

Таким образом, представленная схема анализа устойчивости обладает существенным быстродействием.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чезари Л.* Асимптотическое поведение и устойчивость решений обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Мир, 1964. – 478 с.
2. *Ромм Я.Е., Буланов С.Г.* Метод компьютерного анализа устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений / ТГПИ. – Таганрог, 2009. – 119 с. ДЕП в ВИНТИ 30.04.09. № 268 – В2009.
3. *Буланов С.Г.* Разработка и исследование методов программного моделирования устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений на основе матричных мультипликативных преобразований разностных схем / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Таганрог: ТРТУ, 2006. – 232 с.
4. *Камке Э.* Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1971. – 534 с.

Ромм Яков Евсеевич

Таганрогский государственный педагогический институт
E-mail: romm@List.ru
347936, г. Таганрог, ул. Инициативная, д. 48. Тел: 88634 60-18-99

Буланов Сергей Георгиевич

E-mail: romm@List.ru
Тел: 8-909-43-69-543

Romm Yakov Evseevich

Taganrog State Pedagogical Institute
E-mail: romm@List.ru
48, Initsiativnaia, Taganrog, 347936. Phone: 88634 60-18-99

Bulanov Sergei Georgievich

E-mail: romm@List.ru
Phone: 8-909-43-69-543

УДК 681.51

В.В. Соловьев, В.И. Финаев

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Выполнена классификация неопределенностей в условиях функционирования сложной системы. Показано применение принципа адаптации для управления системой, выполнена постановка задачи и определены этапы ее решения.

Неопределенность; адаптация.

V.V. Soloviev, V.I. Finaev

**STATEMENT OF THE PROBLEM OF SYNTHESIS OF
MANAGEMENT BY DIFFICULT SYSTEM IN THE CONDITIONS OF
APRIORISTIC UNCERTAINTY**

Classification uncertainty in the conditions of functioning of difficult system is executed. Application of a principle of adaptation for management of system is shown, statement of a problem is carried out and stages of its decision are defined.

Uncertainty; adaptation.

Введение. Формальный математический аппарат для решения задач синтеза системы управления энергосистемой различен для различных ее иерархических уровней. Задачи нижнего уровня, как правило, детерминированы, а при решении задач верхнего иерархического уровня энергетической системы применяются методы моделирования в условиях априорной неопределенности [1].

Изучение энергосистемы как объекта управления, позволяет построить ее математическую модель. С использованием этой модели определяются тип и алгоритмы функционирования системы управления, а также способы ее программно-аппаратной реализации.

Для построения адекватной математической модели энергосистемы требуется большой объем априорной информации. Это информация о контролируемых и неконтролируемых возмущениях, внутренних параметрах и переменных состояния объекта, а также о его выходных сигналах. Следует отметить, что высокая размерность и сложность математической модели, построенной с использованием всего объема априорной информации, может свести на нет все попытки реализации управления.

Как правило, часть информации о сложном объекте управления и о его взаимодействии с внешней средой не определена и даже неизвестна. Наличие разнообразных помех, являющихся источником неопределенности, приводит к неполной априорной информации.

Существенная особенность любых априорных сведений состоит в том, что, будучи получены заранее, они затем не только не обновляются, но вследствие различных случайных изменений, всегда существующих в реальных условиях, теряют свою достоверность [2].

1. Классификация неопределенностей. Выше перечислена априорная информация необходимая для математического описания системы. Классификация неопределенностей проведена на рис. 1.

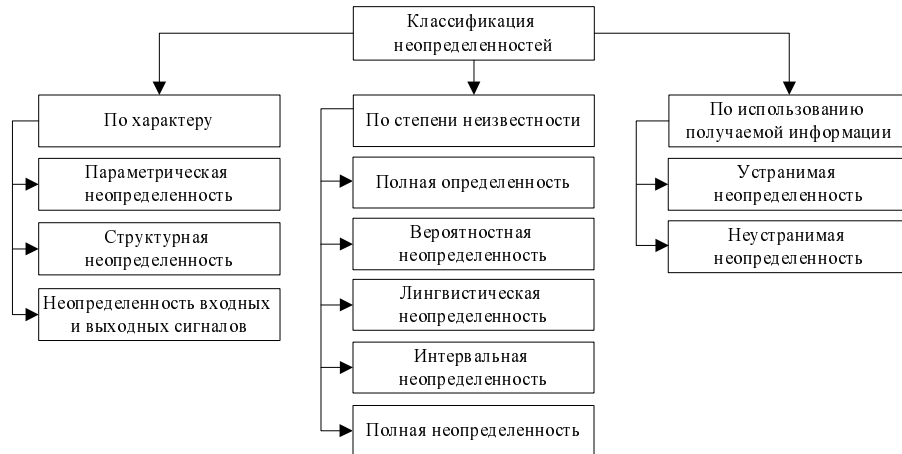


Рис. 1. Классификация неопределенностей

Параметрическая неопределенность. Наряду с переменными состояниями система характеризуется параметрами. К параметрам системы относятся масса, индуктивность, емкость, длина, сопротивление и т.п. Параметры системы могут быть определены частично или определены их некоторые средние значения. В процессе функционирования системы они могут изменяться.

Структурная неопределенность. Современные системы управления характеризуются сложной иерархической структурой. С переходом от нижнего уровня к верхнему структура системы усложняется, добавляются перекрестные и обратные связи, которые порой трудноразличимы. Неверная декомпозиция задач управления, излишняя идеализация сложного процесса, линеаризация, дискретизация, нарушение допущений, принятых при выводе уравнений приводит к неточности моделей.

Неопределенность входных и/или выходных сигналов. В процессе функционирования система взаимодействует с внешней средой. Низкая точность оперативной информации поступающей от объекта управления, несвоевременность ее поступления вызывает неточности в задании переменных величин, начальных и граничных условий в моделях.

Вероятностная неопределенность. При вероятностной неопределенности распределение случайной величины характеризующей, например, возмущающее воздействие может быть точно определено или неизвестно. В первом случае распределение случайной величины точно известно, но неизвестно какое конкретно значение примет случайная величина. Во втором случае распределение случайной величины неизвестно, но известны вероятности отдельных событий, определённые экспертным путём.

Лингвистическая неопределенность. Этот тип неопределенности связан со сложностью и многозначностью понятий естественного языка. Сложные системы управления, как правило, в контуре управления имеют человека (лицо принимающее решение). С математической точки зрения, лингвистическая информация может быть описана недостаточно точно. Необходим соответствующий учет лингвистической неопределенности, как основного свойства таких систем.

Интервальная неопределенность. Наиболее часто оказывается, что в процессе функционирования системы для некоторых переменных или параметров

модели могут быть заданы лишь диапазон их изменения. В этом случае распределение случайной величины неизвестно, но известно, что она может принимать любое значение в определённом интервале.

Полная неопределенность. Под полной неопределенностью будем понимать неопределенность, не удовлетворяющую перечисленным степеням неизвестности.

Если в процессе управления состояние системы будет соответствовать поставленным целям управления, то неопределенность устранимая, в противном случае неустранимая.

Рассмотренные типы неопределенности позволяют сделать вывод о том, что классификация по характеру наиболее полно отражает недостаток априорной информации и его влияние на систему в целом. Характер неопределенности является следствием степени неизвестности, которая определяет форму математической модели системы и выражается: в параметрах, в структуре, во входных и выходных сигналах.

2. Математическое описание систем в условиях априорной неопределенности. В условиях априорной неопределенности традиционные принципы построения систем управления оказываются неэффективными.

При использовании принципа управления по отклонению небольшие изменения в фактическом поведении объекта управления, в связи с невозможностью оперативно вносить коррективы в процесс управления, приводят к неудовлетворительным результатам [3]. При использовании принципа компенсации по возмущению необходимо напрямую измерять возмущающие воздействия, что зачастую невозможно. Использование принципа комбинированного управления по отклонению и возмущению также не всегда приводит к желаемым результатам. Действительно дрейф параметров объекта, задержка в канале компенсации возмущения сведут на нет все попытки стабилизации объекта. Использование принципа управления по состоянию влечет за собой те же проблемы управления.

Следует отметить, что указанные проблемы удается решить для сравнительно простых объектов управления, с параметрической неопределенностью или неопределенностью входных и выходных сигналов. Они описываются или линейными моделями в форме вход-выход, вход-состояние-выход или хорошо изученными нелинейными системами уравнений. В качестве математической модели сложной системы их использовать проблематично. Это связано не только с иерархической структурой сложных систем, а, следовательно, наличием нескольких критериев оптимальности, но и с наличием структурных неопределенностей, которые не могут быть устранены с использованием классических математических моделей и методов.

Учет фактора неопределенности при решении задач во многом изменяет методы принятия решения: меняется принцип представления исходных данных и параметров модели, становятся неоднозначными понятия решения задачи и оптимальности решения. Попытки применения какого-либо конкретного математического аппарата для принятия решений в условиях неопределенности позволяет адекватно отразить в модели лишь отдельные виды данных и приводит к безвозвратной потере информации других типов [4].

Перечисленные проблемы удается решить, если использовать принципы адаптации. Адаптация – это процесс изменения параметров, структуры, входных сигналов системы, на основе текущей информации для достижения целей управления, в условиях априорной неопределенности и переменных условиях работы. Априорная неопределенность компенсируется текущей информацией с исполь-

зованием процессов обучения или самообучения. Процесс обучения протекает при многократных внешних воздействиях на систему путем фиксации ее реакции и дальнейшей внешней корректировки целей управления. Для процесса самообучения внешняя корректировка целей управления отсутствует. Таким образом, при использовании принципа адаптации в процессе обучения или самообучения происходит накопление информации, которая в дальнейшем используется для компенсации неопределенности и реализации целей управления.

Для использования принципа адаптации необходимо знать: класс принадлежности объекта управления, условия его функционирования, цели управления. Задача состоит в построении регулятора, который воздействуя на объект, реализует цели управления спустя конечное время. В данном классе регулятор будет адаптивным, а сама система адаптивной. Конечное время достижения цели будет временем адаптации. Если в условиях априорной неопределенности объект принадлежит к классу адаптации регулятора, то адаптивный регулятор будет работоспособен [5].

Согласно приведенной в [6] классификации адаптивные системы делятся:

- пассивные – контролируемые изменения в системе программно зависят от имеющейся на стадии проектирования априорной информации о внешних и внутренних условиях работы;

- активные – контролируемые изменения в системе программно зависят от текущей, а не только априорной информации о внешних и внутренних условиях работы;

- разомкнутые – программа настройки параметров определяется заранее и таким образом, чтобы система управления находилась в расчетном оптимальном режиме при некоторых типовых или наиболее вероятных внешних и внутренних условиях;

- замкнутые – имеют дополнительный замкнутый контур самонастройки, служащий для анализа эффекта изменения качества системы управления в процессе адаптации;

- аналитические – контролируемые изменения параметров или входных воздействий осуществляются в результате аналитического вычисления условий экстремума функции, определяющей цель и качество управления;

- поисковые – контролируемые изменения параметров осуществляются в результате поиска экстремума функции качества.

Анализ классификации показывает, что для сложной иерархической системы необходимо синтезировать активную замкнутую адаптивную систему с переменной структурой. Комбинированный метод изменения параметров позволит достичь высоких показателей качества системы: на первом этапе, при достаточном объеме априорной информации, аналитическим методом определяются контролируемые изменения параметров и через небольшой промежуток времени вычисляется оптимальный режим; на втором этапе поисковым методом определяется оптимальный режим.

3. Постановка задачи адаптации и этапы ее решения. Рассмотрим схему взаимодействия объекта управления (ОУ), устройства управления (УУ) и датчиков (Д) (рис. 2). Влияние внешней среды F , управляющих воздействий U и внутренних возмущений отражается в изменении состояния объекта управления X . Информация о состоянии измеряется датчиками и поступает в виде вектора сигналов H на устройство управления. На основе этой информации и целей управления Z устройство управления формирует управляющие воздействия U .

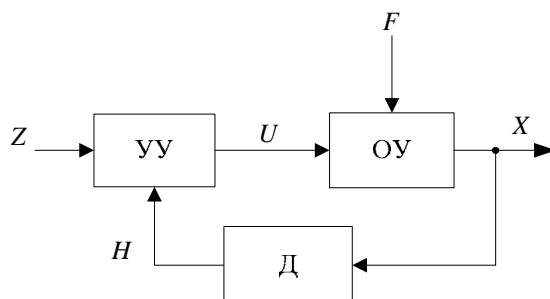


Рис. 2. Схема замкнутой системы управления

Для постановки задачи адаптивного управления необходимо наличие векторов:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad U = (u_1, u_2, \dots, u_k), \quad H = (h_1, h_2, \dots, h_r), \quad A = (a_1, a_2, \dots, a_g),$$

где A – вектор варьируемых параметров, в качестве которых выступают не только реальные физические величины, но и абстрактные, например, виды структур объекта управления.

В общем случае с помощью этого вектора отражаются неопределенности. Например, если в канале измерения присутствует помеха, то в набор $a' \in A$, могут входить коэффициенты ее спектральной характеристики [5].

Описание адаптивной системы управления можно выполнить с помощью уравнений:

$$h_i = \Phi(x_i, u_{i-1}, a_i), \quad (2)$$

$$x_i = \Psi(x_i, u_i, a_i), \quad (3)$$

где i – отражает отсчет, а не координату; Φ, Ψ – некоторые функции.

В соответствии с терминологией принятой в [5] уравнение (2) называется сенсорным уравнением, а уравнение (3) – эволюционным. Если математическая модель объекта управления точно неизвестна, то для функционирования адаптивного регулятора нужны только координаты вектора H .

Цель управления Z обычно отражается в виде некоторого критерия оптимальности. В качестве критериев оптимальности могут выступать [7] следующие критерии.

1. Критерии-неравенства

$$S(U, X, A) = (s_1(U, X, A), s_2(U, X, A), \dots, s_l(U, X, A)) \geq 0.$$

2. Критерии-равенства

$$Q(U, X, A) = (q_1(U, X, A), q_2(U, X, A), \dots, q_d(U, X, A)) = 0.$$

3. Критерии минимизации

$$J(U, X, A) = (j_1(U, X, A), j_2(U, X, A), \dots, j_d(U, X, A)) \rightarrow \min.$$

Таким образом, цель адаптации заключается в решении задачи

$$J(U, X, A) \rightarrow \min_{U, X, A \in W} \Rightarrow Z^*,$$

где $W : (S(U, X, A) \geq 0, Q(U, X, A) = 0)$, Z^* – желаемая цель управления.

Решение задачи синтеза адаптивного регулятора выполняется по этапам:

- выбор структуры регулятора: необходимо определиться со структурой регулятора, с помощью которого удастся реализовать цели управления;
- выделение подстраиваемых параметров: необходимо выделить физические и абстрактные параметры или их оценки;
- синтез алгоритма адаптации: необходимо синтезировать алгоритм адаптации, осуществляющий подстройку параметров;
- обоснование алгоритма адаптации: необходимо доказать, что синтезированная система является адаптивной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Овчинников Ю.В.* Теплоэнергетические системы (производство, распределение и использование энергоносителей): Учеб. пособие. Ч.1 – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996. – 48 с.
2. *Цыпкин Я.З.* Информационная теория идентификации. – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 336 с.
3. *Емельянов С.В., Коровин С.К.* Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.
4. *Алтунин А.Е., Семухин М.В.* Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
5. *Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А.* Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 448 с.
6. *Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В.* Теория автоматического управления техническими системами: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 492 с.
7. *Растринин Л.А.* Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.

Соловьев Виктор Владимирович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге
E-mail: soloviev-tti@mail.ru
347928, Таганрог, ГСП 17А, Некрасовский, 44. Тел.: 37-17-73

Финаев Валерий Иванович

E-mail: fin_val_iv@tsure.ru
Тел: 37-17-73

Soloviev Victor Vladimirovich

Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University"
E-mail: soloviev-tti@mail.ru
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928. Phone: 37-17-73

Finaev Valery Ivanovich

E-mail: fin_val_iv@tsure.ru
Phone: 37-17-73