

Информатика

УДК 004.9:681.5.01

Система адаптивного управления технологическим циклом автоматизированного производства

В.А. ПРОХОРЕНКО

В настоящей работе предлагается реализация процедуры синтеза обратных связей по управлению технологическим циклом производства. Разработана гибридная интеллектуальная система нового поколения и представлены методы адаптации на основе построения моделей искусственных нейронных сетей для решения прикладных задач оптимизации управления сложными технологическими комплексами. Полученные результаты дают возможность разработки новых гибридных интеллектуальных систем, предназначенных для решения широкого класса задач адаптации управления технологическими объектами в режиме реального времени с использованием средств программно-аппаратного сопряжения с объектом управления.

Ключевые слова: адаптивное управление, нейронные сети, система управления, автоматизированное производство.

An implementation of procedure to synthesize feedback control for technological production cycle is proposed. A new generation hybrid intellectual system was developed and adaptation methods based on the construction of artificial neural network models for solving applied control optimization problems for complex technological systems are presented. The results obtained make it possible to develop new hybrid intellectual systems for solving a wide range of problems of adaptive control of technological objects in real time using the means of software and hardware interface with the control object.

Keywords: adaptive control, neural network, control system, automated production.

Введение. Постоянно развивающиеся направления научно-технической деятельности в области оптимизации функционирования производственных систем требуют разработки актуальных подходов в реализации адаптивного управления производственной деятельностью с использованием элементов искусственного интеллекта, нейросетевого моделирования и разработки интеллектуальных компьютерных систем нового поколения.

Формальное описание объекта управления основано на онтологии предметной области «технологические процессы производства с вероятностными характеристиками». Используемая формализация предметной области основана на научных разработках в области имитационного моделирования сложных технических систем [1].

Адаптация управления осуществляется при использовании средств программно-аппаратного сопряжения нейросетевых регуляторов со стойкой управления технологическим объектом в режиме реального времени.

Основой для создания гибридной интеллектуальной системы адаптации управления служит идея разработки и использования математических моделей нейросетевых регуляторов для решения задач оптимизации управления, реализации методов и алгоритмов синтеза обратных связей по управлению технологическим циклом в зависимости от изменения параметров функционирования объекта управления.

Термины и определения. Центральными понятиями в рассматриваемой предметной области являются технологический процесс (цикл) и вероятностный технологический процесс [2]. Технологический процесс (ТП) (технологический цикл) производства – установленная технологическими документами последовательность взаимосвязанных действий, направленных на объект процесса с целью получения требуемого конечного результата. Технологическая операция – часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном

рабочем месте над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими исполнителями. Микротехнологическая операция – конечная последовательность элементарных операций, составляющих в совокупности содержание технологической операции, выполняемой непрерывно на одном рабочем месте. Система управления (СУ ТП) – строго определённый набор программно-аппаратных средств для управления подконтрольным объектом, обеспечивающий возможность сбора показаний о его состоянии и воздействий на его поведение для достижения заданных целей.

Вероятностный технологический процесс – технологический процесс с вероятностными параметрами функционирования; технологический процесс с изменяющейся в ходе его реализации структурой технологического цикла.

Под адаптивным управлением понимается совокупность методов и алгоритмов, позволяющих синтезировать обратные связи по управлению, которые могут изменять параметры (структуру) нейрорегулятора в зависимости от наличия внешних возмущений или управляющих воздействий.

Проблемы адаптивного управления производственной деятельностью при разработке интеллектуальных компьютерных систем нового поколения. Средства автоматизации предприятия должны оперативно и с минимальными затратами времени сотрудников адаптироваться к любым изменениям самого производства – к расширению или сокращению объёмов производства, изменениям номенклатуры производства, изменению используемого оборудования, изменению общей структуры производства и иным обстоятельствам.

Современный анализ состояния разработок в области исследования управляемых производственных систем показывает, что проблема определения параметров функционирования подобных объектов исследования в режиме реального времени возникает прежде всего при необходимости производства сложных технических изделий, требующих точности их изготовления и высокой производительности труда [2].

Существующие специальные модели искусственного интеллекта, такие как нейронные сети, обладают уникальными свойствами, могут применяться в качестве универсальных аппроксиматоров, имеющих способность к обобщению. Эти особенности делают целесообразным применение моделей такого типа при решении сложных задач адаптивного управления [3].

Построение математической модели производственной системы. Для построения математической модели производственной системы требуется формализация технологических процессов этой производственной системы.

Вероятностные технологические процессы (ВТП) – это технологические процессы с вероятностными параметрами функционирования, а также процессы с изменяющейся в ходе их реализации структурой технологического цикла. При этом технологическим процессом (циклом) называется множество технологических операций $\{MTCO_{ij}\}$, где $i, j = \overline{1, N}$, в совокупности с используемыми ими ресурсами.

Традиционно рассматривают две группы технологических процессов – непрерывного и дискретного типа. Первая группа технологических процессов обычно реализуется на производстве в режиме реального времени. Данные технологические процессы являются объектом АСУТП. Примером применения АСУТП является контроль за процессом выплавки стали, контроль за поступлением сырья в мартеновские печи и автоматической разливкой металла по формам. Вторая группа технологических процессов характеризуется графовой структурой организации технологического цикла, который реализуется в результате взаимодействия множества технологических операций (TCO_i) . Некоторые TCO_i могут состоять, в свою очередь, из множества микротехнологических операций $\{MTCO_{ij}\}$.

Моделирование всех типов технологических процессов осуществляется либо на основе критических, либо на основе средних значений расхода ресурсов.

ВТП используют для своего выполнения устройства оборудования, которые могут иметь различные характеристики надежности функционирования. Устройства оборудования обладают некоторым ресурсом выполнения своих функций, который постепенно уменьшается и

зависит от времени активного использования устройства. Моменты отказа определяются функциями распределения вероятностей значений времени безотказной работы устройств оборудования. Отказы оборудования могут приводить к авариям различных типов, требующим оперативных реакций с целью устранения последствий, ведущим к расходу материальных средств и временным задержкам.

Таким образом, проектное моделирование ВТП в силу вероятностного характера запросов ресурсов множеством $\{MTCO_{ij}\}$ и наличия отказов оборудования, природа которых также вероятностная, представляет собой сложную научную задачу [4], [1].

Формализация контура управления технологическим циклом. В соответствии с онтологией предметной области вероятностных технологических процессов под технологическим циклом производства подразумевается последовательность действий и операций, в результате которых осуществляется производство готовой продукции.

Функциональное взаимодействие компонентов комплекса управления и работающего в режиме реального времени технологического цикла производства осуществляется на основе мониторинга состояния оборудования и параметров управления с помощью регистров-индикаторов и технических средств сопряжения. Процесс управления основан на использовании в структуре контура управления специальных сигналов и стандартных элементов, которые используются при формировании регулирующих воздействий на используемое оборудование [3].

Некоторые $MTCO_{ij}$ в ВТП используют не только ресурсы, но могут выполнять ряд контрольных функций за изменением значений компонентов множества переменных управления ВТП $\{U_s\}$. В составе ВТП контролируемые $MTCO_{ij}$ могут изменяться вероятностным образом: выход за допустимые пределы (P_{thr}) на величину (ΔU_s), которая в ту или в другую сторону может изменяться также вероятностным образом.

Разработка моделей нейрорегуляторов для решения задач адаптивного управления. В рамках решения задач управления существует множество различных подходов на основе нейросетевых методов. В частности, можно выделить следующие схемы построения нейрорегуляторов [2]:

1. прямое управление с эталонной моделью (последовательная схема управления);
2. схемы построения нейроконтроллеров на основе обучения с подкреплением (адаптивно-критические схемы).

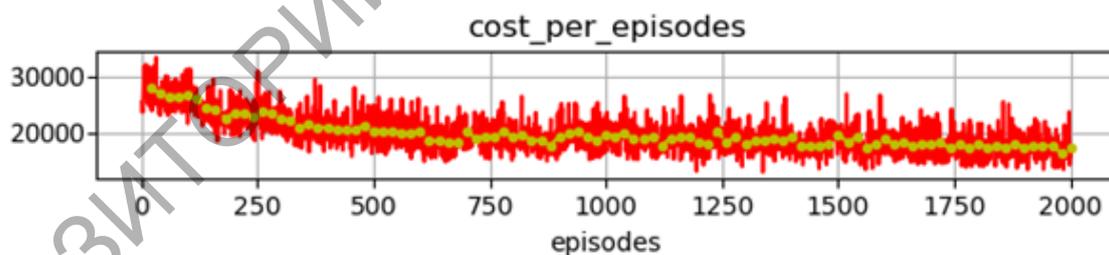


Рисунок 1 – Пример уменьшения совокупности затрат функционирования ИМ ТП при обучении нейрорегулятора

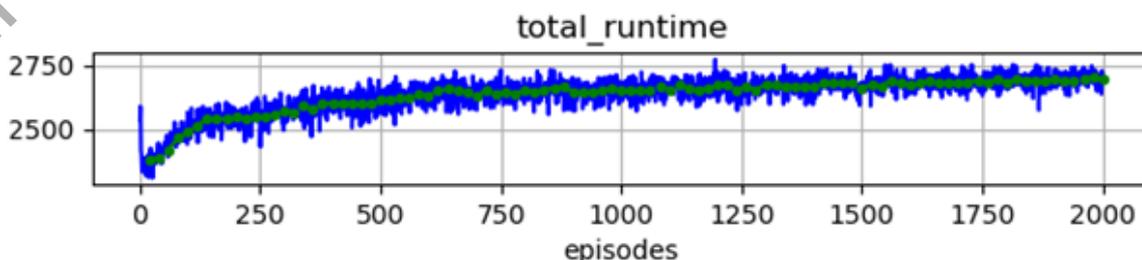


Рисунок 2 – Пример увеличения среднего времени нормального функционирования ИМ ТП при обучении нейрорегулятора

При использовании схемы с прямым управлением требуется приемлемое обобщение нейрорегулятором собранных массивов данных об управлении технологическим циклом. С точки зрения теории машинного обучения в этом случае будет решаться задача обучения с учителем с формированием обучающего множества на основе собранных статистик [5].

Применение методов обучения с подкреплением подразумевает создание среды, в которой производится критическая оценка деятельности агента (нейрорегулятора). Средой, в которой действует агент, в контексте решения задач управления технологическим циклом является система управления технологическим циклом производства, которая делает доступным для агента наблюдение за сигналами регистров о состоянии ТП и параметрах управления. На основании решений агента система принятия решений формирует запросы на изменения параметров управления [6].

На рисунках 1 и 2 показаны примеры оптимизации параметров функционирования имитационной модели технологического процесса в процессе построения нейрорегулятора методами обучения с подкреплением [7].

Интеллектуальная компьютерная система адаптации управления. Описанный инструментарий позволяет осуществить создание гибких интеллектуальных компьютерных систем адаптации управления (КСАУ), представляющих собой набор семантически совместимых и легко заменяемых в зависимости от решаемого круга задач компонентов.

Осуществление взаимодействия системы и ее соответствующих решателей со стойкой управления автоматизированной технологической системы при этом осуществляется с помощью средств программно-аппаратного сопряжения производства.

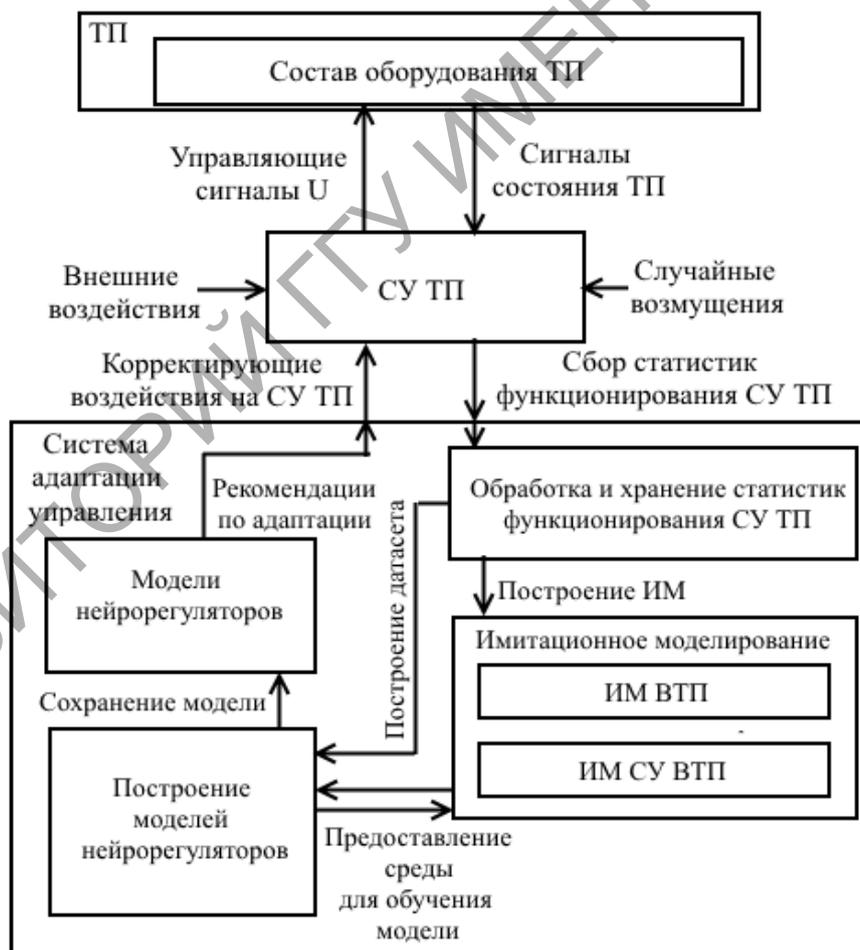


Рисунок 3 – Схема взаимосвязей системы адаптивного управления

Система адаптации управления включает в себя систему обработки и хранения статистик функционирования ТП и его системы управления. При наличии существующего регулятора, эта

система позволяет собрать также статистики его корректирующих воздействий. При построении нейрорегуляторов с применением адаптивно-критических схем, необходима среда для его обучения [6], [7]. Система имитационного моделирования позволяет построить модели ТП и системы управления ТП, которая используется в качестве среды для обучения нейрорегуляторов.

Адаптация управления технологическим циклом выполняется на основе осуществления функционирования построенного нейрорегулятора, формирующего корректирующие воздействия на систему управления ТП таким образом, чтобы не допустить выхода за пределы допустимых границ диапазона изменений компонентов $\{U_{fh}\}$ переменных вектора управления $\{U_h\}$.

Возврат значений переменных управления в рамки допустимых интервалов выполняется посредством специальных средств корректировки – инициирования запуска МТСО ТП, которые изменяют значения компонентов множества переменных управления $\{U_s\}$ либо задействуют схемы резервирования оборудования.

На рисунке 3 показана структура связей системы адаптивного управления на основе нейрорегуляторов.

Заключение. Последнее время активно совершенствуются алгоритмы и реализуются новые методы решения научно-прикладных задач по управлению роботизированными производствами в условиях наличия случайных внешних воздействий на объект управления.

В данной работе предложена реализация процедуры синтеза обратных связей по управлению технологическим циклом производства на основе его формализации в рамках экосистемы OSTIS и построения моделей искусственных нейронных сетей для решения прикладных задач оптимизации управления сложными технологическими комплексами.

Полученные результаты дают возможность разработки гибридных интеллектуальных компьютерных систем, предназначенных для решения широкого класса прикладных задач адаптации управления технологическими объектами в режиме реального времени с использованием технических средств программно-аппаратного сопряжения с объектом управления.

Литература

1. Максимей, И. В. Проблемы теории и практики моделирования сложных систем / И. В. Максимей, В. С. Смородин, О. М. Демиденко ; М-во образования РБ, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 263 с.
2. Автоматизация производственной деятельности в рамках Экосистемы OSTIS // Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения: монография / В. А. Прохоренко [и др.] ; под общ. ред. В. В. Голенкова. – Минск : БГУИР 2023. – Гл. 7.7. – С. 805–830.
3. Смородин, В. С. Адаптивная система управления технологическим процессом производства / В. С. Смородин, В. А. Прохоренко // Проблемы физики, математики и техники. – 2021. – № 3 (48). – С. 96–102.
4. Смородин, В. С. Система управления надежностью оборудования вероятностных технологических процессов опасного производства / В. С. Смородин // Проблеми програмування. – 2007. – № 3. – С. 107–123.
5. Smorodin, V. Control of a technological cycle of production process based on a neuro-controller model / V. Smorodin, V. Prokhorenko // Open semantic technologies for intelligent systems. – 2019. – Is. 3. – P. 251–256.
6. Smorodin, V. Software-technological complex for adaptive control of a production cycle of robotic manufacturing / V. Smorodin, V. Prokhorenko // Open semantic technologies for intelligent systems. – 2022. – Is. 6. – P. 401–404.
7. Smorodin, V. Adaptive control of robotic production systems / V. Smorodin, V. Prokhorenko // Open semantic technologies for intelligent systems. – 2020. – Is.4. – P. 161–166.