входных и выходных сигналов и, как следствие, обеспечивать гибкий выбор нейросетевой модели для наилучшего решения конкретной практической задачи.

УДК 681.51:510.22

Н.В. Крапчатова, С.П. Дударов

Российский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Fuzzy control algorithm is presented in this work as well as description of the program component intended for fuzzy control simulation during the laboratory works. User interface description and the working procedure are also included.

В данной работе рассматривается алгоритм нечеткого регулирования и приводится описание программного модуля, предназначенного для моделирования работы нечеткого регулятора при выполнении лабораторных работ. Приводится описание интерфейса пользователя и порядка работы.

В настоящее время большое внимание уделяется созданию технических систем, основанных на принципах искусственного интеллекта, в частности использующих методы нечеткой логики и нечетких множеств. Системы, основанные на нечеткой логике, способны брать на себя функции, выполняемые высококвалифицированными специалистами, поэтому они нашли особенно широкое применение именно в области систем управления и контроля.

Работа традиционных систем управления и регуляторов построена на использовании дифференциальных уравнений, отражающих реакцию управляемого объекта на входное воздействие. Такие системы являются результатом многолетних теоретических и практических исследований, при этом они в большинстве случаев обеспечивают очень высокое качество регулирования.

В свою очередь, нечеткое регулирование используется в тех случаях, когда: – существует лингвистическое описание, отражающее качественное понимание процесса и позволяющее построить множество нечетких логических правил; – существуют модели и уравнения, которые приблизительно описывают поведение управляемого процесса, но их параметры не поддаются определению; – существующие модели и уравнения слишком сложны для реализации, но могут быть нечетко интерпретированы для составления лингвистических моделей; – нечеткие логические правила поведения регулируемого объекта или процесса могут быть описаны с помощью выборок входных и выходных данных или экспертных оценок.

Функциональная структура нечеткого регулятора может быть представлена следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Функциональная структура нечеткого регулятора

На вход регулятора поступают величины отклонения от уставки (ΔX) и, для ряда алгоритмов, изменения отклонения от уставки ($\Delta\Delta X$), которые подвергаются фаззификации, т. е. из четкого числового значения переводятся в форму нечетких лингви-



стических переменных, при этом определяется степень принадлежности ΔX и ΔΔX к одному или нескольким термам-множествам.

Далее на основе имеющегося механизма принятия решения с помощью базы правил логического вывода определяется управляющее воздействие. В базе правил заключены инструкции о выборе величины управления в нечетком выражении в зависимости от нечётких значений отклонения от уставки и его изменения (табл. 1).

Табл. 1. Пример базы правил логического вывода

Управляющее воздействие		ΔX					
		ОБ	**ОС**	**ОМ**	**ПМ**	**ПС**	**ПБ**
ΔΔX	**ОБ**	ОС	ОМ	ОМ	ПМ	ПБ	ПБ
	ОС	ОС	ОМ	ОМ	ПМ	ПБ	ПБ
	ОМ	ОБ	ОС	ОМ	ПМ	ПС	ПБ
	ПМ	ОБ	ОС	ОМ	ПМ	ПС	ПБ
	ПС	ОБ	ОБ	ОМ	ПМ	ПМ	ПС
	ПБ	ОБ	ОБ	ОМ	ПМ	ПМ	ПС

Примером правила, используемого в процессе логического вывода, является следующее: «Если отклонение от уставки – отрицательное большое и изменение отклонения – отрицательное большое, то управляющее воздействие – отрицательное среднее».

Последним этапом цикла расчета в нечетком регуляторе является процедура дефаззификации – перевода величины управления из нечеткого представления с известной степенью принадлежности в точное и однозначное численное выражение. Существуют различные методы дефаззификации, и итоговое значение управляющего воздействия зависит от выбранного метода.

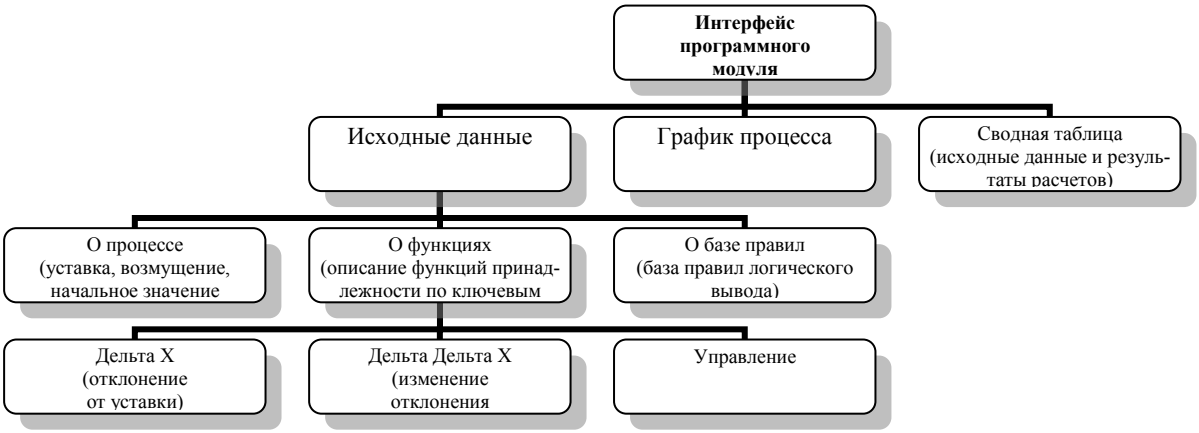


Рис. 2. Иерархическая структура интерфейса пользователя

Представленная схема реализована в программном модуле, предназначенном для моделирования и исследования алгоритмов работы нечеткого регулятора. Данный модуль реализует различные алгоритмы расчета управляющего воздействия: – прямой расчет управляющего воздействия на основе данных о величине отклонения регулируемой переменной от значения уставки; – прямой расчет управляющего воздействия на основе данных о величине отклонения регулируемой переменной от значения уставки и скорости его изменения; – через приращение управляющего воздействия на основе данных о величине отклонения регулируемой переменной от значения уставки; – через

приращение управляющего воздействия на основе данных о величине отклонения регулируемой переменной от значения уставки и скорости его изменения.

Пользовательский интерфейс программного модуля организован в виде набора страниц с закладками. Основными страницами являются: «Исходные данные», «График процесса» и «Сводная таблица» (рис. 2).

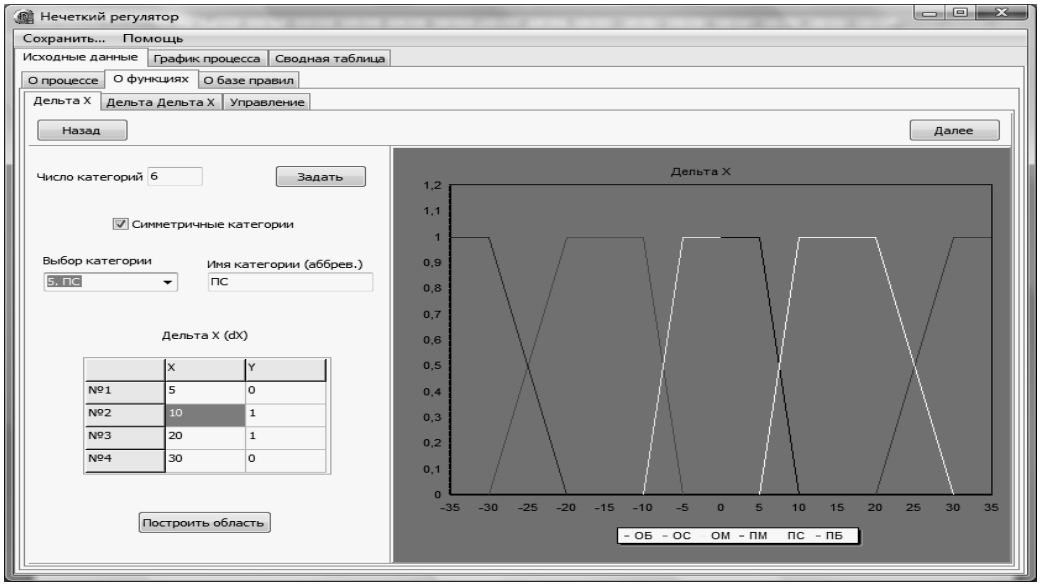


Рис. 3. Пример настройки вида функций принадлежности

В разделе «Исходные данные» на странице «О процессе» задаются параметры регулятора, начальное значение регулируемой переменной, величина уставки, факт наличия или отсутствия в системе периодического возмущения. Возмущение может задаваться случайным образом или по требованию пользователя. Здесь же выбирается метод дефаззификации из списка, включающего методы крайнего максимума, метод среднего максимума, обыкновенный или модифицированный метод центра тяжести. Следует также указать точность регулирования.

На странице «О функциях» (рис. 3) пользователь определяет число термовмножеств, их значения (названия категорий) и вид соответствующих им функций принадлежности. Задание функций принадлежности выполняется с помощью таблиц, содержащих координаты ключевых точек. Для удобства работы предусмотрена возможность создания симметрично расположенных в отрицательной и положительной полуплоскостях категорий.

На странице «О базе правил» пользователь должен ввести в таблицу информацию о правилах логического вывода.

После ввода всех данных пользователю будут представлены результаты расчетов в виде графика зависимости изменения регулируемого параметра во времени (страница «График процесса») и сводной таблицы результатов расчета (страница «Сводная таблица»). По желанию пользователя график переходного процесса может строиться динамически (в режиме реального времени), или же статически. На рис. 4 приведен пример графика регулирования для системы со случайными возмущениями с периодом 15 единиц времени.

Все изображения сохраняются в формате EMF (Enhanced Metafile), сводная таблица – в формате XLS (стандартный файл Microsoft Excel). Имеется возможность сохранения исходных данных для последующей работы с ними.



Программное приложение позволяет моделировать процесс нечеткого регулирования в системе с одним входом и одним выходом, причем как при наличии, так и при отсутствии внешнего возмущающего воздействия.

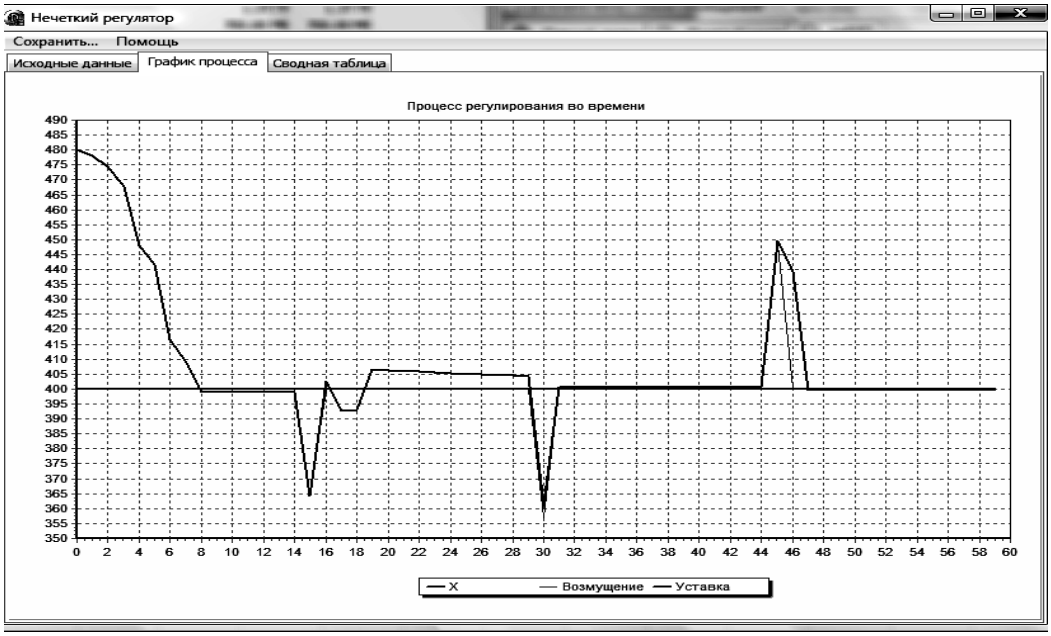


Рис. 4. Пример переходного процесса с периодическими возмущениями

Программный модуль для моделирования и исследования алгоритмов работы нечеткого регулятора разработан для использования в лабораторном практикуме по дисциплине «Использование принципов искусственного интеллекта и экспертных систем в управлении гибкими химическими производствами» студентами кафедры компьютерно-интегрированных систем в химической технологии РХТУ им. Д. И. Менделеева с целью закрепления у них полученных знаний и практических навыков использования систем регулирования, основанных на методах нечеткой логики и теории нечетких множеств.

УДК 371.6

А.С. Фарфоров, С.П. Дударов

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ

Variants of organization of adaptive testing algorithms using the methods of fuzzy sets theory in automated testing systems are described in the report.

В докладе рассматриваются варианты организации алгоритмов адаптивного тестирования знаний с использованием методов теории нечётких множеств в автоматизированных системах тестирования.

Теория нечётких множеств успешно нашла своё применение при решении различных задач, например задач управления, когда работа построенных на её основе систем регулирования больше напоминает действия опытного оператора-технолога. Од-