

**Министерство образования и науки 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
АО «Евраз - Объединённый Западно-Сибирский
металлургический комбинат»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ
И ПРОИЗВОДСТВЕ
AS' 2017**

**ТРУДЫ XI ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
*(с международным участием)***

**Новокузнецк
2017**

С 409 Системы автоматизации в образовании, науке и производстве : Труды XI Всероссийской научно-практической конференции / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2017. - 475 с., ил.

ISBN 978-5-7806-0502-7

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.

Организации, поддержавшие конференцию:

ОК «Сибшахтострой» (г. Новокузнецк),
ЗАО «Стройсервис» (г. Кемерово),
ООО «Центр сварки и контроля» (г. Кемерово),
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления» (г. Новокузнецк),
ООО «Синерго СОФТ СИСТЕМС» (г. Новокузнецк).

Конференция проведена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-07-20581.

ISBN 978-5-7806-0502-7

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

$$N_i = 1 - p_i > 1 - p_j = N_j$$

или $p_j > p_i$. Что доказывает требования теоремы.

Чтобы соблюдалось условие

$$N_{01} > N_i,$$

необходимо

$$N_{01} = \left[\frac{(s-n)(s-n-1)}{(n-1)} + (2 - p_i - p_j) + (1 - p_i p_j) \frac{(n-2)}{(s-2)} \right] > (1 - p_i) + (1 - p_i p_j) \frac{(n-2)}{(s-2)}$$

$$N_{01} = \frac{(s-n)(s-n-1)}{(n-1)} + 2 - p_j > 1$$

$$\frac{(s-n)(s-n-1)}{(n-1)} + 1 > p_j$$

То есть всегда, когда $s > n + 2$.

Стоит подчеркнуть, что последовательность строк, задаваемая теоремой 2, выполняется только в среднем, а не в каждом конкретном случае.

Библиографический список

1. Чадеев В.М., Илюшин В.Б. Метод идентификации, учитывающий априорную информацию о параметрах объекта // Труды V Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO '06. Москва, 30 января – 2 февраля 2006 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2006. С. 1091-1105.
2. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М., "Энергия", 1975.
3. Чадеев В.М., Гусев С.С. Идентификация с ограничениями. Определение оценок параметров статического объекта // Труды VII Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO '08. Москва, 28 - 31 января 2008 г. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2008. С. 261-269.
4. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с.
5. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: Московский психолого-социальный институт, 2005. – 584 с.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Мышляев Л.П.¹, Евтушенко В.Ф.¹, Ивушкин К.А.², Макаров Г.В.¹

¹Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия

²ООО ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

Разработка и внедрение систем управления связаны с необходимостью широкого применения методов моделирования и, соответственно, моделей объектов и систем управления. Для оценивания эффективности моделей используют показатели адекватности и/или подобия, при этом одним из важных требований к модели является обеспечение переноса результатов модельных решений на оригинал (натурную систему управления) и его составляющие.

Согласно определениям подобия и адекватности, изложенным в [1,2], подобие – это «такое соответствие между оригиналом и моделью, при котором известны *правила перехода* от параметров модели к параметрам объекта и наоборот, а математическое описание (если оно известно или может быть получено) допускает преобразование их к тождественному виду». В свою очередь, адекватность модели – «это ее способность отображать заданные свойства и условия функционирования объекта с требуемой точностью». Из этого вытекает, что

подобие объектов и систем управления является более общим понятием, чем адекватность, и включает в себя *не только оценку близости модели и оригинала, но и процедуры (методы, правила) перехода от параметров модели к параметрам оригинала и наоборот.*

Особенно важное значение требование о переносе решений, полученных в модельной системе, на натурную приобретает в тех случаях, когда их координатная и временная размерности не совпадают. В частности, когда в модельной системе управляемой частью является физическая модель натурального объекта. В таких случаях понятия адекватности модели становится недостаточным для обоснованного переноса (пересчета) модельных решений на натурные системы.

Пересчет полученных результатов с одной системы на другую в теории и практике управления встречается довольно часто в следующих классах задач

- исследование процессов (технических, социально – экономических и др.) на различных типах моделей для создания новых процессов и агрегатов, производств, организационных структур [3];

- непосредственно при управлении в классах структур систем управления с прогнозирующими моделями, например, [4];

- при полигонных испытаниях и настройке систем управления, в частности, [5].

Таким образом, основываясь на определениях, приведенных в [1,2], можно сделать вывод, что *обоснованный перенос (пересчет) результатов с одной системы управления на другую возможен только, если они подобны.* Для определения подобия конструктивных характеристик неуправляемых объектов и протекающих в них процессов преобразования энергии и вещества в настоящее время хорошо разработаны и широко применяются методы и критерии традиционной теории подобия [1]. Однако они не могут быть успешно использованы для определения подобия систем управления [6], *что требует их существенных дополнений и развития, не только для систем в целом, но и для их основных составляющих* [6,7].

Этот вывод подтверждается также принципиальным отличием в структуре математических моделей, используемых в традиционной теории подобия и теории управления. Современная теория подобия опирается на математические модели фундаментальных дисциплин [1]. Но в теории и практике создания систем автоматического управления используют особый класс моделей, существенно отличающийся «от моделей, эксплуатируемых в таких фундаментальных дисциплинах, как физика, химия» [8] и отражающий «важнейшие свойства объекта управления по отношению к заранее заданным входным и выходным переменным» [8]. Другими словами, они должны совместно отображать как динамику каналов преобразования внешних воздействий, так и свойства самих воздействий [9].

В то же время можно отметить частные примеры применения некоторых показателей подобия при решении инженерных задач анализа и синтеза систем управления. Во – первых, это отношение времени чистого запаздывания к постоянной времени инерции, используемое, в частности, в инженерных методах выбора и настройки законов регулирования [10]. Во – вторых, при оценивании области эффективной работы систем регулирования с обратной связью сопоставляется время чистого запаздывания динамического канала преобразования регулирующих воздействий с интервалом спада автокорреляционной функции приведенных к выходу объекта возмущений [10].

Исследования, связанные с развитием теории подобия применительно к системам управления, должны быть направлены, по нашему мнению,

- на выработку основных понятий и аксиом (в частности, в виде утверждений) подобия систем управления, отражающих требуемые свойства не только подобных систем управления в целом, но и отдельных ее составляющих, включая и внешние воздействия;

- на разработку процедур, методов и алгоритмов оценивания и управления подобием систем управления, позволяющих в конечном итоге решать задачи исследования и настройки одной из подобных систем (например, модельной) с последующим пересчетом результатов на другую;

- применение разработанных процедур, методов и алгоритмов для натуральных (технических, социально – экономических и других) систем с целью эффективного решения кон-

кретных задач управления.

В основу развития теории подобия систем управления положены следующие утверждения.

Утверждение 1. Системы управления подобны, если показатели (критерии) эффективности их функционирования равны с точностью до заданного значения.

Это утверждение для j -й и l -й систем управления можно записать в виде

$$\|q_j^H\{(t-T), t\} - q_l^H\{(t-T), t\}\| \leq \delta q_{jl}^{H*}; \quad j \neq l; \quad j = \overline{1, J}; \quad l = \overline{1, L}, \quad (1)$$

где $\| \cdot \|$ – мера близости;

$q_j^H\{(t-T), t\}$ и $q_l^H\{(t-T), t\}$ – значения нормированных целевых показателей эффективности функционирования на заданном интервале времени T , соответственно, j -ой и l -ой систем управления;

t – непрерывное или дискретное время;

δq_{jl}^{H*} – величина, определяемая предельно допустимый (заданный) порог близости нормированных показателей $q_j^H\{(t-T), t\}$ и $q_l^H\{(t-T), t\}$, при котором эффективность этих систем считается одинаковой; J и L – число систем управления.

Нормирование целевых показателей осуществляется, например, по выражению

$$q^H\{(t-T), t\} = \frac{q\{(t-T), t\}}{q_{\max}}, \quad (2)$$

где $q_{\max}$ – максимально возможное значение целевых показателей систем управления.

Утверждение 2. Степень подобия систем управления есть количественная мера близости показателей эффективности управления этими системами.

Примером метода количественного оценивания степени подобия служит метод коррелированных процессов, изложенный в [11], где предлагается осуществлять «установление степени соответствия исходной и упрощенной систем ... по корреляционным моментам статистических значений вероятностных характеристик» этих систем. Кроме того, степень подобия можно оценить на основе соотношения (1).

Утверждение 3. Объекты в системах управления подобны, если они удовлетворяют условиям совместного подобия контролируемых и неконтролируемых внешних воздействий и динамических каналов их преобразовании. Это условие записывается в виде равенства с точностью до заданного малого числа эффектов влияния изменений входных воздействий на выходные воздействия объекта управления.

Неконтролируемые воздействия можно оценить расчетным путем или экспериментально за счет приведения их к выходу [10] или к одному из управляющих входов [12] объекта управления.

Условие совместного подобия записывается, например, с помощью следующих выражений

$$\|y_j^H\{(t-T), t\} - y_l^H\{(t-T), t\}\| \leq \delta y^*; \quad j \neq l; \quad j = \overline{1, J}; \quad l = \overline{1, L}; \quad (3)$$

$$y_j\{(t-T), t\} = \int_{t-T}^t \varphi_{vj}(\theta) \{v_j(t-\theta)\} d\theta; \quad (4)$$

$$y_l\{(t-T), t\} = \int_{t-T}^t \varphi_{vl}(\theta) \{v_l(t-\theta)\} d\theta; \quad (5)$$

$$v(t) \in \{w(t), u(t)\}, \quad (6)$$

где $v(t)$, $w(t)$, $u(t)$, $y(t)$ – соответственно, входные, внешние, управляющие и выходные воздействия объекта управления в момент времени t ;

T – интервал оценивания реакции объекта управления на изменение входных воздействий;

$\varphi_v\{\cdot\}$ – динамический оператор канала преобразования входных в выходные воздействия;

δy^* – величина, определяемая предельно допустимый порог близости нормированных значений $y_j''\{(t-T), t\}$ и $y_l''\{(t-T), t\}$;

θ – вспомогательная переменная;

J и L – число систем управления.

Если условия подобия систем управления, например, по соотношению (1) не выполняются, то рассчитывают степень подобия рассматриваемых систем управления. Количественно ее можно оценить либо мерой разности $\delta q_{jl}''$, полученной по соотношению (1) в безразмерной форме, либо по коэффициенту корреляции между целевыми показателями, отражающими эффективность функционирования этих систем [11]. Если значение степени подобия j -й и l -й систем управления не соответствует требуемому, то оценивается возможность достижения подобия систем управления за счет последующего целенаправленного изменения свойств j -й и l -й систем управления и их воздействий. Процесс воздействия на системы управления и их отдельные составляющие, направленный на выполнение условий подобия, будем называть *управлением подобием систем и их составляющих*.

Управление подобием систем управления базируется на следующих утверждениях.

Утверждение 4. Системы управления потенциально подобны, если точное или приближенное равенство значений их целевых показателей (критериев) эффективности управления может быть достигнуто за счет целенаправленных воздействий на изменение динамических свойств систем в целом и (или) их элементов, включая и внешние воздействия.

Утверждение 5. Объекты управления потенциально подобны, если условие совместного подобия их объектов и входных воздействий на конечном интервале времени T может быть достигнуто за счет целенаправленных воздействий на изменение динамических свойств контролируемых и неконтролируемых внешних воздействий и каналов их преобразования.

Утверждение 6. Системы управления принципиально не подобны, если точное или приближенное равенство значений их целевых показателей (критериев) эффективности управления не может быть достигнуто за счет целенаправленных воздействий на изменение динамических свойств систем в целом (без изменения их структуры) и/или их элементов, включая и внешние воздействия.

Сформулированные утверждения являются основой для разработки методов и алгоритмов оценивания и управления подобием систем управления и, соответственно, исследования систем управления на основе их подобия.

При этом полагается, что все структурное многообразие систем управления можно с точки зрения их подобия представить в виде трех классов: *подобные, потенциально подобные и принципиально не подобные системы управления*.

Процесс управления подобием систем включает текущее оценивание степени подобия систем управления и, если подобие нарушено, выработку управляющих воздействий подобием, целенаправленно изменяющих состояние любого элемента систем управления. Отметим, что такое целенаправленное изменение свойств одной из систем управления может существенно расширить область эффективного применения модельных систем управления при решении практических задач, в частности, связанных с исследованием и настройкой натуральных систем.

Заключение

1. Перенос результатов разработки и исследования (настройки) с одной системы управления на другую является обоснованным только при их подобии.

2. Утверждения, базирующиеся на равенстве или близости значений показателей эффективности функционирования систем управления, целесообразно положить в основу создания процедур, методов и алгоритмов оценивания и управления подобием.

3. Управление подобием систем позволяет обеспечить выполнение условий подобия потенциально подобных систем управления и тем самым расширить область эффективного применения методов и алгоритмов их разработки и исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту №15-07-01972.

Библиграфический список

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1976.
2. Подобие и моделирование. Основные понятия. Терминология. Отв. ред. В.А. Веников. Комитет научно-технической терминологии. М.: Наука. 1987. Вып. 113
3. Мочалов С.П., Ивушкин А.А., Мышляев Л.П., Венгер К.Г., Мурко В.И., Куценко А.И., Федяев В.И., Карпенко В.И. Автоматизированный экспериментально-лабораторный энерго-технологический комплекс // Уголь. 2012. № 10 (1039). С. 49-53.
4. Красовский А.А. Оптимальное управление посредством физической прогнозирующей модели // Автоматика и телемеханика. – 1979, – № 2. – С. 156–162.
5. Evtushenko V.F., Myshlyayev L.P., Makarov G.V., Ivushkin K.A. and Burkova E.V. // Adjustment of automatic control systems of production facilities at coal processing plants using multivariate physico-mathematical models / V.F. Evtushenko, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016, vol. 45, conference 1, 012010. <http://iopscience.iop.org> (SCOPUS).
6. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Зельцер С.Р., Венгер К.Г., Чичиндаев М.Г. Применение физических моделей в схемах натурно-математического моделирования. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. № 12. С. 65-67.
7. Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Березин Д.Г., Макаров Г.В., Ивушкин К.А. Понятия и условия подобия систем управления. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 58–60.
8. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности. М.: Наука. Физматлит, 1997.
9. Мышляев Л.П., Файрушин Ш.А., Леонтьев И.А., Чернявский С.В. Модели объектов и действующие на них возмущения // Сб. науч. статей Межд. конф. «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». Новокузнецк, 2016. С. 284–286.
10. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. М.: Энергия, 1973.
11. Пугачев В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик. М.: Сов. Радио, 1973.
12. Барковский В.В., Захаров В.Н., Шаталов А.С. Методы синтеза систем управления. М.: Машиностроение, 1969.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ ОБЪЕКТОВ

Орлова А.С.

*Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М.Ф.Решетнева, г. Красноярск, Россия*

Данная работа посвящена идентификации и управлению группой статических и динамических объектов в условиях как параметрической, так и непараметрической неопределенности. Причем группа объектов может состоять как из идентичных объектов, так и разнотипных. В теории идентификации и управления достаточно важными являются объем априорной информации о различных каналах объектов, а также средства контроля соответствующих

СЕКЦИЯ 4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	341
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫМ АГРЕГАТОМ.....	342
Федосенков Д.Б., Симикина А.А., Федосенков Б.А.	
АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕХОДОМ В ПРОСТРАНСТВО ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ.....	346
Гусев С.С.	
РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	351
Мышляев Л.П., Евтушенко В.Ф., Ивушкин К.А., Макаров Г.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ ОБЪЕКТОВ.....	355
Орлова А.С.	
ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ АЙ-ТРЕКЕРА «ФОКУС»	359
Ляховец М.В., Макаров Г.В., Куценко А.И.	
САМООБУЧАЮЩИЕСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОБОРГ - СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ.....	363
Соловьев В.И.	
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ.....	370
Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А.	
МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ.....	372
Кунигин П.Н., Рыбаков А.И.	
ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ НАГРУЗОК СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.....	378
Новосельцева М.А., Гутова С.Г., Хорошева Т.А., Казакевич И.А.	
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ МОДЕЛЬ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	381
Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ.....	385
Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В СИНХРОННОМ РЕЖИМЕ.....	393
Островляничик В.Ю., Рыбаков А.И., Поползин И.Ю., Кучик М.М.	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ИНЖИНИРИНГ-МЕТАЛЛУРГИЯ»	401
Рыбенко И.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ УЧАСТКА БАРЗАСКИЙ 2 ГЛУШИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	405
Шестакова О.Е., Венгер М.К.	

Научное издание

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ AS' 2017

**Труды XI Всероссийской научно-практической конференции
(с международным участием)
14-16 декабря 2017 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 30.11.2017 г.
Формат бумаги 60x84 1/8. Бумага писчая. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 27,6. Уч.-изд. л. 30,0. Тираж 300 экз. Заказ № 644

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