

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**Кузбасский научный центр Сибирского отделения  
Академии инженерных наук имени А.М. Прохорова**

**Кемеровское региональное отделение САН ВШ  
ООО «Объединённая компания Сибшахтострой»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ  
И ПРОИЗВОДСТВЕ  
AS' 2019**

**ТРУДЫ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

*(с международным участием)*

**Новокузнецк  
2019**

**УДК 658.011.56**  
**С 409**

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор С.М. Кулаков,  
д.т.н., профессор Л.П. Мышляев

**С 409** Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2019: труды XII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) / Мин-во науки и высшего образования РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т [и др.]; под общ. ред.: С. М. Кулакова, Л. П. Мышляева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. - 376 с.: ил.

ISBN 978-5-7806-0536-2

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам автоматизации управления технологическими процессами и предприятиями, социально-экономическими системами, образованием и исследованиями. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

### **ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

ОК «Сибшахтострой» (г. Новокузнецк),  
ООО «АТЭСКО Сибирь» (г. Новосибирск),  
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления»  
(г. Новокузнецк)

ISBN 978-5-7806-0536-2

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2019

расчете параметров модального регулятора, при их тестировании в режиме реального времени показали, что требуемая тактовая частота CPU современного компьютера в составе автоматизированной системы модального управления не превышает 500 МГц.

#### Библиографический список

1. Федосенков, Б.А. Научно-технические основы создания и моделирования автоматизированных систем управления непрерывными смесеприготовительными процессами / Б.А. Федосенков // Авт. реферат дисс. д-ра техн. наук, 05.13.06: М.: Издат. комплекс МГУПП, 2005. 55 с.
2. Малла, С. Вейвлеты в обработке сигналов / С. Малла. М.: Мир, 2005. – 673 с.
3. Auger, F., Chassande-Mottin, E. Quadratic time-frequency analysis I: Cohen's class / in "Time-frequency analysis: concepts and methods", ISTE. - 2008 (January). – pp. 131-163.
4. Ackermann, J.E. Der Entwurf linearer Regelungssysteme im Zustandsraum, Regelungstechnik und Prozessdaten Verarbeitung / J.E. Ackermann. – 7 (1972). – P. 297-300.
5. Стрейц, В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления / Пер. с англ. Под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1985. – 296 с.
6. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учебное пособие / Д.П. Ким. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с.

### О НАТУРНО-МОДЕЛЬНОМ ПОДХОДЕ И ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

**Евтушенко В.Ф.<sup>1</sup>, Ивушкина А.А.<sup>2</sup>, Венгер К.Г.<sup>3</sup>, Мышляев Л.П.<sup>4</sup>, Макаров Г.В.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

<sup>2</sup>ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

<sup>3</sup>Администрация Кемеровской области, г. Кемерово, Россия

<sup>4</sup>ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

Направления исследований в рамках научной школы «Теория и практика систем автоматизации на базе натурно-модельного подхода» кафедры автоматизации и информационных систем СибГИУ связаны с решением широкого круга задач по созданию систем автоматизации управления (САУ) промышленными комплексами (предприятиями, цехами, технологическими процессами и агрегатами).

Постановки и решения задач базируются на использовании натурно-модельного подхода, [1,2] который представляет собой тесную интеграцию модельного и натурального подходов. Первый опирается на использование теоретических методов и эффективен только для идеализированных схем, удовлетворяющих, как правило, очень жестким исходным предположениям. Второй базируется на эвристических соображениях, полученный практический опыт без должного теоретического обоснования. Несомненно, что каждый из них обладает своими конкретными достоинствами. Однако присущие им недостатки не позволяют добиться желаемых результатов при их раздельном применении.

Совместное использование этих подходов с разумным учетом их достоинств, а также методов внутри каждого из них дает возможность эффективно проводить все этапы разработки, внедрения и развития в ходе эксплуатации всех видов обеспечения и функций САУ.

Такой комплексный натурно-модельный подход прошел многолетнюю теоретическую и практическую проверку при автоматизации управления в горной и металлургической отраслях промышленности [1]. Полученные здесь результаты показали высокую эффективность модернизированных и созданных вновь САУ промышленными комплексами. Все применяемые методы и алгоритмы, полученные на базе натурно-модельного подхода, удовлетворяют жест-

ким ограничениям на объем и качество априорной информации, присущим натурным действующим САУ, в частности, отсутствию адекватных математических моделей «в большом»; ограниченными возможностями проведения активных экспериментов на объектах в режимах их рабочей эксплуатации; минимальным сведениям о свойствах различного рода возмущений; непредвидимым возможным изменениям целей управления; замене компонентов сырых материалов; модернизации самих объектов управления в ходе эксплуатации и т.п.

Реализация натурно-модельного подхода позволяет в полной мере учитывать все требования к разработке и внедрению современных САУ: ограниченные сроки проектирования, пусконаладки и вывода на запланированные показатели; опережающую реализацию информационных функций системы еще при подготовке объекта к испытанию и опытной эксплуатации; введение в действие всех элементов управляющей подсистемы одновременно с технологическим и вспомогательным оборудованием.

Одним из важных инструментов натурно-модельного подхода являются методы и алгоритмы натурно-математического моделирования с использованием типопредставительных ситуаций (ТПС), которые развивают общую концепцию натурно-модельного подхода в моделировании систем управления. При натурно-математическом моделировании в качестве натурной части используются действующие системы управления, представленные в виде их информационного отображения [3].

Информационное отображение объекта (системы) управления представляет собой упорядоченное во времени и пространстве множество зарегистрированных реализаций, отражающих динамику входных, выходных воздействий и переменных состояния объекта (системы), а также ограничения на диапазон их изменений [3].

Под ТПС понимают предназначенную для отображения характерных фактических свойств и условий функционирования натуральных объектов (систем управления в целом) следующую взаимосвязанную совокупность элементов:

- структуры объекта;
- информационные отображения объекта;
- признаки, характеризующие внешние и внутренние условия функционирования объекта, и области их допустимого изменения;
- структуры и значения параметров математических моделей каналов преобразования отклонений управляющих и контролируемых внешних воздействий в отклонения выходных воздействий (пересчетных математических моделей), области их работоспособности;
- реализации приведенных к выходу и (или) управляющему входу возмущающих воздействий или их аналогов;
- критерии эффективности функционирования САУ [3].

Конечное множество ТПС рассматривается в качестве натурно-модельного блока, методы и способы разработки и применения которых составляют основу натурно-математического моделирования. [3].

В состав моделирующих комплексов информационные отображения действующей системы управления подключаются посредством особого класса пересчетных математических моделей. Натурные звенья производственной системы с подключенными к ним пересчетными моделями позволяют получить количественную оценку того, что было бы на выходе действующего объекта, если вместо решений рабочей управляющей системы были бы реализованы модельные решения, например, исследовательского характера. Последовательное развитие натурно-математического моделирования с необходимым его методическим и алгоритмическим обеспечением содержится, например, в работах [4-6].

Разработанные в рамках научной школы «Теория и практика систем автоматизации на базе натурно-модельного подхода» кафедры автоматизации и информационных систем СибГИУ научные основы натурно-модельного подхода в настоящее время продолжают развиваться и использоваться для эффективного решения широкого спектра прикладных задач автоматизации управления. Область эффективного применения этого подхода позволяет учитывать существенно большую часть свойств, особенностей и условий функционирования натуральных

действующих объектов и систем управления. В частности, это относится и к таким САУ, объекты управления в которых функционируют при наличии большой неопределенности, резких и существенных изменений внешних воздействий, в том числе и неконтролируемых.

Преимущества применения натурно-модельного подхода, в частности, натурно-математического моделирования с привлечением ТПС и поисковых методов оптимизации по сравнению с другими подходами, например, с прецедентным подходом, несомненны.

Во-первых. Решения, полученные с помощью прецедентных подходов, являются только лучшими среди некоторого конечного множества решений, накопленных по опыту управления на конечной предыстории функционирования рассматриваемого объекта управления. И они (эти решения) могут быть далекими от оптимальных значений по целевым критериям функционирования САУ. В то же время решения, найденные с помощью натурно-математического моделирования с использованием ТПС и поисковых методов, могут быть оптимальными по этим критериям с требуемой точностью. Другими словами, натурные реализации управляющих воздействий могут быть скорректированы, в том числе и в процессе рабочего управления, с применением пересчетных математических моделей, как элементов ТПС, обеспечивая тем самым более высокий (по сравнению с зафиксированным на предыстории) уровень качества управления САУ.

Во-вторых. Результаты решений, полученные на конечной предыстории данных собственного функционирования, являются, в общем-то бесперспективными для рассматриваемой САУ, так как они не могут обеспечить более высокое качество управления по сравнению с зафиксированными на предыстории. В принципе они, конечно, могут несколько повысить оценку его среднего уровня, но не выше, чем для лучшего прецедента.

Одним из важных условий эффективного применения натурно-модельного подхода является наличие натурной действующей САУ и предыстории ее функционирования, что позволяет сформировать по результатам ее работы базу данных ТПС. Это условие может не выполняться, например, на этапе создания новой системы управления, когда по этой системе не существует опробованных решений. Соответственно, нет и базы типопредставительных ситуаций. Для ее формирования требуется проведение активных экспериментов, что не всегда возможно, или обработка большой выборки данных с достаточным количеством информативных участков. Формирование такой базы после запуска объекта приводит к потере продукции, снижению качества, значительным затратам, пока система не настроена.

Выходом из такой ситуации может быть использование других, уже действующих САУ для формирования базы данных ТПС создаваемой системы. Для новых объектов и систем управления ими, чаще всего специально разрабатывают их физические (лабораторные или полупромышленные) модели. Формирование базы ТПС для создаваемых систем с использованием таких моделей возможно в том случае, когда доказано подобие натуральных и модельных систем управления [7]. Разработанные для таких исследований модели должны включать управляющую систему и опираться не на известные для объектов и процессов критерии традиционной теории подобия, а обеспечивать подобие системы управления в целом, поскольку замыкание объекта управления обратными связями (отрицательными, положительными) ведет к изменению закона преобразования внешних воздействий без какого-либо вмешательства в структуру и свойства самого объекта. При использовании таких физических моделей есть возможность проведения серии запланированных экспериментов на большом диапазоне изменений рабочих значений технологических переменных, для различных базовых уровней, которые в производстве могут существенно меняться в зависимости от исходного сырья, требований к общей производительности или нерегламентированной смене оборудования.

Подобные системы управления характеризуются точным или приближенным равенством целевых показателей эффективности управления. Для оценивания такого подобия в некоторых частных случаях сформированы показатели [8], включающие характеристики разомкнутой модели объекта управления, возмущающих воздействий и системы управления,

а в случае выполнения условий подобия даны правила пересчета с физической модели на натурные объекты и системы управления.

В заключении отметим, что при решении практических задач целесообразно исходить из принципа: нет «плохих» методов, есть «неправильное» их применение. При этом под «правильным» применением понимается обязательное наличие соответствия между предпосылками, ограничениями, характеризующими область эффективного применения используемых методов, и свойствами, особенностями и условиями функционирования натуральных систем, для которых эти методы применяются.

С этой точки зрения натурно-модельный подход обладает рядом достоинств. В частности, он эффективен для нелинейных систем, функционирование которых характеризуется высоким уровнем неопределенности, вызванной, например действием широкого спектра неконтролируемых возмущений, в том числе и при резких и значительных изменениях. А при сочетании с методами теории подобия применительно к системам управления он дает хорошие результаты и при создании САУ новыми технологическими процессами и комплексами.

По сравнению с прецедентным подходом натурно-модельный подход, выполняя функционально близкие алгоритмические операции обработки данных предыстории собственного функционирования, существенно выигрывает в определении конечных результатов. В частности, за счет использования дополнительных алгоритмических блоков здесь осуществляется не только выбор из предыстории одного из вариантов управляющих решений, как это делается в прецедентном подходе, но и ведется их корректировка с целью получения оптимальных результатов.

#### Библиографический список

1. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х т. Т2: Системы автоматизации производственного назначения / Под ред. Л.П. Мышляева. – Наука, 2006. – 483 с., ил.
2. Мышляев Л.П. Построение и применение натурно-модельных комплексов / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, А.Е. Щелоков. – М.: Электрика, 2000. – 48 с.
3. Емельянов С. В. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С. В. Емельянов, С. К. Коровин, Л. П. Мышляев и др. — Кемерово; М.: Издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.
4. Авдеев В.П. К основам натурно-математического моделирования / В.П. Авдеев // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1979. – №6 – с.131-134.
5. Натурно-математическое моделирование в системах управления: учеб. пособие / В.П. Авдеев, С.Р. Зельцер, В.Я. Карташов, С.Ф. Киселев; КемГУ. – Кемерово, 1987. – 85 с.
6. Тараборина Е.Н. Разработка и применение для технологических объектов многовариантных структур с приобъектно-пересчетными моделями: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.Н. Тараборина; СМИ. – Новокузнецк, 1993. – 23 с. : граф. – Библиограф.: с. 25.
7. Мышляев, Л.П. Понятия и условия подобия систем управления / Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Березин Д.Г., Ивушкин К.А., Макаров Г.В. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2012. - №12. –с. 58-60.
8. Макаров Г.В. Оценивание подобия систем управления / Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин, В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: Труды Седьмой научно-практической конференции. – Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2016. – С. 170 – 177.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ</b>	<b>5</b>
ИНТЕГРАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА (К 60 –ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ «АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ») <b>Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Ивушкин А.А.</b>	<b>7</b>
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С НАКОПЛЕНИЕМ ОПЫТА ВЫРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ <b>Кулаков С.М., Ляховец М.В., Койнов Р.С., Тараборина Е.Н.</b>	<b>9</b>
СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СРЕДЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ В СОЧЕТАНИИ С ВЕЙВЛЕТ-МОНИТОРИНГОМ ТЕКУЩИХ РЕЖИМОВ <b>Федосенков Д.Б., Симикова А.А., Федосенков Б.А.</b>	<b>16</b>
О НАТУРНО-МОДЕЛЬНОМ ПОДХОДЕ И ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ <b>Евтушенко В.Ф., Ивушкин А.А., Венгер К.Г., Мышляев Л.П., Макаров Г.В.</b>	<b>21</b>
КОНЦЕПЦИЯ «ИНДУСТРИЯ 4.0». НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПИРОМЕТАЛЛУРГИИ <b>Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Шнайдер Д.А., Краснобаев А.В.</b>	<b>25</b>
ЦИФРОВИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ <b>Мышляев Л.П., Венгер К.Г., Грачев В.В.</b>	<b>29</b>
<b>СЕКЦИЯ 1 АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ</b>	<b>33</b>
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В РЕГИОНАХ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА <b>Литвинцева Г.П.</b>	<b>35</b>
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЫРЬЕВЫМИ И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В ДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <b>Гурин И.А., Спирин Н.А., Истомина А.С., Носков В.Ю.</b>	<b>40</b>
ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕНОСА ОБЪЕКТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦИКЛ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ РОМЫШЛЕННОГО РОБОТА <b>Лицин К.В., Меркулин П.О., Фукс Е.А.</b>	<b>44</b>
РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ПО КОМПЛЕКСНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ УГЛЯ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ <b>Мурко В.И., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Чаплыгин В.В., Литвинов Ю.А., Волков М.А.</b>	<b>48</b>

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ  
И ПРОИЗВОДСТВЕ  
AS' 2019**

**Труды XII Всероссийской научно-практической конференции  
(с международным участием)  
28-30 ноября 2019 г.**

Под общей редакцией  
д.т.н., проф. С.М. Кулакова,  
д.т.н., проф. Л.П. Мышляева

Материалы докладов изданы в авторской редакции.

Подписано в печать 18.11.2019 г.  
Формат бумаги 60x84 1/8. Бумага писчая. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 22,12. Уч.-изд. л 24,59. Тираж 300 экз. Заказ № 289

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.  
Издательский центр СибГИУ