



**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**  
федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**  
**И ДИЗАЙНА»**  
(СПбГУПТД)

Б. Морская ул., д. 18, Санкт-Петербург, 191186  
Тел. (812) 315-75-25 Факс (812) 571-95-84  
E-mail: rector@sutd.ru http://www.sutd.ru  
ОКПО 02068605, ОГРН 1027809192102,  
ИНН/КПП 7808042283/784001001

03.06.2021 № 38-03-38/03-34

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной  
работе СПбГУПТД  
д.т.н., проф.

А.Г. Макаров

\_\_\_\_\_ 202 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» на диссертацию Мусаева Андрея Александровича «Гибридные алгоритмы прогнозирования многомерных нестационарных процессов в задачах проактивного управления сложными техническими объектами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)»

### 1. Актуальность темы

Развитие современных систем управления связано с общей тенденцией перехода к проактивным технологиям, основанным на прогнозировании состояния выходных характеристик и состояния объекта управления (ОУ). Примерами реализации такого подхода являются APC (advanced process control) и MPC (model prediction control) технологии управления промышленными объектами. Применение проактивных технологий позволяет существенно повысить эффективность управления при условии наличия устойчиво функционирующих алгоритмов прогнозирования. В то же время создание систем прогнозирования для нестабильных ОУ, динамика состояния которых представляет собой многомерный нестационарный процесс, является крайне сложной задачей, не допускающей однозначных аналитических решений. Особенно остро данная проблема стоит в отношении ОУ, связанных с хаотическими процессами. Примерами таких ОУ могут служить



технологические процессы химической, нефтеперерабатывающей, биотехнологической и других видов промышленности, связанных с гидро- и газодинамическими потоками.

Отсюда непосредственно вытекает актуальность темы диссертации, посвященной проблеме создания алгоритмов прогнозирования многомерных взаимосвязанных нестационарных процессов.

## **2. Научная новизна и достоверность результатов**

Главной отличительной чертой исследований, приведенных в диссертационной работе, является создание алгоритмов прогнозирования, ориентированных на модель наблюдения с хаотической системной составляющей и нестационарными случайными погрешностями (шумами).

Как было доказано в работе, такой процесс в наибольшей степени соответствует динамике изменения вектора состояния ОУ в нестабильных средах взаимодействия. Очевидно, что характер такой модели не соответствует ограничениям и предположениям, характерным для традиционных методов статистического анализа данных. Отсюда непосредственно вытекает неопределенность в результативности использования классических алгоритмов прогнозирования, основанных на регрессионных методах экстраполяции, и, как следствие, необходимость перехода к гибридным алгоритмам предсказания, сочетающих в себе возможности статистических методов и технологий современной компьютерной математики.

Основными результатами, обладающими научной новизной и характеризующими личный вклад автора, является создание:

– математических моделей НСТО, отличающихся от существующих решений из области ИАД тем, что системная составляющая наблюдаемых процессов представляет собой реализацию детерминированного хаоса, отражающего свойства нестабильных сред погружения;

– гибридных алгоритмов прогнозирования НСТО, отличающихся от существующих решений из области МРС 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, отличающаяся от традиционного подхода, основанного на анализе локальных критериев качества (среднеквадратическое отклонение, максимальное значение отклонения прогноза), оцениванием показателей результативности прогноза через повышение качества проактивного управления;

– 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.

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.

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

Степень обоснованности научных положений, выводов и полученных 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 выводов в печатных трудах и выступлениях на российских и международных НТК и семинарах.

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

Теоретическая значимость полученных в диссертации результатов, состоит:

- в разработке моделей, методов и алгоритмов для решения задачи прогнозирования многомерных нестационарных процессов, обеспечивающих повышение эффективности системы проактивного управления;

- в реализации многомодульной СППР, которая подтвердила 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.

Конечный 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.

#### **5. Апробация, публикации и внедрение полученных результатов**

Результаты диссертационной работы 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), конгресса молодых ученых (Санкт-Петербург, 2018), а также на научно-технических семинарах лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН.

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.

#### **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов**

Предложенные модели, алгоритмы и программные средства могут быть использованы для дальнейшего развития систем проактивного управления.

В качестве рекомендаций для дальнейшей разработки темы предлагается переход к системе когнитивных ассистентов и системе развивающихся программных роботов, т. е. переход от проактивной СУ НСТО к полностью автоматическому управлению на основе методов и технологий искусственного интеллекта.

Основные результаты работы и перечисленные достоинства позволяют сделать вывод о практической значимости работы и рекомендовать для внедрения в следующих организациях: АО «СПИК СЗМА», ООО «КИНЕФ», НПФ «Уран-СПб», Санкт-Петербургском Государственном университете, Санкт-Петербургском Государственном технологическом институте (технологическом университете), Санкт-Петербургском горном университете.

#### **7. Замечания к диссертации**

Диссертация не лишена некоторых недостатков, среди которых необходимо отметить:



1) в диссертации отсутствует сравнение предложенных гибридных алгоритмов с возможным построением альтернативы на основе технологии композиционных алгоритмов;

2) в качестве нейросетевого варианта построения алгоритма прогнозирования нестационарных процессов в работе рассмотрена двухслойная искусственная нейронная сеть с обратным распространением ошибки. Представляет интерес рассмотреть другие варианты ИНН для решения этой задачи, например, эволюционирующие сети или сети с подкреплением;

3) в качестве сквозного примера рассмотрена задачи корректирующей стабилизации вектора состояния ректификационной колонной. Представляет интерес рассмотреть другие примеры, с более выраженной степенью нелинейности;

4) разработка программно-алгоритмического модуля на языке программирования, допускающего компиляцию программного кода, позволила бы сделать его более универсальным и доступным для практического применения;

5) в работе имеются недостатки редактирования и технического оформления, имеют место отдельные опечатки, неоднозначности, тяжело сформулированные фразы.

Приведенные замечания не снижают общего впечатления от проделанной работы и значимости представленных результатов.

## **8. Заключение**

Диссертационная работа Мусаева Андрея Александровича является завершенной научной и квалификационной работой, содержащей законченное решение актуальной научно-технической задачи разработки гибридных алгоритмов прогнозирования многомерных нестационарных процессов для проактивного управления сложными техническими объектами.

Основное содержание работы, выводы и результаты диссертационных исследований в достаточной степени отражены в автореферате. Автореферат полностью соответствует диссертационной работе и содержит все необходимые составляющие.

Диссертация А.А. Мусаева 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, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01: «Системный анализ, управление и обработка информации».

Положения, выносимые на защиту, соотнесены с пунктами 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 математического 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».

Настоящий отзыв на диссертационную работу А.А. Мусаева рассмотрен и утвержден на заседании кафедры информационных технологий Института информационных технологий и автоматизации СПбГУПТД, протокол № 8 от « 27 » мая 2021г.

Заведующий кафедрой информационных технологий  
д.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ В.И. Пименов

Профессор кафедры информационных технологий  
д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.А. Санников

Доцент кафедры информационных технологий  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Т.А. Кравец

Подписи подтверждаю:

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

Адрес: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18

Телефон: (812) 315-75-25

E-mail: rector@sutd.ru, priemcom@sutd.ru

Сведения о составителях отзыва:

ФИО: Пименов Виктор Игоревич

Уч. степень, уч. звание: доктор технических наук, доцент

Должность: заведующий кафедрой информационных технологий СПбГУПТД

Телефон: (812) 310-17-88

ФИО: Санников Владимир Антонович

Уч. степень, уч. звание: доктор технических наук, профессор

Должность: профессор

Телефон: (812) 310-17-88

ФИО: Кравец Татьяна Александровна

Уч. степень, уч. звание: кандидат технических наук, доцент

Должность: доцент

Телефон: (812) 310-17-88