

Герман Э. Е., кандидат технических наук (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»),
Клименко Л. А., кандидат технических наук (Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Проектирование нечетких моделей интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления

Обсуждаются проблемы проектирования промышленных регуляторов и систем управления с различной степенью интеллектуальности. Отмечается несовершенство существующих средств программно-аппаратной поддержки процессов управления с использованием знаний и методов проектирования интеллектуальных управляющих систем. Подчеркивается необходимость разработки специальной методологии проектирования управляющих систем такого класса. Предлагаются основы методологии проектирования многоуровневых интеллектуальных системах автоматического управления (САУ). Анализируются особенности проектирования интеллектуальных управляющих систем.

Ключевые слова: нечеткие системы управления, интеллектуальная система автоматического управления, экспертная система, модель нечеткого регулятора, ПИД-регулятор.

Анализ последних исследований и публикаций

С целью улучшения оценок адекватности формализации моделей и повышения эффективности функционирования регуляторов и систем автоматического управления (САУ) в условиях неопределенности информации о динамическом поведении сложных объектов управления или о внешней среде в традиционные методы проектирования уже давно включают качественные признаки при описании моделей процессов управления. Введение в процессы проектирования качественных признаков динамического поведения слабо структурированных объектов управления приводит к необходимости использования неклассических критериев оптимизации. Обычно к качественным признакам относятся такие понятия, как грубость, чувствительность, устойчивость, адаптация и др. Учет и проверка таких качественных признаков при проектировании регуляторов и САУ позволяют существенно снизить требования к формированию и исследованию неклассических критериев оптимизации. Поиск экстремума по неклассическим критериям оптимизации приводит к необходимости исследования аналогов логико-динамических моделей процессов управления с последующей их лингвистической аппроксимацией [1 - 4].

Анализ результатов имитационного моделирования и практического применения качественных признаков в лингвистической аппроксимации конкретных структур нечетких регуляторов и САУ подтвердил высокую

эффективность новой интеллектуальной технологии при создании гибких мобильных систем управления сложными промышленными объектами. Синтез разнообразных методов проектирования и эксплуатация разработанных образцов нечетких регуляторов и САУ показали, что методология проектирования и средства программно-аппаратной поддержки подобных интеллектуальных систем находятся на начальной стадии развития [3, 4].

Выделение нерешенных частей проблемы. Формулирование целей статьи и постановка задачи

При создании инженерных методов проектирования проблемно-ориентированных систем управления, основанных на знаниях, выяснилось, что с учетом особенностей условий применения разрабатываемые процессы проектирования требуют дополнительных исследований и специальных теоретических обоснований.

Данная статья посвящена вопросам разработки специальной методологии и принципов организации процессов проектирования нечетких систем управления, основанных на знаниях. Приведены примеры систем, иллюстрирующие некоторые особенности предлагаемой методологии.

Постановка проблемы в общем виде

В связи с этим разработка и усовершенствование аппаратно-программного обеспечения обработки, защиты и передачи информации в компьютеризированных интегрированных системах и сетях с унифицированными методами защиты информации, которые выполняют процедуру

адаптации и отвечают требованиям минимальных аппаратных и энергетических затрат, является актуальной научно-практической задачей.

Изложение основного материала исследования

Основным предметом исследований в области промышленных интеллектуальных систем управления являются: вопросы разработки многоуровневых архитектур управляющих систем, основанных на знаниях, с соответствующей классификацией проблемно-ориентированных задач промышленной автоматизации; вопросы рационального построения баз знаний и эффективных аналитических моделей процессов управления, основанных на использовании знаний, согласно сформулированным в [4] принципам организации структур интеллектуальных управляющих систем и введенным там же уровням интеллектуализации САУ. Для решения перечисленных задач требуется специальная методология проектирования систем такого класса.

Основу предлагаемой методологии составляют процедуры выбора средств интеллектуализации для решения задачи обеспечения требуемого динамического поведения САУ, когда традиционными средствами улучшения динамики поведения системы эту задачу решить нельзя. В таких случаях прибегают к средствам, основанным на использовании знаний. Причем выбранные интеллектуальные средства используются с целью преодоления неопределенности информации об окружающем внешнем мире (среде) или об управляемом объекте. Следует подчеркнуть, что в процессе поиска требуемой формы поведения задачу улучшения динамических характеристик системы можно решить различными путями: либо

повышением качества управления за счет применения традиционных методов с использованием простых средств интеллектуального уровня, либо, напротив, путем разработки эффективных интеллектуальных средств, улучшающих характеристики простой модели исполнительного уровня. В первом случае усложняется модель исполнительного уровня за счет аппаратной реализации функций изменений качественных признаков описания процесса управления. Во втором случае модель исполнительного уровня может быть выбрана более простой за счет повышения интеллектуального уровня САУ и реализации программным способом изменений качественных признаков описания процесса управления, основанного на использовании знаний. Таким образом, задача выделения функций управления, реализуемых на самом нижнем подуровне исполнительного уровня, должна быть решена на начальном этапе проектирования [4 - 7].

Следовательно, основу методологии проектирования многоуровневых интеллектуальных САУ могут составлять два метода: метод формирования (вычленения) моделей исполнительного уровня (за счет выделения адекватных функций управления) и метод согласования (или координации) исполнительных и интеллектуальных подуровней. При этом способ выделения вначале простейших моделей может оказаться (при соответствующем расширении) полезным при решении задачи выбора адекватных интеллектуальных подуровней.

Метод координации (согласования) исполнительных и интеллектуальных подуровней проиллюстрирован на рис. 1.

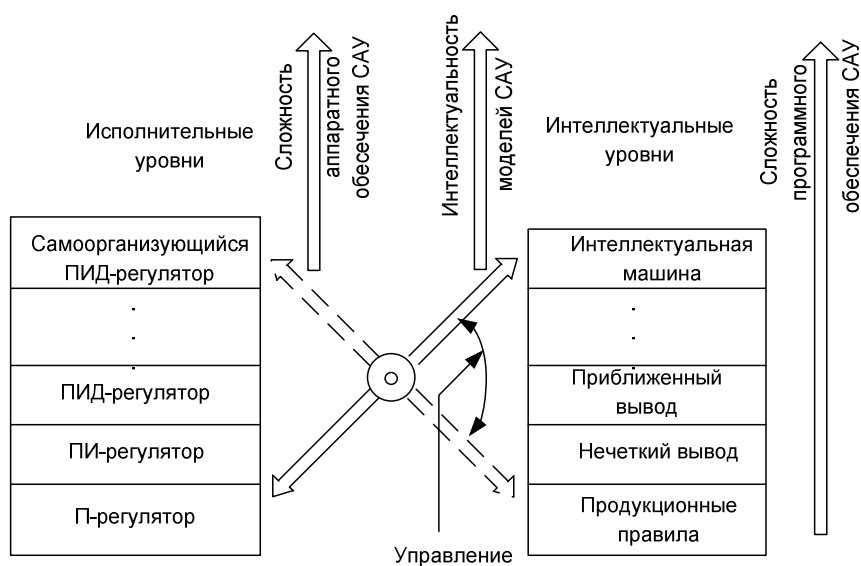


Рис. 1. Методы проектирования структур САУ (на исполнительном и интеллектуальном уровнях)

В левой части рис. 1 указаны исполнительные уровни, а в правой части - интеллектуальные уровни построения моделей САУ. Из рис. 1 видно, что меры соответствия могут быть установлены различным образом. Каждый из выбранных вариантов определяет сложность используемого аппаратного и программного обеспечения, а окончательный вариант выбора модели САУ осуществляется по результатам имитационного моделирования проектируемой системы.

Обсуждаемый подход к построению методологии проектирования интеллектуальных САУ включает в себя также оценку эффекта влияния введения уровня интеллектуальности на функциональные возможности процессов управления; классификацию САУ, основанных на знаниях, по сложности решаемых задач управления; выявление роли базы знаний (с оценкой полноты) при разделении функций между исполнительным и интеллектуальным уровнями; вычленение структур САУ на исполнительном уровне минимальной сложности при заданном уровне интеллектуальности (задача анализа) и задача синтеза; решение задачи агрегирования и декомпозиции структур САУ, основанных на знаниях (на исполнительном и на интеллектуальном уровнях).

В разрабатываемой методологии особую роль приобретают методы имитационного моделирования нечетких моделей промышленных САУ на нейронных нечетких сетях типа FNN (Fuzzy Neural Networks) с целью извлечения экспертной информации из динамики нечеткого поведения объекта управления для формирования соответствующих баз знаний и построения функций принадлежности исследуемых нечетких отношений «вход - выход». Следовательно, в этом случае рассматриваются две фазы построения нечетких моделей интеллектуальных САУ. Первая фаза - имитационного моделирования - дает возможность установить нечеткие отношения «вход - выход» за счет организации процессов обучения и адаптации на FNN, сформировать структуру базы знаний САУ с механизмами нечеткого логического вывода. Такую фазу часто называют обучающей фазой. Совместно с нечеткими алгоритмами идентификации и моделями нелинейной нечеткой регрессии осуществляется процедура корректной формализации описания процесса управления исследуемого нечеткого объекта. Вторая фаза осуществляет проектирование и реализацию нечетких моделей регуляторов и САУ, на которой структурированные знания используются в процессах управления [4 - 8].

Отметим некоторые дополнительные особенности применения нечетких нейронных сетей на первой стадии фазы проектирования нечетких регуляторов и САУ в рамках разрабатываемой методологии. На данном этапе используются различные методы обучения на нечетких нейронных сетях FNN. В частности, модель нечеткой ассоциативной памяти на

нейронной сети типа FAM (Fuzzy-Associative-Memory) эффективно применяется в процессе имитационного моделирования для адаптивного формирования продукционных правил типа «если, то». Формирование нечетких продукционных правил на основе FNN как форма извлечения и представления знаний является одной из широких разновидностей алгоритмов пополнения базы знаний нечетких интеллектуальных регуляторов и САУ. Особую роль данные методы приобретают в задачах идентификации, формирования процедур оценки чувствительности и полноты баз знаний, оценок влияния внешних факторов и информационной неопределенности на структуру процессов управления. Так, например, оценки чувствительности и робастности базы знаний нечетких контроллеров можно получить методом имитационного моделирования на FNN, когда в FAM добавляется подмножество случайных продукционных правил или иначе «саботажных» (sabotage) правил нечеткого логического вывода со сниженным уровнем истинности суждения. Результаты моделирования показывают, что при использовании первой фазы проектирования свойство робастности динамического поведения нечеткого контроллера сохраняется вплоть до 50% снижения уровня истинности нечеткого логического вывода [8, 9]. Эффективное применение методов FNN в задачах управления сложными робототехническими системами отражено в [8].

Методология проектирования многоуровневых интеллектуальных САУ, основанная на последовательном (возможно, многократном) применении методов формирования (вычленения) и согласования (координации), выполняемых по результатам оценок имитационного моделирования, называется методологией проектирования FZUP-систем.

В системах проектирования структур нечетких регуляторов и САУ широкое применение находит аппаратно-программная поддержка процедур разработки на основе нечетких процессоров, нечеткой памяти и нечетких триггеров [4 - 8]. Развитие микроэлектронной технологии и методологии организации вычислительного процесса позволило создать принципиально новый вид нечеткого процессора, использующего квантово-механические переходы Джозефсона. Такой подход позволяет существенно увеличить скорость логического вывода и объем требуемой памяти хранения продукционных правил. Примером аппаратного обеспечения FNN может служить разработка FAM для реализации процессов управления на основе гибридного подхода нейро- и нечеткой технологий к процессам проектирования.

Развитие процессов проектирования интеллектуальных систем потребовало соответствующего программного обеспечения.

Известны разработанные программные средства проектирования и поддержки нечетких контроллеров и САУ с различной проблемной ориентацией [4].

К программным средствам поддержки процессов проектирования интеллектуальных регуляторов и САУ можно отнести экспертные системы (ЭС), используемые в качестве специальной инструментальной интеллектуальной надстройки САПР в рамках методологии проектирования, представленной на рис. 1. Исследование общих принципов построения интеллектуальных машин и их взаимосвязь с процессами управления, а также последующее развитие когнитивных процессов проектирования систем управления, функционирующих в условиях неопределенности различной физической (информационной) природы, привели к необходимости повышения качества управления за счет использования баз знаний активных ЭС, входящих в этом случае в состав модели проектируемого УО.

Анализ качественных особенностей динамического поведения объектов управления и предельных возможностей информационных процессов управления в сочетании с методами идентификации моделей, обучения и адаптации показали большое разнообразие в построении методологии проектирования САУ, основанных на различного уровня структурированных знаниях и иерархии структур самих САУ [3].

Дополнительный анализ прикладных методов исследования и имитационного моделирования систем, основанных на знаниях, подтвердил плодотворность сочетания традиционных методов теории автоматического управления с методами теории интеллектуальных систем и когнитивных процессов.

Анализ и синтез самих интеллектуальных систем управления стало удобно проводить традиционными методами теории управления.

Оценки качественного анализа динамического поведения интеллектуальных САУ в сочетании с имитационными процессами моделирования на нейронных сетях составляют, в свою очередь, основу для формирования базы знаний выбора соответствующих законов управления в ЭС для систем управления и установления адекватности моделей реальному объекту в задачах идентификации процессов управления [10 - 11].

Совместное использование методов имитационного моделирования на нейронных сетях и разработки интеллектуальных САУ на основе когнитивных процессов приводит к новому классу интеллектуальных САУ - когнитивным регуляторам и системам управления. Такие регуляторы в частном случае (при использовании только одной нечеткой нейронной сети типа FNN на основе FAM) переходят в класс нечетких контроллеров и САУ. Дальнейший прогресс развития и применения СБИС в нечетких процессорах на нечетких триггерах приводит к совершенствованию программно-аппаратного обеспечения подобных когнитивных регуляторов и созданию специализированных аппаратных средств. Использование таких когнитивных регуляторов, интеллектуальных «в большом», дает возможность существенно повысить мобильность автономных роботов.

Типовая структурная схема моделирования динамического поведения объекта управления (ОУ) на основе использования активных ЭС представлена на рис. 2.

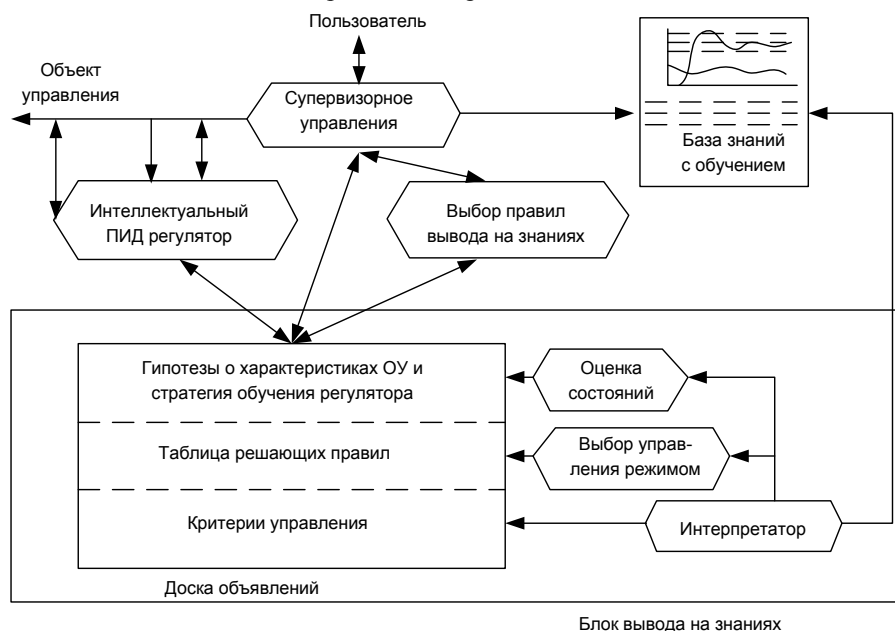


Рис. 2. Блок-схема ЭС для моделирования процессов управления в реальном времени

База даних данної ЕС содержит сведения об экспериментальных данных измерений реальных характеристик динамического поведения исследуемого ОУ (таких как время переходного процесса, время запаздывания, величина перерегулирования, время перерегулирования, амплитуда переходного процесса и т.п.), о видах критериев и законах управления, граничных величинах, характеризующих устойчивость ОУ, результаты имитационного моделирования и т.д. Такие активные ЕС для процессов управления относятся к ЕС второго поколения с глубинным представлением знаний, структура и функции которых описаны в [11].

Механизм логического вывода (в блоке выбора правил логического вывода на рис. 2, использует три

модификации решающих (продукционных) правил: 1) используется текущий алгоритм управления, удовлетворяющий требуемому критерию управления, или некоторые параметры алгоритма управления требуют модификации; 2) выбирается новый алгоритм управления; 3) допускаются два или большее число алгоритмов управления. Такое допущение основано на гипотезе наличия широкого диапазона изменения ошибки или скорости ошибки на различных участках фазового портрета, приводящего к появлению системы с переменной структурой и использующей различные законы управления на данных участках фазового портрета. Данные правила вывода и алгоритмы управления имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 R1: & \text{если}(e_i > e_0), \text{то } u_i = u_0; \\
 R2: & \text{если}(e_i < e_0), \text{то } u_i = k_i u_0; \\
 R3: & \text{если}(-e_i < -e_0), \text{то } u_i = k_5 e_i(n) + k_6 \Delta e_i(n); \\
 R4: & \text{если}(e_i < -e_i), \text{то } u_i = k_i u_0; \\
 R5: & \text{если}(e_2 < e_i \leq e_1), \text{ и } |e_i| \leq G_1, \text{то } u_i = k_3 e_1(n) + k_4 \sum_{i=1}^j e_1(n); \\
 R6: & \text{если}(e_2 < e_i \leq e_1), \text{ и } |e_i| > G_1, \text{то } u_i = k_2 e_1(n); \\
 R7: & \text{если}(e_3 < e_i \leq e_2), \text{ и } |e_i| \leq G_2, \text{то } u_i = k_5 e_1(n) + k_6 \sum_{i=1}^j e_1(n); \\
 R8: & \text{если}(e_3 < e_i \leq e_2), \text{ и } G_2 < |e_i| \leq G_3, \text{то } u_i = k_5 e_1(n) + k_6 \Delta e_1(n); \\
 R9: & \text{если}(e_3 < e_i \leq e_2), \text{ и } |e_i| > G_3, \text{то } u_i = k_5 e_1(n) + k_6 \Delta e_1(n); \\
 R10: & \text{если}(|e_i| \leq e_3) \text{ и } (e_j e_i) > 0 \text{ и } |e_i| \leq G_1, \text{то } u_i(n) = u_i(n-1) + k_7 e_1(n) + \dots + k_s \Delta e_1(n); \\
 R11: & \text{если}(|e_i| \leq e_3) \text{ и } (e_j e_i) > 0 \text{ и } |e_i| \leq G_2, \text{то } u_i(n) = u_i(n-1) + k_7 e_1(n) + \dots - k_8 \Delta e_1(n); \\
 R12: & \text{если}(|e_i| \leq e_3) \text{ и } (e_j e_i) > 0 \text{ и } e_j e_{i-1} < 0, \text{то } u_i(n) = u_i(n-1) + k_7 e_1(n) + k_8 \Delta e_1(n); \\
 R13: & \text{если}(|e_i| \leq e_3) \text{ и } (e_j e_i) > 0 \text{ и } e_j e_{i-1} < 0, \text{то } u_i(n) = u_i(n-1) + k_7 e_1(n) + k_8 \Delta e_1(n);
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где $e_0 > e_1 > e_2 > e_3$.

В (1) коэффициенты $e_0 - e_3$, $G_0 - G_3$ - постоянные положительные величины (задаются на основе априорной информации и могут изменяться в процессе имитационного моделирования). Первая группа продукционных правил $R1 - R9$ из (1) учитывает широкий диапазон изменения ошибки $e_i(n)$ и использует традиционный алгоритм управления П-, ПИ-регуляторов. Вторая группа правил $R10 - R13$ учитывает динамику поведения ОУ и дифференциальные характеристики $Au_i(n)$ процесса управления (малая величина перерегулирования,

устойчивость динамических процессов и т.д. с проверкой логических условий в посылке «если...»), применяя алгоритм управления для ПИД-регулятора. Модели регуляторов, использующих в контуре управления подобные ЕС, получили название интеллектуальных регуляторов, основанных на экспертных знаниях типа EICS (Expert Intelligent Control System).

Из результатов моделирования следует также, что ОУ с ПИД-регулятором менее чувствителен к наличию существенно нелинейных элементов (типа мертвой

зоны), чем ОУ с ПИД-регулятором и является робастным при наличии шумов в управляющем воздействии. Приведенный пример наглядно отражает роль наличия базы знаний и механизма логического вывода в интеллектуальных регуляторах, проектируемых по сформулированным принципам.

Рассмотрим подробнее вопросы качественной оценки чувствительности и робастности интеллектуальных ПИД-регуляторов к изменению вида логических законов управления и к изменению уровня сложности описания моделей ОУ.

Для повышения эффективности и расширения диапазона функционирования традиционных моделей регуляторов необходимо вводить двухуровневую схему проектирования: на верхнем (координационном) уровне формируется алгоритм управления, а на нижнем (исполнительном) уровне осуществляется реализация выбранного алгоритма управления. Следовательно, приходим к методологии проектирования регуляторов с различными уровнями интеллектуальности, представленной на рис. 1.

Нечеткие ЭС в интеллектуальных САУ

Дальнейшее снижение требований к точности описания динамического поведения ОУ за счет его лингвистической аппроксимации привело к новому принципу формирования баз знаний активных ЭС на основе методов теории нечетких множеств. В результате разработано достаточно большое количество моделей нечетких ЭС второго поколения, широко используемых в различных проблемно-ориентированных областях: в робототехнике [4]; нечетких системах управления и нечетких контроллерах для атомных регуляторов; человеко-машинных системах; в иерархических нечетких системах супервизорного управления сложными динамическими объектами [10,11].

Согласно отмеченному принципу FZUP-методологии проектирования, применение ЭС совместно с нечеткими нейронными сетями типа FNN в контуре управления относится к этапу обучения с целью пополнения и проверки на корректность базы знаний, а также формирования алгоритмов управления. Опыт применения ЭС в нечетких контроллерах и САУ выявил дополнительные особенности формирования этапов проектирования интеллектуальных регуляторов и САУ на базе нечетких ЭС, нашедших частично свое отражение в моделях нечетких САПР [10-12]. Отметим одну из таких особенностей, имеющую важное методологическое значение для процессов проектирования нечетких регуляторов и САУ. Приведенные модели ОУ обладают переменной структурой, широким диапазоном изменения параметров структуры (нестационарные нелинейные системы), а многим из ОУ присуще функционирование в аварийных ситуациях (типа дезактивации рабочих

помещений АЭС, тушения пожаров, виброзащита сооружений при интенсивных воздействиях) или развитие патофизиологических процессов. Возникает необходимость в создании интеллектуальных САУ для управления ОУ в экстремальных ситуациях. Поэтому разработка нечетких контроллеров с активными ЭС включает в себя также вопрос надежности подобных интеллектуальных САУ при наличии отказов и сбоев в процессах управления, наличия ненадежных элементов в структуре ОУ и САУ. Проектирование таких интеллектуальных САУ для ОУ с переменной структурой в экстремальных ситуациях осуществляется на основе разработанной методологии и принципов построения иерархических интеллектуальных структур (FZUP-систем) [4]. При этом в контур управления такими ОУ вводятся два нечетких контроллера, один из которых управляет ОУ, функционирующим в условиях вариаций параметров, не изменяющих структуру ОУ; второй нечеткий регулятор на активной ЭС с глубинным представлением знаний предназначен для управления ОУ в экстремальных ситуациях. Первый нечеткий контроллер относится к классу частично интеллектуальных, а второй нечеткий контроллер - к классу интеллектуальных в общем.

Интеллектуальные регуляторы обладают развитыми функциональными возможностями, большей степенью адаптации и робастности [4 - 8]. Рассмотренная методика является составной частью САПР нечетких интеллектуальных регуляторов и САУ.

Методологические особенности разработки моделей логических регуляторов, интеллектуальных «в малом» (нечеткие регуляторы)

Остановимся на некоторых качественных особенностях методологии проектирования нечетких регуляторов, используя результаты конкретных примеров. Строгие математические конструкции и методы исследования нечетких регуляторов приведены в последующих частях данного цикла работ.

Возможность использования лингвистической аппроксимации ОУ в алгоритмах управления имеет существенное преимущество перед традиционными регуляторами, когда сама модель ОУ либо существенно нелинейна, либо ОУ функционирует в хаотически построенной внешней среде. Условия существования в ОУ и преодоление сложностей исследования с помощью нечетких моделей регуляторов показано во многих работах [10 - 12].

Рассмотрим еще одну методологическую особенность проектирования нечетких регуляторов на примере решения широко распространенной задачи об устойчивости перевернутого маятника, представляющей самостоятельный интерес для

интеллектуальных систем управления работой человека- оператора.

В общем случае, необходимо также вводить два уровня - координационный (верхний уровень) как интеллектуальный уровень и нижний уровень (нечеткий регулятор или ПИД-регулятор) как исполнительный уровень. Таким образом, и в этом случае приходим к методологии проектирования, представленной на рис. 1.

Выводы

Рассмотренная методология проектирования нечетких моделей интеллектуальных регуляторов и систем управления позволяет сделать следующие выводы.

Применение нечетких моделей регуляторов и, в особенности, систем управления «интеллектуальных в большом» позволяет существенным образом улучшить динамические характеристики ОУ, функционирующих в условиях неопределенности входной информации или в хаотически организованной внешней среде. Проектирование управляющих систем такого класса представляет собой сложную проблему, поскольку получение требуемых динамических характеристик достижимо различными путями: либо за счет усложнения модели исполнительного уровня, либо за счет привлечения интеллектуальных средств с более широкими возможностями. Предлагаемая в статье методология дает возможность установить желаемое соответствие между исполнительным и интеллектуальным уровнями по результатам имитационного моделирования в зависимости от проблемной ориентации решаемой задачи, целей управления и условий функционирования ОУ.

Основу методологии проектирования управляющих систем с различной степенью (уровнями) интеллектуальности составляют методы имитационного моделирования, обучения и адаптации с использованием нейронных сетей, позволяющие сформировать специальную базу знаний принятого интеллектуального уровня. Это дает возможность сформулировать основные требования к структуре соответствующей САПР, базу которой составляют такие блоки, как блок имитационного моделирования, нечеткая нейронная сеть с обучением и адаптацией, блок механизмов приближенных рассуждений (включающий нечеткий вывод), формирователь базы знаний, формирователь и интерпретатор нечетких операций.

Литература

1. Загарий Г.И. Программируемые контролеры для систем управления. Часть 1. Архитектура и технология применения / Г.И. Загарий, Н.О. Ковзель, В.И. Поддубняк и др. – Харьков: ХФИ “Транспорт Украины”; – Харьков: Издательство “Регион Информ”, 2001. – 316 с.
2. Mudi R.K. A robust self-tuning scheme for PI and PD type fuzzy controllers / Mudi R.K., Pal N.R. // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 1999. – Vol. 7. – P 2-16.
3. Герман Е.Є. Синтез системи управління сушильного установкою з використанням нечіткого контролера з само налаштуванням / Е.Є. Герман, І.Г. Лисаченко, К.І. Беспалов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 1. – С. 71-74.
4. Герман Э.Е. Система нечеткого управления процессом выращивания функциональных монокристаллов / Э.Е. Герман, А.И. Гапон, Л.В. Дербунович // Вісник НТУ “ХПИ”. – 2006. – №31. – С. 11–18.
5. Герман Э.Е. Нечеткий ПИД контроллер в системах управления установками для выращивания / Э.Е. Герман, Л.В. Дербунович // Вісник НТУ “ХПИ”. – 2007. – №10 – С. 46–54.
6. Герман Э.Е. Оптимизация параметров нечетких ПИД контроллеров / Э.Е. Герман, Л.В. Дербунович, С.В. Белецкий // Вісник НТУ “ХПИ”. – 2007. – № 36 – С. 3–8.
7. Герман Э.Е. Современное состояние и перспективы развития систем нечеткого управления / Э.Е. Герман // Вісник НТУ “ХПИ”. – 2008. – №57. – С. 37–44.
8. Герман Э.Е. Преобразование классического ПИД контроллера в линейный нечеткий ПИД контроллер / Э.Е. Герман // Вісник НТУ “ХПИ”. – 2009. – № 23. – С.– 42-49.
9. Герман Э.Е. Метод настройки параметров нечеткого ПИД контроллера для нестационарных объектов / Э.Е. Герман, Л.В. Дербунович // ЕЛЕКТРОІНФОРМ – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С. 430-431.
10. Герман Э.Е. Синтез гибридных контроллеров для управления процессами выращивания крупногабаритных монокристаллов / Э.Е. Герман // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 3. – С. 53–56.
11. Герман Э.Е. Минимизация нечетких логических формул / Э.Е. Герман, Л.В. Дербунович, И.Г. Либерг // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 1. – С. 31-36.
12. Герман Э.Е. Синтез схем на основе нечетких логических формул / Э.Е. Герман, Л.В. Дербунович // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 3. – С. 75-81.

Герман Е.С., Клименко Л.А. Проектування нечітких моделей інтелектуальних промислових регуляторів і систем управління. Обговорюються проблеми проектування промислових регуляторів і систем управління з різним ступенем інтелектуальності. Відзначається недосконалість існуючих засобів програмно-апаратної підтримки процесів управління з використанням знань і методів проектування інтелектуальних керуючих систем. Підкреслюється необхідність розробки спеціальної методології проектування керуючих систем такого класу. Пропонуються основи методології проектування багаторівневих інтелектуальних системах автоматичного управління (САУ). Аналізуються особливості проектування інтелектуальних керуючих систем.

Ключові слова: нечіткі системи управління, інтелектуальна система автоматичного управління, експертна система, модель нечіткого регулятора, ПІД-регулятор.

German Edward E., Klimenko Lubov A. Design of fuzzy models of intelligent industrial controllers and control systems. The problems of the design of industrial controllers and control systems with varying degrees of intelligence. Noted shortcomings of existing software and hardware tools to support management processes using the knowledge and methods of intelligent control systems. Emphasizes the need to develop a special methodology of designing control systems in its class. Provides a framework of multi-level design methodology of intelligent automatic control systems (ACS). Analyzes the characteristics of intelligent control systems.

The use of fuzzy models and regulators, in particular control systems "intellectual in the large" can significantly improve the dynamic characteristics of the Shelter functioning in the conditions of uncertainty of input information or chaotically organized environment. Designing control systems of this class is a complex issue, since obtaining the required dynamic performance achieved in different ways: either by the complexity of the model executive level or through the involvement of intelligent tools with more features. The proposed methodology of the article makes it possible to set the desired correspondence between the executive and the intellectual level of the results of the simulation, depending on the orientation of the problem the problem, management objectives and modalities of the op amp.

The basis of the design methodology of control systems with varying degrees (levels) of the intellectual component of simulation methods, learning and adaptation using neural networks, allowing to form a special knowledge base received intellectual level. This makes it possible to formulate the basic requirements for the

respective CAD system, the base of which consists of such blocks as block simulation, fuzzy neural network learning and adaptation mechanisms of the block approximate reasoning (including fuzzy inference), driver knowledge base, driver and interpreter fuzzy operations.

Key words: Fuzzy control systems, intelligent automatic control systems, fuzzy neural networks, fuzzy expert systems, FZUP-systems, PID-controller.

Рецензент д.т.н., професор Листровой С.В. (Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Поступила 24.04.2015г.

German Edward E., Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Klimenko Lubov A., Ph.D., Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

Герман Едуард Євгенович, кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

Клименко Любова Анатоліївна, кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.