

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора технических наук профессора ХАРАЗОВА Виктора Григорьевича  
на диссертацию Мусаева Андрея Александровича

«Гибридные алгоритмы прогнозирования многомерных нестационарных процессов в задачах проактивного управления сложными техническими объектами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

### **1. Актуальность темы диссертации**

Одной из важнейших проблем управления техническими системами в целом, и промышленной автоматизации, в частности, является задача формирования эффективных управляющих решений в нестабильных системах. Примерами таких систем могут служить технологические установки, связанные с управлением газодинамическими и гидродинамическими турбулентными потоками, термодинамическими процессами и т.п. Особенно характерны такие процессы для химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей, биотехнологической, металлургической промышленности и т.п.

Проблема состоит в том, что практически любое эффективное управление в явной или латентной форме носит упреждающий характер. Иными словами, при формировании управляющего воздействия требуется прогноз того, в какое состояние перейдет сложная многопараметрическая и многосвязная система под воздействием выбранных параметров управления. Данная задача успешно решена для детерминированных и стохастических систем со стационарными случайными шумами. Однако для нестабильных турбулентных сред построение такого прогноза представляет собой крайне сложную задачу, обусловленную хаотическим характером протекающих процессов и отвечающих им рядов наблюдений.

Для многих хаотических сред эта задача остается неразрешенной. Например, до сих пор не удается построить достоверный прогноз погоды на период, превышающий несколько дней. Однако в силу инерционности процессов, обладающих конечной массой и энергией, оказывается возможным, как показано в диссертации, построение краткосрочных прогнозов, допускающих формирование относительно точных оценок на небольшом интервале времени, тем не менее, достаточном для реализации выбранного управляющего воздействия.

В силу существенной нестационарности рядов наблюдений, формируемых системой мониторинга нестабильных систем, традиционные методы многомерного статистического анализа могут оказаться не только не эффективными, но, в некоторых случаях, даже не состоятельными. С другой стороны современные методы компьютерной математики, свободные от

ограничений типа стационарности, независимости, гауссовости и т.п., например, искусственные нейронные сети, могут оказаться слишком инерционными в силу длительности процесса машинного обучения.

Отсюда возникает крайне актуальная проблема построения гибридных алгоритмов прогнозирования, сочетающих достоинства методов многомерного статистического анализа и современных компьютерных технологий, представленных общей концепцией интеллектуального анализа данных (ИАД).

## **2. Основные научные результаты и их новизна**

Основным научным результатом диссертационных исследований следует считать разработку новых гибридных алгоритмов прогнозирования многомерных нестационарных процессов и их применение к задаче оперативного управления сложными техническими объектами, функционирующими в нестабильных средах погружения.

Данная задача имеет явно выраженную практическую направленность крайне актуальную для производственных процессов для многих отраслей промышленности, связанных с указанными нестабильными средами.

Решение сформулированной научной задачи включает в себя разработку ряда теоретических и прикладных вопросов, обладающих научной новизной и образующих в совокупности положения, выносимые на защиту диссертационной работы. Перечень таких задач, отражающий личный вклад автора, включает в себя разработку:

- разработку математических моделей нестационарных сложных технических объектов (НСТО), отличающихся от существующих решений тем, что системная составляющая наблюдаемых процессов представляет собой реализацию детерминированного хаоса, отражающего свойства нестабильных сред погружения.

- разработку гибридных алгоритмов прогнозирования НСТО, отличающихся от известных решений тем, что представляют собой композицию из алгоритма многомерного статистического анализа, основанного на методе канонических корреляций, и интеллектуального анализа данных, представленного в виде алгоритма эволюционного моделирования.

- методики оценивания эффективности алгоритмов прогнозирования, отличающейся от традиционного подхода, основанного на анализе локальных критериев качества (среднеквадратическое отклонение, максимальное значение отклонения прогноза), применением показателей результативности прогноза через повышение качества проактивного управления.

- разработку модульного программно-алгоритмического комплекса анализа эффективности алгоритмов управления, отличающегося тем, что в единой программной среде на унифицированной платформе совместно решаются задачи анализа данных, прогнозирования и управления НСТО.

Новизна полученных решений подтверждена апробациями и публикациями в отечественной и зарубежной печати.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений и полученных результатов.**

Обоснованность представленных алгоритмов прогнозирования и управления обеспечена их тестированием на реальных данных, полученных в процессе мониторинга состояния технологического процесса переработки нефти.

Степень достоверности полученных в диссертационной работе научных результатов подтверждается всесторонним анализом современного состояния исследований в выбранной предметной области, согласованностью результатов моделирования и расчетных примеров с реальными данными, полученными в процессе мониторинга состояния промышленных СТО, а также апробацией полученных в результате выводов в печатных трудах и выступлениях на российских и международных НТК и семинарах.

### **4. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Эффект от применения разработанных в диссертации алгоритмов прогнозирования и оценивания состоит в повышении эффективности системы управления НСТО за счет перехода к проактивной технологии управления, основанной на предложенных в работе гибридных алгоритмах прогнозирования нестационарных процессов. Экономические показатели эффективности оцениваются путем пересчета приращения значений функциональных показателей в числовые характеристики достигаемого экономического эффекта в денежной размерности. Дополнительный положительный эффект достигается за счет стабилизации показателей качества выходной продукции. В этом случае экономический выигрыш достигается за счет снижения запаса выходной продукции по качеству.

Теоретическая значимость полученных в диссертации результатов, состоит:

- в разработке математических моделей, отражающих стохастическую динамику вектора состояния СТО для нестабильных сред погружения;
- в создании алгоритмов прогнозирования многомерных нестационарных процессов, обеспечивающих повышение эффективности системы проактивного управления;
- в разработке концепции многомодульной СППР, использование которой подтвердило научную обоснованность и эффективность путей решения научно-технической задачи, поставленной в диссертации.

Практическая значимость результатов диссертационных исследований состоит:

- в создании алгоритмических и программных средств, предназначенных для прогнозирования многомерных нестационарных процессов для проактивного управления НСТО, функционирующих в нестабильных средах погружения;

- в разработке модульного программно-алгоритмического комплекса анализа эффективности алгоритмов прогнозирования как элемента проактивного управления СТО, позволяющего унифицировать решение данной задачи для различных типов систем управления и осуществлять сравнение эффективности алгоритмов прогнозирования через терминальные показатели результативности управления;

- в увеличении функциональной эффективности системы проактивного управления НСТО за счет упреждающего многовариантного прогнозирования на основе применения предложенных в работе гибридных алгоритмов.

### **5. Замечания по диссертационной работе**

К недостаткам диссертационной работы следует отнести:

1. В диссертации не приведены примеры с анализом эффективности проактивного управления с гибридными алгоритмами прогнозирования для переходных процессов, связанным с изменением режима работы технологических установок;

2. Разработанный в диссертации метод формирования корректирующего управления на основе алгоритма обратного оценивания является достаточно эффективным, однако следует указать ограничения на его применение. В частности, для задач с плохо обусловленными матрицами наблюдения обратное преобразование может оказаться вырожденным;

3. В четвертой главе диссертации приведено описание разработанного в диссертации программного модуля анализа данных, однако не указано, как следует организовать полученные результаты для использования модулями прогнозирования и управления при их использовании в полностью автоматическом режиме;

4. Выражение для системы дифференциальных уравнений (на стр. 23), описывающих функционирование ректификационной колонны, является неполным. Обычно описание колонны дополняется уравнениями материального баланса и набором функциональных ограничений. В описании переменных пропущена расшифровка индекса  $i$ ;

5. В структурных схемах алгоритмов (например, на рис. 2.2, 2.7) целесообразно использовать стрелки, указывающие на последовательность переходов и обратные связи;

6. Имеются опiski и погрешности в техническом оформлении диссертации и автореферата. В частности, имеются недостатки в качестве оформления графического материала.

Перечисленные замечания существенно не влияют на качество проделанной работы и не снижают значимости работы в целом

## **6. Внедрение полученных результатов**

Полезность и практическая направленность диссертационных исследований подтверждена 4 актами о внедрении полученных результатов на предприятиях АО НПФ «УРАН-СПб», ООО «КИНЕФ», АО «СПИК СЗМА», а также в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного технологического института. Материалы диссертационных исследований реализованы при разработке планов развития АСУ ТП, приложения по созданию системы когнитивного управления ТП с динамической оптимизацией на основе алгоритмов ИАД, системы предварительной обработки данных мониторинга состояния оборудования котельных установок, плана перспективного развития по созданию системы автоматизированного управления теплоэнергетическими установками с использованием ИАД, перспективной системы статистического анализа результатов мониторинга состояния НСТО и системы когнитивного управления ТП и в учебном процессе при изучении дисциплины «Интеллектуальный анализ данных».

## **7. Апробация и публикации полученных результатов**

Материалы исследований, представленные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на межрегиональных, всероссийских, международных научно-технических конференциях IEEE Northwest Russia Conf. on Math. Methods in Engineering and Technology (Санкт-Петербург, 2018), 13th International Symposium on Intelligent Distributed Computing (Санкт-Петербург, 2019), X International scientific and practical conference «Modern European science - 2014» (Sheffield, 2014), конгрессе молодых ученых (Санкт-Петербург, 2018), а также на научно-технических семинарах лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИ-ИРАН.

По теме диссертации опубликовано 13 печатных трудов, в том числе: 6 публикаций в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, утвержденных ВАК («Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)», «Нефтепереработка и нефтехимия», «Известия вузов. Приборостроение.», «Вестник технологического университета»), 2 публикации в изданиях, индексируемых в Scopus.

## **8. Соответствие паспорту специальности**

Представленные в диссертации научные и квалификационные материалы отвечают пунктам паспорта специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации: п.4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п.5. «Разработка специального математи-

ческого и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п.10. «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах».

### **9. Заключение**

Диссертационная работа Мусаева Андрея Александровича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, содержит решение актуальной научной задачи, посвященной созданию гибридных алгоритмов прогнозирования многомерных нестационарных процессов для проактивного управления СТО.

Автореферат в достаточной степени соответствует диссертационной работе и содержит все необходимые составляющие.

Диссертация А.А. Мусаева является завершенной научной и квалификационной работой и полностью отвечает требованиям пунктов 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что Мусаев Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01: «Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)».

Официальный оппонент

профессор кафедры автоматизации процессов химических производств Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) д.т.н., профессор

В.Г. Харазов

«11» июня 2021г.

Подпись профессора В.Г. Харазова заверяю

Почтовый адрес: 198013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26.  
Тел. +7(812) 494-9253  
E-mail: vikharazov@yandex.ru