

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ СТРЕЛОВОГО КРАНА

В.А. Мещеряков, И.В. Денисов (СибАДИ)

Предложен алгоритм обработки информации о показателях рабочего процесса стрелового крана. Алгоритм реализован адаптивной системой нейро-нечеткого логического вывода (ANFIS). Система имитирует действия человека-оператора при позиционировании груза. Алгоритм формирования управляющих воздействий заложен в основу функционирования системы автоматического управления.

Ключевые слова: адаптивная система управления, нечеткая логика, нейронная сеть, стреловой кран.

Универсальность стрелового самоходного крана и многообразие условий его работы порождают проблему поиска эффективных алгоритмов обработки информации о показателях рабочего процесса с целью его автоматизации. Традиционный подход к автоматизации крана предполагает разработку математической модели динамики рабочего процесса на основе априорной информации о конструкции механизмов крана. Сложность крана как объекта управления, а также изменение его технических характеристик в процессе эксплуатации затрудняют создание адекватной модели и синтез системы управления. Ручное управление часто оказывается более эффективным, так как оператор, выбирая траекторию и скорость перемещения груза, воспринимает и контролирует множество трудноизмеримых факторов: раскачка груза, запаздывание привода, скорость приближения стрелы и груза к опасной зоне, близость к препятствиям и деформация стрелы крана.

В рамках альтернативного подхода экспериментально полученная информация о показателях рабочего процесса и действиях оператора крана может быть использована для построения интеллектуальных систем управления, например, на основе математического аппарата нечеткой логики и нейронных сетей. Необходима формализация описания действий оператора крана, направленная на разработку алгоритма функционирования системы автоматического управления краном.

В результате анализа экспериментально полученной авторами информации о показателях рабочего процесса и действиях оператора крана LIEBHERR LTM 1090/2 были предложены алгоритмы функционирования систем программного [1] и нечеткого [2] управления лебедкой грузового каната, механизмом подъема-опускания стрелы и механизмом поворота крана в плане. В основе алгоритмов лежат правила, соответствующие действиям человека-оператора во время одного рабочего цикла крана. Экспериментальные исследования проведены в ООО "НПО "Мостовик", где планируется апробация результатов работы.

Поскольку на практике управляющие воздействия оператора на механизмы крана различаются для разных рабочих циклов даже на однотипных операциях, система, имитирующая действия оператора, должна быть адаптивной.

В настоящей работе предлагается алгоритм функционирования системы управления краном на осно-

ве ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System) – адаптивной системы нейро-нечеткого вывода, позволяющей автоматически настраивать скорости механизмов крана в зависимости от положения груза, обобщая информацию о действиях оператора во время нескольких рабочих циклов. Моделирование процессов управления выполнено в среде MATLAB с пакетом расширения Fuzzy Logic Toolbox [3, 4].

Система автоматического управления рабочим процессом крана формирует управляющие воздействия на механизмы крана (грузовую лебедку, гидроцилиндр подъема стрелы и механизм поворота крана), изменяя длину каната L , вылет стрелы A и угол ϕ поворота платформы крана в плане. Целью управления является перемещение груза из начального положения с декартовыми координатами (x_0, y_0, z_0) , характеризующегося начальными значениями показателей (L_0, A_0, ϕ_0) , в конечное положение с координатами (x_g, y_g, z_g) , которым соответствуют требуемые значения (L_g, A_g, ϕ_g) . Управляющее устройство на каждом шаге по времени t формирует управляющие воздействия в виде линейной скорости каната v_k , угловой скорости наклона стрелы v_a и угловой скорости поворота крана в плане v_ϕ . Управляющие воздействия формируются на основе информации о рассогласовании между заданным и текущим положениями груза по высоте $e_z = z_g - z$, вылету $e_A = A_g - A$ и углу поворота в плане $e_\phi = \phi_g - \phi$, а также между начальным и текущим положением груза по высоте $e_{z_0} = z_0 - z$.

Управляющее устройство содержит три системы нечеткого вывода: для управления лебедкой, вылетом стрелы и поворотом крана.

Алгоритм обработки сигналов $e_z(t)$ и $e_\phi(t)$ с целью формирования управляющих воздействий на лебедку грузового каната реализован системой нейро-нечеткого логического вывода ANFIS, представленной в виде нейронной сети прямого распространения сигнала. ANFIS-сеть получена из системы нечеткого логического вывода типа Сугено, функции принадлежности (ФП) которой настроены вручную в соответствии с экспериментальной информацией об одном из рабочих циклов [2].

Визуализация ANFIS в MATLAB Fuzzy Logic Toolbox получена m -функцией `anfisedit` (рис. 1). Сеть реализует систему нечеткого вывода типа Сугено нулевого порядка, имеет две входные лингвистические переменные EZ и $E\phi$, соответствующие e_z и e_ϕ . Выход сети – лингвистическая переменная VK , то есть скорость каната.

Составлено терм-множество лингвистической переменной EZ : $T_{EZ} = \{ \text{"допустимое", "положительное малое", "отрицательное малое", "положительное среднее", "отрицательное среднее", "положительное большое", "отрицательное большое"} \}$, которое записывается в символическом виде как $T_{EZ} = \{EZD, EZP4, EZN4, EZP3, EZN3, EZP2, EZN2\}$. Единственный терм лингвистической переменной EF – "малое" или $EF3$. Для термов входных переменных выбраны треугольные, трапециевидные, S-образные и Z-образные ФП.

Терм-множество выходной лингвистической переменной VK составляет множество значений скорости каната $T_{VK} = \{v_{kj}, j = 1, \dots, 8\}$. Система нечеткого вывода содержит восемь правил. В нейро-нечеткой системе ANFIS размерность терм-множества выходной переменной TVK должна быть равна числу правил [4], поэтому есть совпадающие значения термов $v_{k7} = v_{k8} = 0$. На рис. 2 значения функций принадлежности переменных до обучения сети соответствуют исходной системе нечеткого вывода.

Обработка входных сигналов нейро-нечеткой сетью выполняется следующим образом [3, 5]. Слой нейронов inputmf вычисляет значения ФП входных переменных μ_{EZ} и μ_{EF} при конкретных значениях входов EZ и EF . Каждый узел слоя является адаптивным, то есть параметры ФП могут быть изменены в процессе обучения сети.

Неадаптивный слой rule определяет посылки нечетких правил. Каждый узел этого слоя соединен с теми узлами первого слоя, которые формируют предпосылку соответствующего правила. Правила реализуют нечеткую логическую операцию "и", то есть выбирают минимальное значение ФП, связанных с правилом. Выходами нейронов этого слоя являются степени истинности посылки каждого правила базы знаний системы, вычисленные по формулам:

$$\begin{aligned} w_1 &= \min[\mu_{EZ}(EZP2), \mu_{EF}(EF3)]; \\ w_2 &= \min[\mu_{EZ}(EZN2), \mu_{EF}(EF3)]; \\ w_3 &= \min[\mu_{EZ}(EZP3), \mu_{EF}(EF3)]; \dots; \\ w_8 &= 1 - \mu_{EF}(EF3). \end{aligned}$$

Адаптивные узлы слоя outputmf зависят от настраиваемых четких значений v_{k1}, \dots, v_{k8} , каждое из которых рассматривается как нечеткое множество с синглтонной ФП выходной переменной. Вклад каждого нечеткого правила в выход сети:

$$y_j = w_j v_{kj} / \sum_{i=1}^8 w_i, j = 1, \dots, 8.$$

Единственный неадаптивный узел последнего слоя суммирует вклады всех правил:

$$VK = \sum_{j=1}^8 y_j.$$

Программная реализация нейро-нечеткой сети выполнена в MATLAB Fuzzy Logic Toolbox [3-5] с применением m-функции anfis. Эта функция пред-

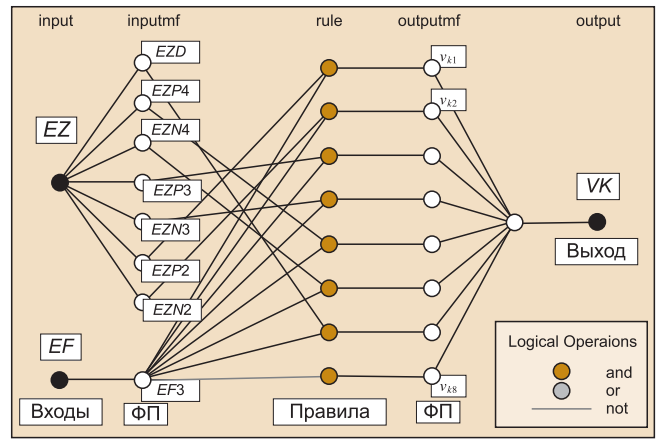


Рис. 1. Структура ANFIS-сети для управления лебедкой

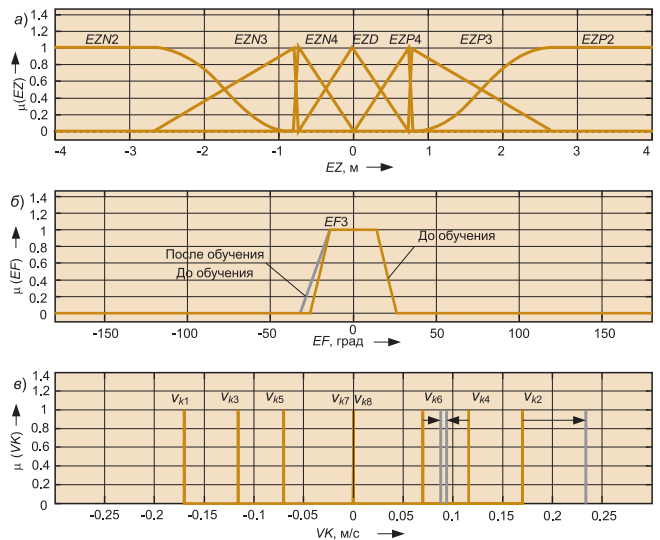


Рис. 2. Функции принадлежности термов: а) входной переменной EZ; б) входной переменной EF; в) выходной переменной VK

назначена для формирования нейронной сети на основе исходной системы нечеткого вывода, и ее дальнейшего обучения на экспериментальных данных. Параметры ФП при обучении настраиваются так, чтобы минимизировать стандартную ошибку – расхождение между экспериментально измеренной скоростью каната v_L и выходом сети:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [v_L(t) - VK(t)]^2} \rightarrow \min,$$

где N – число наблюдений в выборке обучающих данных.

M-функция обучения сети anfis для определения параметров ФП систем нечеткого вывода типа Сугено может использовать алгоритм обратного распространения ошибки или алгоритм гибридного обучения. Второй алгоритм представляет собой комбинацию метода наименьших квадратов и обратного распространения ошибки [3-5].

После сравнения результатов обучения сети различными алгоритмами был выбран метод обратного

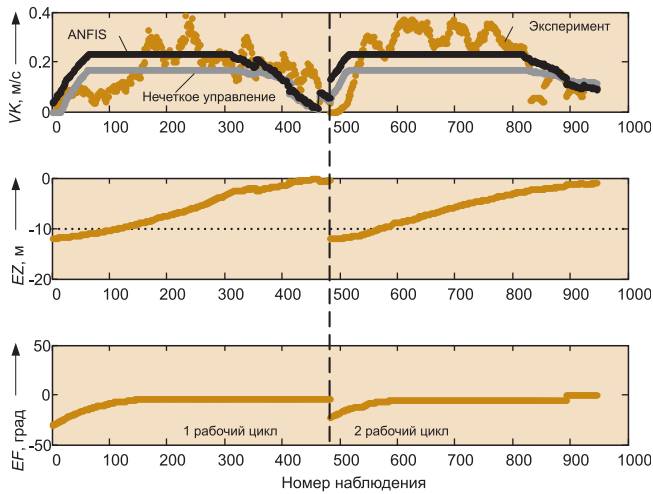


Рис. 3. Обучающие данные и результат моделирования управляющих воздействий при нечетком и нейро-нечетком управлении лебедкой

распространения ошибки, основанный на градиентном методе наискорейшего спуска. Особенностью обучения системы управления лебедкой является запрет изменения термов выходной переменной $v_{k7} = v_{k8} = 0$, что гарантирует останов лебедки при запрете управления канатом. Кроме того, поскольку обучающие данные имеются только для режима опускания груза ($v_L > 0$), изменение разрешено только для термов v_{k2} , v_{k4} , v_{k6} . Обучающая выборка содержит $N = 947$ наблюдений. Задано начальное значение шага 10-4 в направлении антиградиента критерия δ при изменении параметров ФП. Допустимое изменение величины шага за одну итерацию – 20%. До обучения сети значение критерия обучения $d = 0,0972$, после 200 итераций – $\delta = 0,0859$. В результате обучения нейро-нечеткой сети изменились параметры ФП EF_3 входной переменной EF , а также v_{k2} , v_{k4} , v_{k6} выходной переменной VK (рис. 2).

На вход сети до и после обучения поданы обучающие выборки EF и EZ . На рис. 3 приведено сравнение значений скорости каната, полученных в результате экспериментальных исследований крана (в режиме ручного управления), в результате моделирования нечеткого управления (до обучения) и выхода адаптивной системы нейро-нечеткого управления лебедкой ANFIS после обучения сети. Обучающая выборка EF , EZ и vL (данные эксперимента) соответствует двум рабочим циклам крана; выбраны интервалы времени, на которых оператор управляет лебедкой. После настройки параметров ANFIS-сети скорость опускания груза увеличилась, приблизившись к значениям, соответствующим ручному управлению.

Аналогичный алгоритм функционирования имеют нейро-нечеткие системы логического вывода для управления механизмом подъема-опускания стрелы и механизмом поворота крана.

Выполнено сравнение различных подходов к управлению рабочим процессом крана (рис. 4). Нейро-

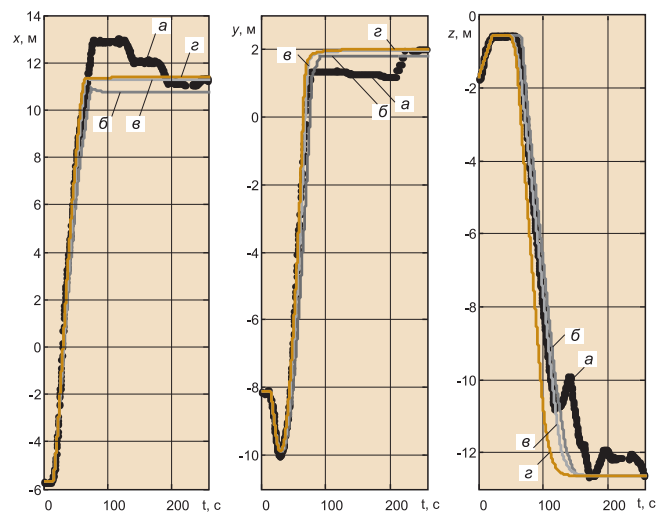


Рис. 4. Изменение координат груза: а) экспериментальные данные (ручное управление); б) моделирование системы программного управления; в) моделирование нечеткого управления; г) моделирование нейро-нечеткого управления

нечеткое управление обеспечивает требуемую точность позиционирования груза и сокращение времени рабочего цикла.

Таким образом, предложенный алгоритм функционирования адаптивной системы нейро-нечеткого управления перемещением груза позволяет вырабатывать управляющие воздействия, имитируя поведение человека-оператора при управлении лебедкой, механизмами подъема-опускания стрелы и поворота крана. Управляющее устройство, содержащее ANFIS, в режиме обучения обобщает данные о действиях оператора за несколько однотипных рабочих циклов при ручном управлении, после чего система может быть использована для автоматического управления процессом. Полезным качеством ANFIS является сохранение прозрачности логического вывода после обучения (изменяются только пороговые значения показателей рабочего процесса, соответствующие включению и выключению механизмов, а также значения их скоростей). Проблемой обучения сети остается возможная "зашумленность" обучающих данных, которая может быть вызвана противоречивыми действиями оператора, что приведет к снижению эффективности адаптивной системы управления. Качество обучения нейронной сети также зависит от полноты обучающих данных и диапазона изменения входных/выходных переменных. Кроме того, перспективным направлением совершенствования системы управления на основе ANFIS является реализация более эффективных методов обучения нейронных сетей. Однако преимущество ANFIS по сравнению с системой нечеткого вывода заключается в возможности автоматической коррекции параметров управляющего устройства. Алгоритм нейро-нечеткого управления

позволит сократить время рабочего цикла крана и повысить производительность по сравнению с ручным управлением за счет исключения простоев в работе механизмов крана и повышения средней скорости перемещения груза.

Список литературы

1. Денисов И.В., Мещеряков В.А. Моделирование системы программного управления рабочим процессом стрелового крана // Омский научный вестник. 2009. № 1(77).
2. Денисов И.В., Мещеряков В.А., Итяксова В.С. Моделирование системы нечеткого управления рабочим процессом стрелового крана // Там же. 2009. № 3(83).
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
4. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox User's Guide. The MathWorks, Inc. 2008.
5. Агамалов О.Н. Моделирование переходных процессов системы возбуждения турбогенератора АЭС средствами нейронно-нечеткой идентификации // Exponenta Pro. 2003. № 4.

Мещеряков Виталий Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры "Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур",

Денисов Игорь Владимирович – преподаватель кафедры "Электроника и автотракторное электрооборудование" Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ).

Контактные телефоны: (3812) 27-55-07, 65-72-13.

E-mail: mva@webservis.ru, IDen82@mail.ru

Завершился первый этап работ по внедрению MES MCIS компании Siemens на российском предприятии ракетно-космической промышленности

Пилотный проект внедрения системы оперативного управления производством, специально разработанной компанией Siemens AG для дискретного производства, приблизился к основной рабочей стадии сдачи макета на ОАО "Протон-ПМ", одном из крупнейших предприятий ракетно-космической промышленности РФ.

Департамент внедрения систем класса MES и APS группы компаний ООО "СИТЕК" (SITEK Group), являющийся сертифицированным Центром компетенции Сименс в области систем управления производством в машиностроении, и российское предприятие ОАО "Протон-ПМ" реализовали очередной этап проекта, завершив в декабре 2010 г. разработку системы успешной сдачей тестового примера на макете MCIS (Motion Control Information System). Проект направлен на повышение эффективности управления производственными процессами, обеспечение диспетчеризации и прозрачности производства путем осуществления непрерывного автоматического контроля состояния технологического оборудования и производства в целом, анализа производительности, управление техническим обслуживанием и технологией производства. В рамках создания единой информационной системы MCIS на "Протон-ПМ" (Пермские моторы) будут внедрены три модуля: MDA (сбор данных о состоянии оборудования и производства), DNC (администрирование программ и данных ЧПУ), TPM (управление техническим обслуживанием оборудования). Демонстрационный макет информационной системы включил сервер MCIS и оборудование, имитирующее реальное оборудование заказчика, работающее под управлением промышленных контроллеров SIMATIC и систем числового управления Sinumerik 840D компании Сименс.

Начало проведения работ по проекту стало возможным благодаря объявленному тендеру на реализацию пилотного проекта MES, который в 2010 г. выиграл промышленный

холдинг СИТЕК, приступивший к работам по внедрению MCIS. Был заключен договор на реализацию пилотного проекта по созданию информационной системы на базе MCIS в одном из производственных цехов предприятия. В рамках договора проведено предпроектное обследование всего металлообрабатывающего оборудования, оснащенного системами ЧПУ Sinumerik 840D, закупленного предприятием, начиная с 2007 г. в рамках "Программы технического перевооружения производства".

В соответствии с техническим заданием требовалось реализовать мониторинг текущей работы оборудования и формирование ряда аналитических отчетов, контроль реализации технического обслуживания оборудования и контроль соблюдения требований параметров обработки. В соответствии с перечисленными требованиями на данном этапе проходит внедрение модулей MDA, DNC, TPM. В дальнейшем планируется расширение функционала системы, ее масштабирование и реализация связи с внедряемой ERP-системой SAP R3.

На протяжении последних лет Россия удерживает половину мирового рынка пусковых услуг. По состоянию на 1 августа 2010 г. осуществлено девять пусков ракет-носителей производства ГКНПЦ им. М. В. Хруничева. Это семь пусков ракет-носителей "Протон", в результате которых на орбиту были выведены девять космических аппаратов: пять космических аппаратов Intelsat-16, Echostar-14, AMC-4R (SES-1), Arabsat-5B (BADR-5), Echostar-15 в интересах иностранного заказчика; три космических аппарата Глонасс в интересах развертывания одноименной спутниковой группировки; один космический аппарат в интересах Министерства обороны РФ; один пуск ракеты-носителя "Рокот", в результате которого на орбиту выведен японский космический аппарат Servis-2; один пуск ракеты-носителя "Космос-3М", в результате которого на орбиту был выведен космический аппарат в интересах Министерства обороны РФ.

[Http://www.sitek-group.com](http://www.sitek-group.com)

АСУ станционным оборудованием МГЭС "Ляскеля"

НПФ "Ракурс" изготовило и отгрузило оборудование для автоматического управления станционным оборудованием МГЭС "Ляскеля". Система автоматического управления станционным оборудованием укомплектована в соответствии с требованиями конструкторской документации ЗАО "Норд Гидро".

Малая ГЭС Ляскеля расположена на реке Янис-Йоки в п. Ляскеля Питкярантского района республики Карелии. Она была построена финскими промышленниками в конце

XIX века. Скоро в приладожском поселке Ляскеля снова начнет вырабатывать электроэнергию для нужд местных потребителей. Мощность этой ГЭС в сравнении с "финской предшественницей" увеличится более чем вдвое и составит около 4,8 МВт. При этом старинные сооружения гидроэлектростанции, которые давно превратились в одну из главных туристических достопримечательностей Питкярантского района, практически не будут подвергнуты реконструкции и сохраняют свой исторический облик.

[Http://www.rakurs.com](http://www.rakurs.com)