

УДК 629.7.017.1(045)

з 965.5-048.9, + 1252-082.03
 в 631.2

Казак В. Н. д-р техн. наук
 Шевчук Д. О.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ В УСЛОВИЯХ ОСОБОЙ СИТУАЦИИ

Аэрокосмический институт Национального авиационного университета

В статье рассматривается возможность применения нечеткого регулятора для выработки управляющего воздействия в условиях особой ситуации. Рассмотрены основные принципы и выявлены особенности управления на базе теории нечетких множеств. Предоставлена структурная схема системы управления с нечетким регулятором. Определены задачи, которые не обходимо решить для реализации нечеткого регулятора.

Постановка проблемы. Повышение сложности конструкции воздушного судна (ВС), улучшение их эксплуатационных свойств, возрастание требований к летно-эксплуатационным характеристикам ВС, все эти требования приводят на практике к обострению проблемы обеспечения высокого уровня безопасности полетов в условиях возрастающей интенсивности воздушного движения вообще.

Анализ опыта эксплуатации воздушных судов (ВС) показал, что основными причинами возникновения особых ситуаций в полете приводящими к развитию авиапроисшествия, являются: невыдерживание заданных параметров полета ВС (скорости, высоты, числа M , углов тангажа, крена, атаки); отклонения от заданной траектории в боковом и продольном движении; ошибки в пилотировании ВС в условиях воздействий внешних дестабилизирующих факторов; отклонения от заданного профиля, режима полета, нарушения технологии управления конфигурацией ВС; «человеческий фактор»; различного рода отказы и повреждения авиационной техники.

На практике во многих случаях автоматическое управление при возникновении особой ситуации происходит в условиях неопределенности, связанных, в частности, с нестационарностью и нелинейностью объектов управления, влиянием окружающей среды, наличием в сос-

таве объекта управления звеньев, вносящих запаздывание, а также чрезвычайно малым временем развития особой ситуации в течение, которой необходимо принять решение, направленное на предотвращение авиационного происшествия.

Одним из традиционных путей решения задачи управления объектами в условиях неопределенности является применение адаптивных методов управления. Применение данных методов позволяет весьма успешно решать задачи автоматического управления и обеспечивать требуемые характеристики.

Тем не менее, подобные методы обладают некоторыми особенностями, среди которых можно выделить следующие [1]:

1. Основная часть вычислительных ресурсов направлена на реализацию алгоритмов идентификации параметров модели объекта управления, а также параметров, характеризующих внешние условия функционирования объекта, в том числе, входных воздействий САУ.

2. На этапе параметрической идентификации определяются параметры модели объекта управления. Таким образом, возникает необходимость в формировании адекватных моделей объектов управления. Однако с увеличением размеров и сложности системы существенно усложняется ее моделирование с помощью известных математических выражений.

Другими словами, существенно возрастает число переменных и параметров. Измерение отдельных переменных и определение параметров, особенно в условиях особой ситуации, затрудняется, и создание полностью адекватной модели становится весьма проблематично.

3. Классические САУ, как правило, основаны на слежении за кусочно-линейным воздействием, которым аппроксимируется произвольное входное воздействие. При этом произвольное входное воздействие на каждом интервале регулирования аппроксимируется линейной функцией, а затем производится расчет оптимальных управляющих воздействий на объект управления при линейно изменяющемся сигнале на входе системы управления. Таким образом, текущая ошибка в адаптивной системе управления зависит, в том числе, и от точности аппроксимации произвольного входного воздействия.

4. Так как системы управления ВС, являются системами с чистым запаздыванием необходимо учитывать ошибку определения сигнала рассогласования в системе, вызванную задержкой в контуре управления, что вносит дополнительные погрешности.

5. Некоторые особенности поведения динамической системы в особых ситуациях являются трудноформализуемыми с использованием классических алгоритмов описания объекта, а потому их учет в моделях невозможен.

В 1965 году американским математиком Л. Заде (*L. A. Zadeh*) [2] было предложено теорию нечетких множеств – для анализа и представления неясных или неточных понятий, используемых в утверждениях о событиях и фактах для описания отношений между объектами или действиями. На основе теории нечетких множеств можно построить нечеткие аналоги математических понятий и создать формальный аппарат для моделирования человеческих рассуждений и человеческого способа решения задач.

В начале девяностых годов наблюдается интенсивное развитие и практическое применение в индустриально развитых странах нечетких систем для целей управления и регулирования многих технических объектов. При этом отмечается высокая эффективность применения нечетких систем при решении многочисленных задач управления, особенно при решении задач, связанных с наличием неопределенности. Среди источников, посвященных вопросам применения нечетких методов управления в системах автоматического управления, следует выделить, прежде всего, работы ученых Гостева В. И., Архангельского В. И., Богаенко И. Н., Грабовского Г. Г., Рюмшина Н. А..

Следует отметить, что существуют разные подходы к разработке нечетких систем управления, поскольку стандарт для нечетких систем до сих пор отсутствует. В этой связи весьма актуальной представляется задача разработки и исследования прикладных методов применения нечеткого регулятора в САУ, связанных с управлением в условиях внезапного возникновения особой ситуации в полете.

Постановка задачи. Теория нечетких множеств (НМ) имеет дело с «человеческими знаниями», которые принято называть экспертной информацией. Характерным для алгоритмов нечеткого управления является непосредственное применение качественно сформулированных экспертных знаний для генерирования управляющих воздействий на объект управления. Знания о взаимодействии нечеткого регулятора с объектом (процессом) управления представляются в форме правил вида: ЕСЛИ (исходная ситуация), ТО (ответная реакция). Такие правила соответствуют простейшей форме человеческих взаимодействий. При этом, анализируемые параметры рассматриваются в качестве лингвистических переменных, которые оцениваются качественными терминами.

В теории нечетких множеств центральную роль играют понятия лингвистическая переменная (ЛП), лингвистическая величина и функция принадлежности (ФП) $\mu^T(x)$. Функция $\mu^T(x)$ определяет степень принадлежности элемента x (лингвистической переменной) к нечеткому множеству (терму) T в форме численного значения в диапазоне $[0, 1]$. Нечеткое множество полностью описывается его функцией принадлежности. Представляя лингвистические величины «отрицательная», «положительная», «большая», «малая» лингвистической переменной «ошибка» при помощи их функций принадлежности, очертим диапазоны изменения качественно описанной физической величины – ошибки рассогласования системы автоматического управления. Функции принадлежности лингвистических величин, как правило, перекрывают друг друга, поэтому для одной и той же лингвистической переменной эти функции могут сообщать различные «степени истинности» лингвистических величин, отличающиеся от нуля [3].

Рассмотрим структурную схему системы управления с нечетким регулятором представленную на рис. 1. Выходная переменная объекта регулирования y сравнивается с ее заданным значением g , и ошибка рассогласования ε поступает как в масштабный элемент с коэффициентом K_ε , так и в дифференциатор S , выход которого масштабируется $K_{\dot{\varepsilon}}$. Элементы F_ε и $F_{\dot{\varepsilon}}$ предназначены для преобразования текущих значений рассогласования ε и производной от рассогласования в их лингвистические значения. Нечеткие величины ε^* и $\dot{\varepsilon}^*$ поступают в главный элемент нечеткого регулятора – базу знаний (БЗ). Как правило, БЗ нечетких регуляторов строится на основе продукционной модели знаний, имеющей конструкцию вида «ЕСЛИ..., ТО...». Каждая продукция, представляющая собой множество пар «ситуация-действие», позволяет ставить в соответствие со сложившейся обстановкой действие регулятора в виде значения регулирующего воздействия на объект.

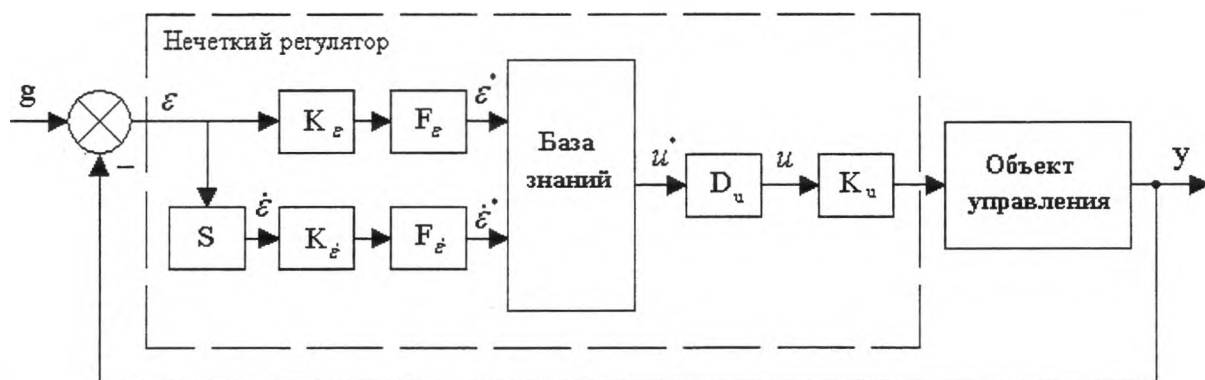


Рис. 1. Структурная схема системы управления с нечетким регулятором

Блок D_u осуществляет преобразование лингвистического значения управляющего воздействия в его четкое значение u . Найденное четкое значение управляющего воздействия после умножения на масштабный коэффициент K_u поступает на исполнительные органы объекта управления.

Существует несколько способов внесения в базу знаний опыта человека-оператора:

- оператор-эксперт осуществляет управление, за которым «наблюдает» регулятор и заполняет свою базу знаний.
- оператор-эксперт формирует свое действие при каждой наблюдаемой ситуации в виде продукций «если..., то...», множество которых составляет БЗ регулятора;
- перед самоорганизующимся нечетким регулятором ставится цель обеспечить желаемую переходную характеристику

тику рассматриваемой САУ; одновременно сообщается некоторая информация об объекте управления. Регулятор самостоятельно методом проб и ошибок накапливает знания без эксперта.

В работе [4] также рассматриваются возможные способы составления лингвистических правил управления:

- на основе опыта и знаний эксперта;
- путем создания модели действий оператора;
- путем обучения;
- на основе нечеткой модели оборудования.

Первый способ аналогичен способу создания экспертной системы: в словесном виде извлекаются опыт квалифицированного оператора в условиях особой ситуации и знания инженера по управлению, которые затем обобщаются в виде правил нечеткого управления в форме «если..., то...».

Второй способ используется в случаях, когда от экспертов не удастся получить правила в словесном выражении, в частности когда оператор запоминает манипуляции, например, в виде движения рук, но представить их на языковом уровне затрудняется. Но даже в этом случае, если действия оператора можно смоделировать в форме «если..., то...», их можно непосредственно использовать в качестве правил управления.

Третий способ применим в случае возможности проведения эксперимента на реальном оборудовании или существует модель оборудования. В частности он удобен для управления роботами.

Последний способ используется в случаях, когда предполагается создание нечеткой модели оборудования. Если при этом модель создается в форме «если..., то...», правила нечеткого управления легко выводятся теоретически, исходя из целей управления и модели оборудования.

Следует отметить, что формирование причинно-следственных связей для БЗ может осуществляться не только на основе продукционных правил.

В общем случае представление знаний в управляющих системах в теории искусственного интеллекта осуществляется логическими, реляционными, фрей-

мовыми и продукционными языками. С учетом такой важной специфики работы системы автоматического управления как реальный масштаб времени и удобства представления информации о процедурах и условиях их выполнения [5] можно сделать вывод о целесообразности использования продукционной модели описания знаний в нечетких регуляторах.

Каждая продукция дается в виде набора правил, представляющих собой фрагмент знаний и имеет вид «условие-действие».

Левая часть каждой продукции рассматривается как конъюнкция элементарных условий, а правая часть – как множество элементарных действий. Для регулятора, представленного на рис. 1, любое правило в базе знаний может быть представлено как

ЕСЛИ (ε есть ε^*) И ($\dot{\varepsilon}$ есть $\dot{\varepsilon}^*$), ТО (u есть u^*),
где $\varepsilon, \dot{\varepsilon}, u$ – переменные, а $\varepsilon^*, \dot{\varepsilon}^*, u^*$ – их лингвистические оценки.

Для реализации метода управления с использованием нечеткого регулятора в условиях нештатных ситуаций в полете, необходимо решить следующие задачи:

Выделить из «располагаемого времени» особой ситуации «критическое располагаемое» время в течение, которого будет принято решение, направленное на предотвращение авиационного происшествия.

• формирование структурной схемы САУ с нечетким регулятором, выбор входных и выходных параметров нечеткого регулятора.

• разработка метода представления экспертной информации полученной от экипажей о действии в особой ситуации в виде нечетких правил, которые будут формировать «базу данных» нечеткого регулятора.

• выбор функций принадлежности.
• выбор методики дефазсификации, для осуществления выбора единственного правильного управляющего воздействия из выходного нечеткого подмножества

• разработка методики параметрической настройки нечеткого регулятора.

• выбор метода параметрической оптимизации нечеткого регулятора.

• синтез САУ с нечетким регулятором методом математического моделирования.

Выводы. Можно выявить три особенности применения нечеткого управления [4].

Первая заключается в том, что правила нечеткого управления, будучи условными высказываниями типа «ЕСЛИ...ТО...» являются логическими. Использование правил осуществляется через механизм логических выводов. Логическое управление означает, что логику управления эксперта легко представить, то есть изменению во времени внештатной ситуации можно поставить в соответствие некоторое действие экипажа. Эту информацию можно будет использовать для создания «базы знаний» на основе, которой будет приниматься управляющее воздействие нечеткого регулятора в условиях аналогичной особой ситуации.

Вторая особенность – параллельное управление – сами нечеткие методы управления существенно различаются. Традиционные методы управления – это либо классические, либо современные методы, в которых обобщенное правило управления представляется с помощью одной формулы, в то время как при нечетком управлении используется большое число частных правил. Каждое правило действует в определенной области информационного пространства, используемого при управлении. Для каждой локальной области распределенного информационного пространства целесообразно создавать отдельные правила управления. Кроме того, если имеется много регулируемых величин, для каждой из них можно создать отдельные правила управления. Аналогично, если имеется много целей управления, для каждой цели желательно создавать правила управления. Классическое управление существенно ограничивало теоретически возможные разновидности целей в связи с необходимостью представлять цель обобщенной функцией. При нечетком управлении необходимость в целевых функциях и в решении задач оптимального управления отпадает, поэтому можно успешно справляться со всем многообразием целей и даже со взаимно противоречащими целями.

Третья особенность нечеткого управления состоит в том, что поскольку правила управления записываются словами в формате: «ЕСЛИ ...ТО...», появляется возможность организовать управление в виде диалога с оператором.

С помощью нечеткой логики можно приблизительно описывать особые ситуации, возникшие в воздухе, которые настолько сложны или плохо определены, что не поддаются описанию в общепринятых количественных терминах, а также, мы можем учитывать влияние особой ситуации на объект управления, в нечетких правилах, используя опыт экипажей в схожих ситуациях.

При нечетком управлении необходимость в целевых функциях и в решении задач оптимального управления отпадает, потому что при нечетком управлении используется большое число частных правил, в то время как в традиционных методах управления обобщенное правило управления представляется с помощью одной формулы.

Поэтому наряду с совершенствованием традиционных методов управления объектом, предлагается разрабатывать новые принципы управления, основанные на нечеткой логике.

Список литературы

1. Чуприн А. Е. Синтез цифровых нечетких регуляторов систем автоматического управления нестационарными объектами и объектами с чистым запаздыванием: Дис. кан. тех. наук. – К.: 2002. – 133 с.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: «Мир», 1976.
3. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К: Радиоаматор, 2003. – 512 с.
4. Прикладные нечеткие системы: Пер с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
5. Алиев Р.А., Захарова Э.Г., Ульянов С.В. Нечеткие модели управления динамическими системами // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. – М.:ВИНИТИ, 1990. – Т.29. – С. 127-201.