



Всемирная ассоциация выставочной индустрии
Российский союз выставок и ярмарок
Торгово-промышленная Палата РФ



УГОЛЬ и МАЙНИНГ **РОССИИ** **2 0 1 7**



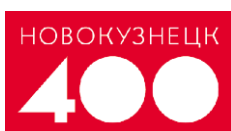
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов



Новокузнецк
2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
ВК «Кузбасская ярмарка»



Посвящается 400-летию города Новокузнецка

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№3 - 2017

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Мышляев Л.П.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н. Палеев Д.Ю.,
д.т.н., проф. Домрачев А.Н., д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2017. - № 3. – 484 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоёмких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 6-9 июня 2017 г).

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-05-20150

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

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

УДК 622.2
ББК 33.1

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

3 – ОАО «Сибгипрошахт», г. Новосибирск, Россия	
МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПОДОБИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	278
¹ д.т.н. Евтушенко В.Ф., ² д.т.н. Бурков В.Н., ³ д.т.н. Мышляев Л.П., ³ Макаров Г.В.	
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	
2 – Институт проблем управления РАН, г. Москва, Россия	
3 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ РЕЦИКЛОВ	281
¹ д.т.н. Мышляев Л.П., ² Циряпкина А.В., ³ д.т.н. Бурков В.Н., ⁴ к.э.н. Ивушкин К.А.	
1 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	
3 – Институт проблем управления РАН, г. Москва, Россия	
4 – Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия	
ОЦЕНИВАНИЕ ПОДОБИЯ ТИПОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК.....	285
¹ Макаров Г.В., ² к.э.н. Ивушкин К.А., ¹ д.т.н. Евтушенко В.Ф., ¹ д.т.н. Мышляев Л.П.	
1 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	
2 – Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия	
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ.....	288
¹ д.т.н. Мышляев Л.П., ² Леонтьев И.А., ¹ к.т.н. Грачев В.В., ³ Васькин В.В., ¹ Раскин М.В., ³ Старченко Е.В.	
1 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	
2 – ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово, Россия	
3 – ОФ «Матюшинская», г. Прокопьевск, Россия	
ПРОЦЕДУРА ИДЕНТИФИКАЦИИ НАТУРНЫХ СТРУКТУР ПУТЕМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ФРАКТАЛОВ	291
д.т.н. Мышляев Л.П., Циряпкина И.В., Саламатин А.С.	
ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия	
СРЕДА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА ОГНЕСТОЙКОСТИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	295
¹ д.т.н. Каледин В.О., ² к.т.н. Каледин Вл.О.	
1 – Новокузнецкий институт-филиал ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк, Россия	
2 – АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», г. Хотьково, Россия	
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ РУДНИЧНЫХ МАШИН	298
д.т.н. Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю., к.т.н. Кубарев В.А., Маршев Д.А.	
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНЫМ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОРНЫХ МАШИН В ГЕНЕРАТОРНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ.....	305
к.т.н. Иванов А.С., к.т.н. Пугачева Э.Е., Каланчин И.Ю.	
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ МАШИНОЙ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	308
д.т.н. Никитин А.Г., к.т.н. Тагильцев-Галета К.В., Чайников К.А.	
Сибирский государственный индустриальный университет г. Новокузнецк, Россия	
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ	311
д.т.н. Никитин А.Г., к.ф.-м.н. Лактионов С.А., Медведева К.С.	
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	

МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПОДОБИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

¹д.т.н. Евтушенко В.Ф., ²д.т.н. Бурков В.Н., ³д.т.н. Мышляев Л.П., ³Макаров Г.В.

1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

2 – Институт проблем управления РАН, г. Москва, Россия

3 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Приведено математическое соотношение, являющееся основой оценивания подобия систем управления, дана краткая характеристика процедур и методов оценивания их подобия, представлена классификация методов, их достоинства, недостатки и условия применимости.

Ключевые слова: подобие систем управления, соотношения подобия систем управления, оценивание подобия систем управления; классификация методов оценивания подобия систем управления.

Одним из первоочередных и важных задач развития теории подобия применительно к системам управления является задача оценивания подобия двух или более систем. Решение ее базируется на аксиоматике подобия систем управления, изложенной в виде *Утверждений* [1], согласно которым подобные системы управления должны характеризоваться строгим или приближенным равенством значений целевых показателей (критериев) эффективности управления. Основываясь на этих утверждениях, условия подобия систем управления, можно записать в виде следующего неравенства [1]

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

где $\| \cdot \|$ – мера близости; q_j^H и q_l^H – нормированные значения целевых показателей эффективности функционирования систем на заданном интервале I дискретного времени i , соответственно, j -ой и l -ой систем управления; L – число систем управления; δq_{jl}^{H*} – величина, определяемая предельно допустимый порог близости показателей q_j^H и q_l^H , при котором эффективность этих систем считается одинаковой; надстрочный индекс «н» означает «нормированный».

Строгое равенство значений показателей q_j^H и q_l^H соответствует функционированию систем управления при отсутствии влияния на их поведение неконтролируемых возмущений. В то время как приближенное равенство значений показателей, представленное, в частности, в виде неравенства (1), отражает функционирование систем управления в условиях неопределенности.

Численное значение допустимого порога δq_{jl}^{H*} определяется, исходя из конкретных характеристик ее уровня. Отметим при этом, что проведенные предварительно исследования динамических свойств и условий функционирования натуральных объектов управления и их действующих физических моделей [2, 3], позволили сделать выводы, что практически все они подвержены влиянию неконтролируемых возмущений.

Можно выделить два варианта процедур оценивания подобия систем управления. Первый заключается в непосредственном использовании соотношения (1), практическая реализация которого требует достоверной оценки, а в случае нестационарного объекта управления – непрерывного или периодического отслеживания, значений целевых показателей эффективности функционирования систем управления с последующим их сравнением с соответствующей величиной δq_{jl}^{H*} .

Второй вариант процедуры оценивания подобия систем управления основан на использовании так называемых *соотношений подобия* [4], описывающих условия, выполнение которых справедливо для подобных систем. Они представляют собой линейную или нелинейную комбинацию из известных характеристик свойств воздействий, объектов и управляющих частей систем, таких как статистические и фрактальные показатели временных рядов, параметры динамических характеристик каналов преобразования этих воздействий объектов и алгоритмов управления. *Соотношения подобия* могут быть получены, в частности, аналитическими методами (постановка

задачи, схема решения, условия эффективного применения приведены в [4]), либо с использованием методов численного моделирования и поисковой оптимизации (постановка задачи, схема решения, условия эффективного применения приведены в [5]).

Практическая реализация первого варианта требует выполнения следующих основных операций:

– нормирования значений целевых показателей q_j^H и q_l^H с целью их приведения в единый координатный масштаб изменения. Здесь можно использовать известную операцию нормирования [6] путем отношения разности полученной на заданном интервале времени оценки показателя эффективности функционирования рассматриваемой системы и минимально возможного его значения к разности максимально $q_j^{\max}$ и минимально $q_j^{\min}$ возможных их значений, т.е.

$$q_j^H \{(i-N), i\} = \frac{q_j \{(i-N), i\} - q_j^{\min}}{q_j^{\max} - q_j^{\min}}, \quad (2)$$

где $q_j \{(i-N), i\}$ – текущее значение целевого критерия на интервале N дискретного времени i ; $q_j^{\min}$ и $q_j^{\max}$ – соответственно, минимально и максимально возможные значения целевых критериев функционирования j -ой системы управления;

– согласование входных, выходных воздействий и переменных состояния j -ой и l -ой систем управления. Объекты управления этих систем могут функционировать в различных координатных и временных масштабах. Поэтому для обеспечения единого координатно-временного пространства функционирования обеих систем управления необходимо предварительно согласовать между собой траектории изменения входных, выходных воздействий и переменных состояния их объектов управления. Такое согласование можно обеспечить, в частности, за счет преобразования значений входных $V_j(i)$, выходных $Y_j(i)$ воздействий и переменных состояния $S_j(i)$ j -го объекта управления, представленных в виде $Z_j(i) = \{V_j(i); Y_j(i); S_j(i)\}$, с помощью функции масштабирования $F_M^Z \{\cdot\}$ в масштаб изменения значений выходных воздействий l -го объекта управления $Z_{jl}(i)$

$$Z_{jl}(i) = F_M^Z \{Z_j(i)\} \quad (3)$$

Полученные в результате преобразования (3) значения $Z_{jl}(i)$ изменяются в одном и том же диапазоне значений и масштабе времени, что и значения $Z_j(i)$ j -го объекта управления.

Выполнение операций с использованием соотношений (2), (3), является необходимым условием реализации первого варианта процедуры оценивания подобия, независимо от метода определения конкретных значений целевых показателей функционирования систем управления;

– определение значений целевых показателей эффективности функционирования систем управления, оценивание которых может быть выполнено путем обработки натурных, модельных или натурно-модельных данных, с использованием, в том числе и рекуррентных процедур.

Результаты обобщения опыта оценивания и исследования подобия систем управления [2, 4, 5, 7] позволили сформировать конечное множество методов оценивания подобия систем управления (рис. 1), отличия между которыми для первого варианта, в основном, определяются возможными способами оценивания значений их показателей эффективности.

Первый вариант процедуры оценивания подобия систем управления, базирующийся на непосредственном использовании целевых показателей эффективности их функционирования с помощью соотношения (1), является более универсальным с точки зрения его практического применения. Он может быть использован для оценивания подобия практически любых систем управления, имеющих разные структуры и функционирующих в различных условиях, если значения целевых показателей оценивать на конечном интервале времени с привлечением натурных, модельных и натурно-модельных данных. Однако для получения адекватных результатов оценивания здесь необходимо располагать значительным числом массивов с большим объемом достоверных данных, что требует значительных вычислительных и временных затрат. Кроме того, получе-

ние достоверных натуральных данных в действующих системах управления связано со значительными трудностями и не всегда может быть реализовано.



Рис. 1 – Классификация методов оценивания подобия систем управления

Наиболее предпочтительными с точки зрения затрат на реализацию являются расчетные методы оценивания подобия систем управления, куда отнесены такие, с помощью которых можно получить аналитическое решение математических уравнений с выходом на целевой показатель функционирования систем управления. Для реализации расчетного метода исходная информация должна быть представлена в виде математических моделей каналов преобразования входных воздействий и самих воздействий, в том числе и неконтролируемых, с достаточно жесткими ограничениями на их структуры и область изменения параметров. Зачастую получить такое решение интегрального уравнения с подынтегральной функцией, содержащей иррациональность в знаменателе, возможно лишь в крайне редких случаях [8], в которых на область эффективного применения расчетного метода накладываются существенные ограничения, связанные, в основном, со структурой и диапазоном изменения значений параметров моделей преобразующих каналов объектов управления, их входных воздействий, алгоритмов управления и др. Обычно эти ограничения также крайне редко выполняются на практике. Область расчетных методов может быть несколько расширена в случаях, когда численное решение такого рода интегральных уравнений связано с меньшими затратами по сравнению с затратами на реализацию методов моделирования систем управления.

Второй вариант процедуры оценивания подобия систем управления, основанный на специальных *соотношениях подобия* требует значительно меньших вычислительных и временных затрат и с этой точки зрения является более предпочтительным. Однако он, также как и аналитические методы, существенно ограничен в практическом применении. Такого рода соотношения получены лишь для небольшого класса систем регулирования. В частности, к ним относятся системы регулирования по отклонению с типовыми законами регулирования, соотношения подобия для которых и область их применения приведены в [2].

Выводы. Процедуры оценивания подобия систем управления, базирующиеся непосредственно на соотношении (1), применимы практически для любых систем управления одинаковых или близких структур. Однако они требуют существенных затрат средств и времени для достоверного определения целевых показателей эффективности их функционирования.

Процедуры оценивания подобия систем управления с помощью специальных *соотношений подобия* связаны со значительно меньшими затратами. Однако они разработаны для сравнительно узкого класса систем автоматического регулирования, что требует дальнейшего расширения исследований в этом направлении.

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

Библиографический список

1. Мышляев Л.П., Понятия и условия подобия систем управления. / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Д.Г. Березин, Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин // Изв. вуз. Черная металлургия. - 2012. - № 12. - С. 58–60.
2. Евтушенко В.Ф. Настройка систем автоматического регулирования технологических агрегатов углеобогажительных фабрик с применением многовариантных физико-математических

моделей. / В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев, Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин, Е.В. Буркова // Сб. науч. статей межд. конф. «Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. - Новокузнецк, 2016. - С. 270–279.

3. Евтушенко В.Ф. Оценивание эффектов неконтролируемых возмущений для установки сжигания водно-шламового топлива / В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев, К.А. Ивушкин, Д.Г. Березин, Ж.М. Гафиев, Т.В. Тюжин // Сб. науч. статей межд. конф. «Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов». - Новокузнецк, 2012. - С. 201–207.

4. Макаров Г.В. Исследования подобию систем автоматического регулирования с типовыми моделями объектов / Г.В. Макаров, В.Ф. Евтушенко, Н.Л. Лысенко // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. X всерос. науч.-практ. конф. (с межд. участ.); под ред. д.т.н., проф. С.М. Кулакова, д.т.н., проф. Л.П. Мышляева, СибГИУ. – Новокузнецк, 2015. – С. 498–501.

5. Мышляев Л.П. Применение физических моделей в задачах испытания и настройки систем управления (на примере установки сжигания водоугольного топлива). / Л.П. Мышляев, А.А. Ивушкин, В.Ф. Евтушенко, В.Н. Бурков, Г.В. Макаров, Е.В. Буркова // Сб. науч. статей Межд. конф. «Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. - Новокузнецк, 2015. - С. 211–218.

6. Рыков А.С. Методы системного анализа: оптимизация / А.С. Рыков. – М.: НПО «Изд-во экономика», 1999. – 255 с.

7. Евтушенко В.Ф. Исследование систем управления с применением физических моделей / В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев, К.А. Ивушкин, Г.В. Макаров, Е.В. Буркова // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. X всерос. науч.-практ. конф. (с межд. участ.); под ред. д.т.н., проф. С.М. Кулакова, д.т.н., проф. Л.П. Мышляева, СибГИУ. – Новокузнецк, 2015. – С. 159–165.

8. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования / В.Я. Ротач. М.: Энергия, 1973. – 439 с.

УДК 681.51

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ РЕЦИКЛОВ

¹д.т.н. Мышляев Л.П., ²Циряпкина А.В., ³д.т.н. Бурков В.Н., ⁴к.э.н. Ивушкин К.А.

1 – ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия

2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

3 – Институт проблем управления РАН, г. Москва, Россия

4 – Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Работа посвящена исследованию систем автоматического регулирования объектов с различными типами рециклов. Поставлена задача по сравнительному анализу эффективности систем с типовым законом регулирования и предложенных синтезированных систем, а также по определению областей эффективной работы в зависимости от варьируемого значения отношения времени запаздывания в цепи рецикла и в прямой цепи.

Ключевые слова: рецикл, объект с положительной обратной связью, система автоматического регулирования.

Повышение эффективности технологических процессов переработки сырья, экологичности процессов, а порой и их осуществимости достигается за счет введения положительных обратных связей в объекты управления (объекты с рециклом). Примерами таких объектов могут служить водношламовые системы обогащения полезных ископаемых, процессы окомкования материалов при получении агломерата в металлургическом производстве, социально-экономические системы при выделении материальных и финансовых ресурсов в прямой зависимости от результатов деятельности. Введение положительных обратных связей в объекты управления придает им качественно новые свойства, существенно изменяет динамику поведения и усложняет процесс управления.

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 25.05.2017 г.

Формат бумаги 60х84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 28,8 Уч.-изд. л. 30,4 Тираж 1000 экз. Заказ 295

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

Издательский центр СибГИУ