

Александрова Елена Григорьевна,
инженер информационно-вычислительного центра,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: qweb@angtu.ru
Добрынина Надежда Николаевна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail:priem@angtu.ru

**НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННЫХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Aleksandrova E.G., Dobrynina N.N.

**NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN MODERN AUTOMATED
CONTROL SYSTEM**

Аннотация. Современное производство нуждается в повышении эффективности и снижении затрат, с этой целью внедряются все новые технологии, включающие в себя сложные нелинейные и плохоформализованные процессы, которыми нужно управлять. В связи с этим растет спрос на новые наукоемкие решения. «Спрос порождает предложение», поэтому многие крупные поставщики контрольно-измерительных систем предлагают широкий спектр решений на базе искусственного интеллекта. В работе раскрывается понятие одного из основных модулей современных систем автоматизированного управления – виртуального датчика, а также описываются решения, разработанные на данной технологии. Приведен анализ терминологии, связанной с виртуальным датчиком. Сделаны выводы об актуальности исследований и применений на современном производстве решений, основанных на нейросетевых технологиях.

Ключевые слова: нейронная сеть, нечеткая модель, АСУ, виртуальный датчик.

Abstract. Modern production needs to increase efficiency and reduce costs, thereby introducing new technologies, including complex nonlinear and ill-formalized processes to be controlled. Therefore, the demand for new high solutions. "Demand creates supply," so many of the major suppliers of measuring and control systems offer a wide range of solutions based on artificial intelligence. The paper reveals the concept of one of the core modules of modern automated control systems – virtual sensor, and also describes the solutions developed on this technology. The analysis of the terminology associated with the virtual sensor. The conclusions about the relevance of research and applications in today's production decisions based neural network technology.

Keywords: neural network, fuzzy model, automatic control system, virtual sensor.

Современные технологии позволяют применять нейросетевые системы в широком спектре отраслей производства. Для управления сложными нелинейными системами найти аналог нейросетевым технологиям достаточно сложно, так как они показывают высокие показатели эффективности в условиях неопределенности, а также имеют развитые экстраполяционные и аппроксимационные возможности. Разработки в этом направлении [1, 2] показывают потенциал применения данной технологии на практике, а полученные ранее результаты работы виртуального датчика на показаниях реального производственного объекта позволяют сделать вывод об эффективности систем такого рода для определения и решения задач управления технологическими процессами.

Также нейросетевые инструменты позволяют выполнить прогнозирование развития процесса, для которого данная система обучена, что позволяет добавить к классическим функциям датчика еще и анализирующий аппарат, который в свою очередь поможет воплотить советующий модуль при работе системы в целом.

Советующие системы - очень актуальная разработка, так как все большее значение в управлении технологическим процессом отводится под обучение и повышение квалификации оператора, а с помощью советующей системы оператор получается большое количество информации о возможном пути развития процесса, а также вариантах оптимизации процесса или его стабилизации.

Многие крупные поставщики контрольно-измерительных систем и автоматизированных систем управления используют в своих комплексах инструменты, основанные на нейросетевых и нечетких технологиях, что в очередной раз доказывает актуальность разработки систем такого типа. В качестве примера можно выделить следующие: AspenTech, Honeywell, Yokogawa, Emerson, Siemens.

В научном мире существуют несколько терминов, описывающих технологию виртуального датчика.

Виртуальный датчик – обобщенное понятие логического датчика и вычислительного модуля. В каждом виртуальном датчике, наряду с сенсорными, выполняются вычислительные операции. Непосредственно сенсорные операции виртуальный датчик может и не выполнять, а использовать информацию, полученную от других виртуальных датчиков [3]. Виртуальные датчики наряду с сенсорными операциями, для которых используются физические датчики, выполняют вычислительные процедуры, в том числе с применением методов искусственного интеллекта. Это позволяет получать необходимые сведения в тех ситуациях, когда важные измерения невозможно осуществить [4].

Виртуальный сенсор (сенсор – датчик по англ.). Виртуальные сенсоры оценивают значения основных переменных, которые нецелесообразно или невозможно измерить в реальном времени, такие как распределение частиц по размерам, индекс текучести расплава, состав или наполнение в ректификационной колонне. Виртуальные сенсоры используют температуры, давления, расходы и другие переменные, которые могут быть надежно и недорого измеряться в реальном времени, для получения искомым значений [5].

Виртуальный анализатор представляет собой программно-алгоритмический комплекс, реализующий функции углубленного оценивания текущего состояния технологического процесса и его эволюции. Основным назначением виртуальных анализаторов является повышение уровня информационно-аналитического обеспечения технологического персонала и создание условий (достаточной информационной базы) для формирования оптимального управления как отдельными технологическими процессами, так и всего технологического цикла производства.

Виртуальные анализаторы представляют собой программно-алгоритмические комплексы для непрерывного прогнозирования и управления в режиме реального времени на базе всей информации о производственных процессах (текущей, архивной и ретроспективной). Формируемые с помощью виртуальных анализаторов управляющие воздействия должны обеспечивать информационную поддержку руководства для окончательного принятия решений на основе формирования управляющих воздействий с помощью алгоритмов идентификации и управления.

Функциональное назначение виртуальный анализатор может быть различным: прогнозатор для системы виртуального мониторинга, анализатор для стратегического планирования, информационно-аналитическая основа регулятора реальной АСУ-ТП, системы управления on-line с идентификатором, робастной системы управления с внутренними моделями и др.

Виртуальные анализаторы представляют собой математические модели, описывающие зависимость показателя качества от непосредственно измеряемых параметров технологического режима. Разработка виртуальных анализаторов – важнейший этап APC-проекта. Магистральным направлением в APC стала технология управления на основе прогнозирующей модели объекта, получившая название Model-based predictive control или сокращенно MPC.

Техническим языком – алгоритм MPC использует знания о динамических характеристиках технологического процесса. Все взаимодействия между переменными технологического процесса рассчитываются на основе непрерывного решения в режиме реального времени системы уравнений, описывающей объект управления в целом.

Предикт-контроллер – контроллер, в который встроена динамическая модель объекта по всем регулируемым величинам от всех управляющих воздействий и ему задается критерий управления.

Рассмотрим современные инструменты, основанные на нейросетевых технологиях, разработанных крупными фирмами, специализирующимися на контрольно-измерительных системах и автоматизированных систем управления.

Aspen Inferential Qualities (умозаключение качеств) от компании AspenTech позволяет моделировать и реализовывать прогноз качества продукта и позволяет осуществлять линейный или нелинейный виртуальный (умозаключительный) датчик реального времени. Виртуальные датчики являются основополагающими элементами многих передовых систем управления технологическими процессами. Основные параметры (такие как индекс расплава полимера) зачастую невозможно измерить непосредственно. Aspen IQ является одним из основных элементов семейства продуктов aspenONE APC.

Profit Sensor PRO от компании Honeywell. В рамках продуктовой линейки Profit® Design Studio фирма Honeywell разработала пакет Profit® Sensor Pro для

автономного моделирования. Основные свойства и функции этого пакета следующие:

- подготовка данных для моделирования (например, удаление «плохих» значений лабораторного контроля или показаний анализаторов);
- ранжирование входных переменных для отбора наиболее информативных;
- линейный и нелинейный регрессионный анализ;
- цветовая индикация качества построенных моделей;
- метод главных компонент;
- глубокий статистический анализ адекватности выбранных моделей и их пригодности для использования в замкнутом контуре.

В дополнение к вышеперечисленным, пакет снабжен следующими функциями для работы в реальном времени:

- интеграция с лабораторными системами и поточными анализаторами;
- графический интерфейс оператора, показывающий прогнозируемые значения, данные лабораторно-аналитического контроля и другую полезную информацию;
- графический инженерный интерфейс для подстройки виртуальных анализаторов, выявления плохих значений и специальной фильтрации лабораторных данных;
- автоматическая динамическая подстройка виртуальных анализаторов по лабораторным данным с возможностями полностью автоматической коррекции систематической погрешности или ручной подстройки в случае невозможности подсоединения к лабораторной системе.

Основные преимущества системы Profit® Sensor Pro:

- мощные средства подготовки данных – они имеются и в других пакетах семейства Profit® Suite, но особенно эффективны в этом;
- простота применения – цветовое обозначение качества построенных моделей;
- ранжирование входных переменных – быстрое создание виртуальных анализаторов с использованием ранжирования информативных входов и других средств, таких как анализ главных компонент;
- интеграция с продуктами семейства Profit® Suite – Profit® Sensor Проможно применять вместе с системами Profit® Controller, Profit® Optimizer и т.д., используя те же инструменты и функции, которые имеются в автономной части ПО Profit® Controller.
- работа в реальном времени – Profit® Sensor Pro снабжен интерфейсом подстройки виртуальных анализаторов по данным лабораторно-аналитического контроля.

Exarqe – Robust Quality Estimator (софт-анализатор) от компании Yokogawa – программный анализатор качества продукции по косвенным измерениям. Был разработан для оценки качества продукта и используется как обратная связь в приложениях APC. Широко применяется на нефтеперерабатывающих заводах и нефтехимических процессах.

Технологии оценки качества – RQE технология обеспечивает методы определения линейных и нелинейных, статических и динамических моделей процесса. RQE обеспечивает оценку динамической зависимости между кандидатами входных переменных и целевыми выходными, используя следующие методы:

- множественной линейной регрессии (MLR);
- регрессии главных компонент (PCR);
- частичные наименьшие квадраты (PLS);
- радиально-базисные функции (RBF).

RQE статистически обеспечивает 95% доверительный интервал для оценки динамики объекта. RQE использует эффективные современные численные решения, которые позволяют произвести идентификацию модели за минимальное время.

DeltaV Нейро от компании Emerson предоставляет практичное средство создания виртуальных измерительных устройств, заменяющих собой традиционные лабораторные анализы или поточные анализаторы. DeltaV Нейро прост в освоении и использовании, и позволяет получать очень точные результаты технологам, не знающим теорию нейронных сетей.

Эффективность использования системы заключается в следующем:

- повышение качества продукции за счет уменьшения отклонений. Непрерывный «виртуальный» контроль качественных и аналитических параметров позволяет более точно управлять многими переменными процесса. Это позволяет автоматически компенсировать неконтролируемые возмущения и изменения в процессе. DeltaV Нейро облегчает «если – то» анализ изменений в процессе, основанный на прогнозе поведения критических параметров.

- улучшение характеристик процесса. Обеспечиваются резерв и перекрёстный контроль измерений в анализаторах с дискретным или непрерывным отсчетом, таких, как масс-спектрометры и анализаторы с отбором проб. Обеспечивается непрерывное измерение всех параметров в многопоточных анализаторах.

- экономия времени при автоматизированном обучении сетей;
- быстрое действие и непрерывное исполнение в контроллере. Запустив нейронную сеть непосредственно в резервированном контроллере системы DeltaV, получаем резервированную нейронную сеть;

Преимущества использования системы разработки виртуальных измерительных устройств DeltaV Нейро:

- простота разработки виртуальных датчиков с применением технологии нейронных сетей;
- нейронная сеть оформляется как функциональный блок и выполняется в контроллере DeltaV;
- автоматизированная предварительная обработка, проектирование, обучение и верификации;
- экспертный режим поддерживает взаимодействие при разработке нейронных сетей.

NeuroSystems в комплексе SIMATIC PCS 7 от компании Siemens.

Пакет программ NeuroSystems позволяет создавать нейронные сети. Распространению нейронных сетей способствует их самообучаемость и возможность эмуляции специальных процессов сбора данных. Они позволяют имитировать типовые последовательности управления процессом, а также распознавать значимые характеристики в общем объеме измерительной информации.

На основе изучения эталонных данных нейронная система способна самостоятельно найти решение задачи: например, на основе идентификации некоторых признаков, указывающих на наличие дефекта. Кроме того, нейронные системы способны запоминать ход протекания неизвестных процессов или фиксировать семейства характеристик изменения параметров, получаемых экспериментальным способом. Основным преимуществом нейронных систем является возможность выработки решений на основе сопоставления текущих данных с эталонными значениями.

Пакет NeuroSystems может быть использован для:

- оптимизации баз данных;
- идентификации характеристик;
- фильтрация данных;
- преобразование данных и их идентификация;
- обработка одиночных или множественных сигналов, изменяющихся по закону нелинейной функции;
- распознавание образов и диагностика.

Пакет NeuroSystems может быть использован на всех уровнях автоматизации: от реализации отдельно взятого регулятора до оптимизации работы всего предприятия.

Решаемые задачи:

- составление и тренировка нейросетей;
- решение проблем, связанных с наличием частично неизвестных структур и решений.

Области применения:

- оптимизированный обмен данными;
- идентификация полей признаков или процессов;

- фильтрация данных;
- предварительная обработка и интерпретация данных;
- распознавание образов и диагностика.

Пакет NeuroSystems включает в свой состав инструментальные средства конфигурирования и стандартные функциональные блоки. Инструментальные средства конфигурирования оснащены стандартным графическим интерфейсом Windows. Функциональные блоки могут работать в программах систем автоматизации SIMATIC S7-300/ S7-400/C7/WinAC, а также использоваться в SCADA системе SIMATIC WinCC. Связь между инструментальными средствами конфигурирования (на программаторе или компьютере) и системой SIMATIC S7 осуществляется по MPI интерфейсу или с использованием программного обеспечения связи Softnet S7 для PROFIBUS.

Инструментальные средства конфигурирования:

- настройка параметров. Установка параметров настройки нейронной сети на основе эталонных данных и определение диапазонов изменения параметров входных и выходных сигналов. Эталонные данные считываются из ASCII файлов;
- использование функций тестирования и наладки в интерактивных и автономных режимах работы;
- автономный анализ без использования реальной системы автоматизации. Для имитации работы нейронной сети NeuroSystems содержит генератор кривых, с помощью которого можно имитировать изменение входных сигналов;
- трехмерное отображение характеристик нейронной сети. Характеристика изменения выходного сигнала в функции изменения двух входных сигналов представляется в виде трехмерной поверхности;
- вывод кривых на плоттер и архивация данных на жестком диске. На графопостроитель могут выводиться графики изменения четырех выбираемых входных или выходных сигналов. Такие характеристики удобны для анализа качества процесса управления и поиска неисправностей. Полученные данные могут сохраняться в архиве. В дальнейшем эти данные могут быть обработаны (например, средствами Excel) и отредактированы;
- Neurofuzzy системы. Через интерфейс FuzzyControl++ инструментальные средства конфигурирования позволяют осуществлять связь между Fuzzy системами и нейронными сетями. Благодаря этому Fuzzy системы могут быть оптимизированы на основе текущих значений параметров. Кроме того, в неструктурированной обработке могут выделяться причинные связи, оформляемые в виде правил;
- удобная онлайн-помощь.

Функциональные блоки содержат все алгоритмы и процедуры, необходимые для работы систем нечеткой логики: проверки уровней входных сигналов,

выбора и проверки выполнения правил нечеткой логики, формирования значений выходных сигналов.

Для каждого диапазона, определяемого на этапе параметрирования нечеткой системы, может выполняться соответствующее масштабирование входных и выходных параметров.

Пакет включает в свой состав два функциональных блока для систем автоматизации SIMATIC S7/C7/WinAC, а также SmartObject для SIMATIC WinCC. Стандартные функциональные блоки для систем автоматизации аналогичны по своему назначению, но позволяют работать с блоками данных различных объемов и выполнять проверку различного количества правил.

Заключение. Исходя из вышесказанного, хочу заметить, что нейросетевые технологии решают широкий круг задач в автоматизированных системах управления. Все чаще можно услышать об удачном внедрении на различных производствах решений, основанных на технологиях искусственного интеллекта. Поэтому эти решения, в том числе и виртуальный датчик, являются актуальными и перспективными.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Александров, И.М.** Программная реализация виртуального датчика для оценки концентрации кислорода в дымовых газах / И.М. Александров, Н.С. Благодарный. – Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-26: сб. трудов XXVI Междунар. науч. конф.: в 2-х ч. Ч. 1. / под общ.ред. А.А. Большакова. – Ангарск: Ангарск. гос. техн. акад.; Иркутск: Иркут.гос. ун-т, 2013.

2. **Александров, И.М.** Программная реализация нечеткой нейронной сети для оценки концентрации этилена верха колонны К-11 установки ЭП-300/ И.М. Александров, Н.С. Благодарный. – Вестник АГТА, 2012. – № 6.

3. **Кирильченко, А.А.** Формальные подходы к проектированию алгоритмов информационного обеспечения мобильных систем (выбор пути, навигация, надежность)”, Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2008. – 32 с.

4. **Орлова, Л.П.** Концепция моделирования и вычислительная среда для оперативного проектирования энергосберегающих систем управления / Л.П. Орлова, Д.Ю. Муромцев // Новые информационные технологии: материалы второго науч.-практ. семинара. М., 1999. – С. 111 – 113.

5. **Бахтадзе, Н.Н.** Перспективы применения виртуальных анализаторов в системах управления ресурсами производства / Н.Н. Бахтадзе, Д.В. Мокров // Датчики и системы, 2004. – № 4.