.В. Автоматическая система регулирования скорости перемещения и натяжения ткани // Дизайн и Технологии. – МГУДТ, 2014, №42. С. 73...80.
2. Шелудько А.Г., Кочеров А.В. Оценка эффективности теплового объекта типа водообогреваемого трубчатого калорифера // Дизайн и Технологии. – МГУДТ, 2014, №39. С. 67...69.
3. Kuznetsov S.S., Sebina L.P., Rizhkova E.A. Regulating steam temperature in drum boilers by means of injection desuperheaters. Initial investigation of the controlled object // Fiber chemistry. – V. 45, №2, 2013. P.114...118.
4. Кузнецов С.С., Себина Л.П., Рыжкова Е.А. Регулирование температуры пара на барабанных котлах путем впрыскивающих пароохладителей. Начало исследования объекта управления // Химические волокна. – 2013, №2. С. 54...58.

5. Липатников Г.А., Гузев М.С. Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики. – Владивосток: Дальневосточный политехн. ин-т им. Куйбышева, 2007.

6. Кузнецов С.С., Рыжкова Е.А. Экспериментальное определение динамических характеристик пароперегревателя парового энергетического котла ТП-87 // Химические волокна. – 2014, №2. С. 60...64.

7. Kuznetsov S.S., Rizhkova E.A. Parametric identification of the reheater of a power-plant boiler in the system that controls steam temperature // Fiber chemistry. – V. 46, №5, 2015. P. 330...335.

8. Кузнецов С.С., Рыжкова Е.А. Параметрическая идентификация пароперегревателя энергетического котла в системе регулирования температуры пара // Химические волокна. – 2014, №5. С. 63...68.

9. Рей У. Методы управления технологическими процессами. – М.: Мир, 1983.

10. Карташов В.Я., Сахнин Д.Ю. Структурно-параметрическая идентификация дискретных моделей объектов с запаздыванием для настройки регуляторов Смита // Изв. Томского политехн. ун-та. – 2007, №5. Том 19...311. С. 23.

11. Самойлова Т.А., Севостьянов П.А., Ветрова О.А., Булыга В.В. Динамическая модель процесса рыхления и очистки волокнистого материала как объекта автоматического управления // Дизайн и Технологии. – МГУДТ, 2014, №40. С. 73...78.

REFERENCES

1. Sheludko A.G., Vlasenko O.M., Bajdova K.V. Avtomaticheskaya sistema regulirovaniya skorosti peremesheniya i natyazheniya tkani // Dizajn i Tehnologii. – MGUDT, 2014, №42. S. 73...80.
2. Sheludko A.G., Kocherov A.V. Ocenka effektivnosti teplovogo obekta tipa vodoobogrevaemogo trubchatogo kalorifera // Dizajn i Tehnologii. – MGUDT, 2014, №39. S. 67...69.
3. Kuznetsov S.S., Sebina L.P., Rizhkova E.A. Regulating steam temperature in drum boilers by means of injection desuperheaters. Initial investigation of the controlled object // Fiber chemistry. – V. 45, №2, 2013. P.114...118.
4. Kuznecov S.S., Sebina L.P., Ryzhkova E.A. Regulirovanie temperatury para na barabannyh kotlah putem vpryskivayushih paroohladitelej. Nachalo issledovaniya obekta upravleniya // Himicheskie volokna. – 2013, №2. S. 54...58.
5. Lipatnikov G.A., Guzev M.S. Avtomaticheskoe regulirovanie obektov teploenergetiki. – Vladivostok: Dalnevostochnyj politehn. in-t im. Kujbysheva, 2007.
6. Kuznecov S.S., Ryzhkova E.A. Eksperimentalnoe opredelenie dinamicheskikh harakteristik paroperegrevatelja parovogo energeticheskogo kotla TP-87 // Himicheskie volokna. – 2014, №2. S. 60...64.
7. Kuznetsov S.S., Rizhkova E.A. Parametric identification of the reheater of a power-plant boiler in the system that controls steam temperature // Fiber chemistry. – V. 46, №5, 2015. P. 330...335.
8. Kuznecov S.S., Ryzhkova E.A. Parametricheskaya identifikaciya paroperegrevatelja energetiches-

kogo kotla v sisteme regulirovaniya temperatury para // Himicheskie volokna. – 2014, №5. S. 63...68.

9. Rej U. Metody upravleniya tehnologicheskimi processami. – M.: Mir, 1983.

10. Kartashov V.Ya., Sahnin D.Yu. Strukturno-parametricheskaya identifikaciya diskretnyh modelej obektov s zapazdyvaniem dlya nastrojki regulyatorov Smita// Izv. Tomskogo politehn. un-ta. – 2007, №5. Tom 19...311. S. 23.

11. Samojlova T.A., Sevostyanov P.A., Vetrova O.A., Bulyga V.V. Dinamicheskaya model processa ryhleniya i ochistki voloknistogo materiala kak obekta avtomaticheskogo upravleniya // Dizajn i Tehnologii. – MGUDT, 2014, №40. S. 73...78.

Рекомендована кафедрой автоматики и промышленной электроники. Поступила 29.02.16.
