



ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

Инновационный подход к модернизации систем управления технологическими процессами энергоблоков ТЭС

Михайленко В. С., канд. техн. наук

Одесская национальная академия пищевых технологий (Украина)

Показана необходимость модернизации угольных ТЭС вследствие выработки остаточного ресурса оборудования энергоблоков. Устаревшее оборудование и традиционные алгоритмы управления в системах автоматизированного регулирования не позволяют достичь высоких экономических показателей работы станций и, как следствие, КПД отечественных ТЭС гораздо ниже зарубежных аналогов, использующих инновационные технологии. Ключевую роль в работе энергоблоков выполняют автоматизированные системы управления (АСУ) теплоэнергетическими процессами. Для повышения эффективности их функционирования предлагается использовать адаптивный аппарат, реализующий теорию искусственного интеллекта и успешно зарекомендовавший себя в зарубежных АСУ. Реализация нейро-нечетких систем регулирования позволит достичь высоких технико-экономических показателей работы станций.

Ключевые слова: тепловая электростанция, энергоблок, система регулирования, нейро-нечеткая сеть.

За последние 10 лет проблемы комплексной автоматизации ТЭС существенно усложнились. Большинство работающих энергоблоков по-прежнему оснащены морально и физически устаревшей аппаратурой управления, не позволяющей повысить их экономические показатели. Между тем доля ТЭС в общенациональной системе электроснабжения большинства стран СНГ превышает 50 %, более 80 % станций выработали свой расчетный ресурс и нуждаются в модернизации [1].

Традиционный научный подход к решению задач автоматизации тепловых объектов ТЭС предусматривает использование сложного математического аппарата и алгоритмов имитационного компьютерного моделирования для исследования качества динамических процессов управления во времени. Однако загруженность оперативного персонала станций частыми ремонтными работами, отсутствие необходимого экспериментального оборудования, незнание современных научных подходов к идентификации и адаптации автоматизированных систем регулирования (АСР) приводят к ошибкам при проектировании, наладке и эксплуатации систем регулирования ТЭС, нарушению режимных показателей, аварийным ситуациям.

Работы по модернизации АСУ технологическими процессами (ТП) ТЭС в целом не от-

личаются комплексным подходом: ориентированы на решение частных задач. Результатом этого являются недопустимые режимы колебания частоты в электрических сетях, низкий КПД энергоблоков станций, перерасход топлива, значительные перерегулирование и продолжительность регулирования переходных процессов и др. Производственные потери отражаются на себестоимости продукции и ее конкурентоспособности. Возникла проблема недостаточной адекватности математических моделей тепловых объектов и моделей принятия решений по поиску оптимальных управляющих воздействий в условиях регулировочных режимов и перераспределения нагрузки между энергоблоками вследствие неиспользования экспертной информации о состоянии оборудования, а также повышенной суммарной неопределенности, накапливаемой за время эксплуатации [2].

Отечественный и зарубежный опыт разработки и эксплуатации АСУ сложными теплоэнергетическими объектами показывает, что непременным условием повышения их эффективности помимо совершенствования технических средств и алгоритмов регулирования является внедрение интеллектуальных адаптивных АСР всеми ключевыми объектами ТЭС. Так, компания "Praxis Engineers, Inc" (США) на основе нейронных сетей, ге-

Показатель	В России		За рубежом	
	Среднее значение, %	Передовые образцы, %	Среднее значение, %	Передовые образцы, %
КПД ТЭС на газе	38,50	–	40	40 – 45
КПД парогазовых установок	51 – 52	51 – 52	54 – 55	58
КПД ТЭС на угле	34,20	38 – 44	37 – 40	45 – 47
Потери в электрических сетях	13,20	–	7,50	–

нетических алгоритмов и нечеткой логики разработала технологию OptiMation, позволяющую снизить затраты на эксплуатацию ТЭС путем системной оптимизации, повышения степени автоматизации и эффективной обработки информации [3]. В Великобритании разработана новая технология управления ТЭС с использованием гибридного контроллера на основе нейронных сетей. Внедрение нейросетевого контроллера на котельной установке Garth в Лондоне позволило уменьшить выбросы CO на 60 % и NO_x на 10 % [4]. Анализ результатов опытно-промышленных испытаний интеллектуальных систем управления на зарубежных ТЭС показал, что только за счет оптимизации процесса горения происходит повышение эффективности (КПД) котла на 1 – 2 %, снижение выбросов NO_x на 20 – 30 %, а расхода топлива — до 5 % [3].

Сравнительный анализ КПД ТЭС (см. таблицу) показывает экономическую эффективность зарубежных ТЭС, использующих современные инновационные технологии.

Известно, что инновационный подход к модернизации станций, реализуемый за счет внедрения оптимального набора проверенных в мировой практике научно-технических достижений, обеспечивает наиболее эффективное вложение средств в производственную сферу в условиях конкуренции и ежегодного удорожания энергоресурсов [5].

Автоматизированные системы управления энергоблоками ТЭС обладают по сравнению с другими промышленными объектами наибольшим числом индикаторов, приходящихся на одного оператора, и, как следствие, наибольшим объемом перерабатываемой информации. Из-за оперативной перегруженности операторы энергоблоков нередко принимают ошибочные решения, что приводит к возникновению аварийных ситуаций и низкому качеству ведения процессов управления. Участвовавшие в последнее время предаварийные

и аварийные ситуации на энергоблоках ТЭС Украины по вине оперативного персонала обостряют научную проблему поиска новых эффективных методов и алгоритмов в системах поддержки принятия решений АСУ ТП.

При эксплуатации часто возникают ситуации, когда указанные в режимных картах параметры сложно или невозможно поддерживать. Они, как правило, наблюдаются в переходных режимах, в условиях неполадок, изменения характеристик топлива и др. Эффективность процессов управления в данных случаях во многом зависит от опыта и знаний экспертов, операторов, технологов, наладчиков. Опытные операторы могут успешно решать сложные задачи управления, хорошо зная совокупность процессов генерации тепловой энергии, взаимосвязи контролируемых параметров и их влияние на отдельные режимные факторы. Эксперту необходимо оперативно ориентироваться в обстановке и квалифицированно принимать решения по выбору управляющих воздействий с учетом всех ограничений [6]. Существенную помощь в принятии адекватных решений операторам и наладчикам ТЭС могут оказать интеллектуальные системы поддержки принятия решений (СППР), учитывающие опыт и знания экспертов.

Высококвалифицированный оператор правильно управляет сложными объектами, пользуясь показаниями приборов и накопленным опытом. Поскольку полученная от него информация выражается, как правило, словесно, для ее использования в СППР или нечетких системах управления применяют лингвистические переменные и аппарат теории нечетких множеств, который был разработан Л. Заде в 1965 г. [7]. С тех пор область применения экспертных или нечетких регуляторов постоянно расширяется, увеличивается разнообразие их структур и выполняемых функций [8].

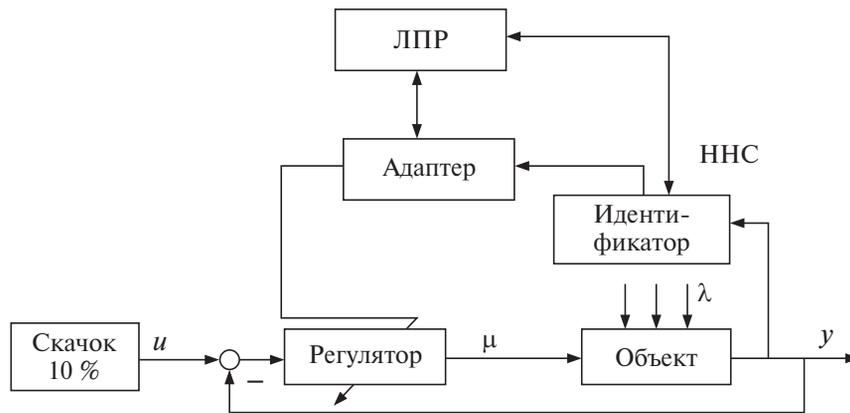


Рис. 1

Однако нужно отметить, что наряду с достоинствами системы с нечеткой логикой не способны автоматически обучаться, им также свойственны и другие недостатки, связанные со сложностью создания оптимальных баз знаний, выбора методов системы нечеткого вывода, длительностью процесса настройки нечеткого алгоритма и др.

В качестве альтернативного научного направления в области интеллектуальных систем принятия решений можно предложить использование гибридных или нейро-нечетких сетей (ННС), сочетающих в себе достоинства аппарата нечеткой логики и нейронных сетей [9]. На рис. 1 в качестве примера показано применение ННС в системах поддержки принятия решений для лиц, принимающих решения (ЛПР) в процессах идентификации и адаптации локальных одноконтурных АСР энергоблока ТЭС.

Идентификатор в виде обученной ННС настроен на определение значений параметров объекта управления (обучающая выборка семейства значений передаточных функций элементов объекта). Далее информация о математической модели объекта поступает в адаптер (слой ННС), который обучен определять оптимальные настройки ПИ и ПИД-регуляторов исходя из табличного принципа адаптации [6]. Оператор или ЛПР, получая информацию от идентификатора и адаптера, также может выполнить коррекцию алгоритма регулятора в режиме дистанционного управления.

Система интеллектуального управления состоит из идентификатора, аппроксимирующего переходную характеристику (кривую разгона), и адаптера, в котором осуществляется расчет значений новых (адаптивных) настроечных параметров типового регулятора. Принцип действия интеллектуальной системы

копирует поведение экспертов — наладчиков АСУ ТП. Так, при пусконаладке АСР идентификацию параметров объекта выполняет оперативный персонал путем наблюдения реакции системы на ступенчатое воздействие (u), осуществляемое регулирующим органом (μ). Фиксируя вид переходной характеристики и имея представление о характере влияния параметров возмущения (λ) на вид процесса, эксперты выполняют соответствующую корректировку значений параметров объекта, а затем и регулятора. Следует отметить, что оценка переходной характеристики замкнутого контура в реальных условиях работы систем регулирования имеет, как правило, нестабильный характер вследствие влияния неконтролируемых помех и возмущений. И если эксперимент повторить несколько раз, будут получаться существенно различающиеся результаты, что может привести к неадекватной математической модели объекта и, как следствие, к неоптимальным показателям качества. Поэтому ННС, обладающая свойствами универсального аппроксиматора, обучена определять усредненные значения параметров математических моделей и корректировать их при значительных отклонениях экспериментальных значений от аналитических.

Наличие ННС позволяет провести идентификацию зашумленного сигнала кривой разгона или переходного процесса с минимальным временем и без повторных экспериментов. В нестандартных ситуациях, не предусмотренных обучающей выборкой ННС, система поддержки принятия решений помогает наладчику выполнять удобную и быструю настройку идентификатора и адаптера, используя опыт и интуицию в прогнозировании траектории переходного процесса регулирования параметров энергоблока в регулировочных и номинальных режимах работы. В

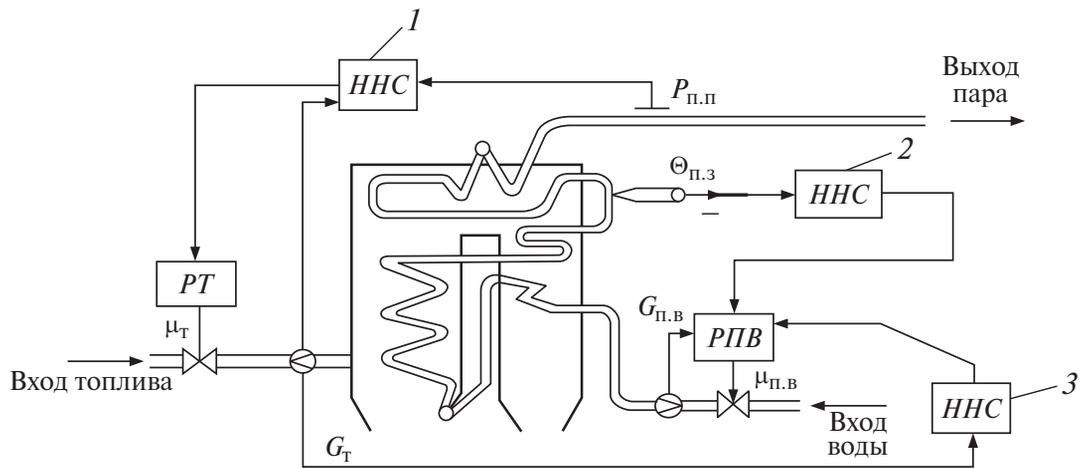


Рис. 2

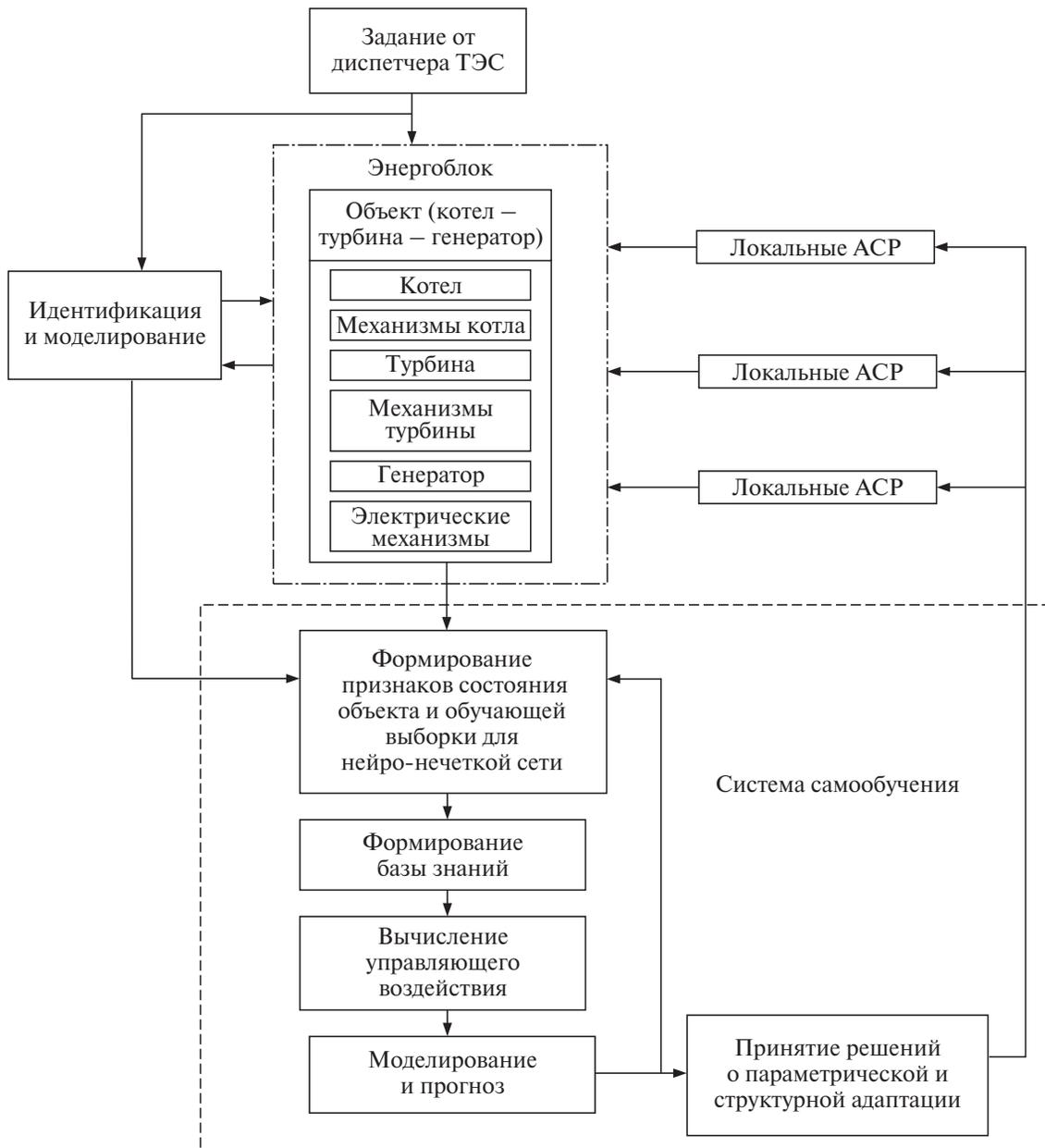


Рис. 3

дальнейшем обученная для разных регулировочных режимов или нагрузок энергоблока интеллектуальная СППР сможет самостоятельно проводить адаптацию типовых регуляторов без участия оперативного персонала станции.

Использовать интеллектуальные технологии можно и в процессах многоконтурного регулирования. В качестве примера на рис. 2 приведена схема систем регулирования давления перегретого пара и температуры за переходной зоной прямоточного котла при участии энергоблока ТЭС в регулировании частоты в энергосистеме. Регулирование температуры за переходной зоной $\Theta_{п.з}$ осуществляется интеллектуальной каскадной схемой, состоящей из температурного блока, реализованного с помощью адаптивной *ННС 2* и вспомогательного регулятора расхода питательной воды *РПВ*. На вход этого регулятора подаются сигнал об изменении расхода топлива G_T (для системы регулирования температуры за переходной зоной должен рассматриваться как возмущение) и сигнал о расходе питательной воды $G_{п.в}$ (обратная связь). Необходимая коррекция сигнала по расходу топлива выполняется в интеллектуальном адаптивном блоке *ННС 3*. Вследствие того, что в прямоточных котлах изменения расходов питательной воды и топлива практически с одинаковой интенсивностью влияют на температуру пара за переходной зоной и на давление перегретого пара $P_{п.п}$, система управления является взаимосвязанной. Давление перегретого пара стабилизируется регулятором топлива *РТ*, параметры которого корректируются адаптивным блоком *ННС 1*. Нейро-нечеткие сети интеллектуальных блоков обучены на определение адаптивных параметров типовых ПИ-регуляторов (*РТ*, *РПВ*) в условиях изменения задания и нагрузки энергоблока, функционирующего в регулировочном режиме.

На рис. 3 приведена предложенная автором данной статьи схема реализации и функционирования интеллектуальной системы управления технологическими процессами энергоблока ТЭС. Схема разработана с учетом системности процессов управления энер-

гоблоками и предъявляемых требований по повышению эффективности процессов регулирования. Включены все стадии проектирования, синтеза, внедрения, идентификации и настройки АСР всех технологических процессов ТЭС. В основу работы блоков заложены этапы систем интеллектуальной идентификации, нечеткого вывода, прогноза изменения значений контролируемых параметров и адаптации настроечных параметров типовых регуляторов локальных АСР. Использование представленного подхода к концепции интеллектуального управления позволит ускорить процесс синтеза локальных интеллектуальных АСР, а также достичь увеличения КПД энергоблоков станций с минимальным участием в процессах управления и адаптации оперативного персонала ТЭС.

Список литературы

1. Олійник Я. І. Розробка державної програми розвитку електроенергетики західного регіону України. — Вісник ХНУ, 2010, № 2, т. 3.
2. Крохин Г. Д., Манусов В. З. Нечеткие модели для интеллектуального промышленного регулятора в системе автоматического управления энергоблоком тепловой электростанции. — Научный вестник НГТУ, 2004, № 2 (17).
3. Ибрагимов И. М. Использование систем искусственного интеллекта при эксплуатации энергетических объектов. — Надежность и безопасность энергетики, 2008, № 1.
4. Neural networks internal model control for water level of boiler drum in power station / P. Yang, D. G. Peng, Y. H. Yang, Z. P. Wang. — Proceedings of 2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, vol. 5, aug. 2010.
5. Андришин А. В., Сабанин В. Р., Смирнов Н. И. Управление и инноватика в теплоэнергетике. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011.
6. Плетнев Г. П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
7. Zadeh L. A. Fuzzy sets. — Information and Control, 1965, № 8.
8. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. — СПб.: БХВ, 2003.
9. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Пер. с польского И. Д. Рудинского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006.

Vlad_Mihailenko@mail.ru