

УДК 62

Адаптивные системы управления

А.Ю. Жук, студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Система автоматического управления»*

Научный руководитель: Н.М. Задорожная, к.т.н., доцент

Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

pupkov@iu1.bmstu.ru

1. Введение

Теория адаптивных систем возникла в связи с необходимостью решения широкого класса прикладных задач, для которых неприемлемы традиционные методы, требующие знания адекватной математической модели объекта. Качество традиционных (неадаптивных) методов управления тем выше, чем больше априорной информации о самом объекте и условиях его функционирования. На практике достаточно трудно обеспечить точное математическое описание объекта управления. Например, динамические характеристики летательных аппаратов сильно зависят от режима полета, технологических разбросов, состояния атмосферы. В этих условиях традиционные методы часто оказываются неприменимыми либо не обеспечивают требуемое качество системы автоматического управления [1].

В связи с этим уже на начальном этапе развития теории автоматического управления представлялся весьма эффективным путь построения управляющих систем, не требующих полной априорной информации об объекте и условиях его функционирования.

Эффект приспособления к условиям функционирования в адаптивных системах обеспечивается за счет накопления и обработки информации о поведении объекта в процессе его функционирования, что позволяет существенно снизить влияние неопределенности на качество управления, компенсируя недостаток априорной информации на этапе проектирования систем.

Система управления, автоматически определяющая требуемый закон управления посредством анализа поведения объекта при текущем управлении, называется адаптивной.

Развитие систем автоматического управления полетом летательных аппаратов в 50-х годах XX века в значительной степени определило развитие и эффективное применение авиации и ракетной техники. В связи с появлением беспилотных летательных аппаратов и автопилотов, огромное значение уделялось развитию систем адаптивного управления.

Динамические параметры и характеристики летательных аппаратов не остаются неизменными вследствие изменения плотности атмосферы с изменением высоты полета, изменения скорости полета, веса и моментов инерции летательного аппарата. Поэтому реакция летательного аппарата на одни и те же внешние возмущения в разных условиях полета будет различной. Внешние возмущения, действующие на летательный аппарат, также не остаются неизменными и обычно изменяются как по величине, так и по характеру протекания во времени [3].

Если система автоматического управления полетом будет иметь неизменные параметры, то реакция летательного аппарата на внешние возмущения, оцениваемая качеством регулирования, будет различной в разных условиях полета. Для получения одинаковой и, в общем случае, минимальной реакции на внешние возмущения система управления должна изменять свои параметры, а в некоторых случаях и структуру в соответствии с изменением внешних условий. Иначе говоря, система управления должна управлять свойством приспособляемости к внешним условиям. Подобным свойством обладают самонастраивающиеся системы автоматического управления.

2. Этапы развития теории и практическое применение адаптивных систем

К началу 50-х годов были разработаны основные инженерные методы построения и расчета систем автоматического регулирования.

В эти же послевоенные годы в индустриально развитых странах интенсивно развивалась авиационная техника, которая все более и более требовала автоматизации бортовых систем навигации, управления и наведения. Оказалось, что приемов, разработанных к этому времени в теории автоматического регулирования, недостаточно для обеспечения требуемой динамической точности работы бортовых систем управления. Причина была проста: математические модели летательных аппаратов, даже если их удавалось представить линеаризованными дифференциальными уравнениями, не были стационарными, а изменялись со временем при изменении высот

и скоростей полета. При широких диапазонах изменения динамических свойств объекта стационарный регулятор не мог удовлетворить заданным требованиям на динамику заданной системы: для нестационарного объекта требовался также нестационарный регулятор, т.е. регулятор, который по мере изменения свойств объекта и входных воздействий на систему управления был бы способен автоматически изменять свои параметры, возможно, и структуру закона регулирования с тем, чтобы динамические свойства системы управления в целом удовлетворяли заранее заданным требованиям. Другими словами, система управления должна обладать способностью адаптироваться, приспособливаться к изменяющимся условиям работы [4].

Однако легко сформулировать в общих чертах задачу адаптивного управления и весьма нелегко решать конкретные задачи управления нестационарными объектами. Причина этого достаточно ясна: адаптивное управление требуется там, где отсутствует или существенно ограничена априорная информация о реальных законах изменения динамических свойств объекта и входных воздействий на систему управления, которые будут иметь место при реальном функционировании системы. Подобную информацию необходимо получать в процессе работы системы. Еще одним фактором, существенно осложняющим развитие общей теории адаптивного управления, является нелинейная нестационарная природа адаптивных систем, свойственная им по определению, невозможность воспользоваться непосредственно столь мощным принципом суперпозиции, лежащим в основе линейной теории управления.

Но, несмотря на трудности, необходимость управления летательными аппаратами заставляла решать эти непростые актуальные проблемы, тем более, что в других отраслях промышленности (электротехнической, нефтедобывающей, металлургической и т.д.) проблемы управления нестационарными объектами все больше давали о себе знать. В США и СССР задачи адаптивного управления летательными аппаратами начинают решать крупные аналитики и серьезные научные центры. В 1959 году в США проходит симпозиум по адаптивному управлению летательными аппаратами. В СССР указанную тематику активно исследуют в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (бывшем Институте автоматики и телемеханики), Военно-воздушной инженерной академии им. Н.Е. Жуковского, НИИ автоматических систем, Московском институте электромеханики и автоматики, Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана и других организациях. В 1957 году по просьбе академика П.Д. Грушина в институте автоматики и телемеханики АН СССР под руководством академика Б.Н. Петрова

начались исследования по разработке принципов построения и теории адаптивных систем управления для ракет, созданных в ОКБ “Факел”. В 1960 году академик Б.Н. Петров проводит в Москве рабочий симпозиум по адаптивным способам управления летательными аппаратами. В 1961 году под редакцией сотрудников Политехнического института Бруклина (США) Э. Мишкина и Л. Брауна выходит монография по адаптивным системам управления “Приспосабливающиеся автоматические системы”, переведенная на русский язык в 1963 году. В этом же году академик А.А. Красовский выпускает монографию по динамике непрерывных самонастраивающихся систем. Возможно, что именно эти две работы сыграли основную роль в привлечении огромного числа специалистов к разработке теории и практического применения адаптивных систем управления. Вслед за ними появились десятки, сотни, а затем и тысячи статей и монографий на тему адаптивного управления. И тем не менее в работе “Теория самоорганизующегося оптимального регулятора биномиального типа в детерминировано-стохастическом приближении” А.А. Красовский пишет: “...несмотря на полувековую историю развития, огромное число публикаций и научных форумов, проблема адаптивного регулятора не имеет практического решения на уровне современных требований”. Действительно, с одной стороны существует достаточно примеров практического внедрения адаптивных автопилотов, с другой стороны объем практического внедрения адаптивных регуляторов ни в какое сравнение не идет с объемом вложенных и вкладываемых до настоящего времени творческих усилий в теорию адаптивного управления. В чем причина такого несоответствия? В своей работе “Науковедение и состояние теории процессов управления” А.А. Красовский формулирует ответ на этот вопрос, с которым нельзя не согласиться: “Происходит рост числа ветвей теории управления, дифференциация без интеграции, теория без практики”. В этой работе автор констатирует “... неблагоприятное и даже кризисное состояние теории управления, тенденций ее развития”. В этом утверждении А.А. Красовский далеко не одинок. В работе “Survey of the State of Systems and Control” 27 ведущих ученых - управленцев мира, среди которых хорошо известные у нас в стране Астром К.Дж. (Astrom K.J.), Девисон Е.Дж. (Davison E.J.), Льюнг Л. (Ljung L.) и др., в ответ на вопрос “Какие проблемы будут бросать вызов выживанию сообществу управленцев в следующие годы?”, практически все заявляют, что это – отрыв от нужд практического применения. На эту же тему слова шведского ученого Астрома К.Дж.: “Следует быть более ответственными к промышленным нуждам... Если нет, то наша область деятельности и виды на будущее будут сужаться и мы докатимся до позиции, которую долгие годы занимала теория цепей. Мы нуждаемся в хороших свежих

научных проблемах.... Если мы в этом проиграем, то закончим свое существование в депрессии”.

Термин “адаптивные системы” настолько широкий и неопределенный, что дискуссия по нему, зародившись еще в 50-х годах XX века, продолжается и по сей день. Наиболее полно дискуссия отражена в работе “Самоорганизующиеся стохастические системы управления”. В отечественной литературе до 70-х годов использовался термин “самонастраивающиеся системы”. После 70-х годов распространилось название “адаптивные системы”. Сейчас, вслед за Д. Саридисом, многие авторы используют термин “самоорганизующиеся системы”.

А.А. Красовский в своей работе “Динамика непрерывных самонастраивающихся систем” разделяет адаптивные системы на поисковые и беспойсковые. В поисковых адаптивных системах формируется некоторый показатель качества системы, доступный измерению и обладающий экстремальной характеристикой в зависимости от настраиваемых параметров регулятора. Положение экстремальной точки неизвестно и, более того, изменяется вместе с изменением математической модели объекта и внешних воздействий на систему управления. Задача сводится к отысканию экстремальной точки показателя качества системы на множестве настраиваемых параметров, для чего в системе организуется процесс поиска, как правило, сводящийся к незначительным поисковым изменениям настраиваемых параметров.

Известны предложения по применению адаптивных поисковых систем управления в авиации, однако основное практическое применение системы экстремального регулирования получили в других отраслях промышленности. В системах управления летательными аппаратами не всегда удается указать функцию качества, обладающую экстремальной характеристикой; если все же такая функция существует, то не всегда, вернее, как правило, она не доступна прямому измерению; если и это препятствие удастся обойти, то не всегда удастся сформировать процесс поиска и, наконец, если и это удалось, то не всегда адаптивная поисковая система успевает за смещением экстремума со временем, причем динамические характеристики работы такой адаптивной поисковой системы существенно зависят от степени ее инерционности и от уровня случайных помех и возмущений.

Беспойсковые адаптивные системы основаны на попытке использовать положительные свойства принципа обратной связи: в отличие от поисковых адаптивных систем, в них не отыскивается, а априорно задается показатель, который хотелось бы иметь неизменным (или изменяющимся желаемым предсказуемым

образом) за счет целенаправленного изменения параметров или структуры регулятора в случае непредсказуемого изменения математической модели объекта и внешних воздействий. В качестве таких показателей должны выступать характеристики системы управления, определяющие ее функциональную работоспособность. Таким показателем может быть один существенный показатель. Например, частотная характеристика замкнутой системы или целое множество одновременно наблюдаемых показателей; инвариантность по отношению к определенному возмущению, автономность или, наоборот, заданная степень взаимосвязи отдельных каналов многосвязной системы, операторная определенность и т.д. Зная желаемый показатель работы системы управления и измеряя реальный текущий показатель, можно их сравнивать, ввести меру их рассогласования и, как и в принципе обратной связи, сводить эту меру рассогласования к нулю или минимально допустимой величине.

Поскольку показателей, определяющих функциональную работоспособность системы управления, много, то можно было ожидать, что и разновидностей беспоисковых адаптивных систем появится много. За относительно короткий срок (1963-1973 гг.) в СССР вышли в свет многие монографии. Однако к началу 70-х годов два вида беспоисковых адаптивных систем начинают получать предпочтительное развитие: адаптивные системы с контролем частотной характеристики и адаптивные системы с эталонной моделью (АСЭМ). АСЭМ были ориентированы на показатель операторной определенности замкнутой системы, под которым понимается сохранение оператора системы, равным заданному оператору эталонной модели, несмотря на изменение математической модели объекта управления.

Используя идею адаптивных систем с контролем частотной характеристики и систем с эталонной моделью, в 70-е годы были созданы адаптивные автопилоты для нескольких классов ракет Главного Конструктора МКБ “Радуга” И.С. Селезнева. Адаптивная система с моделью-эталонном использовалась в контуре демпфирования канала курса, а получаемая информация о текущих динамических характеристиках объекта использовалась для настройки передаточных чисел каналов тангажа и крена. В создании адаптивных автопилотов принимали участие творческие коллективы Московского института электромеханики и автоматики (МИЭА), МОКБ “Марс”, МКБ “Радуга” и Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН [4].

3. Классификация адаптивных систем

Адаптивные системы можно разделить на два больших класса: самоорганизующиеся и самонастраивающиеся.

В самоорганизующихся системах в процессе функционирования происходит формирование алгоритма управления (его структуры и параметров), позволяющего оптимизировать систему с точки зрения поставленной цели управления (ЦУ). Такого рода задача возникает, например, в условиях изменения структуры и параметров объекта управления в зависимости от режима функционирования, когда априорной информации недостаточно для определения текущего режима. При широком классе возможных структур объекта трудно надеяться на выбор единственной структуры алгоритма управления, способной обеспечить замкнутой системе достижение цели управления во всех режимах функционирования. Таким образом, речь идет о синтезе при свободной структуре регулятора. Очевидная сложность постановки задачи не позволяет надеяться на простые алгоритмы ее решения, а следовательно, и на широкое внедрение в настоящее время систем в практику.

Задача существенно упрощается, если структура объекта управления известна и неизменна, а поведение зависит от ряда неизменных параметров. Задача решается в классе самонастраивающихся систем (СНС), в которых структура регулятора задана (заранее выбрана) и требуется определить лишь алгоритм настройки его коэффициентов (алгоритм адаптации) [1].

Самонастраивающейся системой автоматического управления называется система, самостоятельно изменяющая свои динамические характеристики в соответствии с изменением внешних условий с целью достижения оптимального выхода системы. В случае самонастраивающихся систем управления полетом таким оптимальным выходом системы будет оптимальная реакция на внешние возмущения.

СНС делятся на два подкласса: поисковые и беспоисковые. В поисковых СНС минимум (или максимум) меры качества (производительность установки, расход топлива и т.д.) ищется с помощью специально организованных поисковых сигналов. Простейшими поисковыми системами являются большинство экстремальных систем, в которых недостаток априорной информации восполняется за счет текущей информации, получаемой в виде реакции объекта на искусственно вводимые поисковые (пробные, тестовые) воздействия.

В беспоисковых СНС в явном или неявном виде имеется модель с желаемыми динамическими характеристиками. Задача алгоритма адаптации состоит в настройке коэффициентов регулятора таким образом, чтобы свести рассогласование между объектом управления и моделью к нулю. Такое управление называют прямым адаптивным управлением, а системы – адаптивными системами с эталонной моделью.

В случае непрямого адаптивного управления сначала проводят идентификацию объекта, а затем определяют соответствующие коэффициенты регулятора. Подобные регуляторы называются самонастраивающимися.

При прямом адаптивном управлении контуры адаптации работают по замкнутому циклу, что позволяет парировать изменения параметров объекта и регулятора в процессе функционирования. Однако каждый контур самонастройки повышает порядок системы как минимум на единицу, и при этом существенно влияет на общую динамику замкнутой системы.

В случае непрямого адаптивного управления контуры самонастройки работают по разомкнутому циклу и, следовательно, не влияют на динамику системы. Однако все ошибки идентификации, уходы параметров объекта и регулятора существенно влияют на точность управления. В беспойсковых самонастраивающихся системах эталонная модель может быть реализована в виде реального динамического звена (явная модель) или присутствовать в виде некоторого эталонного уравнения, связывающего регулируемые переменные и их производные (неявная модель). В неявной модели коэффициенты эталонного уравнения являются параметрами алгоритма адаптации.

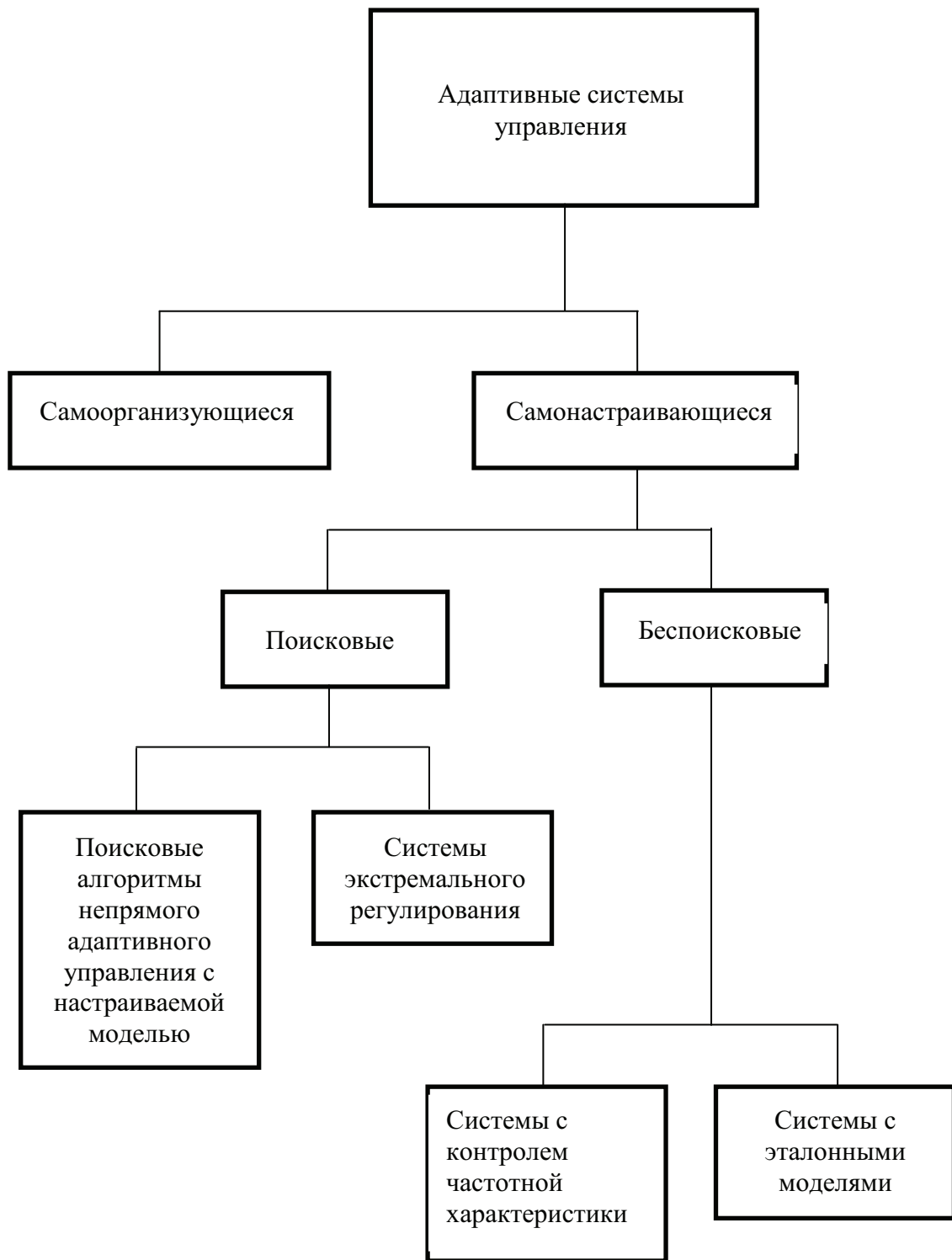


Рис. 1. Классификация адаптивных систем управления

4. Выводы

В данной работе проведены обзор этапов развития теории адаптивного управления и обзор литературы, охватывающий период с начала 50-х годов. Рассмотрены различные варианты практического применения адаптивных систем. Проведены классификация и исследование адаптивных систем управления.

5. Заключение

Новые поколения летательных и космических аппаратов приводят к новым проблемам управления, добавляемым к рассмотренным задачам управления нестационарными объектами. На повестку дня встают вопросы построения систем управления с элементами искусственного интеллекта. Современный уровень развития бортовой вычислительной техники вполне позволяет ставить вопрос о практическом применении подобных систем. На этот уровень вычислительной техники ориентировался В.В. Солодовников в работах “Некоторые принципы построения и вопросы теории самонастраивающихся систем автоматического управления” и “Расчет и проектирование аналитических самонастраивающихся систем с эталонными моделями” в годы, когда о нем можно было только мечтать. На этот уровень рассчитаны новые предложения одного из основоположников адаптивного управления академика А.А. Красовского.

Возникает вопрос: каким образом можно решать проблему приближения теоретических результатов к нуждам практического внедрения? Для этой цели в работах должны присутствовать: максимальная ясность физической сущности формулируемой задачи; максимальная степень конструктивности решения; приведение алгоритма решения задачи в виде, легко воспроизводимом средствами математического моделирования. Очень важно не отходить от этих принципов и от связи с предприятиями, занимающимися конкретными объектами управления [4].

Список литературы

1. Пупков К.А., Егупов Н.Д. “Методы классической и современной теории автоматического управления.” М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. В.Н. Фомин, А.Л. Фрадков, В.А. Якубович “Адаптивное управление динамическими объектами.” М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
3. В.А. Боднер, М.С. Козлов “Стабилизация летательных аппаратов и автопилоты.” М.: Оборонгиз, 1961.

4. С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский “О некоторых результатах развития теории и практического применения беспоисковых адаптивных систем”, журнал “Автоматика и телемеханика”, №7, 2001.
5. Солодовников В.В., Шрамко Л. С. “Расчет и проектирование аналитических самонастраивающихся систем с эталонными моделями.” М.: Машиностроение, 1972.
6. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. “Адаптация в нелинейных динамических системах.” М.: ЛКИ, 2008
7. Юревич Е.И. “Теория автоматического управления.” СПб.: ВХБ-Петербург,2007