

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

**М.И. Гвоздик, кандидат технических наук, профессор;
А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены возможности использования нечеткого моделирования и управления. Математическая модель системы охлаждения энергетического оборудования реализована в виде программы на ЭВМ.

Ключевые слова: нечеткое множество, нечеткая логика, нечеткое моделирование, нечеткое управление, компьютерная программа, математическая модель

PROBLEM OF USE THE FUZZY MODELING AND CONTROL

M.I. Gvozdik, A.Yu. Labinskiy.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article presents the mathematical model and computing program the dynamical calculation of the system of emergency cooling the power equipments. The mathematical model uses the fuzzy control.

Keywords: fuzzy set, fuzzy logic, fuzzy modeling, fuzzy control, computing program, mathematical model

В современных условиях динамического развития промышленности России одной из первоочередных задач является обеспечение безопасности населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС). В связи с этим является актуальным совершенствование научно-методического аппарата оценки риска и повышения его достоверности. Расчетные методики должны учитывать многофакторность процессов и явлений, влияющих на возможное возникновение ЧС. Использование теории нечетких множеств обеспечивает необходимую степень достоверности получаемых результатов, так как данная теория позволяет производить оценку риска в условиях многофакторности и неопределенности посредством методологии системного анализа нечеткой логики.

«Нечеткое управление», называемое «fuzzy control», основанное на таких понятиях, как «нечеткое множество» (fuzzy set) и «нечеткая логика» (fuzzy logic), известно инженерам и программистам систем управления как удобное средство программирования и мониторинга приложений управления сложными процессами [1]. По аналогии с традиционными средствами управления системы на основе нечеткой логики могут использоваться для описания механизмов регулирования и участвовать в вычислении управляющего воздействия.

Правила нечеткой логики позволяют обеспечить [2]:

- применение существующего опыта управления;
- использование гибких правил в случае невозможности точно моделировать систему при помощи традиционных средств;
- улучшение качества управления при помощи саморегулирования системы управления;
- упреждающее изменение выходного воздействия (функция упреждения), базируясь на событиях, которые не могут быть учтены в случае применения традиционных способов управления.

Методы нечеткой логики не заменяют традиционные подходы к созданию систем управления, а, наоборот, дополняют их.

Нечеткое множество определяется при помощи «функции принадлежности» (function of membership) в нечеткой логике, которая соответствует понятию «характеристическая функция» в классической логике.

Функцией принадлежности называется функция $\mu_A(x)$, которая любое входное значение x связывает со степенью его принадлежности к нечеткому множеству A . Значение степени принадлежности находится в диапазоне $[0; 1]$.

На практике удобно использовать те функции принадлежности, которые допускают аналитическое представление в виде некоторой простой математической функции. Это упрощает не только соответствующие численные расчеты, но и сокращает вычислительные ресурсы, необходимые для хранения отдельных значений этих функций принадлежности.

Подготовка задачи для решения методами нечеткой логики (фаззификация) позволяет конвертировать реальные значения переменных в нечеткие. Фаззификация заключается в определении степени принадлежности (истинности) входной числовой переменной к нечеткому множеству.

Операторы нечеткой логики используются для записи комбинаций логических понятий нечеткой логики с целью вычисления степеней истинности. Применяются стандартные логические операторы AND, OR и NOT.

Базы правил нечеткой логики [3], подобно традиционным экспертным системам, основываются на базе знаний, построенной на основе человеческого опыта. В базах правил нечеткой логики в общем случае используются функции принадлежности для системных переменных и правила, которые могут быть записаны в текстовом виде. Применяются правила следующего типа: IF – «утверждение», THEN – «результат». Например: IF – «высокая температура», AND – «высокое давление», THEN – «хорошая вентиляция», AND – «открытый клапан».

Процесс обработки нечеткой логики состоит из трех основных частей (рис. 1).

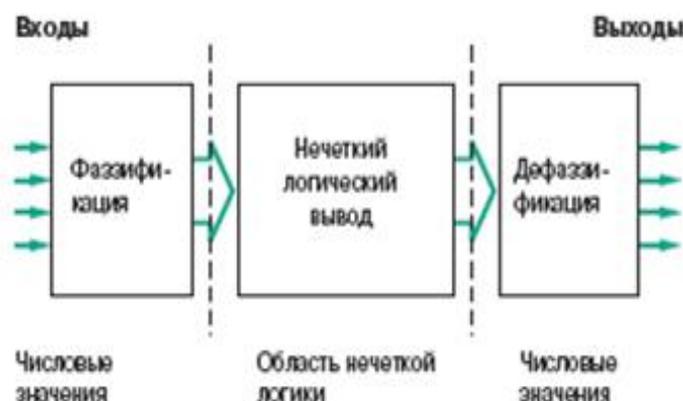


Рис. 1. Процесс обработки нечеткой логики

Пример использования нечеткого моделирования и управления

В качестве примера, демонстрирующего использования нечеткой логики для моделирования процесса управления, рассмотрим процесс управления расходом охлаждающей жидкости в системе охлаждения энергетического оборудования.

Совершенствование систем охлаждения энергетического оборудования, входящего в состав энергоемких объектов (атомные и тепловые электростанции, котельные центрального отопления и т.п.), снижает техногенные риски выхода из строя дорогостоящего энергетического оборудования, уменьшает вероятность аварийных ситуаций и больших материальных потерь.

Система охлаждения состоит из бака с охлаждающей жидкостью и системы управления, поддерживающей требуемый уровень жидкости в баке. Система управления регулирует степень открытия клапана, размещенного на трубопроводе, подводящем охлаждающую жидкость в бак. Вытекание жидкости из бака происходит самотеком. Задаются высота и площадь горизонтального сечения бака, а также площадь поперечного сечения отводящего трубопровода.

Работа блока управления процессом моделирования объекта на базе нечеткой логики может быть разбита на 4 этапа [4]: Фаззификация, Активизация, Аккумуляция и Дефаззификация.

Этап 1. Фаззификация входных переменных.

Для того чтобы можно было применять простые правила, данные, передаваемые в блок управления на основе нечеткой логики, должны быть преобразованы. Для этого входные и выходные переменные преобразовываются в лингвистические переменные. Каждая лингвистическая переменная характеризуется набором термов. Лингвистическая переменная уровень может иметь следующие термы: «низкий», «нормальный», «высокий». Лингвистическая переменная клапан может иметь следующие термы: «открывать быстро», «открывать медленно», «не трогать», «закрывать медленно», «закрывать быстро». Каждый терм описывается своей функцией принадлежности $\mu_i(x)$, которая может принимать значения от 0 до 1. Получив значение входной переменной x , в блоках нечеткой логики вычисляются значения $\mu_i(x)$ каждого терма.

Результатом применения правила является величина, называемая степенью истинности и принимаемая значения от 0 до 1. Для рассматриваемого примера клапан может открываться по сигналу уровня и иметь простое правило: «Если уровень низкий, то клапан открывать быстро». Фаззификацию входной переменной уровень на три терма «низкий», «нормальный», «высокий» осуществим с помощью функции принадлежности $\mu(x)$ типа кривой Гаусса (рис. 2):

$$\mu(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2 \cdot \text{sigma}^2}}$$



Рис. 2. Фаззификация входной переменной уровень

Фаззификацию выходной переменной клапан на пять термов «открывать быстро», «открывать медленно», «не трогать», «закрывать медленно», «закрывать быстро» осуществим с помощью треугольных функций принадлежности (рис. 3).



Рис. 3. Фаззификация выходной переменной клапан

Этап 2. Активизация заключений правил нечеткой логики.

У нас есть входная величина – уровень h в м. Если величина уровня низкая, то значение функции принадлежности для терма «низкий» $\mu_{low}(h)=1$. Если уровень не низкий, то $\mu_{low}(h)=0$, то есть все происходит как и в обычной логике, степень истинности правила принимает значение 1 или 0. Нечеткость начинается, если $0 < \mu_{low}(h) < 1$, например значение $\mu_{low}(h)=0.5$. Уровень низкий, но не очень. Соответственно и открывать клапан нужно не очень быстро. Подобным образом происходят вычисления степени истинности для каждого правила.

Этап 3. Аккумуляция заключений для каждой лингвистической переменной.

Заключения из каждого правила собираются вместе для каждой лингвистической переменной. Например, после расчета набора правил получаем результаты для лингвистической переменной клапан: «открывать быстро» – 0,5, «открывать медленно» – 0,3, «не трогать» – 0, «закрывать медленно» – 0, «закрывать быстро» – 0. Отсюда следует, что скорость открытия клапана находится между «медленно» и «быстро».

Для рассматриваемого блока управления на базе нечеткой логики имеются входные переменные уровень и изменение уровня. Переменная уровень имеет следующие термы: 1 – высокий, 2 – нормальный, 3 – низкий. Переменная изменение уровня будет иметь такие термы: 1 – уменьшается, 2 – не изменяется, 3 – увеличивается. Блок управления клапаном будет выдавать переменную команда клапана, которая в свою очередь будет иметь следующие термы: 1 – закрывать быстро, 2 – закрывать медленно, 3 – не менять, 4 – открывать медленно, 5 – открывать быстро. База правил (Rule – R1...R5) системы управления имеет следующий вид:

R1: ЕСЛИ уровень = высокий ТО команда клапана = закрывать быстро;

R2: ЕСЛИ уровень = нормальный И изменение уровня = увеличивается ТО команда клапана = закрывать медленно;

R3: ЕСЛИ уровень = нормальный И изменение уровня = не изменяется ТО команда клапана = не изменять;

R4: ЕСЛИ уровень = нормальный И изменение уровня = уменьшается ТО команда клапана = открывать медленно;

R5: ЕСЛИ уровень = низкий ТО команда клапана = открывать быстро.

Далее на этом этапе находим результирующую функцию для выходной переменной команда клапана. Есть несколько методов активизации результирующей функции. Воспользуемся методом prod-активизации [5], при котором функция принадлежности каждого терма $\mu_i(x)$ умножается на значение степени истинности соответствующего

заклучения (активизация) и находится максимальное значение из всех произведений для каждого термина в точке x (аккумуляция). В результате получаем огибающую функцию. Например, если степень истинности для заклучения «закрывать быстро» равна 0, то после умножения функция принадлежности для данного термина превратится в ноль. Таким образом, получаем вектор управления $Action[i]$, содержащий пять значений.

Этап 4. Дефазификация выходных переменных.

Получив вектор управления $Action[i]$, содержащий пять заклучений из правил нечеткой логики, нужно рассчитать значение выходной переменной. Для этого воспользуемся алгоритмом Мамдани [5]. Зная степень истинности для каждого термина выходной переменной (вектор $Action$), можно рассчитать значение выходной переменной. Для этого, имея результирующую функцию, находим центр масс полученной фигуры по формуле:

$$y = \frac{\int_{Min}^{Max} x \times \mu(x) dx}{\int_{Min}^{Max} \mu(x) dx}$$

Изложенный выше алгоритм управления был реализован в виде программы для ЭВМ. Программа позволяет задавать начальный расход жидкости и требуемый уровень жидкости в баке. В результате моделирования переходных процессов изменения высоты уровня жидкости в баке в зависимости от модельного времени были получены значения высоты уровня для различных значений начального H_0 и требуемого H_z уровней жидкости. Результаты расчетов представлены на рис. 4, 5.



Рис. 4. Переходный процесс при $H_0=1,5$ м и $H_z=1,0$ м



Рис. 5. Переходный процесс при $H_0=1,5$ м и H_z =от 0,8 м до 1,2 м

Разработка базы нечетких правил является интерактивным процессом. Большой частью это сбор знаний и опыта. Одним из преимуществ нечеткой логики является возможность построения базы правил, одобренной специалистами до проверки ее работы в реальных условиях. Базы нечетких правил могут использоваться для решения задач управления, если соблюдаются следующие условия:

- сохраняется возможность воздействия на процесс (управляемость процесса);
- существует накопленный опыт и проверенные знания;
- переменные (входы и выходы) можно измерять и наблюдать (измеримость).

Литература

1. Гриняев С. Нечеткая логика в системах управления. М.: Лори, 2001.
2. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах. М.: Машиностроение, 2005.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ Петербург, 2005.
4. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов Н.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация. М.: МГУ, 2004.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ, 2013.