

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЕ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Факультет: «Электроника и автоматика»  
Направление: 5330200 – «Информатика и информационные технологии»  
(в управлении)

Кафедра: «Информационные технологии в управлении»

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ доц. Севинов Ж.У.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
НА СОИСКАНИЕ СТЕПЕНИ  
БАКАЛАВРА**

на тему: «Алгоритмы синтеза управляющих воздействий в системах  
адаптивного управления и их программное обеспечение»

Выполнила – студент

Абдуллаев У.Х.

Руководитель выпускной  
работы, д.т.н., проф.

Игамбердиев Х.З.

Ташкент – 2016 г.

## МАЗМУННОМА

Битирув малакавий ишида адаптив бошқариш системаларида бошқарув таъсирларини синтезининг алгоритмлари ва дастурий таъминотини қуриш саволлари кўрилди. Адаптив бошқариш системасини структуралари ва қурилиш принциплари таҳлил қилинди. Эталон моделлар асосида адаптив бошқариш системаларида бошқарув қурилмалари параметрларини созлаш алгоритмларини модификациялаш амалга оширилди. Адаптив бошқариш системаларида бошқарув таъсирини синтезлаш процедурасининг дастурий таъминоти ишлаб чиқилди. Эталон моделлар асосида адаптив бошқариш системаларини синтез масалаларининг сонли ечими амалга оширилди.

## АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются вопросы построения алгоритмов синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления и их программное обеспечение. Произведен анализ принципов построения и структуры адаптивных систем управления. Осуществлена модификация алгоритмов настройки параметров управляющих устройств в адаптивных системах управления на основе эталонных моделей. Разработано программное обеспечение процедуры синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления. Осуществлено численное решение задачи синтеза адаптивной системы управления с эталонной моделью.

## ANNOTATION

In work questions of creation of synthesis algorithms of the operating influences in systems of adaptive management and their software are considered. The analysis of the principles of construction and structure of adaptive control systems is made. Modification of algorithms of control of parameters of actuation devices in adaptive control systems on the basis of reference models is carried out. The software of procedure of synthesis of the operating influences in systems of adaptive management is developed. The numerical solution of a problem of synthesis of an adaptive control system with reference model is carried out.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА I. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ.....	6
1.1. Адаптация в процессах управления сложными объектами .....	6
1.2. Задачи управления и обработки информации .....	12
1.3. Принципы построения и структуры адаптивных систем управления .....	20
1.4. Постановка цели и задачи работы .....	28
ГЛАВА II. АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ .....	30
2.1. Алгоритмы настройки параметров управляющих устройств в адаптивных системах управления на основе эталонных моделей .....	30
2.2. Методы и алгоритмы анализа устойчивости и качества в адаптивных системах управления .....	36
2.3. Особенности программного обеспечения в задачах синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления .....	40
2.4. Программное обеспечение процедуры синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления .....	49
2.5. Численное решение задачи синтеза адаптивной системы управления с эталонной моделью .....	59
ГЛАВА III. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	77
ЛИТЕРАТУРА .....	78

## ВВЕДЕНИЕ

В теории и практике автоматизации широкое применение находят методы управления динамическими объектами в условиях, когда неизвестен ряд существенных параметров и факторов, определяющих их поведение. Нужный закон управления отыскивается адаптивным регулятором в процессе функционирования по реакциям объекта на поданные управляющие воздействия. В случае, если такой регулятор построен, вся система приобретает свойство приспособляемости, адаптивности: если при изменении внешних условий найденный ранее закон управления перестает быть удовлетворительным, то адаптивный регулятор находит новый закон управления, при котором поведение системы вновь начинает удовлетворять требуемым критериям. Методы адаптивного управления находят все большее применение при управлении технологическими процессами, в автоматизированных системах управления в различных отраслях. К настоящему времени известны различные алгоритмы синтеза управляющих устройств в системах адаптивного управления с эталонными моделями в условиях полной или частичной информации об управляемом процессе и статистических характеристиках шумов объекта и помех измерений. Однако, реальные объекты управления функционируют в условиях действия на них различного вида неопределенных возмущений, которые могут входить в модель объекта аддитивно и считаться координатными или мультипликативно, что чаще отражается дрейфом неизвестных параметров. В этих условиях вопросы обеспечения условий работоспособности типовых схем адаптивного управления и развития методов модификаций типовых алгоритмов, обеспечивающих сходимость процессов адаптации, приобретают весьма важное значение. В этой связи изучение и анализ методов и алгоритмов построения адаптивных систем управления на основе эталонных моделей и их практическое применение в условиях конкретных технологических объектов представляется весьма актуальным.

# ГЛАВА I. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

## 1.1. Адаптация в процессах управления сложными объектами

Понятие адаптации как инструмента («орудия») целенаправленного воздействия на объект, столь распространенное в биологии и социологии, в последние годы стало фигурировать в математической, технической и особенно в кибернетической литературе.

Необходимость введения адаптации хорошо чувствует всякий проектировщик, которому приходится создавать систему при значительной априорной неопределенности об условиях ее функционирования. Осреднение по этой неопределенности редко бывает удачным. С другой стороны, всякое осреднение поведения среды позволяет спроектировать систему, оптимально работающую только при среднем состоянии среды. Всякое же отклонение среды от среднего приводит к неоптимальности функционирования системы.

Именно поэтому так важно вводить в систему адаптирующие подсистемы, которые будут ее изменять, с тем чтобы поддерживать ее эффективность в оптимальном состоянии независимо от состояния среды.

Как видно, термин «адаптация» уже прочно вошел в инженерный лексикон и, следовательно, нуждается в более точном определении. Действительно, разъяснение понятия адаптации как приспособления к новым условиям, которое вполне удовлетворяет биологов и социологов, совершенно неудовлетворительно с точки зрения инженера. Для строгого определения этого понятия следует рассмотреть процессы адаптации в биологии и социологии с инженерных позиций.

В понятие адаптации как активного действия (управления) обычно вкладывают два смысла: приспособление к фиксированной среде (условно назовем пассивной адаптацией) и поиск среды, адекватной данной системе

(назовем соответственно активной адаптацией). В первом случае адаптирующаяся система функционирует так, чтобы выполнять свои функции в данной среде наилучшим образом, т. е. максимизирует свой критерий эффективности функционирования в данной среде. Активная адаптация, наоборот, подразумевает либо изменение среды с целью максимизации критерия эффективности, либо активный поиск такой среды, в которой достигим желаемый комфорт.

Очевидно, что в действительности оба вида адаптации встречаются одновременно и взаимодействуют друг с другом. Растения обладают преимущественно пассивной адаптацией, а животные – активной. В социальной жизни и та и другая адаптация проявляются, по-видимому, в равной мере. В обоих случаях для осмысления адаптации как процесса необходимо разобраться по крайней мере в двух обстоятельствах:

1. Какова цель адаптации, т.е. что называть эффективным функционированием системы?

2. Каков алгоритм адаптации, т.е. каким способом достигается поставленная цель?

Таким образом, задавая цель (какая бы она ни была) и способ ее достижения, мы тем самым определяем адаптацию как процесс.

Это означает, что адаптация ничем не отличается от управления (в широком смысле). Действительно, адаптация, как и всякое управление, есть организация такого целенаправленного воздействия на объект, при котором достигаются заданные цели.

Отождествляя адаптацию и управление, необходимо определить тип управления, к которому относится адаптация.

Однако сложные системы (особенно биологические и социальные), как правило, не имеют единственного критерия функционирования. Такого рода системы функционируют в обстановке многокритериальности, причем эти критерии могут быть не только экстремальными, но и иметь характер ограничений. Это побуждает формулировать сразу несколько

критериев и варьировать их выбор в зависимости от сложившейся ситуации и внутренних потребностей самой системы. Таким образом, уже выбор критериев адаптации является процессом адаптивным и должен учитываться при определении адаптации.

Поэтому, с учетом особенностей сложных систем, адаптацию в широком смысле можно определить как процесс целенаправленного изменения параметров и структуры системы, который состоит в определении критериев ее функционирования и выполнении этих критериев.

Это определение включает приведенное выше, но, кроме того, позволяет изменять критерии функционирования системы, по которым оценивается эффективность ее работы при организации адаптации. Введение процедуры выбора критерия оптимальности в процессе адаптации расширяет понятие адаптации и сближает его с биологическим и социологическим толкованием. Последнее обстоятельство является очень важным.

Дело в том, что в технике пока очень малоэффективно работающих адаптивных систем – во всяком случае, значительно меньше, чем хотелось бы. Такая ситуация сложилась в результате того, что реальные объекты не терпят поисковых воздействий, необходимых для организации поиска экстремума критерия оптимальности. Интерес, проявляемый в последнее время к так называемым беспойсковым системам оптимизации, вызван именно этим обстоятельством. Однако далеко не все процессы адаптации могут быть выполнены беспойсковым способом, требующим информации о структуре объекта. Поэтому проблема адаптации в технике сводится к снижению той высокой платы, которую приходится платить за процесс адаптации.

Это можно сделать по крайней мере двумя путями – выбором удачного алгоритма адаптации при фиксированном критерии и удачным варьированием критериев при фиксированном алгоритме адаптации.

Третий путь довольно естественно образуется варьированием алгоритмов и критериев. В технике применяется только первый путь. Биологические и социальные системы широко используют еще и второй путь адаптации – изменение целей, в чем, по-видимому, и заключается причина удивительно гибкой адаптивности этих систем, которой пока практически лишены технические системы адаптации.

Основная цель изучения процессов адаптации должна состоять именно в отыскании причин и механизмов гибкости процессов адаптации в биологических и социальных системах с целью их перенесения в технические системы. Именно это соображение заставляет анализировать процессы адаптации на разных уровнях: от самого низкого – технического, до самого высокого – социального.

Если управление реализовано, а его цель не достигнута (напомним, что рассматривается управление сложным объектом), приходится возвращаться к одному из предыдущих этапов. Даже в самом лучшем случае, когда поставленная цель достигнута, необходимость обращения к предыдущему этапу вызывается изменением состояния среды или сменой цели управления. Таким образом, при самом благоприятном стечении обстоятельств следует обращаться к этапу синтеза управления, на котором определяется новое управление, отражающее новую, сложившуюся в среде ситуацию. Так функционирует стандартный контур управления, которым пользуются при управлении простыми объектами.

Специфика сложного объекта управления требует расширения описанного цикла за счет введения этапа адаптации, т.е. коррекции всей системы управления или, точнее, – всех этапов управления. Адаптация здесь выступает в роли более глубокой обратной связи, улучшающей процесс управления сложной системой.

Адаптация как процесс приспособления системы управления к специфическим свойствам объекта и окружающей среды имеет несколько

иерархических уровней, соответствующих различным этапам управления сложным объектом. Начнем с нижнего уровня.

Параметрическая адаптация связана с коррекцией, подстройкой параметров  $C$  модели. Необходимость в такого рода адаптации возникает ввиду дрейфа характеристик управляемого объекта. Адаптация позволяет подстраивать модель на каждом шаге управления, причем исходной информацией для нее является рассогласование откликов объекта и модели, устранение которого и реализует процесс адаптации.

Такого рода адаптивное управление часто называют управлением с адаптивной (или адаптирующейся) моделью объекта. Преимущества его очевидны. Методы и аппарат, которые при этом используются, присущи этапу идентификации. Именно поэтому адаптация параметров связана с их идентификацией, т. е. с определением параметров в режиме нормального функционирования управления объектом.

Однако процесс управления объектом часто не предоставляет достаточной информации для коррекции модели, так как управление недостаточно разнообразно, чтобы дать информацию о специфических свойствах объекта, которые необходимы для синтеза управления и которые следует отразить в модели объекта. Это обстоятельство заставляет искусственно вводить в управление дополнительное разнообразие в виде тестовых сигналов, накладываемых на собственно управление. Организация этих сигналов и образует следующий контур адаптации. При этом, строго говоря, снижается эффективность управления. Однако полученная информация позволяет адаптировать модель, что гарантирует успех управления на последующих шагах.

Адаптивное управление, в процессе которого не только достигаются цели, но и уточняется модель, называют дуальным, т.е. двойственным. Здесь путем специальной организации управления сразу достигаются две цели – управления и адаптации модели. Методически введение тестовых сигналов соответствует решению задачи планирования эксперимента.

Действительно, при дуальном управлении следует таким образом воздействовать тестовыми сигналами на объект, чтобы, минимально нарушая нормальное функционирование процесса управления, получить максимальную информацию о специфике объекта в целях использования этой информации для коррекции модели.

Структурная адаптация. Далеко не всегда адаптация модели путем коррекции ее параметров позволяет получить адекватную модель объекта. Неадекватность возникает при несовпадении структур модели и объекта. Если в процессе эволюции объекта его структура изменяется, то такая ситуация складывается постоянно. Указанное обстоятельство заставляет обращаться к адаптации структуры модели, что реализуется методами структурной адаптации. Например, здесь можно воспользоваться процедурой перехода от одной альтернативной модели к другой. При этом альтернативы могут различаться числом и характером входов-выходов модели, вариантами декомпозиции и структурой элементов модели.

Альтернативные модели нуждаются в идентификации параметров, что осуществляется отмеченными выше методами параметрической адаптации.

Методически структурная адаптация модели использует алгоритмы структурного синтеза.

Адаптация объекта. Если и структурная адаптация модели не позволяет повысить эффективность функционирования (на пример, какие-то цели управления не реализуются в объекте), то следует адаптировать объект управления. Эта адаптация связана с изменением объекта, т. е. пересмотром границы, разделяющей объект и среду. При этом следует учитывать, что расширение объекта приводит, как правило, к повышению его управляемости, но требует дополнительных ресурсов для реализации управления (т.е. последующего структурного и параметрического синтеза). Разные варианты расширения объекта квалифицируются различным образом по управляемости и требуемому ресурсу управления. Выбор

наилучшего варианта объекта в процессе управления им и составляет основу адаптации объекта.

Адаптация целей управления. Наконец, если и эта мера неэффективна, следует обратиться к адаптации целей управления. В этом случае определяется новое множество целей, достижение которых обеспечивается созданной системой управления. Ввиду того что объект эволюционирует (вместе со средой), изменяется и множество достигаемых им целей. Важно знать, какие именно цели могут быть поставлены перед системой управления. Такую информацию можно получить путем адаптации целей. В результате этого процесса фактически адаптируется субъект, который изменяет свои потребности так, чтобы они удовлетворялись путем реализации нового множества целей, достигаемых системой управления в данный период времени. Поэтому адаптацию целей следует считать *адаптацией потребностей* субъекта, пользующегося услугами созданной системы управления и поставленного перед необходимостью такой адаптации.

Каждый последующий уровень адаптации имеет постоянную времени на несколько порядков выше, чем предыдущий, т.е. работает значительно медленнее. Это обстоятельство следует учитывать при создании системы адаптации: верхние уровни адаптации должны включаться лишь в том случае, если нижние не могут эффективно отследить изменения, произошедшие в объекте.

## 1.2. Задачи управления и обработки информации

Современные технологические процессы (ТП) представляют собой сложные системы, состоящие из большого числа технологических агрегатов и установок. Системы управления ТП представляют собой иерархические системы, в которых каждый уровень иерархии выполняет

свои задачи управления, увязанные с задачами управления на более низких и более высоких уровнях иерархии. При разработке и исследовании таких систем наиболее эффективен системный подход, а наиболее распространенным методом исследования систем является метод декомпозиции. Рассмотрим управление ТП на нижнем и среднем уровнях иерархии АСУ ТП – задачи управления технологическими агрегатами и установками.

Интенсификация производства в отраслях народного хозяйства, особенно в химии, нефтехимии и нефтепереработке, приводит к росту удельной мощности отдельных агрегатов, а значит к усложнению ТП как объектов автоматического управления. Их сложность обусловлена наличием большого числа управляющих и возмущающих воздействий, отсутствием априорной информации о динамических характеристиках процесса, особенно для вновь разрабатываемых ТП, нестационарностью и нелинейностью статических и динамических характеристик процесса. Системы непосредственного цифрового управления процессами (НЦУ), реализуемые в АСУ ТП с фиксированными параметрами настроек, во многих случаях уже не могут обеспечить качественного, а иногда и просто устойчивого управления ТП.

Непрерывное совершенствование средств вычислительной техники сделало возможным реализацию довольно сложных алгоритмов адаптивного управления в АСУ ТП, что позволяет считать адаптивные АСУ ТП одним из сложившихся направлений в автоматическом управлении технологическими процессами.

В адаптивных АСУ ТП решаются следующие основные задачи адаптивного управления и обработки информации: стабилизация технологического процесса на заданном режиме; программное управление

технологическим процессом; оптимизация технологического процесса вблизи его рабочей точки; оптимизация технологического процесса в динамическом режиме; обработка информации и получение информации о параметрах модели объекта управления; обмен информацией и выполнение команд с высших уровней управления. Рассмотрим кратко каждую из этих задач.

Адаптивная стабилизация технологического процесса на заданном режиме. Эта задача является одной из главных задач управления технологическим процессом в условиях неопределенности, обусловленной незнанием значений параметров объекта управления. Для ее решения применяются адаптивное супервизорное управление или адаптивное непосредственное цифровое управление (НЦУ). Наличие неопределенности заставляет снижать полосу пропускания канала стабилизации, что ведет к ухудшению показателей качества или приводит к опасности нарушения устойчивости работы контура стабилизации. Цель адаптивной стабилизации – поддержание малой динамической ошибки стабилизации и неизменных динамических характеристик замкнутого контура независимо от изменения переменных параметров объекта. Как и в случае адаптивных регуляторов, на практике ограничиваются требованием слабой зависимости динамических характеристик от переменных параметров объекта.

Адаптивное программное управление технологическим процессом. Это задача управления технологическим процессом в режиме пуска, останова или управления программным изменением технологических переменных на той или иной стадии технологического процесса. Цель адаптивного программного управления – поддержание малой динамической ошибки слежения независимо от переменных параметров

объекта. Иногда под адаптивным программным управлением понимают логическое управление исполнительными органами, зависящее от параметров эффективности управления технологическим объектом, определяемых в процессе его функционирования.

Адаптивная оптимизация технологического процесса вблизи его рабочей точки (статическая оптимизация). Задача оптимизации технологического процесса в статике по заданному критерию оптимизации дает часто основную составляющую суммарного экономического эффекта от внедрения АСУ ТП. Однако указанный эффект сильно зависит от степени близости значений технологических параметров модели процесса их расчетным значениям на номинальном режиме. Если оптимизация позволяет исключить или уменьшить влияние переменных параметров объекта на значение критерия качества, то имеют в «виду адаптивную оптимизацию технологического процесса вблизи его рабочей точки. Эта задача является наиболее распространенной среди реализованных задач адаптивного управления в АСУ ТП.

Адаптивная оптимизация технологического процесса в динамическом режиме (адаптивная динамическая оптимизация). Задачи динамической оптимизации не получили еще распространения в АСУ ТП вследствие сложности их решения; при этом не всегда возможен выигрыш перед простым управлением по возмущению или с помощью обратной связи. При динамическом оптимальном управлении определяется стратегия управления динамическим технологическим объектом, оптимальная с точки зрения выбранного критерия, например среднеквадратической ошибки слежения при наличии неконтролируемого возмущения. Если оптимальная стратегия управления не зависит или слабо зависит от неопределенности, связанной с неизвестными параметрами

объекта или неизвестными начальными условиями, то рассматривают адаптивную оптимизацию технологического процесса в динамическом режиме.

Адаптивная обработка информации и получение информации о параметрах модели объекта. Информационные задачи в адаптивных АСУ ТП включают в себя ряд разнородных задач. Задачи адаптивной обработки информации в зависимости от переменных характеристик каналов связи или зависимости динамических характеристик датчиков от свойств помехи или объекта управления близки к задачам описанного типа. Наиболее характерным представителем адаптивных информационных устройств в адаптивных АСУ ТП являются адаптивные помехозащищенные фильтры, как, например, адаптивный фильтр Калмана–Бьюси. Другой задачей из этой группы является адаптивная идентификация параметров технологического процесса для выдачи справочной информации оператору, ее регистрации или функциональной диагностики технологического процесса.

Обмен информацией и выполнение команд с высших уровней управления. Эта задача возникает при взаимодействии АСУ ТП с системой оперативного управления АСУП, которая является более высоким уровнем иерархии в системе управления производством. Запросы могут касаться параметров статических или динамических моделей, необходимых при расчете технико-экономических показателей (ТЭП) технологического процесса, а команды управления могут потребовать перераспределения нагрузки между технологическими агрегатами и т. п. Специфичным для адаптивных АСУ ТП является передача ряда задач адаптивного управления, не требующих обработки в реальном времени, на верхний

уровень управления, как правило, обладающий большими вычислительными ресурсами.

Цель адаптивного управления состоит в решении двух основных задач, к которым относится обеспечение условий

$$Q=Q_{\text{зад}} \text{ или } Q \leq Q_{\text{зад}} , \quad (1.1)$$

а также

$$Q = Q_{\text{min}}. \quad (1.2)$$

Первая задача (1.1) – это задача стабилизации динамических характеристик системы управления технологическим объектом. Вторая задача (1.2) – задача оптимального адаптивного управления в узком смысле.

Классификация адаптивных АСУ ТП, приведенная на рис.1.1, отражает деление всех систем на три основных класса: поисковые, беспоисковые и комбинированные. Основанием для такой классификации являются два режима обработки данных, свойственных АСУ ТП: обработка данных в реальном масштабе времени, которой соответствуют беспоисковые алгоритмы адаптации и адаптивной идентификации, и обработка данных в режиме разделения времени, которой соответствуют поисковые алгоритмы. Комбинированные адаптивные АСУ ТП объединяют оба режима обработки данных.

В экстремальных АСУ ТП, которые относятся к поисковым системам, осуществляется поддержание режима технологического агрегата вблизи точки экстремума критерия качества в статическом режиме. В таких системах присутствуют пробные сигналы, что ограничивает область их применения.

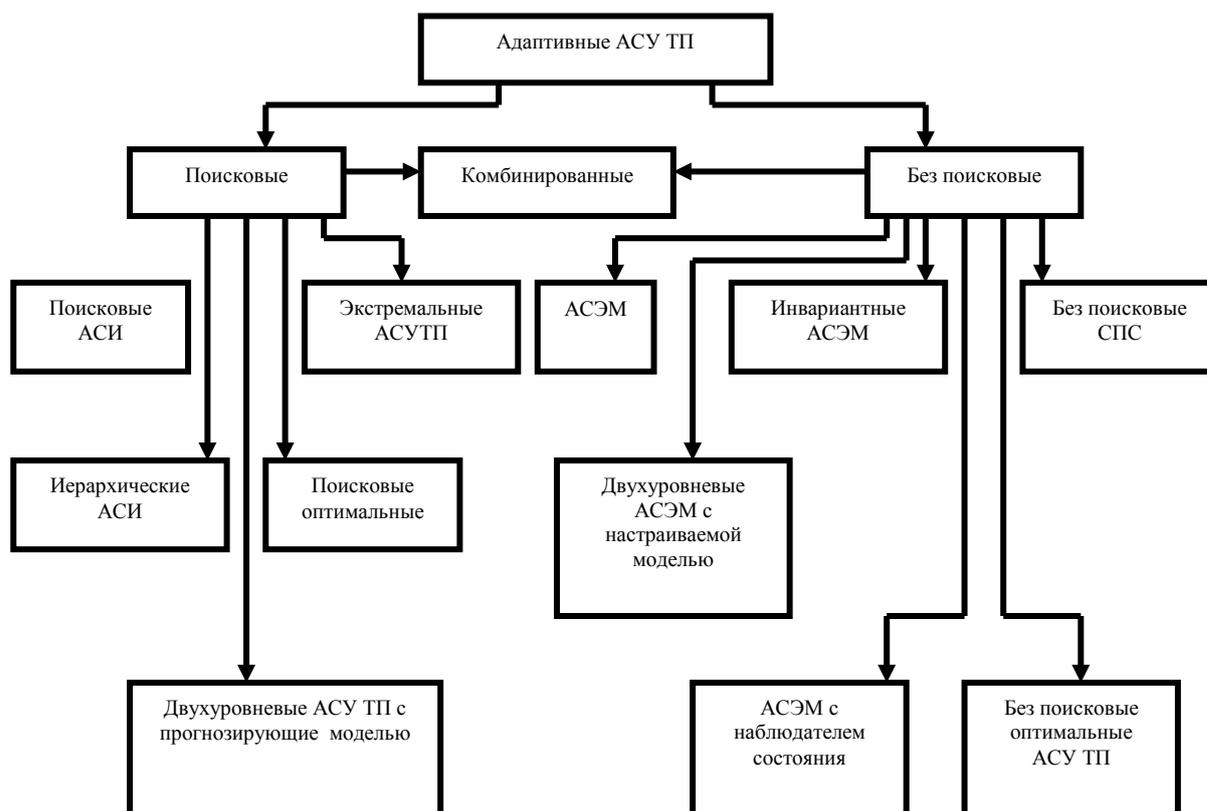


Рис.1.1. Классификация адаптивных АСУ ТП

Адаптивные системы с идентификатором (АСИ) реализуют эффективное в АСУ ТП управление по возмущению с помощью настраиваемой модели, объекта. В иерархических АСИ каждый уровень иерархии системы управления технологическими линиями и участками непрерывного производства имеет соответствующую АСИ с идентификатором в цепи обратной связи.

Двухуровневые АСУ ТП с прогнозирующей моделью, иногда называемые двухшкальными АСУ ТП, используют настраиваемую модель для быстрого по сравнению с переходным процессом в объекте регулирования расчета программного управления и его реализации в реальном масштабе времени.

Поисковые оптимальные адаптивные АСУ ТП решают также задачу динамической оптимизации на основе поисковых процедур минимизации критерия качества управляемых динамических технологических объектов управления.

В классе беспоисковых адаптивных АСУ ТП отдельный подкласс составляют адаптивные системы с эталонной моделью (АСЭМ) различных типов. Инвариантные АСЭМ реализуют принцип беспоискового адаптивного управления по возмущению. В двухуровневой АСЭМ эталонная модель идентифицируется в реальном масштабе времени и используется для синтеза программного управления в «быстром» масштабе времени, которое затем в супервизорном режиме управляет реальным технологическим объектом.

Важным и сравнительно новым в адаптивных АСУ ТП являются АСЭМ с наблюдателями состояния, в качестве которых используется фильтр Калмана–Бьюси. Адаптация или адаптивная идентификация в фильтре осуществляется на основе настраиваемой модели объекта и методов беспоисковой адаптации.

Инвариантные АСЭМ реализуют настройку параметров регулятора по разомкнутому циклу. В отличие от них беспоисковые АСИ осуществляют с помощью беспоисковых алгоритмов идентификации адаптацию контура управления по возмущению.

Беспоисковые адаптивные АСУ ТП на базе систем с переменной структурой относятся к классу адаптивных АСУ ТП, которые позволяют реализовать адаптивное логическое управление методами пассивной и активной адаптации.

Беспоисковые оптимальные адаптивные АСУ ТП решают задачу динамической оптимизации методами беспоисковой адаптации. Они

отличаются от аналогичных поисковых систем тем, что адаптация нестационарной системы управления осуществляется под оптимальную эталонную модель. При этом параметры указанной модели вычисляются с помощью поисковых процедур динамической оптимизации заранее, на этапе проектирования. Таким образом, в этих системах задача поиска оптимального управления заменяется более простой в вычислительном отношении задачей подстройки под оптимальную модель системы.

Комбинированные адаптивные АСУ ТП объединяют в различных уровнях иерархии управления как поисковые, так и беспоисковые адаптивные АСУ ТП.

### 1.3. Принципы построения и структуры адаптивных систем управления

Рассмотрим более подробно принципы функционирования отдельных адаптивных АСУ ТП, а также их подсистем, решающих важные задачи управления и контроля технологических процессов,

Поисковые АСИ (рис.1.2) являются важным классом АСУ ТП, внедренных в различных отраслях промышленности, например в металлургии на ряде станов горячей прокатки труб, в нефтеперерабатывающей промышленности на установках переработки нефти большой производительности.

При управлении технологическими процессами часто можно измерять одно или несколько основных возмущений, действующих на объект. Кроме того, некоторые возмущения можно вычислять, используя другие переменные, связанные с искомым возмущением известной функциональной зависимостью.

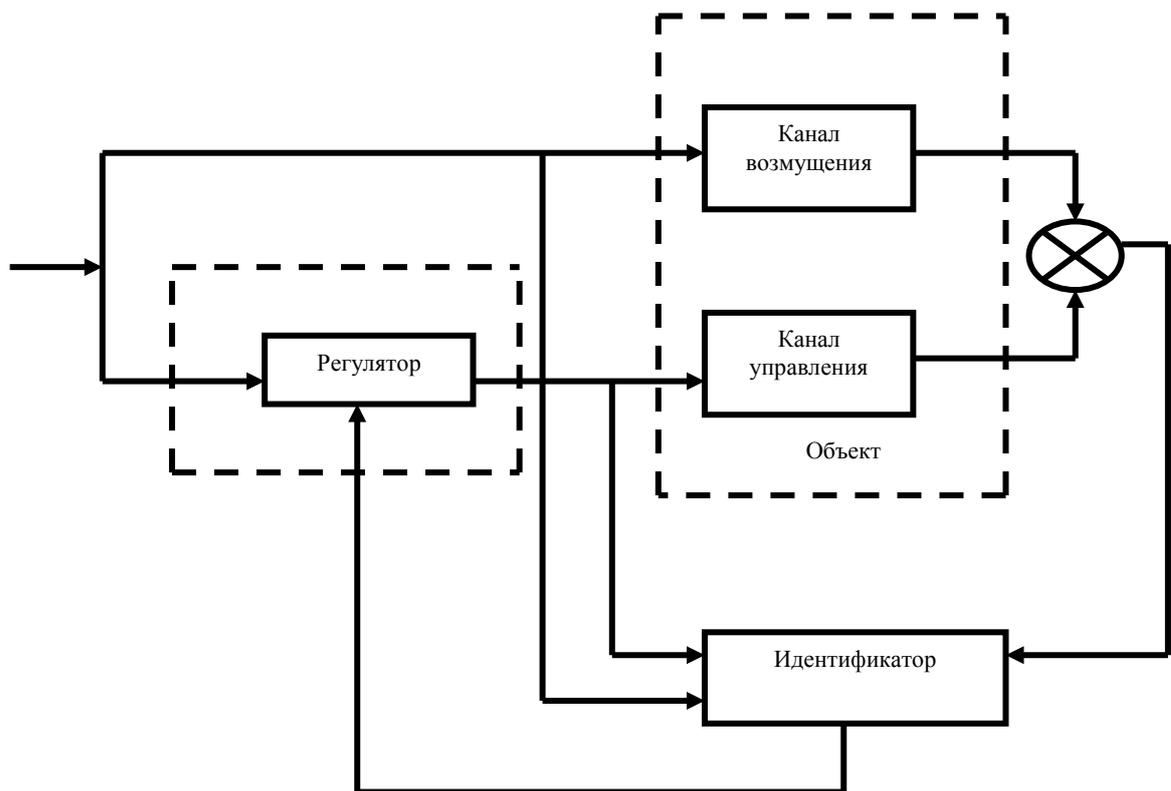


Рис.1.2. Структурная схема АСИ для задачи адаптивного управления.

Принцип построения этих АСИ заключается в параметрической компенсации в адаптивном регуляторе параметрических возмущений, действующих на объект регулирования. При этом своеобразным датчиком отклонений параметров объекта от их номинальных значений является идентификатор. Поскольку идентификатор находится в обратной связи контура компенсации, этот тип АСИ часто называют АСИ с идентификатором в обратной связи.

Контур разомкнутого управления АСИ состоит из двух каналов (принцип двухканальности, разработанный академиком Б.Н.Петровым). В режиме идентификации вычисляются оценки параметров передаточной функции объекта, при этом параметры регулятора сохраняются постоянными. В режиме управления настраиваются параметры регулятора по оценкам параметров объекта, вычисленным в момент окончания

режима идентификации. Такое разделение целей в двух уровнях иерархии составляет реализацию принципа дуального управления, выдвинутого А.А.Фельдбаумом.

На номинальном режиме характеристики каналов идентичны, в результате чего происходит компенсация возмущения на выходе объекта управления. Ошибка на выходе элемента сравнения играет двойную роль: с одной стороны, она необходима для адаптации модели относительно объекта в идентификаторе, а с другой стороны, она служит для компенсации других, неизмеряемых координатных возмущений, действующих на объект регулирования.

Трудности реализации многих современных методов автоматического управления, таких, как оптимальное управление, а также адаптивное управление на основе поиска экстремума критерия качества, связаны с большим объемом вычислений, который делает затруднительным реализацию этих методов в виде алгоритмов управления, работающих в одном темпе с процессом управления, т.е. в реальном масштабе времени. Благодаря тому что в беспойсковых адаптивных системах эталонная модель реализует оптимальные динамические характеристики системы в целом, задача динамической оптимизации подменяется здесь задачей подстройки под эталон, которая в вычислительном отношении значительно проще исходной задачи. Алгоритмы адаптации или адаптивной идентификации с эталонной моделью содержат простые арифметические операции и, являясь рекуррентными, сравнительно легко реализуются уже на внутреннем машинном языке или на мнемокоде. Требования к их реализации в реальном масштабе времени не выше, чем требования к реализации закона управления в основном контуре БНС. При этом существенно то, что некоторое увеличение объема памяти УВМ,

потребного на реализацию алгоритма управления, по сравнению с традиционными алгоритмами приходится на долю внешней памяти, тогда как основная память УВМ увеличивается незначительно.

Таким образом, статическая и динамическая адаптивные оптимизации на основе беспойсковых адаптивных систем с оптимальной эталонной моделью удачно дополняют друг друга. Эти задачи решаются на разных уровнях иерархии АСУ ТП: задача динамической адаптивной оптимизации вычисляется в реальном масштабе времени, тогда как задача статической адаптивной оптимизации не требует этого. Все это делает возможным и даже желательным реализацию статической и динамической адаптации в рамках единой адаптивной АСУ ТП. Подобная комбинированная структура особенно необходима, если АСУ ТП осуществляет автоматический пуск или останов технологического процесса, поскольку при этом критические диапазоны регулирования рабочей точки процесса изменяются сравнительно быстро. Беспойсковая адаптивная АСУ ТП с параллельной эталонной моделью замкнутого основного контура (рис.1.3) предназначена для решения задачи адаптивной стабилизации объекта управления. Различают два важных подкласса этой системы управления. Первый подкласс – адаптивные системы с эталонной моделью (АСЭМ) и сигнальной адаптацией – реализует требование малости динамической ошибки слежения за выходом эталонной модели. Системы этого подкласса не обладают памятью по отношению к изменившимся значениям параметров объекта. Другой подкласс – АСЭМ с параметрической адаптацией – реализует требование независимости параметров передаточной функции замкнутого основного контура от переменных параметров объекта, по отношению к которым контур адаптации обладает свойством памяти.

В АСЭМ обобщенная ошибка – разность выходов модели и замкнутого основного контура – несет информацию о параметрическом рассогласовании между передаточными функциями модели и основного контура. С помощью анализатора качества из обобщенной ошибки формируется функция качества, отклонение которой от эталонной несет информацию о параметрических рассогласованиях.

Устройство адаптации осуществляет такую перестройку параметров регулятора, при которой обобщенная ошибка адаптации стремится к нулю, а значит передаточная функция замкнутого основного контура стремится совпасть с передаточной функцией эталонной модели.

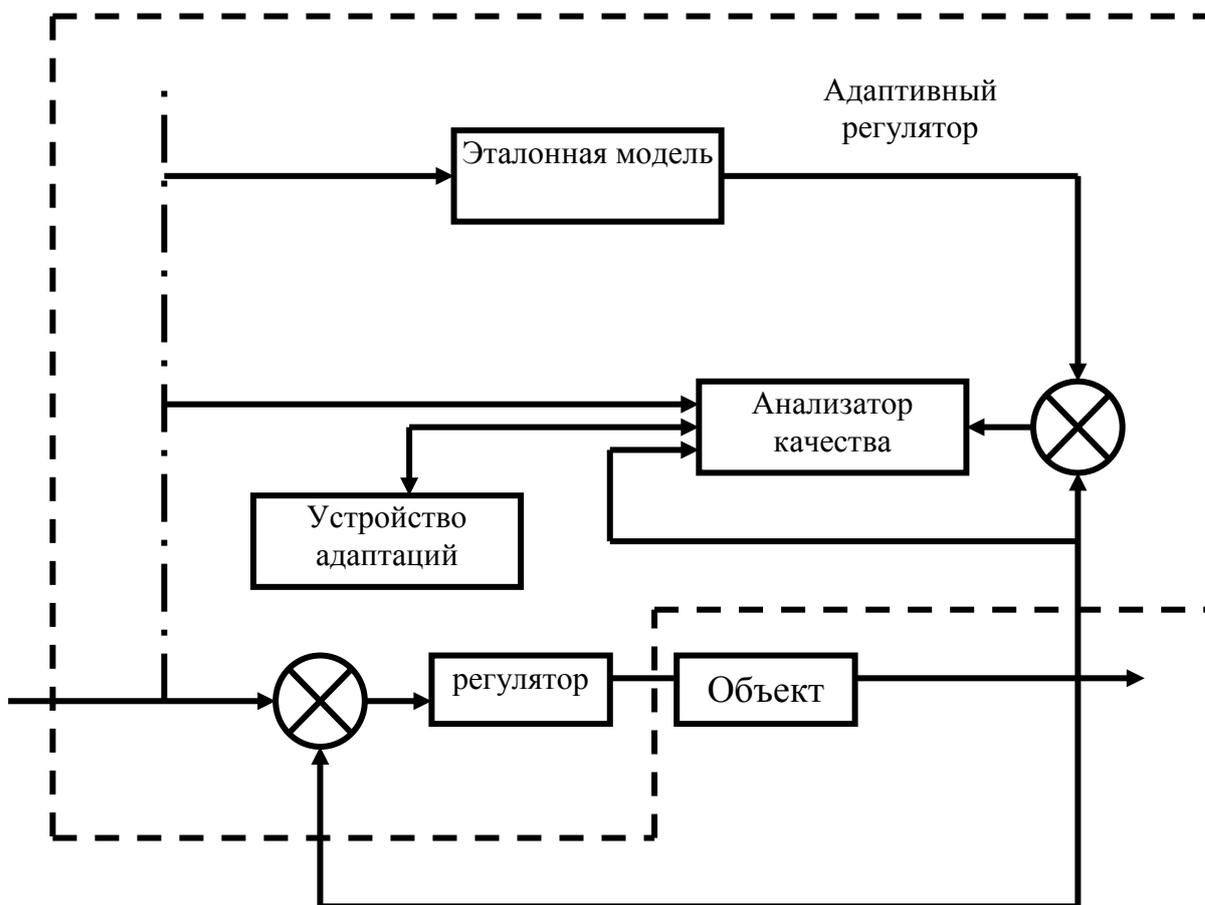


Рис.1.3. Структурная схема беспойсковой адаптивной АСУ ТП с параллельной эталонной моделью

Инвариантные адаптивные АСУ ТП с моделью объекта (инвариантные АСЭМ) (рис.1.4) реализуют однократную инвариантность относительно отклонения параметров передаточной функции замкнутого основного контура от их расчетных значений. При этом идентификатор играет роль датчика параметрических возмущений, а функциональный преобразователь реализует вычисленную заранее зависимость настроек параметров регулятора от параметров объекта, соответствующую совпадению передаточной функции замкнутого основного контура с эталонной передаточной функцией.

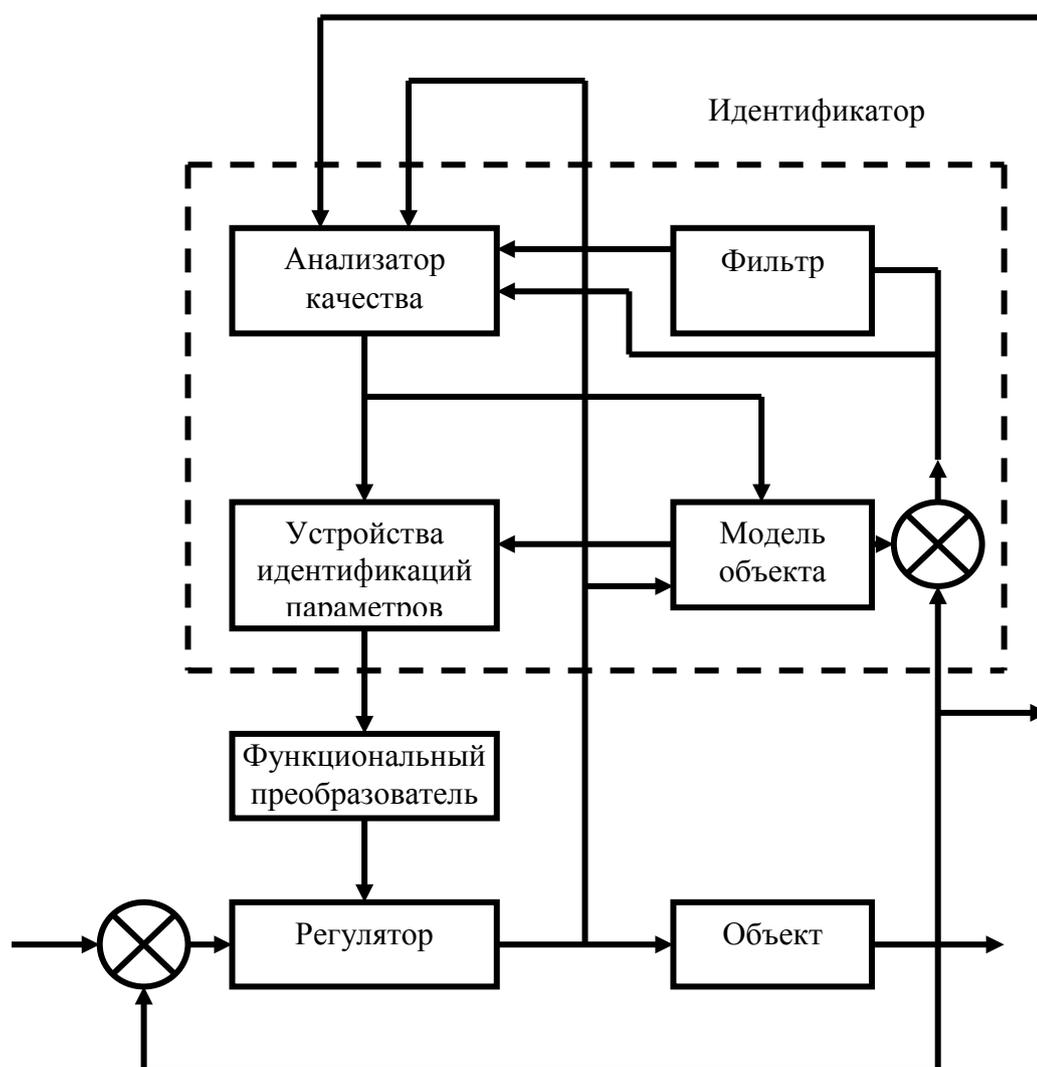


Рис.1.4. Структурная схема инвариантной адаптивной АСУ ТП с моделью объекта и однократной инвариантностью относительно параметрических возмущений

Процесс беспойсковой идентификации основан на использовании обобщенной ошибки идентификации, представляющей собой разность выходов модели и объекта. С помощью фильтра и анализатора качества формируется функция качества идентификации, отклонение которой от эталонной несет нужную информацию о параметрических рассогласованиях. Устройство идентификации параметров осуществляет перестройку параметров модели объекта до тех пор, пока оценки параметров модели не станут близки параметрам объекта. Существует разновидность инвариантной АСЭМ, в которой идентификатор работает по беспойсковым алгоритмам последовательного типа, как, например, рекурсивный метод наименьших квадратов (МНК) или рекурсивный метод наибольшего правдоподобия (МНП).

В беспойсковых оптимальных адаптивных АСУ ТП (рис. 1.5), решающих задачу адаптивной динамической оптимизации по квадратичному критерию качества, оптимальный динамический эталон рассчитывается заранее – на этапе проектирования АСУ ТП. Для синтеза оптимального управления используется принцип разделения, в соответствии с которым оптимальное управление представляет собой линейную обратную связь по переменным состояния, оценки которых получают с помощью адаптивного фильтра Калмана-Бьюси, причем значения параметров обратных связей регулятора и фильтра Калмана-Бьюси получают в виде решения независимых матричных уравнений Риккати.

Если в интегральном критерии качества отсутствует составляющая, зависящая от управления, то синтезированную систему называют адаптивным регулятором с минимальной дисперсией ошибки.

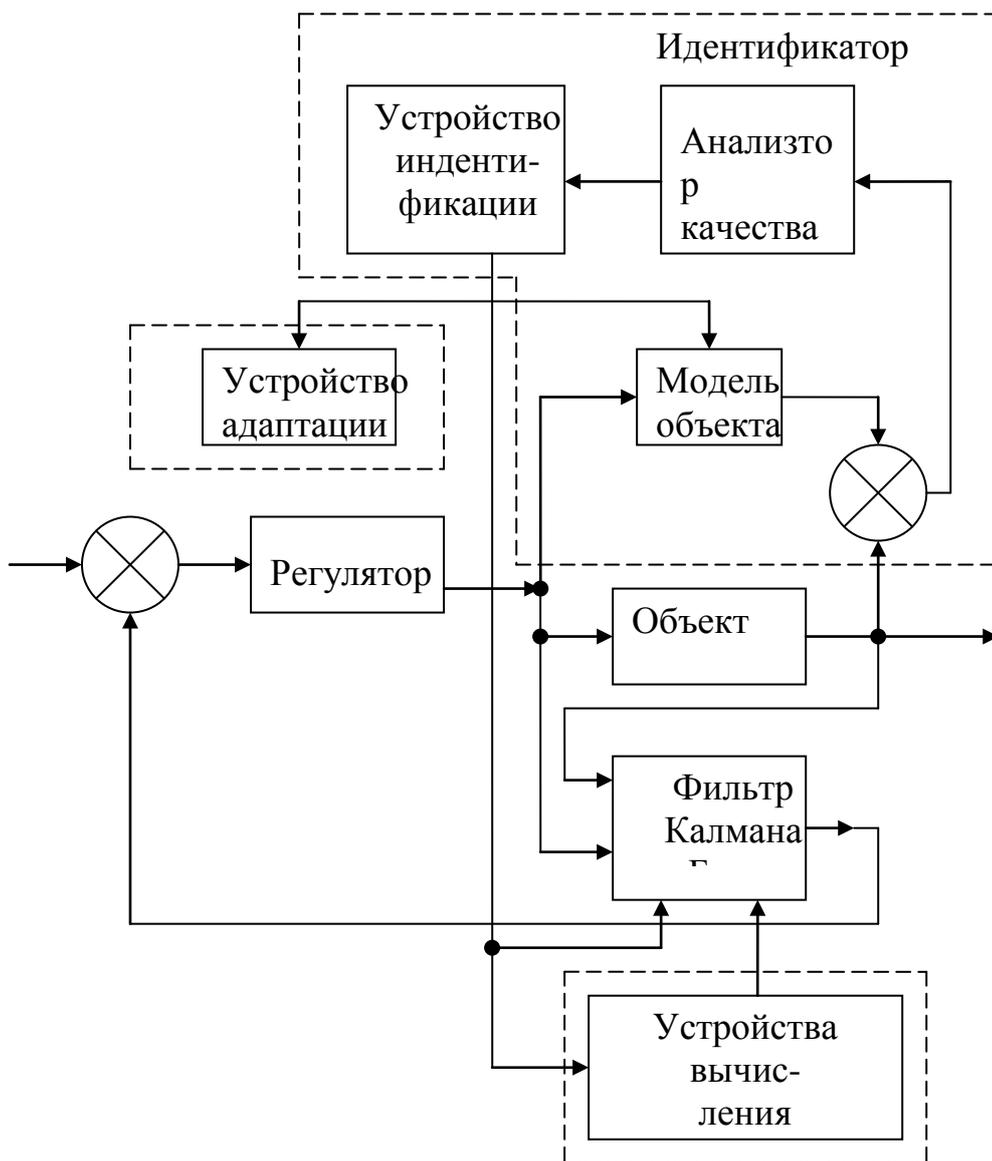


Рис.1.5. Структурная схема беспойсковой оптимальной адаптивной АСУ  
ТП с минимальной дисперсной ошибки

Такие системы успешно применяются в АСУ ТП бумагоделательной машины для управления сушильными секциями, в АСУ ТП рудодробилки и других отраслях промышленности. Идентификатор, вычисляющий в реальном масштабе времени оценки параметров объекта, используется для адаптации параметров регулятора с помощью преобразователя, для

подстройки параметров фильтр а Калмана-Бьюси и для определения коэффициентов обратной связи этого фильтра.

#### 1.4. Постановка цели и задачи работы

Выше было отмечено, что в задачах автоматизации широкое применение находят методы управления динамическими объектами в условиях, когда неизвестен ряд существенных параметров и факторов, определяющих их поведение. Нужный закон управления отыскивается адаптивным регулятором в процессе функционирования по реакциям объекта на поданные управляющие воздействия. К настоящему времени известны различные алгоритмы синтеза управляющих устройств в системах адаптивного управления с эталонными моделями в условиях полной или частичной информации об управляемом процессе и статистических характеристиках шумов объекта и помех измерений. Однако, реальные объекты управления функционируют в условиях действия на них различного вида неопределенных возмущений. В этих условиях вопросы обеспечения условий работоспособности типовых схем адаптивного управления приобретают весьма важное значение. В этой связи изучение и анализ методов и алгоритмов построения адаптивных систем управления на основе эталонных моделей и их практическое применение в условиях конкретных технологических объектов представляется весьма актуальным.

Целью работы является изучение и модификация алгоритмов синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления и разработка их программного обеспечения.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи исследований:

- модификация алгоритмов настройки параметров управляющих устройств в адаптивных системах управления на основе эталонных

моделей;

- изучение методов и алгоритмов анализа устойчивости и качества в адаптивных системах управления;
- анализ особенностей программного обеспечения в задачах синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления;
- разработка программного обеспечения процедуры синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления;
- численное решение задачи синтеза адаптивной системы управления с эталонной моделью.

Решение этих задач способствует повышению точности решения задачи синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления.

## ГЛАВА II. АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 2.1. Алгоритмы настройки параметров управляющих устройств в адаптивных системах управления на основе эталонных моделей

Рассмотрим более подробно одну из наиболее часто используемых в АСУ ТП инвариантную адаптивную АСУ ТП с моделью, структурная схема которой приведена на рис. 2.1. Ее основной контур образован регулятором  $P$ , цифро-аналоговым преобразователем ЦАП, исполнительным органом ИО, объектом регулирования ОР, аналого-цифровым преобразователем АЦП, перестраиваемым цифровым фильтром ПЦФ. Входными сигналами являются команда  $g$ , возмущение  $f$ ; выходным сигналом –  $x$ , а промежуточными сигналами – ошибка  $\varepsilon$  и управление  $u$ . В этой схеме с помощью беспойсковой адаптивной идентификации определяются параметры объекта регулирования ОР, а затем с помощью блока настройки БН вычисляются настраиваемые параметры  $r_1$  регулятора  $P$  и  $r_2$  перестраиваемого цифрового фильтра ПЦФ. Контур адаптации образован настраиваемой моделью объекта НМО, блоком формирования алгоритма идентификации БФАИ, исполнительным органом блока идентификации ИОБИ и блоком настройки БН. Выходные величины АЦП и НМО соответственно  $y$  и  $y_m$ . Структура настраиваемой модели объекта выбирается подобной структуре соединения исполнительный орган – объект регулирования.

В блоке формирования алгоритма идентификации формируется дискретная функция качества, представляющая собой нелинейную функцию ошибки идентификации  $\varepsilon$  и производных выходной величины, управляющих и возмущающих воздействий. В исполнительном органе блока идентификации осуществляются интегрирование сформированных

функций качества и нелинейное формирование закона настройки параметров в зависимости от текущих значений управляющего сигнала, выхода объекта и значений настраиваемых параметров. В блоке диагностики БД вычисленные значения параметров  $q$  сравниваются с предельно допустимыми  $q_n$ , что позволяет выявлять предаварийные состояния объекта и информировать о них оператора технологической установки.

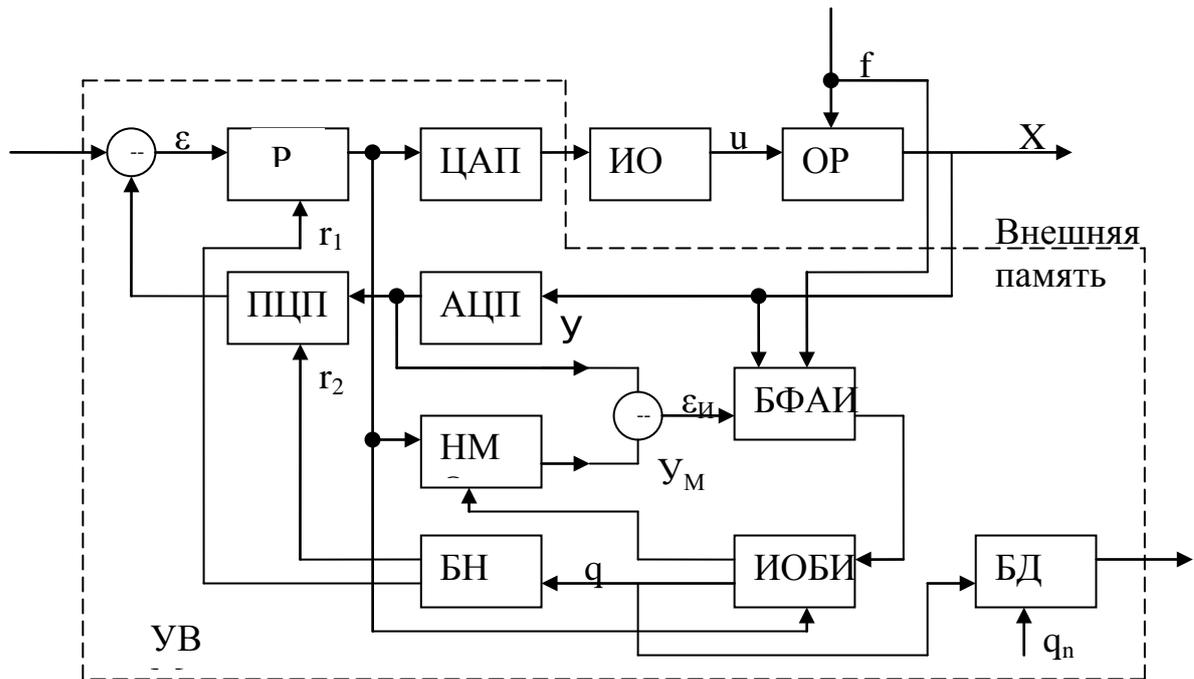


Рис.2.1. Структурная схема инвариантной адаптивной АСУ ТП с моделью объекта регулирования

Статические характеристики адаптации хранятся в памяти УВМ в виде таблиц или вычисляются в реальном масштабе времени в блоке настройки БН. Программа БН является наиболее сложной в вычислительном отношении, поскольку в общем случае требует вычисления псевдообратных матриц. Однако в том случае, когда число настраиваемых параметров регулятора ограничивается одним-двумя, которые, в свою очередь, зависят от одного-двух характерных технологических параметров, статические характеристики адаптации могут быть заранее вычислены и

представлены в виде таблиц, что в значительной мере упрощает их реализацию.

Структурная схема основного контура адаптивной АСУ ТП, решающей задачу адаптивной стабилизации многосвязного объекта-регулирования, изображена на рис.2.2. Предположим, что движение системы описывается следующими уравнениями пространства состояний:

- технологический объект регулирования вместе с исполнительным органом

$$\dot{x}_0 = A_0(t)x_0 + B_0(t)u; \quad (2.1)$$

- регулятор Р

$$u = K(t)\varepsilon; \quad (2.2)$$

- элемент сравнения

$$\varepsilon = g - y; \quad (2.3)$$

- обратная связь ОС

$$y = K(t)x_0; \quad (2.4)$$

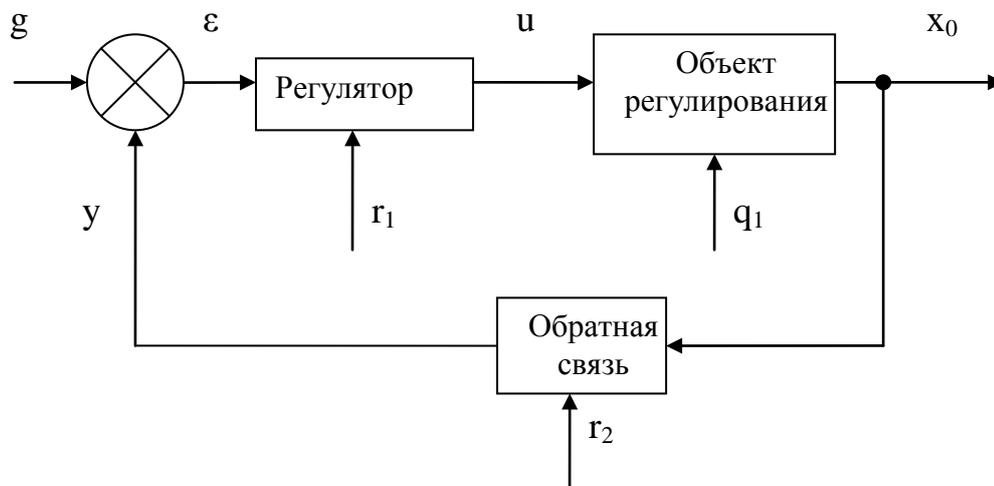


Рис.2.2. Структурная схема основного контура адаптивной АСУ ТП

Выше  $x_0, u, \varepsilon, g, y$  – векторы состояния объекта, управления, ошибки, уставки регулятора, обратной связи размерностей  $n, m, m, m, m$  соответственно;  $A_0(t)=[a_{0ij}(t)], B_0(t)=[b_{0ij}(t)]$  – матрицы параметров объекта размерности соответственно  $[n \times m]$ . Предполагается, что все состояния объекта доступны наблюдению, а элементы матриц  $A_0$  и  $B_0$  не известны по величине. Предполагается также, что во всем диапазоне изменения переменных параметров объект управления полностью управляем.

Обозначим  $K(t)$  и  $\tilde{K}(t)$  матрицы параметров регулятора  $r_1$  и обратной связи  $r_2$ . Примем, что элементы матриц  $K$  и  $\tilde{K}$  от времени зависят неявно, через векторы настраиваемых параметров  $r_1(t)$  и  $r_2(t)$ :

$$K(t)=[K_{ij}[r_1(t)]]_{m \times m}, \quad \tilde{K}(t)=[\tilde{K}_{ij}[r_2(t)]]_{m \times n},$$

$$i=1,2,\dots,m, \quad i=1,2,\dots,m,$$

$$j=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n.$$

Исключая промежуточные переменные, систему уравнений (2.1) – (2.4) приводят к виду

$$\dot{x}_0=[A_0(t)-B_0(t)K(t)\tilde{K}(t)]x_0+B_0(t)K(t)g. \quad (2.5)$$

Уравнение (2.5) представляет собой дифференциальное уравнение основного контура БСНС. Целью адаптации является такая настройка параметров  $K_{ij}$  и  $\tilde{K}_{ij}$ , при которой движение, описываемое уравнением (2.5), совпадало бы с желаемым движением, т.е. движением эталонной модели, несмотря на изменение переменных параметров объекта  $a_{0ij}$  и  $b_{0ij}$ .

Движение эталонной модели задается стационарным дифференциальным уравнением вида

$$\dot{x}_M=A_M x_M+B_M g, \quad (2.6)$$

где  $x_M$  –  $n$ -мерный вектор состояния модели;  $A_M$  и  $B_M$  – матрицы параметров модели размерности  $[n \times n]$  и  $[n \times m]$ .

Известно, что если линейная динамическая система управляемая, то матрицы  $K$  и  $\tilde{K}$  для любого наперед заданного номинального режима могут быть выбраны таким образом, что характеристический многочлен

матрицы  $A_0 - B_0 K \tilde{K}$  совпадает с произвольно заданным вещественным многочленом степени  $n$ . Целесообразно выбрать этот многочлен совпадающим с характеристическим многочленом матрицы  $A_M$ , имеющим наперед заданное распределение корней.

При идеальной настройке параметров управляемой системы должны выполняться условия, вытекающие из совпадения правых частей уравнений (2.5) и (2.6):

$$\begin{aligned} A_M &= A_0(t) - B_M \tilde{K}^0(t), \\ B_M &= B_0(t) K^0(t). \end{aligned} \quad (2.7)$$

Матричные алгебраические уравнения (2.7) и (13.10) определяют статические характеристики адаптации, т.е. зависимость матриц идеальной настройки  $K^0(t)$  и  $\tilde{K}^0(t)$  от матриц переменных параметров  $A_0(t)$  и  $B_0(t)$ .

Целью синтеза алгоритма адаптации является определение таких законов настройки параметров  $K_{ij}$  и  $\tilde{K}_{ij}$ , которые обеспечивали бы сходимость процессов настройки параметров  $K_{ij}$  и  $\tilde{K}_{ij}$  к их идеальным законам, определяемым системой уравнений (2.5) и (2.6).

Предположим, что с помощью идентификатора удастся вычислить мгновенные текущие значения матриц параметров объекта  $A_0(t)$  и  $B_0(t)$ . Вычислить значения матриц идеальных настроек  $K^0(t)$  и  $\tilde{K}^0(t)$ , видимо, можно с помощью матричных алгебраических уравнений статических характеристик адаптации (2.5) и (2.6). Однако уже простой анализ этих уравнений показывает, что решение сформулированной задачи существует не всегда.

Рассмотрим случай  $m = n$ . Очевидно, уравнения (2.5) и (2.6) имеют единственное решение в том и только в том случае, когда ранг матрицы  $B_M$  равен  $n$  и ранг матрицы  $B_0(t)$  на всем интервале наблюдения  $[t_0, \infty]$  также равен  $n$ . Эти решения задаются выражениями

$$\tilde{K}^0(t) = B_M^{-1} [A_0(t) - A_M], \quad K^0(t) = B_0^{-1}(t) B_M. \quad (2.8)$$

Если уравнения статики адаптации единственным образом определяют матрицы  $K^0(t)$  и  $\tilde{K}^0(t)$  по заданным матрицам  $A_M$  и  $B_M$ , а также по заданным в момент времени  $t$  матрицам параметров объекта  $A_0(t)$ ,  $B_0(t)$ , то управляемая система называется полностью адаптируемой.

Для случая  $m = n$  необходимым и достаточным условием полной адаптируемости является следующее условие:  $\text{ранг } B_0(t) = \text{ранг } B_M = n$  для любого момента времени на интервале наблюдения. Если матрица  $B_0(t)$  хотя бы однажды вырождается, то выражениями (2.8) для вычисления матриц настроек воспользоваться нельзя.

Из линейной алгебры известно, что в этом случае решение уравнений (2.5) и (2.6), если оно существует, дается выражениями

$$\tilde{K}(t) = B_M^+ [A_0(t) - A_M], \quad (2.9)$$

$$K(t) = B_0^+(t) B_M. \quad (2.10)$$

где верхний индекс «+» означает операцию вычисления псевдоинверсной матрицы.

В общем случае  $m < n$  уравнения (2.9) и (2.10) остаются справедливыми. Если матрица  $B_0$  размерности  $[m \times n]$  имеет ранг  $m$ , то псевдоинверсная по отношению к  $B_0$  матрица вычисляется по соотношению  $B_0^+ = (B_0^T B_0)^{-1} B_0^T$ .

Подставляя в (2.2) уравнения (2.3) и (2.4) и заменяя в этом выражении  $K(t)$ ,  $\tilde{K}(t)$  в соответствии с (2.9) и (2.10), получаем уравнение

$$u = B_0^+(t) B_M g - B_0^+(t) B_M B_M^+ [A_0(t) - A_M] x_0, \quad (2.11)$$

которое и представляет собой адаптивный закон управления, обеспечивающий совпадение движения в адаптивной системе с движением эталонной модели основного контура при условии, что идентификатор мгновенно определяет матрицы параметров объекта  $A_0$  и  $B_0$ . Так как в реальной системе идентификация осуществляется асимптотически, то

вместо совпадения движений происходит их приближение друг к другу, степень которого зависит от динамической ошибки идентификации.

## 2.2. Методы и алгоритмы анализа устойчивости и качества в адаптивных системах управления

Большинство алгоритмов адаптации в беспойсковой самонастраивающейся системе были получены не аналитически в результате применения заранее разработанных методов синтеза, а по результатам анализа основного контура систем для довольно узких классов объектов. Исключение составляет класс систем с эталонной моделью, алгоритмы адаптации которых можно синтезировать прямым методом Ляпунова. Однако эти алгоритмы сложны для реализации в аналоговых адаптивных регуляторах.

Ввиду эвристического характера большей части алгоритмов адаптации особое значение приобретает проблема анализа процессов адаптивного управления, которую можно разбить на ряд отдельных задач:

- устойчивость адаптивной системы управления для малых и больших координатных и параметрических возмущений;
  - статистические характеристики адаптивного управления;
  - качество адаптивного управления;
  - динамическая точность при детерминированных и случайных координатных и параметрических возмущениях;
  - нелинейные режимы;
- взаимодействие отдельных подсистем в иерархии управления.

Адаптивные системы управления, под которыми понимаются беспойсковые самонастраивающиеся системы, из-за наличия в их составе элементов с нелинейными характеристиками – умножителей – описываются в большинстве случаев нелинейным векторным дифференциальным уравнением вида

$$\dot{X} = F(t, X, U, f, Q), \quad X|_{t=t_0} = X_0, \quad (2.12)$$

где  $X$  – вектор состояний адаптивной системы размерности  $N=N_1+N_2$ , который составлен из состояний  $X_k$ , условно называемых координатами, и состояний  $X_n$ , называемых параметрами. Внешние воздействия: управляющее – вектор  $U$  размерности  $\gamma$ , возмущающее – вектор  $f$  размерности  $\alpha$  и параметрическое – вектор  $Q$  размерности  $s$  – по терминологии, принятой в теории автоматического управления, являются входами адаптивной системы.

Величина  $F$  – вектор-функция размерности  $N$ , которая может зависеть явным образом от времени  $t$ . Обычно предполагается, что это гладкая, т.е. дифференцируемая достаточное число раз функция в области определения соответствующих аргументов.

Следует отметить, что параметрическое воздействие  $Q(t)$  является независимым внешним воздействием в отличие от внутренних координат  $X_n$  части общего вектора состояния  $X$ , являющихся настраиваемыми параметрами регулятора.

К виду дифференциального уравнения (2.12) можно привести уравнения движения адаптивных систем с известной структурой, выписывая уравнения для отдельных подсистем, объединив их в совместную систему уравнений и записав полученную систему уравнений в векторной форме. Только в самых простых случаях решение уравнения (2.12) можно найти аналитически. До сих пор не существует не только точных методов аналитического решения уравнения (2.12), но и известные методы исследования качественного поведения этих решений являются достаточно сложными и громоздкими, что снижает преимущества анализа перед экспериментальным исследованием.

В основе анализа адаптивных систем автоматического регулирования лежат методы теории устойчивости динамических систем теория чувствительности, теория инвариантности и частотные методы.

Задача анализа статических характеристик контуров адаптации для бесперисковых самонастраивающихся систем решается путем составления уравнений статики относительно функций качества основного контура и эталонной модели.

Ниже излагается подход к анализу адаптивных систем, основанный на трех последних направлениях исследований. В основу анализа положены линеаризованные параметрические и координатно-параметрические модели отдельных подсистем, декомпозиция адаптивных систем на основе функций качества и применения квазистационарных передаточных функций для описания динамики адаптивного регулирования.

Декомпозиция является естественным приемом исследования\* иерархических систем управления в том случае, когда деление на подсистемы обусловлено физическими соображениями. Применительно к адаптивным системам управления он состоит в следующем.

В системе выделяют анализаторы качества и строят функции качества  $Y_i$ . При этом взаимосвязи регулятора адаптации РА и основного контура ОК (рис.2.3.) разделены структурно на связь через настраиваемые параметры  $R_i$  и связь через функции качества  $Y_i$ . Разделение на подсистемы производится по выходам настраиваемых параметров и выходам анализаторов качества.

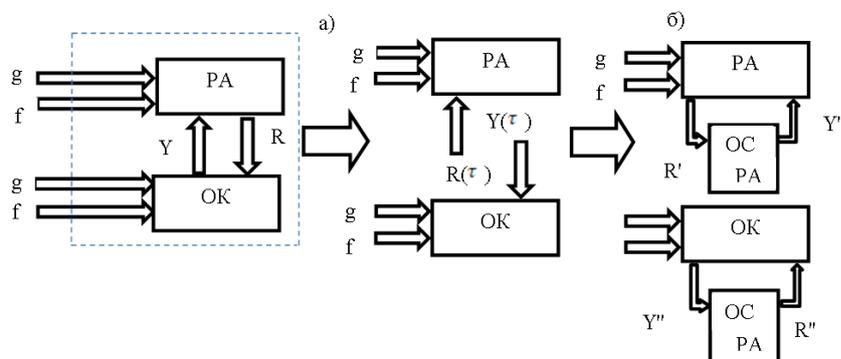


Рис. 2.3. Схема декомпозиции адаптивной системы управления:

а – декомпозиция на изолированные подсистемы;

б – декомпозиция на подсистемы с учетом взаимосвязей

Каждая подсистема, называемая изолированной, рассматривается с соответствующими внешними связями, которые считаются фиксированными функциями времени, а в частных случаях – постоянными (рис. 2.3, а). Первая подсистема – *изолированный основной контур*, для которого входным параметрическим воздействием является фиксированный вектор настраиваемых параметров, который для заданного вектора возмущаемых параметров  $Q(t)$  выбирается совпадающим с вектором идеальных настроек регулятора  $R^0(t)$ , вычисленным по статическим характеристикам адаптации (либо равным постоянному вектору).

Вторая подсистема – *изолированный регулятор адаптации*, для которого входным параметром является фиксированный для заданного вектора  $Q(t)$  вектор качества  $Y(t)$  или его отклонение от эталонного вектора качества  $Y^3(t)$ . Модель первой подсистемы называется *координатной*, а второй – *параметрической*. Обе модели строят на первом этапе анализа.

На втором этапе (рис. 2.3, б) каждая модель дополняется *контуром взаимосвязи с другой подсистемой*. В первой подсистеме учитываются связи через анализаторы качества, образующие обратную связь через регулятор адаптации  $ОС_{РА}$ . Во второй подсистеме учитываются связи через основной контур, образующие обратную связь через основной контур  $ОС_{ОК}$ . При этом важно отметить, что так как и умножители и анализаторы качества являются нелинейными устройствами, то необходимо анализировать множество опорных режимов, зависящих от фиксированных векторов параметрических и координатных воздействий, приложенных извне к адаптивной системе управления.

Модели второго этапа называют *координатно-параметрическими*. В зависимости от того, какая модель является ведущей, различают координатно-параметрическую модель основного контура и регулятора адаптации. Если целью анализа является изучение поведения координат основного контура, то используют первую модель.

Может оказаться, что в результате получится огромное количество вариантов координатно-параметрических моделей. Промежуточные результаты анализа позволяют довольно несложно выяснить, какие варианты координатно-параметрических моделей дают наихудшее качество адаптивного регулирования. Тогда естественной будет постановка задачи анализа вариантов с гарантированным качеством адаптивного регулирования. Важной идеей, лежащей в основе методологии анализа, является *использование линеаризованных моделей с «замороженными» коэффициентами*, или, что более точно, передаточных функций нулевого приближения для соответствующих передаточных функций нестационарных параметрических и координатно-параметрических моделей.

### 2.3. Особенности программного обеспечения в задачах синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления

Иерархическая структура адаптивных АСУ ТП хорошо приспособлена для ее реализации на современных ЭВМ, используемых в АСУ ТП. При этом важность задачи адаптации в решении общей задачи управления определяет и определенные различия в архитектуре вычислительной системы. При решении задач статической адаптации для нестационарных технологических объектов с целью оптимизации значений управляемых переменных приоритет этой задачи такой же, как и приоритет задачи оптимизации (супервизорное управление).

Однако в задачах динамической адаптации темп изменения параметров объекта, как правило, меньше темпа регулирования в системе с НЦУ, вследствие чего приоритет задачи адаптации ниже приоритета задачи регулирования.

Важная задача диагностики отказов технологического оборудования благодаря применению метода идентификации может быть решена на

функциональном уровне, что позволяет решать как традиционные задачи диагностики, так и такие задачи, которые нельзя решить традиционными методами.

Как правило, в АСУ ТП используются ЭВМ с ограниченной длиной машинного слова, в то время как некоторые процессы идентификации требуют повышенной точности вычислений. В результате ошибок округления результаты вычислений могут сильно отличаться от истинных значений параметров модели объекта. Указанные трудности можно уменьшить с помощью как аппаратных, так и программных средств.

В адаптивных АСУ ТП с идентификатором задачи идентификации и статической адаптации построены на базе общего математического метода – метода наименьших квадратов, что дает возможность унификации прикладных программ, позволяющих решать эти задачи.

Наряду с традиционными для неадаптивных АСУ ТП прикладными программами (обегаящий контроль технологических переменных, обработка данных телеметрии, вычисление показателей работы системы, расчет экономичных режимов и супервизорные управления агрегатами, непосредственное цифровое управление технологическими объектами, перераспределение нагрузок отдельных агрегатов, выработка аварийных сигналов, введение горячего резерва, переход на ручное управление и т.п.) в адаптивных АСУ ТП набор прикладных программ существенно шире. К ним относятся программы предварительной обработки информации для идентификации объекта, связанные с использованием нормированных переменных, представляющих собой нормированные отклонения наблюдаемых переменных относительно оценок их математических ожиданий, а также с предварительной фильтрацией сигналов.

Программы генератора тестовых сигналов используются в тех случаях, когда по условиям эксплуатации технологического объекта допустимы тестовые сигналы, применяемые для надежной и быстрой

идентификации его параметров или быстрой адаптации параметров контура НЦУ.

Программы синхронизации цикла обучения и цикла адаптивного управления в адаптивных АСУ ТП с идентификатором требуют координации работы счетчика времени и диспетчера. В наиболее простом случае – это прерывание от счетчика времени, тогда как в более сложных случаях источником прерываний могут быть запросы программы-диспетчера или вмешательство оператора на пульте терминала.

Программы адаптивного НЦУ должны учитывать характеристики исполнительных устройств, а также предусматривать переход на штатный режим при возникновении аварийной ситуации.

Специфичными прикладными программами являются программы настраиваемых или эталонных моделей объектов управления или замкнутого контура регулирования. Порядок математического уравнения модели по возможности должен быть низким, но сама модель при этом должна быть достаточно адекватной объекту. Для нелинейных объектов управления при изменении рабочей точки изменяется и модель, поэтому с целью упрощения программ выбирают модель с некоторыми усредненными по множеству рабочих точек параметрами. Неучет части воздействий может сильно искажать результаты идентификации, вплоть до неправильной информации о знаке обратной связи, реализуемой в технологическом объекте. Поэтому реальный подход в разрешении этой проблемы состоит в уточнении структуры и параметров модели эталона в процессе эксплуатации АСУ ТП. При этом необходимо предусматривать возможность модификации программы эталонной или настраиваемой модели с помощью одних программных средств.

Программирование адаптивных наблюдателей состояния, среди которых наиболее часто в АСУ ТП применяется фильтр Калмана-Бьюси, по существу, аналогично программированию прикладных программ

модели объекта, если не считать программирования блока обратной связи фильтра.

Решение последней задачи связано с решением матричного уравнения Риккати, которое решается путем построения итеративных процедур и приводит к громоздким прикладным программам. Указанную трудность можно устранить в случае стационарных технологических объектов путем решения стационарного уравнения и записи во внешнем ЗУ заранее рассчитанных значений параметров матрицы коэффициентов усиления фильтра Калмана-Бьюси.

Для нестационарных технологических объектов использование идентификации параметров позволяет весь диапазон изменения каждого параметра разбить на ряд участков, в пределах которых значение параметра считается равным среднему значению. Тогда любой набор значений параметров аппроксимируется набором табличных значений. Если число идентифицируемых параметров и количество участков разбиения невелико, то любому набору параметров аппроксимирующей модели соответствует однозначный набор рассчитанных заранее значений параметров матрицы обратной связи фильтра. При этом в число прикладных программ входит программа выбора соответствия матрицы параметров объекта ее аппроксимирующей матрице, а также программа выбора соответствующей матрицы коэффициентов обратной связи фильтра, хранящихся во внешнем ЗУ.

Вычислительные аспекты процессов идентификации, описанных выше, связаны с решением конкретных задач и касаются точности вычислений, скорости сходимости оценок параметров к их истинным значениям, временных характеристик запросов на цикл идентификации.

Для многих непрерывных технологических объектов число идентифицируемых параметров модели объекта обычно достаточно велико. На этапе анализа характеристик объекта уже в стадии проектирования следует стремиться сократить их число. Не все идентифицируемые параметры

одинаково важны для управления технологическим процессом, и часть из них, мало влияющую на показатели качества управления, можно не идентифицировать, считая постоянными величинами. Обоснованное разбиение всех параметров на идентифицируемые и неидентифицируемые производят с помощью методов теории чувствительности и уточняют методами имитационного моделирования.

Особенность большинства непрерывных технологических объектов заключается в том, что в режиме нормальной эксплуатации координаты состояния системы изменяются в узких пределах, благодаря чему отдельные строки матрицы  $B_0(t)$  оказываются коррелированными между собой. В результате определитель этой матрицы близок к нулю, что приводит к проблеме решения плохо обусловленной системы линейных уравнений. Другая причина близости к нулю определителя матрицы  $B_0$  может заключаться в возникновении функциональной зависимости между отдельными входами, а также между входами и выходами объекта, обусловленной обратной связью в контуре регулирования.

Решение на ЭВМ плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений требует высокой точности вычислений, кроме того, решение не существует, если соответствующий определитель системы (2.7) равен нулю. Последовательные методы идентификации обходят трудности обращения плохо обусловленных матриц путем накопления массивов обрабатываемых данных, что приводит к увеличению времени идентификации. Аналогичные результаты можно получить с помощью метода псевдообращения.

Таким образом, прикладные программы идентификации являются довольно сложными, содержат много команд, требуют больших объемов основной (оперативной) памяти ЭВМ, что приводит к целесообразности решения задач идентификации либо в виде «фоновых» – решения их на ЭВМ более высокого уровня, либо на ЭВМ горячего резерва.

В случае ограниченного объема оперативной памяти входные массивы данных идентификации можно хранить в ДЗУ, например на перфоленте, и обрабатывать путем многократного прогона с целью получения приемлемой точности идентификации параметров.

Прикладные программы статической адаптации в адаптивных АСУ ТП с идентификатором по сложности приближаются к программам идентификации метода наименьших квадратов. Однако требования к точности вычислений в них ниже, чем для прикладных программ идентификации. Следует стремиться к минимизации числа настраиваемых параметров регулятора, имея в виду, что требования к точности статической адаптации, как правило, ниже требований к точности регулирования технологических переменных. Использование табличного способа задания статических характеристик адаптации дает во многих случаях приемлемую альтернативу разработки громоздких прикладных программ статической адаптации.

Прикладные программы адаптивной оптимизации имеют различную структуру для статических динамических задач оптимизации. Программы для статических задач построены на процессах поиска экстремума с использованием аппарата линейного и нелинейного программирования. Часто эти программы используются при супервизорном управлении технологическим объектом.

Прикладные программы динамической адаптивной оптимизации включают настраиваемые модели объекта управления или замкнутого контура управления. Эти программы достаточно сложны и пока еще редко применяются в программном обеспечении адаптивных АСУ ТП. Структура и набор решаемых задач зависят от принятого метода динамической оптимизации. Наиболее широко распространен класс задач оптимизации по квадратическому критерию качества. В случае использования для синтеза оптимального управления теоремы разделения прикладная программа оптимизации содержит подпрограммы блоков

фильтра Калмана–Бьюси, блок оптимального адаптивного регулятора, блоки решения двух матричных уравнений Риккати, блок идентификации или блок адаптации основного контура, а также вспомогательные подпрограммы.

Прикладные программы адаптации в адаптивных АСУ ТП с эталонной моделью просты по структуре, благодаря тому, что они содержат простые арифметические операции и рекуррентные соотношения просто реализуются в машинных кодах или мнемокоде. Эти программы сложнее прикладных программ беспойсковой идентификации и требуют для эффективной работы достаточного количества производных выходных величин объекта управления. Однако требования к точности вычислений для них менее жесткие, чем для программ беспойсковой идентификации.

Программы идентификации, адаптации и оптимизации работают с большими массивами данных, обрабатываемыми, как правило, в режиме пакетной обработки, и используют разветвленную систему прерываний. Ограниченный объем основной памяти, обработка данных, используемых только один раз, требуют компактной упаковки данных, а также разработки программ реорганизации массивов данных во внешних ЗУ. Модели объекта, определенные с помощью идентификации в режиме нормальной эксплуатации, можно использовать в обеспечивающей программе модели управляющей системы при отладке программного обеспечения.

Программа-диспетчер является важной составной частью операционной системы АСУ ТП. Она не может быть написана на языках высокого уровня, так как связана с управлением и планированием вычислительных операций в конкретной УВМ. Основные функции программы-диспетчера состоят в запуске в работу прикладных программ, планировании прохождения их во времени, контроле за изменением внешней ситуации и обслуживании обеспечивающих программ.

Иерархия управления адаптивных АСУ ТП находит отражение в развитой иерархии обслуживания запросов на прерывания, которая связана с установлением приоритетов прикладных программ идентификации, адаптации и оптимизации режимов. Временные характеристики запросов на прерывания определяются диапазоном и скоростью изменения параметров технологических объектов, располагаемым вычислительным ресурсом на момент запроса, частотой изменений технологических режимов, частотой возникновения неисправностей оборудования и технологических агрегатов, требованиями к качеству адаптивного управления.

Структура программы-диспетчер во многом определяется местом адаптивной АСУ ТП в общей автоматизированной системе управления производством, а также тем, является ли она одномашинной АСУ ТП или представляет собой управляющий вычислительный комплекс (УВК), состоящий из нескольких ЭВМ.

В одномашинных адаптивных АСУ ТП программы идентификации и адаптации в зависимости от их функционального назначения могут иметь различный приоритет. В системе с супервизорным управлением приоритет прикладных программ идентификации тот же, что и программ оптимизации режимов. В этих же системах обслуживающие программы текущей диагностики, имеющие в своем составе программы идентификации, в случае обнаружения предаварийной ситуации должны иметь более высокий приоритет по отношению к программам оптимизации режимов.

Если в АСУ ТП реализуется адаптивное НЦУ с идентификатором, то, как правило, приоритет программ адаптации и идентификации ниже, чем приоритет прикладных программ НЦУ или программ релейной автоматики, а в адаптивных АСУ ТП с эталонной моделью приоритеты указанных программ одинаковы.

Поскольку программы идентификации используют большие массивы данных, а результаты работы этой программы должны храниться в течение всего цикла адаптивного управления, для извлечения нужной информации следует предусмотреть соответствующие участки буферной памяти блока ввода–вывода. Другое решение задачи размещения данных в памяти ЭВМ представляет собой использование канала прямого доступа к памяти.

Программы адаптации в контурах ИЦУ должны быть защищены от сбоев и иметь собственную функциональную диагностику, поскольку ошибочное вычисление параметров настроек закона управления может иметь нежелательные последствия.

Программа-диспетчер в случае запросов оператора должна обеспечивать безударный переход на ручное управление с выводом на пульт оператора результатов текущей идентификации. Применение тестовых сигналов для идентификации объектов требует планирования цикла обучения и регистрации значений технологических переменных в точках контроля.

Программа-диспетчер работает по основному сканирующему циклу, к которому всегда возвращается управление, когда прикладная программа или управляющая подпрограмма заканчивает работу. В адаптивных АСУ ТП программа-диспетчер имеет большую по сравнению с неадаптивными гибкость в результате использования автоматических процессов восстановления при возникновении аварийных ситуаций. Преимуществом является также возможность унификации программы-диспетчера не только для отдельного применения, но и для управления целым классом однотипных технологических объектов.

Использование адаптивных фильтров в каналах связи имеет специфическую структуру управления каналом связи. В адаптивных УВК функции программы-диспетчера, как правило, сосредоточены в одной из ЭВМ, входящих в состав УВК. Эта координирующая ЭВМ построена по модульному принципу со стандартной организацией массивов данных для

всех задач, решаемых АСУ ТП. При этом решение задач идентификации адаптации и оптимизации режимов может быть сосредоточено как в координирующей ЭВМ, так и в управляющей вычислительной машине (УВМ), выполняющих функции локальных подсистем УВК.

В варианте построения УВК с координирующей ЭВМ приоритет указанных задач устанавливается, так же как в одномашинной системе, с учетом возможности организации самих вычислений на различных ЭВМ управляющего вычислительного комплекса. Организация взаимодействия ЭВМ в нем связана с учетом приоритета решаемых задач, информационных потоков и согласования пропускной способности отдельных частей комплекса. Наличие общей базы данных, специализированных устройств ввода-вывода, устройств управления каналами связи различного типа (селекторного, программно-управляемого, мультиплексорного) облегчает решение задач идентификации, адаптации и оптимизации режимов, связанной с обработкой больших массивов информации с относительно невысокой скоростью.

#### 2.4. Программное обеспечение процедуры синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления

Данный программный продукт предназначен для решения задач синтеза математических моделей и управляющих воздействий в адаптивных системах управления.

Вводится множество первичных параметров: данные о входных, выходных переменных объекта и возмущающих воздействиях, действующих на объект, их размерностях, а также параметры, характеризующие порядки систем.

Функциональные возможности предлагаемого программного продукта заключаются в реализации задачи синтеза математических моделей и управляющих воздействий в адаптивных системах управления.

Реализация указанных функциональных возможностей осуществляется на основе использования методов декомпозиции и регуляризирующих процедур в задачах параметрической идентификации. В качестве вторичных параметров, которые вычисляются на основе данной программы, являются элементы соответствующих матриц уравнения объекта.

**Тип ЭВМ:** Pentium

**Язык программирования:** Delphi 7.0

**Операционная среда:** Windows 2000 и выше

**Объем программы для ЭВМ:** 13,093 Кб

Исходный код: Программное обеспечение процедуры синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления

```
unit program_adap_system_NM;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,  
Forms, Dialogs, StdCtrls, Grids, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart;
```

```
type vec=array [0..10] of real;
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
Edit1: TEdit; Edit2: TEdit; Edit3: TEdit; Edit4: TEdit; StringGrid1: TStringGrid;
```

```
StringGrid2: TStringGrid; Button1: TButton; Button2: TButton; Memo1: TMemo;
```

```
Memo2: TMemo; Memo3: TMemo; Edit5: TEdit; Edit6: TEdit; Chart1: TChart;
```

```
Series1: TFastLineSeries;
```

```
Series2: TFastLineSeries;
```

```
Label1: TLabel; Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel; Label4: TLabel;
```

```
Label5: TLabel; Label6: TLabel;
```

```
Label7: TLabel; Label8: TLabel;
```

```

    Label9: TLabel;      Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;    procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
    Form1: TForm1;      I,k,n,j:integer; x1,x0,x9,h,p1,p:real;
    c,y,x,f:vec; rc,xs:string;    hc,ac,xc:array [0..10] of string;
implementation
{$R *.dfm}    procedure tab(n:integer; var x,f:vec);
type mat=array[0..20,0..21] of real;
vec=array [0..20] of real;    var i,k,n:integer;
x1,x0,x9,h,p:real;    x,f,c:vec; a:mat;
begin    for i:=0 to n do begin
readln(x[i],f[i])    end    end;
procedure matr(n:integer; var x,f:vec; var a:mat);
var i,j:integer; r,s:real;    begin
for i:=0 to n do begin    r:=1.0;
s:=x[i];    a[i,n+1]:=f[i];
for j:=0 to n do begin    a[i,j]:=r;
r:=r*s; end
end
end;
procedure gas(n:integer; var a:mat; var x:vec);
var i,j,k,k1,n1:integer; r,s:real;    begin
n1:=n+1;    for k:=0 to n do begin

```

```

k1:=k+1;    s:=a[k,k];
j:=k ;    for i:=k1 to n do begin
r:=a[i,k];    if abs(r)>abs(s) then begin
s:=r;    j:=i
end    end;
if j<>k then for i:=k to n1 do begin
r:=a[k,i];    a[k,i]:=a[j,i];
a[j,i]:=r    end;
for j:=k1 to n1 do a[k,j]:=a[k,j]/s;
for i:=1 to n do begin r:=a[i,k];
for j:=k1 to n1 do a[i,j]:=a[i,j]-a[k,j]*r
end    end;
for i:=n downto 0 do begin s:=a[i,n1];
for j:=i+1 to n do s:=s-a[i,j]*x[j];    x[i]:=s    end    end;
procedure pol(n:integer; var c:vec; var x1,p:real);
var i:integer;    begin p:=c[n];
for i:=n-1 downto 0 do p:=c[i]+p*x1;
end;    procedure osn(i,k:integer);
begin    repeat    readln(n,x0,x9,h);    tab(n,f,x);
matr(n,x,f,a);    gas(n,a,c);    for i:=0 to n do
k:=round((x9-x0)/h+1.0); x1:=x0;
for i:=1 to k do begin pol(n,c,x1,p);    x1:=x1+h ;    end
until false    end;
Procedure cs(n:integer; varx,f,c:vec);
VarI,j,m:integer; a,b,r:real; k:vec;    Begin
k[1]:=0;    c[1]:=0;    For I:=2 to n do    begin    j:=i-1;
m:=j-1;    A:=x[i]-x[j];    b:=x[j]-x[m];    r:=2*(a+b)-b*c[j];
c[i]:=a/r;    K[i]:=(3*((f[i]-f[j])/a-(f[j]-f[m])/b)-b*k[j])/r;
end;    C[n]:=k[n];    For i:=n-1 downto 2 do
c[i]:=k[i]-c[i]*c[i+1];    end;

```

```

Procedure sp(n:integer; varx,f,c:vec; var x1,p:real);
VarI,j:integer;a,b,d,q,r:real;
Begin i:=1;   while (x1>x[i]) and (i<>n) do I:=i+1;
J:=i-1;      a:=f[j];      b:=x[j];      q:=x[i]-b;      r:=x1-b;
p:=c[i];
d:=c[i+1];   b:=(f[i]-a)/q-(d+2*p)*q/3;   d:=(d-p)/q*r;
p:=a+r*(b+r*(p+d/3));   end;
Procedure cpn(n:integer; varx,f:vec);   Vari,j:integer; b,a:real;
Begin   For j:=1 to n do   begin   a:=f[j-1];   b:=x[j-1];
For I:=j to n do   f[i]:=(a-f[i])/(b-x[i])   End
End;   procedure perChut(i,n:integer);
Var X,Y,
SumX,SumY,SumX2,SumXY,SumX3,SumX4,SumX2Y,SumLnY,SumX
LnY: Double;
OPRlin,OPRkvadr,OPRa1,OPRa2,OPRa3:Double;
a1lin,a2lin,a1kvadr,a2kvadr,a3kvadr,a1exp,a2exp,cexp:Double;
Xsr,Ysr,S1,S2,S3,Slin,Skvadr,Sexp:Double;
n, Kkor,KdetLin,KdetKvadr,KdetExp:Double;
i:integer;
begin
SumX:=0;   SumY:=0;
SumXY:=0;   SumX2:=0;
SumX3:=0;   SumX4:=0;
SumX2Y:=0;   SumLnY:=0;
SumXLnY:=0;   n:=StrToFloat(Edit1.Text);
for i:=1 to StringGrid1.RowCount-1 do
begin
X:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[0, i]);
Y:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[1, i]);
SumX:=SumX+X;   SumY:=SumY+Y;

```

```

SumXY:=SumXY+(X*Y);          SumX2:=SumX2+sqr(X);
SumX3:=SumX3+(X*X*X);
SumX4:=SumX4+sqr(X)*sqr(X);
SumX2Y:=SumX2Y+(sqr(X)*Y);
SumLnY:=SumLnY+LnXP1(Y);
SumXLnY:=SumXLnY+(X*LnXP1(Y));
end;
OPRlin:=0;      a1lin:=0;      a2lin:=0;      a1kvadr:=0;
OPRkvadr:=0;    a1kvadr:=0;    a2kvadr:=0;
a1exp:=0;      a2exp:=0;
OPRlin:=(n*SumX2)-(SumX*SumY);
a1lin:=((SumX2*SumY)-(SumX*SumXY))/OPRlin;
a2lin:=((n*SumXY)-(SumX*SumY))/OPRlin;
ShowMessage(FloatToStr(SumX)+' ', '+FloatToStr(SumX2)+' ',
'+FloatToStr(SumX3)+' '+FloatToStr(SumX4));
OPRkvadr:=(n*SumX2*SumX4)+(SumX*SumX3*SumX2)+(SumX2*SumX*SumX3)-(SumX2*SumX2*SumX2)-(n*SumX3*SumX3);/-
(SumX*SumX*SumX4);
OPRkvadr:=n*SumX2*SumX4+SumX*SumX3*SumX2+SumX2*SumX*SumX3-SumX2*SumX2*SumX2-n*SumX3*SumX3-SumX*SumX*SumX4;
ShowMessage(FloatToStr(OPRkvadr));
a1kvadr:=((SumY*SumX2*SumX4)+(SumX*SumX2Y*SumX3)+(SumX2*SumXY*SumX3)-(SumX2*SumX2*SumX2Y)-(SumY*SumX3*SumX3)-(SumX*SumXY*SumX4))/OPRkvadr;
ShowMessage(FloatToStr(a1kvadr));
a2kvadr:=(n*SumXY*SumX4+SumY*SumX3*SumX2+SumX2*SumX*SumX2Y-SumX2*SumX2*SumXY-n*SumX3*SumX2Y-SumY*SumX*SumX4)/OPRkvadr;
a3kvadr:=(n*SumX2*SumX2Y+SumX*SumXY*SumX2+SumY*SumX*Sum

```

```

X3-SumY*SumX2*SumX2-n*SumXY*SumX3-
SumX*SumX*SumX2Y)/OPRkvadr;
    a2exp:=((n*SumXLnY)-(SumX*SumLnY))/OPRlin;
    cexp:=(SumX2*SumLnY-SumX*SumXLnY)/OPRlin;
    a1exp:=exp(cexp);      Xsr:=SumX/n;
    Ysr:=SumY/n;      S1:=0;
    S2:=0;      S3:=0;
    Slin:=0;      Skvadr:=0;
    Sexp:=0;      Kkor:=0;
    KdetLin:=0;      KdetKvadr:=0;
    KdetExp:=0;      ShowMessage('11');
    for i:=1 to StringGrid1.RowCount-1 do
    begin      X:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[0, i]);
      Y:=StrToFloat(StringGrid1.Cells[1, i]);      S1:=S1+((X*Y)-
Ysr);

      S2:=S2+sqr(X-Xsr);      S3:=S3+sqr(Y-Ysr);
      Slin:=Slin+sqr(a1lin+(a2lin*X)+Y);
    Skvadr:=Skvadr+sqr(a1kvadr+(a2kvadr*X)+(a3kvadr*X*X)-Y);
      Sexp:=Sexp+sqr(a1exp*exp(a2exp*X)-Y);
    end;
    Kkor:=S1/sqrt(ABS(S2*S3));
    KdetLin:=1-(Slin/S3);
    KdetKvadr:=1-(Skvadr/S3);
    KdetExp:=1-Sexp/S3;
    edit2.Text:=floattostr(a1lin);      edit3.Text:=floattostr(a2lin);
    edit4.Text:=floattostr(a1kvadr);
edit5.Text:=floattostr(a2kvadr);

    edit6.Text:=floattostr(a1exp);      edit7.Text:=floattostr(a2exp);
    edit8.Text:=floattostr(cexp);      edit9.Text:=floattostr(Xsr);
    edit10.Text:=floattostr(Ysr);      edit11.Text:=floattostr(a3kvadr);

```

```

end;
Procedure pn(n:integer; varx,f:vec; var x1,p:real);
Var i:integer; r:real;   Begin
p:=f[n];   For i:=n-1 downto 0 do   begin
r:=x1-x[i];   p:=f[i]+r*p   End   End;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
varpmin,pmax,xmax,xmin:real;
begin   n:=strtoint(edit1.text);
x0:=strtofloat(edit2.text);   x9:=strtofloat(edit3.text);
h:=strtofloat(edit4.text);   For i:=0 to n do begin
x[i]:=strtofloat(StringGrid1.cells[0,i]);
f[i]:=strtofloat(stringgrid2.cells[0,i]);
y[i]:=f[i];   end;
k:=round((x9-x0)/h+1); x1:=x0; cs(n,x,y,c);
memo2.Clear;   for i:=1 to k do
begin   sp(n,x,y,c,x1,p);
str(x1:7:2,xs);   memo2.LineS.Add('x='+xs+'da P='+floattostr(p));
x1:=x1+h;   end;
x1:=x0;   cpn(n,x,f); memo1.Clear;
perChut(i,n);   for i:=1 to k do
begin   pn(n,x,f,x1,p1);
str(x1:7:2,xs);   memo1.LineS.Add('x='+xs+'da
P='+floattostr(p1));
x1:=x1+h;   end;
for i:=0 to n do   begin
str(x[i]:5:2,xc[i]);   str(f[i]:5:5,ac[i]);
end;   rc:=";
hc[0]:=ac[0];
hc[1]:='+'+(+ac[1]+')*(x-'+xc[0]+'+';
hc[2]:='+'+(+ac[2]+')*(x-'+xc[0]+'+'*(x-'+xc[1]+'+';

```

```

hc[3]:='+'+(+ac[3]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+');
hc[4]:='+'+(+ac[4]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+')*(x-' +xc[3]+');
hc[5]:='+'+(+ac[5]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+')*(x-' +xc[3]+')*(x-'
+' +xc[4]+');
hc[6]:='+'+(+ac[6]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+')*(x-' +xc[3]+')*(x-'
+' +xc[4]+')*(x-' +xc[5]+');
hc[7]:='+'+(+ac[7]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+')*(x-' +xc[3]+')*(x-'
+' +xc[4]+')*(x-' +xc[5]+')*(x-' +xc[6]+');
hc[8]:='+'+(+ac[7]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+')*(x-' +xc[3]+')*(x-'
+' +xc[4]+')*(x-' +xc[5]+')*(x-' +xc[6]+')*(x-' +xc[7]+');
hc[9]:='+'+(+ac[7]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+')*(x-' +xc[3]+')*(x-'
+' +xc[4]+')*(x-' +xc[5]+')*(x-' +xc[6]+')*(x-' +xc[7]+')*(x-' +xc[8]+');
hc[10]:='+'+(+ac[7]+')*(x-' +xc[0]+')*(x-' +xc[1]+')*(x-' +xc[2]+')*(x-'
+' +xc[3]+')*(x-' +xc[4]+')*(x-' +xc[5]+')*(x-' +xc[6]+')*(x-' +xc[7]+')*(x-'
+' +xc[8]+')*(x-' +xc[9]+');

```

```

memo3.Clear;

```

```

for i:=0 to n do

```

```

rc:=rc+hc[i];    memo3.Lines.Add('P='+rc);

```

```

x1:=x0;    xmax:=x0;

```

```

pmax:=f[0];    for i:=1 to k-1 do

```

```

begin    x1:=x1+h;

```

```

pn(n,x,f,x1,p1);    if p1>pmax then begin

```

```

xmax:=x1;    pmax:=p1;

```

```

end;    end;

```

```

edit5.Text:='xmax='+floattostr(xmax)+ ' pmax='+floattostr(pmax);

```

```

x1:=x0;    xmin:=x0;

```

```

pmin:=f[0];    for i:=1 to k-1 do

```

```

begin    x1:=x1+h;

```

```

pn(n,x,f,x1,p1);    if p1<pmin then begin

```

```

xmin:=x1;    pmin:=p1;

```

```

end;      end;
edit6.Text:='xmin='+floattostr(xmin)+ ' pmin='+floattostr(pmin);
chart1.BottomAxis.Automatic:=false;
chart1.BottomAxis.Minimum:=0;
chart1.BottomAxis.Maximum:=x9;
chart1.LeftAxis.Automatic:=false;
chart1.LeftAxis.Minimum:=0;
chart1.LeftAxis.Maximum:=pmax+0.5;
chart1.BottomAxis.Increment:=0.5;
chart1.LeftAxis.Increment:=0.5;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var y1,y2:real;
begin      series1.clear;
series2.clear;      x1:=x0;      repeat cs(n,x,y,c);
sp(n,x,y,c,x1,y1);      series1.AddXY(x1,y1,"clteecolor);
pn(n,x,f,x1,y2);      series2.addxy(x1,y2,"clteecolor);
x1:=x1+0.01;      until (x1>x9);
end;

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
chart1.BottomAxis.Automatic:=false;
chart1.BottomAxis.Minimum:=0;
chart1.BottomAxis.Maximum:=2;
chart1.LeftAxis.Automatic:=false;
chart1.LeftAxis.Minimum:=0;
chart1.LeftAxis.Maximum:=1;
chart1.BottomAxis.Increment:=1;
chart1.LeftAxis.Increment:=0.5;
end; end.

```

## 2.5. Численное решение задачи синтеза адаптивной системы управления с эталонной моделью

Применение адаптивных систем управления в различных областях поднимает вопросы обеспечения их работоспособности в процессе функционирования. Наибольшее распространение получили адаптивные системы с эталонной моделью, для которых одной из важнейших проблем является обеспечение асимптотической устойчивости движение в полном фазовом пространстве, включающем координатные и параметрические рассогласования.

Выводам условий асимптотической устойчивости движение адаптивных систем с моделью посвящено значительное количество работ. Эти условия в литературе получили название условий богатства входного сигнала или постоянства возбуждения. Здесь используется алгоритм проверки и обеспечения условий асимптотической устойчивости, удобный для реализации в реальном времени.

На рис.2.4 представлено устройство, реализующее предложенный алгоритм проверки условий функциональной работоспособности адаптивной системы с эталонной моделью.

Устройство работает следующим образом. Объект управления 1 представляет собой основной контур адаптивной системы. Блок адаптации реализует эталонную модель 2 и алгоритмы адаптации 4. Блок управление 8 формирует сигнал  $\gamma$ , определяющий моменты  $t_i$  выборки значений сигналов  $\phi_m$  и  $g$ . Выбранные реализации  $\phi_m(t)$  и  $g_m(t_i)$  поступают на информационные входы группового демультиплексора 3, распределяющего их по одной из своих  $n+m$  пар выходов в зависимости от адресного сигнала  $\beta$ , который несет информацию о номере  $i$  данной реализации и вырабатывается блоком управления. По сигналу записи  $\gamma_{\text{зап}}$  реализации  $\phi_m(t_i)$  и  $g(t_i)$  записываются в блок регистров 4, который содержит  $(n+m)2$  регистров.

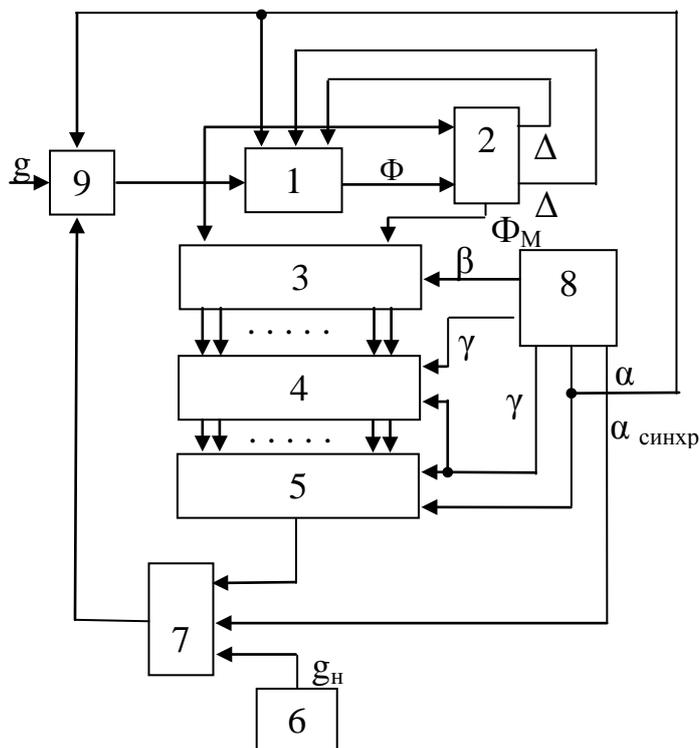


Рис.2.4. Устройство, реализующее предложенный алгоритм проверки условий функциональной работоспособности адаптивной системы с эталонной моделью: 1- объект управления, 2- блок адаптации, 3- групповой демультиплексор, 4- блок регистров, 5- логическое устройство, 6- генератор сигналов, 7- блок элементов И, 8- блок управления, 9- блок сумматоров.

В моменты времени  $t_i, i = \overline{1, n+m}$ , только что записанные реализации сигналов  $\phi_m(t_i)$  и  $g(t_i)$  поступают в логическое устройство 5, вычисляющее по мере поступления реализаций определители второго, третьего, ...,  $(n+m)$  – го порядков и сравнивающего абсолютное значение последнего определителя  $|\Delta|$  с заданным пороговым значением  $\delta$ . Перебор всех возможных определителей реализуется с помощью  $n+m-1$  ( $n+m+1$ ) – разрядных регистров сдвига, формирующих номера строк матрицы  $X$ , входящих в данный определитель. Выходом логического блока является двоичный сигнал, равный нулю при  $|\Delta| \geq \delta$  или единицы – в противном

случае. Этот сигнал управляет работой ключе 7 (т.е. при  $|\Delta| < \delta$ ) поступает на вход объекта, суммируясь с входным сигналом  $g$ .

Блок управления 8 обеспечивает периодическую (с периодом  $T$ ) проверку условий функциональной работоспособности. Выборка сигналов  $\phi_m(t_i)$  и  $g(t)$  осуществляется периодически с периодом  $\Delta t$ . Длительность проверки  $\tau = \Delta t(n + m)$ . Выход  $\alpha$  блока управления обеспечивает прохождение сигнала  $g_n$  через ключ 7 в течение времени  $T - \tau$  следующей проверки.

Пусть устройство работает с тактовой частотой  $f_0$  и оценим его быстродействие, т.е. получим нижние оценки периода выборки  $\Delta t$  и длительности проверки  $\tau$ .

Вторая выборка сигналов  $\phi_m(t_i)$  и  $g(t)$  получена в момент времени  $t_2$ . Время  $\Delta t_2$ , необходимое для получения всех определителей второго порядка  $\Delta(i_1, i_2), i_1, i_2 = \overline{1, n + m}$ , определяется временем формирования всех возможных сочетаний  $(i_1, i_2)$  с помощью двух  $(n + m + 1)$  – разрядных регистров сдвига и равно  $\Delta t_2 = (n + m + 1)^2 / f_0$ .

Аналогично время  $\Delta t_3$ , необходимое для получения всех определителей третьего порядка  $\Delta(i_2, i_2, i_3), i_1, i_2, i_3 = \overline{1, n + m}$ , равно  $\Delta t_3 = (n + m + 1)^3 / f_0$  и т.д.

Здесь необходимо учесть время  $\Delta t_{n+m}$  вычисления определителя  $\Delta(n + m)$  – го порядка, которое определяется временем формирования единственной возможной комбинации номеров строк  $i_1 = 1, i_2 = 2, \dots, i_{n+m} = n + m$  матрицы  $X$ , образующих данный определитель:  $\Delta t_{n+m} < (n + m + 1)^{n+m-1} / f_0$ .

Тогда справедливы следующие нижние оценки периода выборки

$$\Delta t \geq \max\{\Delta t_i, i = \overline{1, n + m}\} = (n + m + 1)^{n+m-1} / f_0$$

и длительности проверки

$$\tau = \Delta t(n + m) \geq (n + m)(n + m + 1)^{n+m-1} / f_0.$$

Рассмотрим в качестве примера систему первого порядка с одним входом и одним выходом.

Настраиваемый объект описывается уравнением

$$\frac{d\phi}{dt} = (a_0 + \Delta a + \Delta k(t))\phi + (b_0 + \Delta b + \Delta n(t))g(t),$$

где  $g \in R^1$ -входной сигнал,  $\phi \in R^1$ -координата состояния,  $a_0$  и  $b_0$  – постоянные параметры,  $\Delta a$  и  $\Delta b$  -параметрические возмущения,  $\Delta k(t), \Delta n(t)$  - настраиваемые параметры регулятора.

Эталонная модель имеет вид

$$\frac{d\phi_m}{dt} = a_0\phi_m + b_0g(t),$$

где  $\phi_m \in R^1$  - координата состояния эталонной модели.

Введем в рассмотрение координатную ошибку  $\varepsilon = (\phi - \phi_m)$  и параметрические рассогласования  $y(t) = (\Delta a + \Delta k(t)), z(t) = (\Delta b + \Delta n(t))$ . Относительно этих координат адаптивная система с эталонной моделью на интервале времени  $t \in [t_0, t_0 + T_{cm}]$  описывается уравнениями

$$d\varepsilon / dt = a_0\varepsilon + y\phi + zg,$$

$$dy / dt = -\aleph_1\varepsilon\phi,$$

$$dz / dt = -\aleph_2\varepsilon g.$$

Проведено моделирование движения системы при следующих значениях параметров:  $a_0=-10$ ,  $b_0=10$ ,  $\Delta a=10$ ,  $\Delta b=-5$ ,  $\aleph_1=150$ ,  $\aleph_2=10$ .

С момента времени  $t=1$  периодически с периодом  $T=2$ с. осуществляется проверка выполнения условий функциональной работоспособности, для чего с периодом  $\Delta t=0,5$ с. осуществляется выборка значений сигналов  $\phi_m$  и  $g$ , и заполняется матрица  $X$ . Затем подсчитывается ее определитель  $\Delta$ .

На рис.2.5,а и 2.5,б соответственно представлены координаты движения системы  $\varepsilon(t), \Delta k(t), \Delta n(t)$  и абсолютное значение определителя  $\Delta$  при недостаточно богатом входном сигнале  $g(t) = 0,2 \exp(-t)$ .

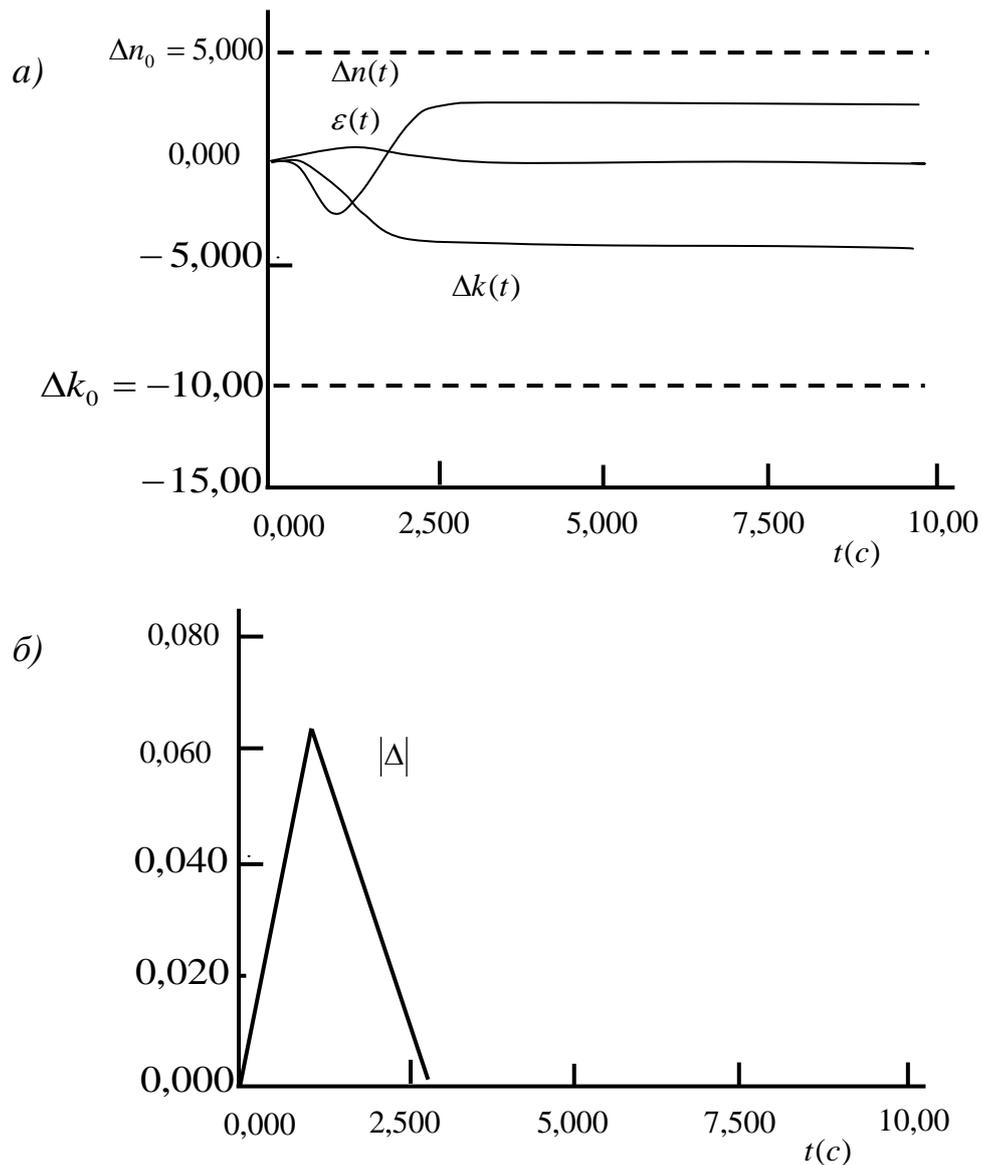


Рис.2.5. Координаты движения системы  $\varepsilon(t), \Delta k(t), \Delta n(t)$  и абсолютное значение определителя  $\Delta$  при недостаточно богатом входном сигнале  $g(t) = 0,2 \exp(-t)$ .

Коэффициенты  $\Delta k(t), \Delta n(t)$  не успевают настроиться до своих номинальных значение, определяемых соотношениями  $\Delta k_0 = -\Delta a = -10, \Delta n_0 = -\Delta b = 5$ , а значение  $|\Delta|$  убывают до нуля.

Для восстановления функциональной работоспособности необходимо подать на вход системы дополнительный “богатый” сигнал. В качестве порогового значения, с которым сравнивается  $|\Delta|$ , на основании результатов моделирования выбрано значение 0,02. При  $|\Delta| < \delta$  на вход

подаётся сигнал  $g_n(t) = G_0(t) \sin t$ . С целью минимизации уровня этого дополнительного сигнала его амплитуд предлагается настраивать по следующему закону:  $dG_0/dt = -\lambda(|\Delta| - \delta)$  при  $|\Delta| < \delta$ , где  $\lambda = const > 0$ , значение которой подбирается на основании моделирования.

Для того, чтобы избежать подачи дополнительного сигнала  $g_n(t)$  в тех случаях, когда основной входной сигнал  $g(t)$  вновь становится достаточно богатым, сигнал  $g_n(t)$  обнуляется:  $G_0 = 0$  при  $|\Delta| \geq \delta$ .

Результаты моделирования для этого случая представлены на рис.2.6. В течение первых 20с. на вход поступает сигнал  $g(t) = 0,2 \exp(-t), |\Delta|$ , а затем на 20-й секунде основной входной сигнал принимает вид

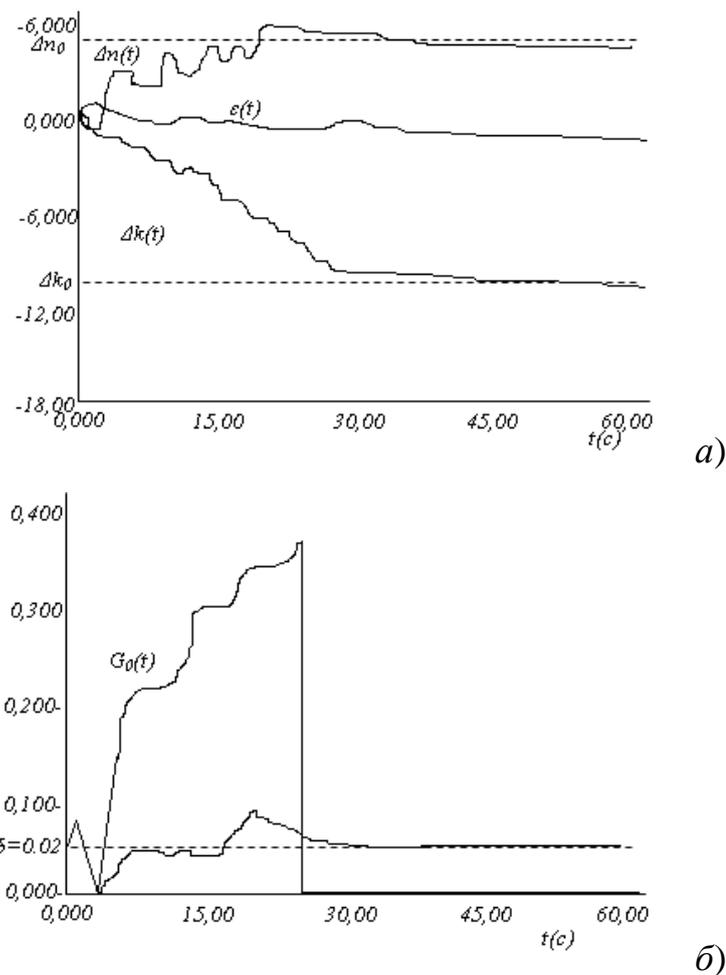


Рис.2.6. Координаты движения системы  $\epsilon(t), \Delta k(t), \Delta n(t)$  при

$$G_0 = 0 \text{ при } |\Delta| \geq \delta.$$

$$g(t) = 0,2 \exp(-t) + 0,5 \sin(t - 20), \quad (2.14)$$

т.е. становится достаточно богатым. На графике  $|\Delta|$  появляется соответствующий пик. Сигнал  $g_n(t)$  обнуляется, и значение  $|\Delta|$  стабилизируется на уровне 0,024, определяемом свойствами функции (2.14). Настраиваемые коэффициенты  $\Delta k(t)$ ,  $\Delta n(t)$  принимают свои номинальные значения (рис.2.6,а).

Рассмотренный алгоритм использует двухуровневую адаптацию, причем второй уровень адаптации служит для минимизации дополнительного входного воздействия, подаваемого на систему. Таким образом, рассмотренный рекуррентный алгоритм обеспечения функциональной работоспособности адаптивной системы с эталонной моделью на основе проверки условий равномерной асимптотической устойчивости движения является достаточно эффективным.

### ГЛАВА III. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В данном разделе выпускной работы рассматриваются вопросы безопасной жизнедеятельности человека, которых необходимо решать на всех стадиях жизненного цикла.

БЖД - это область знаний, изучающая опасности, угрожающие человеку в среде обитания (природной, производственной, бытовой), и способы защиты от них. В основу теории безопасности человека положена концепция деятельности, одним из наиболее существенных моментов которой является аксиома о потенциальной опасности в любом из видов деятельности. В таком случае, безопасность можно определить как такое состояние жизнедеятельности, при котором с определенной вероятностью исключается принесение ущерба здоровью человека. Такое состояние достигается с помощью определенного механизма управляющих воздействий на те факторы, от которых зависят условия БЖД.

Проблема сохранения окружающей природной среды, обеспечение экологической безопасности охватывает все сферы жизнедеятельности человека. В основных законодательных документах Узбекистана отмечается необходимость повышения эффективности государственного управления в области охраны природы и использования природных ресурсов, контроля состояния окружающей среды. Проблема охраны природы и улучшения окружающей среды носит ярко выраженный характер и требует объединенных усилий всех звеньев при производстве исследований.

Комфортное состояние жизненного пространства по показателям микроклимата и освещения достигается соблюдением нормативных требований. В качестве критериев комфортности устанавливают значения температуры воздуха в помещениях, его влажности и подвижности, соблюдение нормативных требований к искусственному освещению помещений и территорий.

Параметры – температура окружающих предметов и интенсивность физического нагревания организма характеризуют конкретную производственную обстановку и отличаются большим разнообразием. Остальные параметры – температура, скорость, относительная влажность и атмосферное давление окружающего воздуха – получили название параметров микроклимата.

Параметры микроклимата воздушной среды, которые обуславливают оптимальный обмен веществ в организме и при которых нет неприятных ощущений и напряжённости системы терморегуляции организма, называют комфортными или оптимальными.

Воздействие электрического тока на организм человека.

Поражения возникают в результате действия технического или атмосферного электрического тока. Неумелое использование электрических приборов, как в технике, так и в быту, а также неисправность этих приборов приводят к электротравмам. Смертность от поражения электрическим током составляет 9-10% всех случаев, что в 10-15 раз превышает смертность от других травм.

Электротравмы случаются чаще в весенне-летнее и осеннее время, когда повышается потливость кожных покровов, а также возникает возможность поражения молнией во время грозы, когда отмечается значительное скопление электрических зарядов в атмосфере. При этом путь молнии к земле может быть как бы “ориентирован” стоящим в поле деревом, более высоким деревом в лесу или любой металлической конструкцией. Поэтому находиться под ними в грозу небезопасно. Чтобы избежать повреждающего воздействия молнии в помещении, нужно закрывать окна, форточки, отключать из сети все электрические приборы.

С целью классификации, нужно провести границу приблизительно на цифре 1000 вольт, разделяя низковольтные и высоковольтные повреждения. Низковольтные повреждения - ожоги с ограниченной поверхностью поражения, причиняемые вольтовой дугой или вспышкой.

Повреждения, производимые высоким напряжением (больше чем 1000 вольт), также возникают дугой или вспышкой, но, кроме того, причиняют большие разрушающие повреждения проводящего типа, которые могут привести к гибели ткани далеко от места контакта.

Электрические повреждения лучше всего объяснять через превращение электрической энергии в теплоту, которая затем приводит к прямому разрушению тканей. Кроме того, ток высокого напряжения оказывает прямой разрушающий эффект на клетки. Соотношение между напряжением, сопротивляемостью и током описывается в известном законе Ома:  $I = E/R$ , где

$I$  - равняется току в амперах,

$E$  - напряжение в вольтах,

$R$  - сопротивляемость в омах.

При высоком напряжении ток проходит через ткани тела и от источника (рана на входе) к земле (рана на выходе). Организм является проводником объема тока при наиболее выраженном повреждении ткани в местах большой плотности и высокого значения в амперах. Отсюда, больше всего страдают от повреждения конечности, чем туловище и места входа и выхода напряжения тока. Рана на входе имеет коженую поверхность, ткани напряжены из-за коагуляции и некроза. Рана на выходе обычно обширнее, потому что ток должен вырваться из организма, оставляя большое отверстие. Есть вероятность нескольких электрических каналов внутри тела, что приводит к множественным выходам, подвергая, таким образом, любой орган или структуру риску электрического поражения.

Дугообразные повреждения обычно сопровождаются высокочастотными повреждениями. Дугообразные повреждения лучше всего понять, если представить разрушение тканей от выделения ионизированных частиц между полюсами различных электрических зарядов. Дуги возникают, когда ток проходит от тела к земле или из одной

части тела в другую, например, от руки к грудной стенке. Когда образовалась дуга, происходит резкое падение в напряжении, но если источник тока действует, дуга продолжается между двумя полюсами. Расстояние, за которое дуга может проходить, увеличивается на 2-3 см на каждые 10,000 вольт. Температура дуги может подниматься на 20,000 С и обычно приводит к небольшому, скрытому поражению, которое является глубоко разрушающим. Самое большое повреждение происходит обычно глубоко в конечностях и считается, что это происходит из-за близкого расположения к кости, которая обладает самой высокой сопротивляемостью.

Электрическое повреждение осложняется феноменом "не освобождения" из-за титанической сократимости мышц в контакте с изменяющимся током. При соприкосновении с высоковольтным проводом, мышцы-сгибатели предплечья подвергаются усиленной контрактуре, что делает невозможным оторваться с источником отсюда, название "не освобождение". Такие контрактуры приводят к потоку низкочастотного тока величиной над болезненным стимулом, но ниже требуется причинить тетанию дыхательных мышц. Больной избегает трудной ситуации, если только он находится без сознания и падает в стороне от источника тока.

Глубокие проводящие электрические повреждения характеризуются глубоким массивным разрушением мышц и глубоким отеком под здоровой кожей. Кроме того, глубокие проводящие повреждения могут воздействовать на удаленные участки ЦНС и на полости грудной клетки и живота. Раны входа и выхода тока являются отличительными признаками глубоких проводящих повреждений.

Дугообразные повреждения производят локальные, очень глубокие области коагуляционного повреждения, такие как запястье, локоть, промежность и подмышечная область.

Поверхностные термические ожоги случаются при электрических повреждениях из-за вспышки или возгорания одежды, захватывая

обширные участки тела и тем самым, усложняя метаболическую травму больного. Такие ожоги могут действовать на проксимальные участки конечностей, требуя в последующем ампутации, образуя нестабильные рубцы на месте будущих протезов.

Сопутствующие повреждения случаются в тех случаях, когда человека отбрасывает от источника тока или он падает с высоты. Возможные сопутствующие повреждения: интракранеальная травма, спинные повреждения, перелом длинных костей, грудные и интраабдоминальные паренхиматозные повреждения. Общий эффект тканей от электрических воздействий в каждой системе органа переводится в специфическое, клиническое повреждение: некоторые из них считаются острыми и угрожающими жизни, другие могут оказывать постепенное действие через месяцы и годы после несчастного случая. Ниже приводится список как острых, так и поздних эффектов высоковольтных повреждений.

Остановка сердца. Фибрилляция желудочков. Нарушение ритма. Повреждение коронарной артерии с или без инфаркта миокарда. Непосредственное повреждение миокарда. Вторичная острая почечная недостаточность. Обширное повреждение ЦНС.

Состояние без сознания, конвульсии и кома. Поздняя гемиплегия или синдром ствола головного мозга. Позвоночник Вазомоторная нестабильность. Дистрофия симпатических рефлексов. Разрыв стенки живота и эвисцерация. Нединамичный илеус и атония желудка.

Различают четыре степени электротравм:

1 степень - у пострадавшего отмечается судорожное сокращение мышц без потери сознания;

2 степень - судорожное сокращение мышц у больного сопровождается потерей сознания;

3 степень - у пострадавшего наблюдается не только потеря сознания, но и нарушение сердечной деятельности и дыхания;

4 степень - больной находится в состоянии клинической смерти.

Клиническая картина поражения электрическим током складывается из общих и местных признаков. Субъективные ощущения пострадавшего при прохождении через него электрического тока разнообразны: легкий толчок, жгучая боль, судорожные сокращения мышц, дрожь и др. Признаки: бледность кожных покровов, синюшность, повышенное отделение слюны, может быть рвота; боли в области сердца и мышц разной силы, непостоянны. После устранения воздействия тока пострадавший ощущает усталость, разбитость, тяжесть во всем теле, угнетение или возбуждение. Потеря сознания наблюдается у 80% пострадавших. Больные в бессознательном состоянии резко возбуждены, беспокойны. У них учащен пульс, возможно непроизвольное мочеиспускание. При электротравме, вызвавшей судорожные сокращения мышц или падение с высоты, могут наступить различные переломы костей и вывихи суставов. При электротравме с обширными ожогами поражение внутренних органов, как правило, выражено значительно меньше. Это объясняется тем, что обуглившиеся и обожженные ткани создают как бы препятствие для проникновения тока за пределы ожога. Электрические ожоги небольшой площади сразу же после воздействия тока имеют четкие границы, вокруг омертвевших тканей черного цвета имеется более светлый ободок. Отек окружающих тканей развивается очень быстро. Боль в области электроожога, как правило, отсутствует.

Проектирование сети зануления ЭУ.

Зануление – это преднамеренное электросоединение с нулевым защитным проводником (НЗП), который многократно заземлен и соединен с глухозаземленной нейтралью трансформатора, металлических нетоковедущих частей ЭУ или другого ЭО, которые могут оказаться под U.

Зануление ЭУ следует выполнять при напряжении 380 В и выше ~ тока и 440 В и выше = тока во всех ЭУ.

Занулению подлежат:

- корпуса ЭУ, приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- каркасы РП и щитов;
- металлические конструкции РУ и части электрических линий;
- металлические корпуса передвижных и переносных ЭУ;
- ЭУ, размещенные на движущихся частях станков, машин и механизмов.

Рассчитать отключающую способность проектируемого зануления ЭУ цеха и определить требуемое сопротивление ЭУ нейтрали трансформатора, если известно, что электропитание осуществляется по трехжильному кабелю от сухого трансформатора с вторичным напряжением 400/230 В; для защиты ЭД с короткозамкнутым ротором установлены плавкие предохранители с кратностью тока 4; в кабеле использованы медные жилы.

Исходные данные:

- Трансформатор: - мощность  $S = 1000$  кВА;
- соединение обмоток  $Y/Y_0$ ;
  - напряжение на высокой стороне 20-35 кВ;

Номинальная мощность ЭД  $P_d = 125$  кВт;

Длина проводов  $l_n = 400$  м.

Расчет по заданию:

Сечение фазных проводов по току нагрузки зануляемой ЭУ.

Ток нагрузки  $I_d$  (А), электродвигателя

$$I_d = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi \cdot \eta_d} = \frac{1000 \cdot 125}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,93 \cdot 0,92} = 210,9(A)$$

где  $U_n = 400$  В - номинальное линейное напряжение;

$\cos\phi = 0,93$  - коэффициент мощности эл. двигателя;

$\eta_d = 0,92$  - КПД эл. двигателя.

Расчетный ток плавкой вставки

$$I_{ns} \geq \frac{I_n}{2,5} = \frac{5 \cdot I_d}{2,5} = 2 \cdot 210,9 = 421,8(A)$$

где  $I_{п}$  - пусковой ток

По величине  $I_{пв}$  - принимаем проектный ток ПВ и выбираем плавкий предохранитель ПН-2-600 с номинальным током ПВ 500А.

Сечение фазных проводов через экономическую плотность тока  $j_{фп}$

$$S_{фп} = \frac{I_{\phi}}{j_{фп}} = \frac{210,9}{2,5} = 84,36(\text{мм}^2)$$

По таблице 1 книги выбираем сечение фазных проводов  $S_{фп} = 95 \text{ мм}^2$ , а допустимый ток  $I=175 \text{ А}$ .

Требуемый по ПУЭ ток однофазного кз:

$$I_{кз}^m = K \cdot I_n = 4 \cdot 500 = 2000(\text{А})$$

Сопротивление петли "фаза-нуль":

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_{нзп})^2 + (X_{\phi} + X_{нзп} + X_n)^2}$$

где  $R_{\phi} = \rho \cdot l_n/S_{\phi} = 0,018 \cdot 400/95 = 0,076 \text{ Ом}$  - активное сопротивление фазного проводника;

$R_{нзп}$  - активное сопротивление нулевого защитного проводника;

$X_{\phi}$  - внутреннее сопротивление фазного проводника;

$X_{нзп}$  - внутреннее индуктивное сопротивление Н.З.П.;

$X_n$  - внешнее индуктивное сопротивление.

В качестве Н.З.П. выберем жилу кабеля сечением:

$$S_{изп} \geq 0,5 \cdot S_{фп} \geq 0,5 \cdot 95 = 47,5 \text{ мм}^2, \text{ (по таблице 1.3.5 книги [11])}$$

принимаем  $S_{изп} = 50 \text{ мм}^2$ ) тогда:

$$R_{нзп} = 0,018 \cdot 400/50 = 0,144 \text{ Ом}, \text{ а величинами } X_{нзп}, X_n \text{ и } X_{\phi} -$$

пренебрегаем из-за их малых величин:

$$Z_n = \sqrt{(0,076 + 0,144)^2} = 0,22(\text{Ом})$$

Фактический ток при однофазном коротком замыкании  $I_{кз}^{\phi}$

$$I_{кз}^{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_m/3 + Z_n} = \frac{230}{0,009 + 0,22} = 1040(\text{А})$$

где,  $Z_m/3$  - полное сопротивление трансформатора = 0,009 Ом по таблице 7.3 [6] для сухих трансформаторов;  $U_{\phi}$  – фазное напряжение.

Полученное значение  $I_{кз}^{\phi} = 1040 \text{ А}$  сравниваем с  $I_{кз}^T = 2000 \text{ А}$

$I_{кз}^{\Phi} < I_{кз}^{\Gamma}$  - условие не выполняется, следовательно, нужно вместо предохранителя нужно применить автомат с кратностью тока 1.25, тогда:

$$I_{кз}^m = K \cdot I_n = 1.25 \cdot 500 = 625 (A)$$

$I_{кз}^{\Phi} < I_{кз}^{\Gamma}$  - условие выполняется следовательно отключающая способность конструируемого заземления обеспечена.

Потребное сопротивление ЗУ нейтрали трансформатора :

$$R_o = R_{зм} \cdot \frac{U_{пр.доп}}{U_{\phi} - U_{пр.доп}} = 20 \cdot \frac{20}{230 - 20} = 0,19 (Ом)$$

где  $R_{зм}$  - сопротивление замыкания фазы на землю ( $R_{зм} \geq 20$  Ом);

$U_{пр.доп} = 20$  В - предельно допустимое напряжение прикосновения, выбирается по таблице 2 книги ];

$R_o = 0,19 < R_{нo} = 4$  Ом - условие выполняется.

Конструктивное решение по результатам расчета.

Таким решением является схема зануления кустовой электросети 400 / 230 В для конкретного электродвигателя с расчетными данными.

ПУЭ при организации проектного зануления рекомендует:

Присоединение нейтрали генератора, трансформатора на стороне до 1кВ к заземлителю или ЗУ при помощи зануляющего проводника сечением не менее 2,5 мм<sup>2</sup> для алюминиевого изолированного проводника, ЗУ располагается в непосредственной близости от генератора или трансформатора. Его сопротивление в любое время года не должно превышать 4 Ом.

Присоединение зануляемых частей ЭУ или других установок к глухозаземленной нейтральной точке, выводу или средней точке обмоток источника тока при помощи НЗП. Его проводимость должна быть не менее 50% проводимости вывода фаз. Этот проводник должен быть выполнен:

А) при выводе фаз шинами – шиной на изоляторах;

Б) при выводе фаз кабелем – жилой кабеля. В кабелях с алюминиевой оболочкой допускается использовать ее в качестве НЗП вместо четвертой жилы.

Проектирование молниезащиты для здания.

ЗАДАНИЕ: Спроектировать молниезащиту здания при этом ввод электрического питания, телефона, радио выполнен кабелем.

Исходные данные:

Размер здания, м - 100×50×10;

Класс зоны по ПУЭ помещения – В-1г(ГСМ);

Степень огнеопасности здания – I;

Место нахождения объекта – Тверская область;

Тип фундамента – Свайный ж/б;

Влажность грунта, % - 10...15.

Найдем по таблице категорию по молниезащите

Среднегодовая продолжительность гроз:  $n_i = 40-60$  (50) часов в год, число ударов на  $1 \text{ км}^2 = 4$ .

Категория молниезащиты - II.

Определим ожидаемое количество -  $N$  - молний здания в год для здания прямоугольной формы

$$\begin{aligned} N &= [(S + 6h) \cdot (L + 6h) - 7.7 \cdot 2h] \cdot n \cdot 10^{-4} = \\ &= [(100 + 6 \cdot 10) \cdot (50 + 6 \cdot 10) - 7.7 \cdot 100] \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0.0673 \end{aligned}$$

где  $S$  - ширина,  $L$  - длина,  $h$  - высота,  $n$  - среднегодовое число ударов молнией в 1 км земной поверхности по [1].

Тип зоны защиты при использовании стержневых молниеотводов - зона Б.

По найденной категории молниезащиты объекта определяем требования по ее устройству.

Устанавливает следующее здание II - категории по молниезащите должно защищено от прямых попаданий молнии и её вторичных

проявлений, заноса высокого потенциала через металлические конструкции.

Тип молниеприемника - 2-х стержневой, установленный на здании (состоящий из молниеприемника, опоры, токоотвода и заземлителя).

Задаемся высотой молниеотвода и рассчитываем зоны защиты в соответствие с выбранной схемой расположения:

Принимаем количество молниеотводов = 6, высота молниеотвода  $H = 27$  м,

Зона защиты Б.

Расстояние между молниеотводами  $L_0 = 50$  м:

$$h_0 = 0.92 \cdot H = 0.92 \cdot 27 = 24.8 \text{ м,}$$

$$r_0 = 1.5 \cdot H = 1.5 \cdot 27 = 40.5 \text{ м,}$$

$$r_x = 1.5 \cdot (H - h_x / 0.92) = 1.5 \cdot (27 - 10/0.92) = 24.2 \text{ м.}$$

Для парных молниеотводов при  $n < L < 6h$ :

$$h_c = h_0 - 0.14 \cdot (L - H) = 24.8 - 0.14 \cdot (50 - 27) = 21.6 \text{ м,}$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) / h_c = 40.5 \cdot (21.6 - 10) / 21.6 = 21.8 \text{ м.}$$

Теперь проводим расчет при расстоянии между молниеотводами  $L_0 = 70.7$  м (для угловых молниеотводов  $L_0 = \sqrt{S/2 + L} = \sqrt{50^2 + 50^2} = 70.7 \text{ м}$ )

$$h_c = h_0 - 0.14 \cdot (L - H) = 24.8 - 0.14 \cdot (70.7 - 27) = 18.7 \text{ м,}$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) / h_c = 40.5 \cdot (18.7 - 10) / 18.7 = 18.9 \text{ м.}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Произведен анализ принципов построения и структуры адаптивных систем управления;
2. Осуществлена модификация алгоритмов настройки параметров управляющих устройств в адаптивных системах управления на основе эталонных моделей;
3. Изучены алгоритмы анализа устойчивости и качества в адаптивных системах управления;
4. Произведен анализ особенностей программного обеспечения в задачах синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления;
5. Разработано программное обеспечение процедуры синтеза управляющих воздействий в системах адаптивного управления;
6. Осуществлено численное решение задачи синтеза адаптивной системы управления с эталонной моделью;

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хавфсизлик ва тинчлик учун курашмоқ керак. И.А.Каримов, Тошкент «Ўзбекистон». 2002.
2. Янгича фикрлаш ва ишлаш давр талаби. И.А.Каримов, Тошкент «Ўзбекистон». 1997.
3. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука, 1987. - 712 с.
4. Егупов Н.Д., Пупков К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления. Учебник в 5 томах. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2004.
5. Афанасьев В.Н. Динамические системы управления с неполной информацией: Алгоритмическое конструирование. Изд-во: КомКнига, 2007.
6. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. -М: Юнимедиастайл. 2002, 822с.
7. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами: Учебное пособие / МАДИ (ТУ) – М.: 2001. – 262 с.
8. Абакумов И.С., Безаева Л.Г., Домрачев С.А., Завьялов В.Е., Малов К.В., Павлов А.Н., Перчук Е.Е., Сафронова Т.Е. Информационные технологии управления. Изд-во: РАГС, 2006. - 206 с.
9. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управление. Изд-во: Невский Диалект, 2003.-557с.
- 10.Костин В.А. Теория управления. –М.: Гардарики, 2004. - 224 с.
- 11.Колпаков В.М. Методы управления: Учебное пособие. 2-е изд.-М.: Наука, 2003. - 368с.
- 12.Автоматизированное управление технологическими процессами: Учебное пособие / Зотов Н.С., Назаров О.В., Печелин Б.В., Яковлев В.Б.: Под редакцией Яковлева В.Б. - Л. : Изд-во Ленинградского университета, 1988. - 224 с.

13. Коган М.М., Неймарк Ю.И. Адаптивное управление. Учебное пособие. - Горький.: Изд-во ГГУ, 1987. - 194 с.
14. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Т., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления, Изд-во «Высшая школа», М.:1998.с.-252.
15. Павлов Б.В., Соловьев И.Г. Системы прямого адаптивного управления. М.: Наука, 1989. 136 с.
16. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы . М.: Высш. шк., 1989.
17. Антонов В., Терехов В., Тюкин И. Адаптивное управление в технических системах. Учебное пособие. Изд-во: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2001. – 244с.
18. Пельцвергер С.Б. Алгоритмическое обеспечение процессов оценивания в динамических системах в условиях неопределенности. -М.: Наука, 2004. -116с.
19. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).
20. [www.gov.uz](http://www.gov.uz).
21. [www.mathnet.ru](http://www.mathnet.ru).
22. [www.twirpx.com](http://www.twirpx.com).