

направленный перебор вариантов как по критерию надежности канала, так и путем рассмотрения этого критерия в виде ограничения. Так, если $\lambda_{\text{отп}} = I \text{ отк/год}$, то следует признать, что рассмотренные выше характеристики среднего времени наработки на отказ элементов канала учета удовлетворяют заказчика и по критерию надежности.

Выводы

1. При создании многоканальных и многоуровневых сетей автоматизированного энергоучета разработка методики их метрологической аттестации является одной из первоочередных задач в силу высокой стоимости технических средств, синтезируемых в систему;

2. Основными подходами к проведению синтеза АСКУЭ из элементов, вносящих различные погрешности в их суммарную расчетную величину, является направленный перебор вариантов синтеза и решение оптимизационной задачи с применением неопределенных множителей Лагранжа и учетом ограничения по допустимому максимуму суммарной относительной погрешности, а также надежности по каждому измерительному каналу.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ КОТЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНОГО КОЛИЧЕСТВА ДАТЧИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Кухоренко А.Н.

НИИ ПБ И ЧС МЧС Республики Беларусь, г. Минск, РБ

Изучение работы энергоблоков тепловых электростанций в широком диапазоне изменения нагрузок и в переменных режимах (пуск, останов, резкие изменения нагрузки) в настоящее время является одной из наиболее актуальных задач развития белорусской энергосистемы в связи с вводом двух энергоблоков атомной электростанции (АЭС) суммарной мощностью 2400 МВт при установленной мощности энергосистемы на 01.01.2015 – 10035 МВт. В связи с этим актуальной становится проблема создания всережимной САР уровня воды в барабане котла.

Трехимпульсная система автоматического регулирования (САР) питания водой барабанного парогенератора, совмещающая принцип регулирования по отклонению и возмущению, получила широкое

распространение на мощных барабанных котлах [1]. При этом работа типовой трехимпульсной САР питания парогенератора характеризуется следующими недостатками:

- наличие статической ошибки регулирования в конце переходного процесса при внутреннем возмущении;
- наличие статической ошибки регулирования в конце переходного процесса при возмущении расходом перегретого пара с явлением «набухания уровня».

Кроме этого в работах [2, 3] установлено, что трехимпульсные САР уровня воды в барабане парогенератора и ее модификации из-за присущих им недостатков при глубоких изменениях нагрузки котла не в состоянии обеспечить поддержание уровня воды в пределах границ нормальной эксплуатации, что приводит к разгрузке или полной остановке энергоблока, снижает безопасность, надежность и экономичность теплоэнергетического оборудования ТЭС.

В работе [4] предложен усовершенствованный регулятор питания барабанного котла, который был испытан при пуске и эксплуатации котла типа ПК-20. Проведенные испытания показали, что он может длительно работать без импульса по расходу пара и при питании котла водой по двум параллельным трубопроводам, как раз в тех случаях, когда обычный трехимпульсный регулятор работал неудовлетворительно.

В работе [5] приведены результаты исследования инвариантной САР питания барабанного котла также с двумя импульсами (по уровню воды в барабане и по расходу питательной воды), которая существенно улучшает качество регулирования по сравнению с трехимпульсной САР питания.

Синтез одноимпульсной САР с ПИ-регулятором уровня воды в парогенераторе энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 рассмотрен в работах [6, 7] Демченко В.А. Использование одного сигнала от дифманометра-уровнемера повышает надежность системы и уменьшает ее стоимость. Однако при уменьшении нагрузки парогенератора качество регулирования ухудшается по сравнению с трехимпульсной САР питания.

В работе [8] приведены результаты исследования одноконтурной САР с ПИ и ПИД регуляторами для объекта регулирования без самовывравнивания с использованием зарубежных методов расчета оптимальных динамических настроек [9]. Причем оба регулятора

позволяют в САР питания задействовать только один импульс (по уровню воды в барабане котла). Это позволяет избавиться от недостатков трехимпульсной САР питания, но при этом увеличивается величина перерегулирования при отработке скачка задания и максимальная величина динамической ошибки регулирования при отработке внутреннего возмущения, что может привести к срабатыванию уставок технологических защит при глубоких изменениях нагрузки котла.

Системный анализ качества регулирования систем с различным количеством датчиков показал, что лучшей является двухимпульсная инвариантная САР питания водой барабанного парогенератора с уровнемером и датчиком расхода питательной воды (рис. 1)

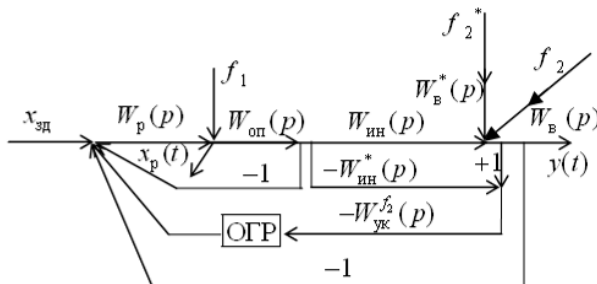


Рисунок 1

$y(t)$ – основная регулируемая величина; $x_{зд}$ – заданное значение основной регулируемой величины; $x_p(t)$ – регулирующее воздействие; f_1 – внутреннее возмущение; f_2 – внешнее (топочное) возмущение; f_2^* – внешнее возмущение (расходом перегретого пара); $W_{ук}^{f_2}(p)$ – передаточная функция устройства компенсации внешнего возмущения; $W_p(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_{оп}(p)$ – передаточная опережающего участка объекта регулирования; $W_{ин}(p)$ – передаточная функция инерционного участка объекта регулирования; $W_{ин}^*(p) = W_{ин}(p)$ – передаточная функция модели инерционного участка объекта регулирования; $W_в(p)$ –

передаточная функция топочного возмущения; $W_b^*(p)$ – передаточная функция внешнего возмущения расходом перегретого пара; ОГР – ограничитель выходного сигнала устройства компенсации внешнего возмущения.

Для определения оптимальных параметров динамической настройки системы запишем передаточную функцию оптимального регулятора:

$$W_p(p) = \frac{T_{\text{оп}} p + 1}{k_{\text{оп}} T_{\text{зд}} p}, \quad (1)$$

где $k_{\text{оп}}$ – коэффициент передачи; $T_{\text{оп}}$ – постоянная времени опережающего участка, характеризующая динамику изменения расхода питательной воды; $T_{\text{зд}}$ – заданная постоянная времени критерия оптимальности по промежуточной регулируемой величине, p – оператор Лапласа.

Произведя замену внутреннего контура САР инерционным звеном первого порядка, получим передаточную функцию САР по задающему воздействию, которую приведем к виду характеристического уравнения третьего порядка:

$$W_{y, \text{Хзд}}(p) = \frac{1}{T_1 \tau_1 T_{\text{зд}} p^3 + T_1 (T_{\text{зд}} + \tau_1) p^2 + T_1 p + 1}, \quad (2)$$

где T_1 – постоянная времени реального интегрирующего звена передаточной функции инерционного участка объекта регулирования; τ_1 – время запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Приняв по диаграмме Вышнеградского [10] соответствующие коэффициенты, равными между собой и равными трем, аналитически получим оптимальное значение постоянной времени $T_{\text{зд}}$:

$$T_{\text{зд}} = \frac{T_1^2}{27 \tau_1}. \quad (3)$$

Передаточную функцию устройства компенсации эквивалентного внешнего возмущения определяем из условия инвариантности основной регулируемой величины от изменения внешних возмущений:

$$W_{y_k}^{f_2}(p) = \frac{T_1 p}{T_{3д} p + 1} \cdot \frac{\tau_1 p + 1}{T_{3д} p + 1} \quad (4)$$

В качестве объекта регулирования выбран парогенератор БКЗ-210-140 максимальной производительностью 210 т/ч, минимальной 140 т/ч [3]. Результаты моделирования инвариантной САР в сравнении с результатами моделирования трехимпульсной САР с дифференциатором (САР с Дф) представлены на рисунке 2.

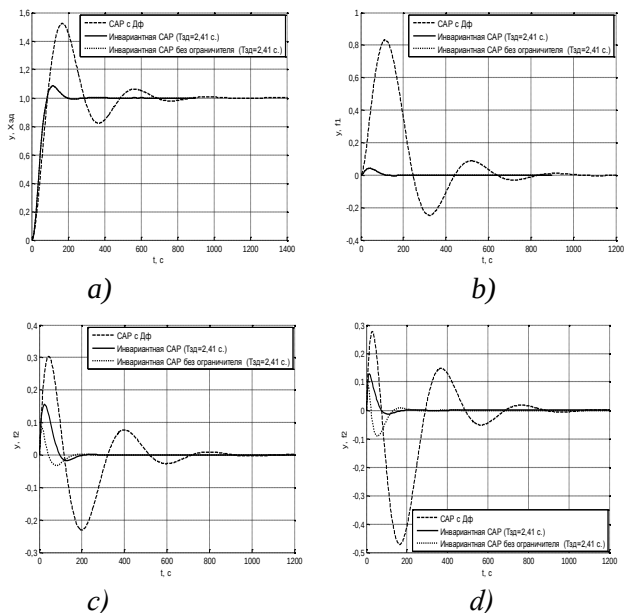


Рисунок. 2

а) отработка скачка задающего воздействия $x_{3д}$; б) отработка внутреннего возмущения f_1 ; в) отработка внешнего возмущения расходом дымовых газов f_2 ; д) отработка внешнего возмущения расходом пара f_2^* ; t – время.

Из приведенных графиков переходных процессов видно, что при основных возмущающих воздействиях время регулирования у инвариантной САР сокращается в 5 раз по сравнению с трехимпульсной САР. Величина перерегулирования при отработке скачка задания сокращается в 4,3 раза по сравнению с САР с Дф, а максималь-

ные динамические ошибки регулирования: при отработке внутреннего возмущения – в 16,4 раза; при отработке топочного возмущения – в 2 раза; при отработке возмущения расходом пара – в 2,1 раза. Величина регулирующего воздействия у трехимпульсной САР лежит в пределах от 0 до +0,75, у инвариантной САР от -0,6 до +0,56. Ограничение выходного сигнала устройства компенсации внешнего возмущения приводит к уменьшению максимальной величины регулирующего воздействия, причем время отработки внешних возмущений остается прежним. Таким образом, при всех воздействиях получено существенное улучшение качества регулирования уровня воды в барабане парогенератора.

Литература

1. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд. перераб. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
2. Кулаков, Г.Т. Математическое моделирование переходных процессов трехимпульсной системы автоматического регулирования питания водой парогенератора на сброс нагрузки / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, А.Н. Кухоренко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2014. – № 1. – С. 57–64.
3. Кулаков, Г.Т. Оптимизация переходных процессов изменения уровня воды в барабане паровых котлов / Г.Т. Кулаков, А.Н. Кухоренко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2014. – № 4. – С. 63–74.
4. Гуревич, Э.З. Усовершенствованный регулятор питания барабанного котла / Э.З. Гуревич [и др.] // Электрические станции. – 1969. № – 12. – С. 32–35.
5. Кулаков, Г.Т. Инвариантная система автоматического регулирования питания барабанного парового котла / Г.Т. Кулаков, А.Н. Кухоренко // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2015. – № 5. – С. 35–47.
6. Демченко, В.А. Оптимальный ПИ-регулятор уровня воды в парогенераторе энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-1000 / В.А. Демченко [и др.] // Труды Одес. политехн. ун-та. – 2000. – Вып. 1. – С. 73–76.
7. Демченко, В.А. Системи контролю та управління барабанами парогенераторами АЕС з ВВЕР: дис.... д-ра техн. наук: 05.13.07 / В.А. Демченко, Одеський національний політехнічний університет. Одеса, 2001 – 380 с.

8. Кулаков, Г.Т. Сравнительные исследования методов оптимизации пропорционально-интегральных и пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов для объектов без самовыравнивания / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, А.Н. Кухоренко // Материалы 12-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике»: В 4-х т. Т. 1. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 242–243.

9. Aidan, O'Dwyer. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules / O'Dwyer Aidan. – 3rd Edition. – Dublin: Institute of Technology; Ireland, Imperial College Press, 2009. – 529 p.

10. Тимофеев, В.А. Инженерные методы расчета и исследования динамических систем // В.А. Тимофеев. – Л.: «Энергия»; 1975. – 320 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА ПРИ РАЗДАЧЕ ЖИДКИХ КОРМОВ В СВИНАРНИКЕ

Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н., Сеньков А.Г., к.т.н., доцент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск, РБ*

В данной работе решается задача по снижению энергозатрат в технологическом процессе раздачи жидких кормов на свиноводческих комплексах за счет оптимального управления мощностью и производительностью насоса, подающего жидкий корм в трубопровод, в зависимости от расстояния до станка, суммарного объема выдаваемого корма и его распределения по станкам. Оптимизация процесса кормораздачи позволяет снизить установленную мощность кормораздаточного насоса и снизить энергозатраты на однократную раздачу корма на 10%.

Разработка математической модели а

Производительность линии раздачи жидких кормов на свиноводческом комплексе должна обеспечивать кормление заданного поголовья свиней в соответствии с технологическими требованиями (общее время кормораздачи не должно превышать t_{max}). Основным потребителем электрической энергии в технологической линии для раздачи жидких кормов является центробежный насос [1]. Развиваемый центробежным насосом гидростатический напор H ,