

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор федерального
государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»
д.э.н., профессор Вадим Валерьевич Радаев



« 16 » 01 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Черешко Алексея Анатольевича
«Методы управления технологическими процессами на основе ассоциативных
прогнозирующих моделей»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (технические науки)

1. Актуальность темы исследования

Применение систем управления с прогнозирующей моделью (Model Predictive Control – MPC) на сегодняшний день является одним из наиболее распространенных подходов к управлению технологическими процессами (ТП) непрерывных и полунепрерывных производств, таких как: химия, нефтепереработка, производство минеральных удобрений, металлургия и др. В схеме MPC используется построенная по экспериментальным данным прогнозирующая модель объекта. Оптимизация управления по заданному критерию осуществляется в режиме реального времени на основе алгоритма линейного программирования. Эффективность управления в значительной степени определяется точностью идентификационной модели показателей качества выпускаемой продукции.

В схемах MPC обычно используются программно-алгоритмические комплексы, формирующие линейные регрессионные модели и обеспечивающие их функционирование, называемые виртуальными анализаторами (ВА). Однако для широкого класса нелинейных процессов прогноз ВА на основе линейной модели не

всегда дает удовлетворительные результаты. Автор диссертационной работы предлагает метод разработки ВА с использованием идентификационной модели, формируемой на каждом такте управления на основе индуктивных знаний о ТП (закономерности, извлекаемым посредством интеллектуального анализа данных). При построении моделей используются алгоритмы идентификации, получившие название ассоциативного поиска. ВА, разработанные автором на основе этих алгоритмов, названы ассоциативными. Автор предлагает методы разработки и осуществляет реализацию ВА как для стационарных, так и нестационарных процессов.

На основе ассоциативных идентификационных моделей в диссертации предложен подход к управлению с прогнозирующей моделью – «ассоциативное управление с прогнозирующей моделью». Существенное повышение точности прогнозирования ВА в схемах MPC для различных ТП позволит многократно повысить эффективность соответствующих систем усовершенствованного управления ТП (СУУТП) на основе этих схем, что приведет к повышению эффективности производства.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что тематика исследований диссертационной работы, направленных на

Таким образом, можно констатировать, что тема диссертационной работы А.А. Черешко, связанная с разработкой новых методов управления ТП с прогнозирующей моделью, представляется актуальной и соответствует заявленной специальности.

2. Структура и содержание работы

Диссертационная работа Черешко Алексея Анатольевича содержит введение, 4 главы, заключение, список используемой литературы, включающий 122 наименования, и приложение. Общий объем составляет 116 страниц. Приложение содержит акт, подтверждающий внедрение результатов диссертационной работы.

Введение дает общие сведения о работе, ее целях и конкретных задачах, отражает моменты научной новизны, формулирует положения, выносимые на защиту, и отражает содержание глав диссертации.

В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертации и анализ основных направлений развития методов управления с прогнозирующей моделью (МРС), описаны традиционно применяемые в МРС идентификационные модели. На основании проведенного анализа и исследований существующих методов управления с прогнозирующей моделью сформулированы цель и задачи диссертационного исследования. Обоснована актуальность применения ассоциативных ВА в схеме МРС.

Во второй главе приведено описание метода разработки ВА качества продукции на основе идентификационных алгоритмов ассоциативного поиска. Представлен алгоритм построения ВА. Показано, что идентификатор в цепи обратной связи, формирующий в реальном времени ассоциативные модели, является цифровым двойником системы управления. Отмечены преимущества данного метода по сравнению с известными. Для решения проблемы формирования идентификационных моделей в замкнутом МРС-контуре, предложено использовать при формировании ассоциативного ВА процедуру Мура–Пенроуза.

Алгоритм формирования ассоциативных ВА предусматривает создание и пополнение в ходе функционирования ТП специализированных баз индуктивных знаний, содержащих: цифровые портреты и библиотеки формализованного описания различных ТП; технологические регламенты; формализованные признаки, характеризующие текущую ситуацию, в частности, формализованные мнения экспертов.

В третьей главе представлен предложенный автором метод управления с прогнозирующей моделью на основе ассоциативного ВА. Разработанный алгоритм МРС с использованием ассоциативных ВА, получил название «ассоциативного МРС».

Предложен критерий выбора горизонта прогнозирования АМРС. Приведен алгоритм построения линейной дискретной ассоциативной модели для системы управления.

В четвертой главе представлено описание практического применения разработанных алгоритмов. Приведены примеры численных экспериментов,

подтверждающих их работоспособность и эффективность. Освещено применение данных методов в управлении ТП на фабрике обогащения железорудного концентрата АО «Стойленский ГОК». Отмечено, что применение разработанных методов синтеза ВА обеспечило технико-экономический эффект в виде увеличения загрузки руды на вход головных мельниц на 2,3 % и снижение дисперсии лабораторных значений показателей качества железорудного концентрата на 34%.

В заключении изложены основные выводы по диссертационной работе и перспектива развития полученных результатов.

В приложении содержится Акт АО «Стойленский ГОК» о внедрении полученных автором результатов, подтверждающий экономический эффект внедрения.

3. Оценка новизны и достоверности научных результатов

Научная новизна работы заключается в следующих результатах:

– Разработан метод построения ВА показателей качества продукции перерабатывающих отраслей промышленности на основе алгоритма ассоциативного поиска, позволяющий повысить точность моделей ТП, в том числе для нелинейных процессов.

– Предложен метод автоматического управления с прогнозирующей моделью – «ассоциативное MPC» (АМРС), позволяющий повысить эффективность управления нелинейными нестационарными ТП непрерывных и полунепрерывных производств.

– Разработан алгоритм расчета глубины прогноза выхода объекта управления, при задании которой гарантируется достижение цели управления с учетом принятых ограничений.

– Предложены методы разработки программного обеспечения, реализующего управление ТП с ассоциативными прогнозирующими моделями нелинейных процессов и формирующего базу индуктивных знаний.

Результаты диссертационного исследования получили апробацию в рамках обсуждения на 3 международных и на 2 всероссийских конференциях. По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ: 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК

РФ, 3 из них – статьи в журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Sciences, и 2 – в других изданиях.

Таким образом, научные положения, выводы и рекомендации диссертационной работы характеризуются научной новизной.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается глубокой теоретической проработкой известных подходов, использованием апробированных методов, корректностью математических выводов при разработке ассоциативных ВА и АМРС. Для исследования применялись методы теории управления и теории идентификации, методы интеллектуального анализа данных, методы кластеризации, вычислительные методы.

Основные результаты работы по теме диссертации опубликованы в 8 научных работах; 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 из них – статьи в журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Sciences, и 2 – в других изданиях. Результаты диссертационного исследования апробированы в рамках обсуждения на 3 международных и на 2 всероссийских конференциях.

Научная и практическая значимость работы

Разработанные автором диссертации методы разработки ВА ТП непрерывных и полунепрерывных производств на основе алгоритмов ассоциативного поиска и методы автоматического управления с прогнозирующей моделью ТП с использованием ассоциативных ВА представляют значимый научный результат в теории управления технологическими процессами непрерывных и полунепрерывных производств.

Практическая значимость работы

4. Методы разработки ассоциативных ВА и методы управления с их использованием в схемах управления с прогнозирующей моделью, повышают эффективность управления ТП, что подтверждают численные эксперименты.
5. Внедрение полученных результатов на промышленном объекте документально подтверждает, что разработанные методы дают экономический эффект внедрения.

6. Замечания по диссертации и автореферату

К замечаниям можно отнести следующее:

1. «Предполагается, что при нахождении необходимого управления можно выйти за ограничение $|u| \leq U$ ». (стр.15). *Зачем задаются ограничения, если за них «можно выйти»?*

2. «Пусть система управления описывается системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений вида (формула (1), стр. 18-19)». *Следовало бы сделать ряд предположений об управляемости и наблюдаемости объекта, динамика которого описывается системой (1).*

3. «В задачах МРС наиболее распространенным видом целевой функции J является квадратичный функционал (формула (5))» (стр. 21). *Ни здесь, ни далее не определен параметр λ^2 , входящий в подынтегральную форму функционала.*

4. «Оптимизационная задача для линейного МРС с ограничениями формулируется следующим образом (формулы 7-10)» (стр. 26). *Применение функционала вида (7) возможно только для случая, когда объект (1) наблюдаем.*

5. «Предлагается искать оценку $\hat{\alpha}_0$, такую что (формула (32))» (стр. 51). *По какому параметру ищется \min в правой части (32)? Выражение (34) справедливо только в случае $\hat{X}^+ \hat{X} = I$, где матрица \hat{X}^+ , как написано в диссертации, вырожденная.*

6. Не приведено экспериментальное сравнение эффективности управления при использовании традиционных и ассоциативных ВА.

7. В диссертационной работе не нашли подробного отражения результаты исследований автора по прогнозированию показателей качества на несколько тактов вперед, а также методы прогнозирования на основе «ситуационной осведомленности» (situation awareness), содержащиеся в его опубликованных работах.

8. Не приведено экспериментальное сравнение эффективности управления при использовании традиционных и ассоциативных ВА.

9. В работе встречаются некоторые не вполне поясненные высказывания, например (с. 11): «для некоторых нелинейных объектов они (алгоритмы) дают

неадекватный прогноз». При этом в работе не встречаются ни описание проверки на адекватность традиционных алгоритмов, о которых говорится в данном фрагменте текста, ни обоснование адекватности ассоциативных алгоритмов, применяемых в разработанных автором ВА.

Однако отмеченные недостатки не снижают, в целом, положительного впечатления от работы, направленной на решение важных задач управления технологическими процессами на основе ассоциативных прогнозирующих моделей. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержащей значимые научные и практические результаты.

Заключение

Рассмотренная диссертация является законченной, самостоятельной научно-квалификационной работой. Актуальность выбранной темы не вызывает сомнений. Результаты работы получены автором лично, обладают научной новизной и практической значимостью.

Публикации автора диссертации раскрывают основные положения и результаты работы. Автореферат отражает содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор **Черешко Алексей Анатольевич** заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Диссертационная работа Черешко Алексея Анатольевича «Методы управления технологическими процессами на основе ассоциативных прогнозирующих моделей» соответствует требованиям пунктов 9-10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, с изменениями на 26 сентября 2022 года, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности по специальности 2.3.3 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

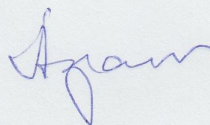
Отзыв обсуждён и одобрен на заседании департамента прикладной математики Московского института электроники и математики федерального государственного

автономного образовательного учреждения высшего образования Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» 24 декабря 2022 года, протокол № 61.

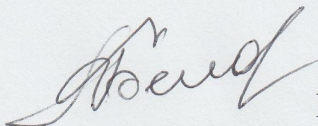
Сведения об организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ).

Адрес НИУ ВШЭ: Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20.
Почтовый адрес: Покровский бульвар, д.11, Москва, Россия, 109028
Тел: (495) 771-32-32; (495)531-00-31
Электронная почта: hse@hse.ru
Сайт: <http://www.hse.ru>

Профессор департамента
прикладной математики
МИЭМ НИУ ВШЭ,
д.т.н, профессор

 Афанасьев Валерий Николаевич

Руководитель департамента
прикладной математики
МИЭМ НИУ ВШЭ,
к.т.н., доцент

 Белов Александр Владимирович

Подпись заверено

специальность по персоналу Киселева В.П.



