

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Синюк В. Г., канд. техн. наук, доц.,  
Поляков В. М., канд. техн. наук, доц.,  
Панченко М. В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ\*

vgsinuk@mail.ru

В статье приводится описание алгоритмического и программного обеспечения средств, применяемых для разработанной интеллектуальной нейро-нечеткой системы для идентификации и классификации технологических процессов, обоснована актуальность данного проекта. Также приведена структура программного продукта с описанием основных подсистем. Результаты применения программы для проблемно-ориентированной области отражены в реализации нейро-нечеткой сети для распознавания низкостабильных режимов работы вращающейся печи обжига клинкера.

**Ключевые слова:** нейро-нечеткая система, стандарт FCL, композиционное правило вывода, генетический алгоритм, вращающаяся печь.

Сегодня одним из наиболее перспективных направлений научных исследований в области моделирования и прогнозирования сложных технологических процессов является нечеткая логика (fuzzy logic). Ввиду того, что эти модели зачастую содержат информацию качественного характера и важные сведения об управляемом объекте, особенно актуально построение обучающихся интеллектуальных систем, позволяющих обрабатывать как количественную информацию, так и информацию, поступающую от экспертов и на основе этого, в реальном

времени, решать задачи классификации и идентификации протекающих технологических процессов, а также прогнозирования режимов работы и определения управляющих воздействий для объекта управления.

В данной статье описывается одна из таких систем - программное обеспечение с использованием оригинальной теории и технологии нейро-нечеткой системы. Ее структурная схема представлена на рис. 1.

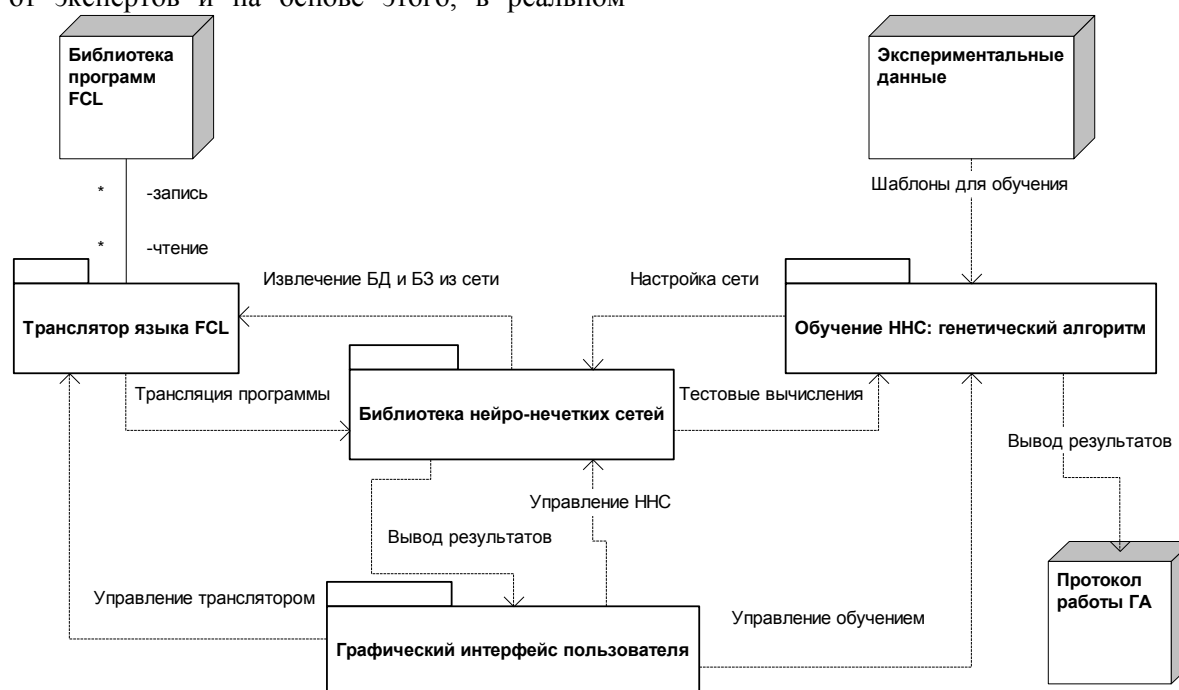


Рис. 1. Упрощенная структурная схема программы

Описываемое программное обеспечение создавалась для распознавания реальных технологических процессов, вследствие чего, при разработке пришлось столкнуться с тем, что информация о технологическом процессе далека от полноты и зачастую уточняется в ходе эксплуатации системы. Это связано с большим разнообразием конкретных режимов протекания техно-

логических процессов. В связи с этим в системе целесообразно использование нейро-нечеткой сети на основе модифицированного композиционного правила вывода [1], которая позволяет решать противоречивые задачи чувствительности к новым данным и сохранения полученной ранее информации. Ее структура представлена на рис. 2.

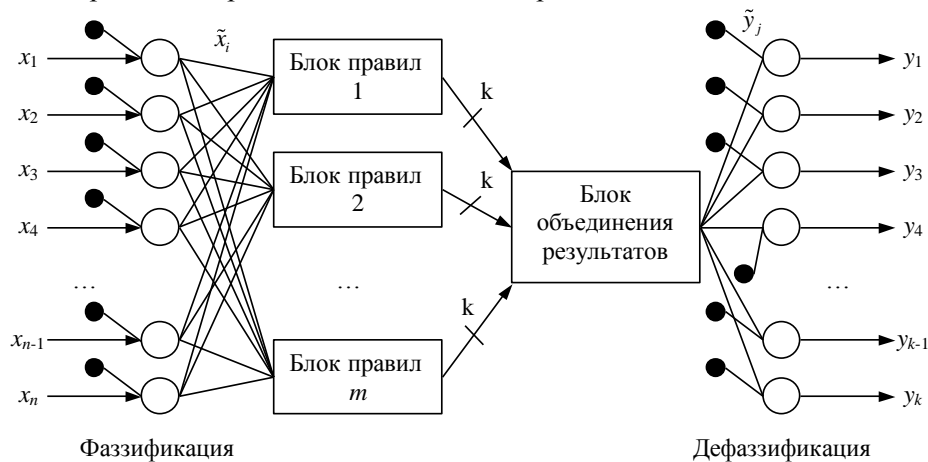


Рис.2. Нейро-нечеткая сеть на основе модифицированного композиционного правила вывода

Обучение нейро-нечеткой сети осуществляется с помощью соответствующей подсистемы с использованием генетического алгоритма. Данный модуль получает уже подготовленные данные в виде нейро-нечеткой сети (с настроенными в соответствии с априорной базой знаний связями и функциями принадлежности) и таблицы экспериментальных данных в виде вход-выход. Обучение нейро-нечеткой сети производится с помощью генетического алгоритма [2]. Результатом работы являются значения весов связей сети, функций принадлежности и параметров нейронов, которые передаются в систему нейро-нечеткого вывода.

Программный комплекс содержит транслятор встроенного языка, который предоставляет функции по доступу к внешней базе знаний, представленной в виде исходных текстов FCL программ, их трансляцию во внутренний формат представления базы знаний с последующим их использованием в нейро-нечеткой системе. Язык FCL (Fuzzy Control Language) определяется стандартом IEC 1131-7 [3]. Для поддержки особенностей нейро-нечетких сетей, помимо основных конструкций, определяемых стандартом, язык содержит возможности по управлению структурой нечеткой сети, а также типами применяемых нечетких нейронов.

Транслятор языка FCL выполняет преобразование исходного кода программы в эквивалентную ей нейро-нечеткую сеть, а также и обратное преобразование настроенной сети в эквивалентный исходный код. В случае успешной

трансляции в памяти ЭВМ создается нейро-нечеткая сеть эквивалентная исходному коду. Полученной FCL-текст может быть использован для программирования промышленных нечетких контроллеров.

Для тестирования программного комплекса был выбран процесс обжига цементного клинкера во вращающейся печи. Анализ действий операторов в стабильных, низкостабильных и нестабильных режимах работы печи показывает их существенное различие. При этом неправильные управляющие действия, как правило, приводят к ухудшению качества клинкера, а иногда к длительным нестационарным режимам, во время которых увеличиваются выбросы оксидов азота в атмосферу.

Обрушение колец в зоне спекания и перед ней, охлаждение и нагрев зоны спекания операторами печи обычно фиксируется с помощью косвенных измерений — по изменению тока привода печи или концентрации оксидов азота в отходящих газах, или по изменению температуры вторичного воздуха. По характеру изменения этих переменных оператор и определяет текущую ситуацию [4].

Для проведения комплексного тестирования и проверки корректности работы системы осуществлена разработка и реализация нейро-нечеткой сети, ориентированной на распознавание динамических процессов образования материальных колец во вращающейся печи обжига клинкера, со следующими параметрами:

- количество входов – 22 (2 контролируемых технологических параметра в течение 1 ча-

са с интервалом в 6 минут или в течение 120 минут с интервалом в 12 минут);

- количество распознаваемых классов процессов – 4 (образование колец в зоне спекания и перед ней, нагревание и охлаждение зоны спекания);

- количество правил в сети – 25;

- средняя ошибка распознавания 0.324;

- качество распознавания системы – 94 % при наличии сильного шума во входных векторах;

- время осуществления нечеткого вывода: в режиме обучения 0.4 секунды/шаблон, в режиме повышенной точности 3.5 секунды/шаблон.

Разработанная нейро-нечеткая система позволяет формировать программы на языке Fuzzy Control Language, что позволяет выполнять программирование интегральных нечетких контроллеров как для решения задач управления, так и распознавания и идентификации.

На следующих графиках показаны входные функции принадлежности нейро-нечеткой сети после обучения. Следует отметить, что функции принадлежности, полученные в процессе обучения, отвечают требованиям, предъявляемым к термам лингвистических переменных, полученных в результате формирования программы [5].

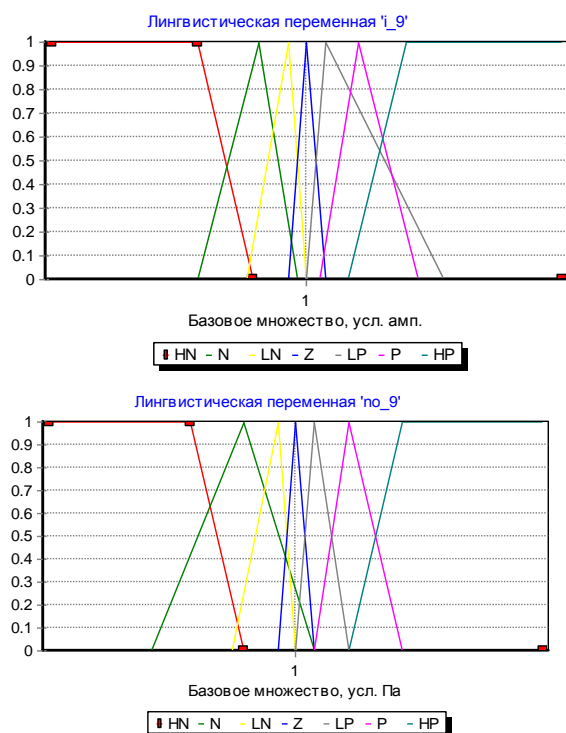


Рис. 3. Функции принадлежности термов лингвистических переменных сети после обучения

В целом, с одной стороны, программный продукт обладает простым и понятным пользователю интерфейсом, что позволяет использовать его в учебных целях при изучении основ нечеткой логики, а с другой, возможность генерации программы на языке FCL предоставляет возможность его использования промышленными контроллерами при управлении реальным технологическим объектом и в то же время наличие интерактивного режима позволяет использовать программный продукт в роли советующей системы для оператора объекта управления.

*\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №11-01-00359-а; 12-07-000493*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синюк В.Г., Максименко А.А. Советующая система по управлению мельницей помола на основе обработки нечетких экспертных суждений. Современные проблемы строительного материаловедения, седьмые академические чтения РААСН, ч.2. – БелГТАСМ, Белгород, 2001.
2. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач. – Учебное пособие. Воронеж, гос. техн. ун-т., 1995, 69 с.
3. International electrotechnical commission (IEC), technical committee no. 65: industrial process measurement and control sub-committee 65 b: devices IEC 1131 PROGRAMMABLE CONTROLLERS. Part 7 - Fuzzy Control Programming.
4. Древицкий Е.Г., Добровольский А.Г., Коробок А.А. Повышение эффективности работы вращающихся печей. – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
5. Алиев Р.А., Алиев Р.Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. Учебное пособие для ВУЗов по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» – Баку: Чашыоглы, 2001. – 720 с.
6. Синюк В.Г., Поляков В.М., Панченко М.В. Программное обеспечение для нечеткого моделирования с использованием языка FCL. Ростов-на-Дону, Вестник РГУПС №3(43), 2011. – 117с.