

УДК 62-52

**Шеремет А. И., Шматок Д. В.**

## **КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

В настоящее время для управления сложными нелинейными электромеханическими объектами в электроприводе широкое применение получили адаптивные системы автоматического управления [1]. При проектировании систем автоматического управления (САУ) обычно принимают, что характер воздействий на систему является известным, а параметры системы не изменяются или изменяются в малых пределах [2]. Тем не менее, зачастую при расчете САУ ошибки системы могут превышать допустимые из-за неполной начальной информации о внешних воздействиях. Формирование закона управления при этом значительно усложняется. В этом случае в автоматических системах применяют метод адаптации, который уменьшает первоначальную неопределенность на основе использования информации, получаемой в процессе управления [3].

САУ называется адаптивной, если в ней текущая информация используется не только для формирования управляющего воздействия, но и для изменения алгоритма управления. Это необходимо в случае, когда характеристики реальных внешних воздействий существенно отличаются от принятых при расчете системы вследствие неполной априорной информации об этих воздействиях.

Целью работы является выполнение классификации современных адаптивных систем автоматического управления, а также анализ предоставляемых ими возможностей для реализации адаптивного управления станочными электроприводами.

Процесс управления без участия человека, называется автоматическим. Совокупность устройств, обеспечивающих автоматическое управление объектом, называется системой автоматического управления. В тех случаях, когда система обеспечивает стабилизацию управляемой величины в заданных пределах, она называется системой автоматического регулирования (САР).

Под автоматизированным понимается управление объектом в системе с разомкнутой обратной связью с участием человека в выработке управляющих воздействий. Системы, реализующие такое управление, называются автоматизированными системами управления (АСУ). Если объекты управления относятся к типу технических, то системы управления называются автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП). Если объект управления является объектом производственно-экономического или социального характера, то система управления им относится к автоматизированным системам организационного управления (АСОУ). В последние годы все более широко внедряется интегрированное управление, реализуемое интегрированными автоматизированными системами управления (ИАСУ). В ИАСУ объектами управления являются технические, производственно-экономические, организационные и социальные системы. ИАСУ создаются и функционируют на основе ЭВМ и экономико-математических методов, которые используются для управления техническими объектами, технологическими процессами, для планирования, контроля, анализа и регулирования производства в целом.

Систему автоматизированного проектирования (САПР) можно определить как интегрированную автоматизированную систему управления, объектом управления которой является процесс выбора проектно-конструкторских решений на основе экономико-математических моделей изделий, конструкций, архитектурно-планировочных вариантов и т. п.

В настоящее время основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами являются системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы). Именно на принципах диспетчерского

управления строятся крупные автоматизированные системы в промышленности и энергетике, на транспорте, в космической и военной областях, в различных государственных структурах.

Особенности SCADA-систем как процесса управления заключаются в следующем:

- процесс SCADA применяется в системах, в которых обязательно наличие человека (оператора, диспетчера);
- процесс SCADA был разработан для систем, в которых любое неправильное воздействие может привести к отказу (потере) объекта управления или даже катастрофическим последствиям;
- оператор несет, как правило, общую ответственность за управление системой, которая, при нормальных условиях, только изредка требует подстройки параметров для достижения оптимальной производительности;
- активное участие оператора в процессе управления происходит нечасто и в непредсказуемые моменты времени, обычно в случае наступления критических событий (отказы, нештатные ситуации и пр.);
- действия оператора в критических ситуациях могут быть жестко ограничены по времени (несколькими минутами или даже секундами).

Основные задачи, решаемые SCADA-системами:

- обмен данными с УСО (устройства связи с объектом, то есть с промышленными контроллерами и платами ввода/вывода) в реальном времени через драйверы;
- обработка информации в реальном времени;
- отображение информации на экране монитора в понятной для человека форме (HMI, англ. Human Machine Interface – человеко-машинный интерфейс);
- ведение базы данных реального времени с технологической информацией;
- аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;
- подготовка и генерирование отчетов о ходе процесса;
- осуществление сетевого взаимодействия между SCADA ПК;
- обеспечение связи с внешними приложениями (систему управления базами данных (СУБД), электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.).

Обобщенная классификация систем автоматического управления по типам управления приведена на рис. 1.

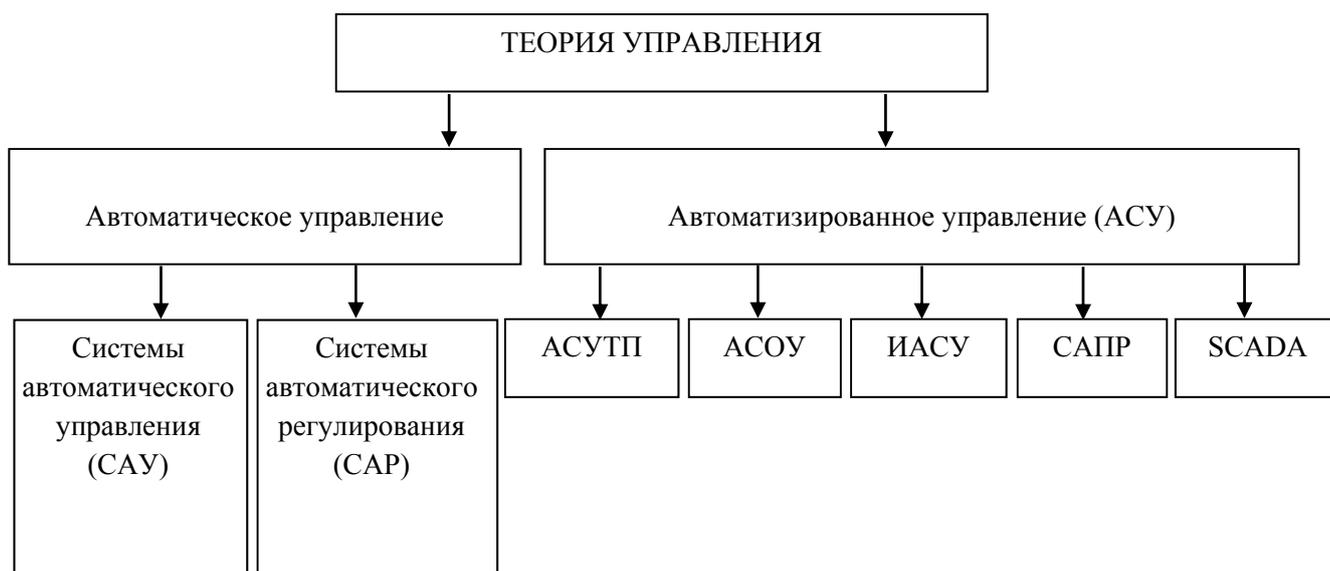


Рис. 1. Обобщенная классификация САУ по типам управления

В состав систем управления могут входить линейные и нелинейные звенья. В линейных системах между выходными и входными величинами существуют функциональные зависимости, и выполняется принцип суперпозиции (реакция системы на сумму воздействий равна сумме реакций на каждое воздействие в отдельности). Процессы в таких системах описываются дифференциальными уравнениями. В нелинейных системах хотя бы в одном звене системы нарушается принцип суперпозиции (линейность статической характеристики).

Каждая система характеризуется алгоритмом функционирования – совокупностью предписаний, определяющих характер изменения управляемой величины в зависимости от воздействия. По алгоритмам функционирования системы делятся на стабилизирующие, программные, следящие и преобразующие системы.

Стабилизирующие системы обеспечивают поддержание с необходимой точностью (стабилизацию) одной или нескольких управляемых величин при произвольно меняющихся возмущающих воздействиях. Задающее воздействие системы – постоянная величина вида  $u(t) = \text{const}$ .

Программные системы управляют изменением управляемой величины с необходимой точностью в соответствии с составленной программой, если она заранее известна в виде временной функции. Изменение управляемой величины по программе достигается добавлением к стабилизирующей системе программного устройства (ПУ), изменяющего задающее воздействие  $u(t)$  во времени по определенному закону. Примерами программных систем являются системы управления химическими процессами, программного управления станками, системы программного управления выводом спутников Земли на расчетные орбиты.

Следящие системы осуществляют изменение управляемой величины не по заранее заданной программе, а произвольно. Например, антенна радиолокатора поворачивается, следуя за самолетом, траектория движения которого заранее неизвестна, т. е. «следит» за ним. Задающие воздействия и управляемые величины следящих систем могут иметь разнообразный характер по своей физической природе.

Преобразующие системы. Алгоритм системы – преобразование с необходимой точностью задающего воздействия (совокупности задающих воздействий) в управляемую величину (совокупность управляемых величин) в соответствии с некоторой функцией преобразования. Преобразующая система должна как можно более точно воспроизводить на своем выходе не само задающее воздействие (как следящая система), а некоторую величину, связанную с управляющим воздействием функций преобразования. К преобразующим системам относятся интегрирующие, дифференцирующие, экстраполирующие и другие системы автоматического управления.

Каждая САУ по-разному реагирует на входное воздействие системы. В соответствии с этой классификацией различают следующие виды систем автоматического управления:

- детерминированные системы – это системы, отвечающие на один и тот же входной сигнал всегда одним и тем же вполне определенным выходным сигналом;
- стохастические системы – это системы, у которых реакция на входное воздействие представляет собой случайный выходной сигнал в соответствии с некоторым распределением вероятностей;
- стационарные системы – это системы, реакция которых не зависит от момента времени подачи входного воздействия;
- нестационарные системы – системы, реакция которых зависит от момента приложения входного воздействия.

Большинство систем управления электроприводами являются стационарными и детерминированными. Нестационарные и стохастические системы более характерны для биологических, социальных и экономических областей.

Адаптивные, или приспособляющиеся, системы – это системы, которые автоматически приспособляются к изменению внешних условий и свойств объекта управления,

обеспечивая при этом необходимое качество управления путем изменения структуры и параметров управляющего устройства.

Примером изменения внешних условий, которое требует применения адаптивной САУ, могут служить нестационарные случайные внешние воздействия, характеристики которых изменяются в широких пределах. В этих условиях точность работы САУ будет изменяться с изменением характеристик внешних воздействий. Для повышения точности системы необходимо варьировать настройки корректирующих звеньев по мере изменения характеристик внешних воздействий.

Зачастую кроме изменения характеристик внешних воздействий, не остаются постоянными и некоторые параметры самого управляемого объекта [4]. В адаптивных системах автоматически в процессе работы пополняется информация об изменении характеристик внешних воздействий и в соответствии с этой информацией автоматически изменяется алгоритм управления системы. На рис. 2 представлена обобщенная функциональная схема типовой адаптивной системы автоматического управления.

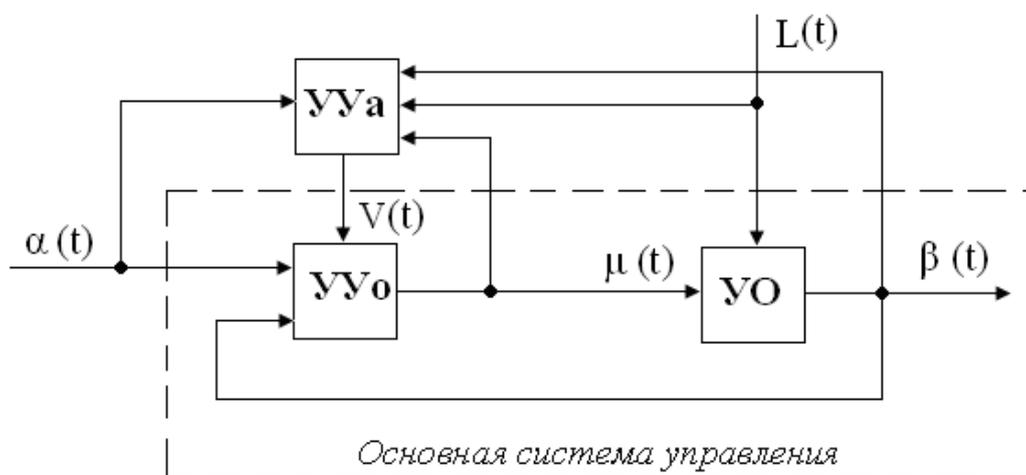


Рис. 2. Функциональная схема адаптивной системы в общем виде

На рис. 2 приведены следующие обозначения:

- УУо – устройство управления основной системы;
- УО – управляемый объект;
- УУа – устройство управления автоматической адаптации;
- $\alpha(t)$  – задающее воздействие;
- $\beta(t)$  – реакция системы;
- $\mu(t)$  – управляющее воздействие, подаваемое на объект;
- $L(t)$  – возмущающее воздействие;
- $V(t)$  – управляющее воздействие.

Основная система управления в зависимости от ее назначения решает определенную задачу, а устройство управления автоматической адаптации (УУа) осуществляет настройку устройства управления основной системы (УУо), изменяя ее параметры или структуру с целью обеспечения необходимого процесса управления. Если изменяются характеристики задающего  $\alpha(t)$  и возмущающего  $L(t)$  воздействий, то в результате анализа в устройстве управления автоматической адаптации (УУа) определяются их текущие характеристики. В соответствии с этими характеристиками в управляющем устройстве (УУа) вырабатывается управляющее воздействие  $V(t)$  и перестраиваются параметры или изменяется структура основного (УУо), что обеспечивает минимальную ошибку системы.

Классификация адаптивных систем разнообразна и достаточно широка. Основные подходы к классификации адаптивных систем приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Классификация адаптивных систем

Адаптивные системы	Классификация		Описание
В зависимости от задачи адаптации	Со стабилизацией качества управления		Удержание критерия качества на определенном уровне или в определенных пределах.
	С автоматической оптимизацией качества управления		Обеспечение поиска оптимального значения критерия качества и его поддержание.
По характеру настройки	Самонастраивающиеся		Структура алгоритма не изменяется, а изменяются только его параметры.
	Самоорганизующиеся		Изменяются параметры и структура алгоритма.
	Системы с адаптацией в особых фазовых состояниях		Специально организуются особые режимы (режим автоколебаний, скользящий режим), которые являются дополнительным источником информации об объекте или придают системе новые свойства.
	Обучающиеся (самообучающиеся)		Реализуют процесс обучения, который заключается в постепенном накоплении, запоминании и анализе информации о поведении системы.
По способу изучения объекта	Поисковые	Экстремальные	Для изучения объекта подаются поисковые сигналы; наличие у статических характеристик явно выраженного экстремума.
	Беспоисковые	С эталонной моделью	Содержат динамическую модель системы, обладающую требуемым качеством (эталонная модель).
		С идентификатором	В контуре адаптации имеется идентификатор, который служит для определения неизвестных параметров системы.

Модели технологических процессов в металлургии, химии, нефтехимии являются сложными. Их параметры не всегда известны из-за недостаточной начальной информации. Также эти параметры могут изменяться во времени. Обычные системы не могут обеспечить качественного и устойчивого управления такими технологическими процессами.

При разработке унифицированных регуляторов для широкого класса объектов параметры регуляторов заранее не могут быть точно рассчитаны и установлены. Если эти регуляторы неадаптивные, то при их использовании в каждом отдельном случае они требуют настройки. Использование адаптивных регуляторов упрощает процессы настройки систем с переменными параметрами.

В случаях, когда система управления имеет сотни управляющих контуров, адаптивное управление позволяет уменьшить число конструктивных параметров ручной настройки и увеличить тем самым эффективность и практичность системы управления.

К преимуществам адаптивного управления можно отнести:

- обеспечение оптимального режима работы системы управления в условиях неполной начальной информации;
- обеспечение работоспособности системы управления в условиях изменения динамических свойств объекта в широких пределах;
- создание унифицированных регуляторов для широкого класса объектов;
- снижение технологических требований к изготовлению отдельных узлов и элементов;
- сокращение сроков разработки и наладки систем.

Одной из перспективных основ для построения адаптивных систем являются алгоритмы, синтезированные на базе решений обратных задач динамики в теории автоматического управления [5]. В настоящее время эти подходы получили широкое развитие благодаря использованию модифицированных принципов симметрии структурных схем [6–7].

### ВЫВОДЫ

Адаптивные системы обладают способностью приспосабливаться к изменению внешних условий и воздействий, а также повышать качество управления по мере накопления информации. Могут функционировать в условиях недостаточной информации об объекте управления. Неадаптивные системы такими способностями не обладают и имеют постоянную настройку под определенные внешние условия и воздействия с ограниченным диапазоном их вариаций.

Эффект приспособляемости к изменениям условий внешней среды в адаптивных системах достигается за счёт того, что часть функций по получению, обработке и анализу недостающей информации об управляющем процессе осуществляется не на предварительной стадии, а самой системой в процессе работы. Это способствует более полному использованию рабочей информации.

В последние десятилетия интенсивно разрабатывается новый класс систем управления станочными электроприводами – интеллектуальные системы управления (ИСУ). ИСУ строятся как самообучающиеся, самонастраивающиеся системы с гибкими процедурами принятия решений. Они способны формировать новые знания в процессе управления и функционирования, выступать в качестве экспертных систем, встроенных в контур управления, и работать в интерактивном режиме с лицом, принимающим решения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гостев В. И. Системы управления с цифровыми регуляторами : справочник / В. И. Гостев. – Киев, издательство Техника, 1990. – 280 с.
2. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М. : Высшая школа, 1989. – 263 с.
3. Юревич Е. И. Теория автоматического управления / Е. И. Юревич. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 560 с.
4. Колесников А. А. Аналитическое конструирование агрегированных регуляторов и обратные задачи динамики управляемых систем / А. А. Колесников, А. Г. Чирченков, М. В. Бессарабов // Синтез алгоритмов сложных систем. – Таганрог : ТРТИ, 1986. – Вып. 6. – С. 3–6.
5. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций : учебное пособие для вузов / П. Д. Крутько. – М. : Машиностроение, 2004. – 576 с.
6. Шеремет О. І. Використання модифікованого принципу симетрії структурних схем для синтезу систем автоматичного керування / О. І. Шеремет, О. В. Садовой // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – № 1/9 (79). – С. 48–56.
7. Васильев В. И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов. – М. : Радиотехника, 2009. – 392 с.