



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



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



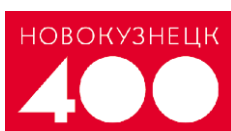
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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	

Библиографический список

1. Рей У. Методы управления технологическими процессами / У. Рей. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
2. Циряпкина А.В. Классификация объектов с рециклом и анализ влияния неопределенностей моделей на эффективность САР этих объектов / А.В. Циряпкина, Л.П. Мышляев, К.А. Ивушкин, В.В. Грачев // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2015. – №12. – С. 925 – 931.
3. Циряпкина А.В. Разновидность объектов с рециклами и особенности их управления / А.В. Циряпкина, Л.П. Мышляев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Новокузнецк, 2014. – С. 176-181.

УДК 681.51

ОЦЕНИВАНИЕ ПОДОБИЯ ТИПОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ
ОБЪЕКТОВ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК¹Макаров Г.В., ²к.э.н. Ивушкин К.А., ¹д.т.н. Евтушенко В.Ф., ¹д.т.н. Мышляев Л.П.

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

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

Аннотация. Конкретизирована процедура оценивания подобия систем управления. Проведены исследования на натурно-модельных данных, полученных с действующих контуров регулирования углеобогадательной фабрики.

Ключевые слова: подобие систем управления, натурно-математическое моделирование, настройка систем автоматического регулирования, многовариантный генератор рядов данных.

Современные календарные планы строительства крупных промышленных предприятий практически не предусматривают запаса времени на проведение экспериментов и исследовательских работ на этапе пуска наладки. Это вызывает необходимость совершенствования существующих и поиска новых методов, способов и алгоритмов при проектировании и настройке систем автоматического управления.

На этапе проектирования для сокращения сроков и повышения эффективности работы используются, зачастую, готовые решения, в том же виде переносимые с ранее разработанных. Однако, применение известных решений в новых, зачастую сильно отличающихся условиях, приводит к существенному изменению свойств технологического процесса как объекта управления, что требует начинать процедуру выбора и настройки системы управления заново.

Одним из относительно новых направлений в решении этих задач является развитие теории подобия систем управления, приемы и методы которой могут быть использованы как на стадии проектирования, так и внедрения. Необходимым условием при этом является установление подобия новой разрабатываемой системы автоматического управления и системы-прототипа.

Предлагаемый укрупненный алгоритм оценивания подобия на примере систем автоматического регулирования (САР) представлен на рис.1. В качестве натурных систем-прототипов приняты САР технологического комплекса обогатительной фабрики «Матюшинская»: САР плотности суспензии тяжелосредного сепаратора и тяжелосредного гидроциклона. Структура этих натурных САР одинакова [1]. Регулирование плотности рабочей суспензии, подаваемой на сепаратор и зумпф питания гидроциклонов, осуществляется в САР по отклонению (без учета цепи рецикла) путем разбавления кондиционной суспензии добавочной водой с помощью задвижки.

В соответствии с приведенным алгоритмом на рис.1 выполняются следующие основные операции.

Ввод исходных данных.

1. Математические модели каналов преобразования регулирующих воздействий для тяжелосредного сепаратора и для тяжелосредного циклона представлены передаточной функцией

$$\varphi(s) = \frac{k}{Ts+1} \cdot e^{-\tau s}, \quad (1)$$

где k – коэффициент передачи, T – постоянная времени инерции, τ – время чистого запаздывания, параметры k , T и τ модели объектов регулирования, оценки которых приведены в виде следующих диапазонов [2] значений коэффициентов для тяжелосредного сепаратора

$$\begin{aligned} -2,3 \leq k_1 \leq -1,8 \frac{\text{кг}}{\% \text{ хода} \cdot \text{м}^3}; \\ 7,0 \leq T_1 \leq 12,0 \text{ с}; \\ 5,0 \leq \tau_1 \leq 7,0 \text{ с}; \end{aligned} \quad (2)$$

и для тяжелосреднего гидроциклона

$$\begin{aligned} -2,0 \leq k_2 \leq -1,4 \frac{\text{кг}}{\% \text{ хода} \cdot \text{м}^3}; \\ 7,0 \leq T_2 \leq 12,0 \text{ с}; \\ 5,0 \leq \tau_2 \leq 7,0 \text{ с}. \end{aligned} \quad (3)$$

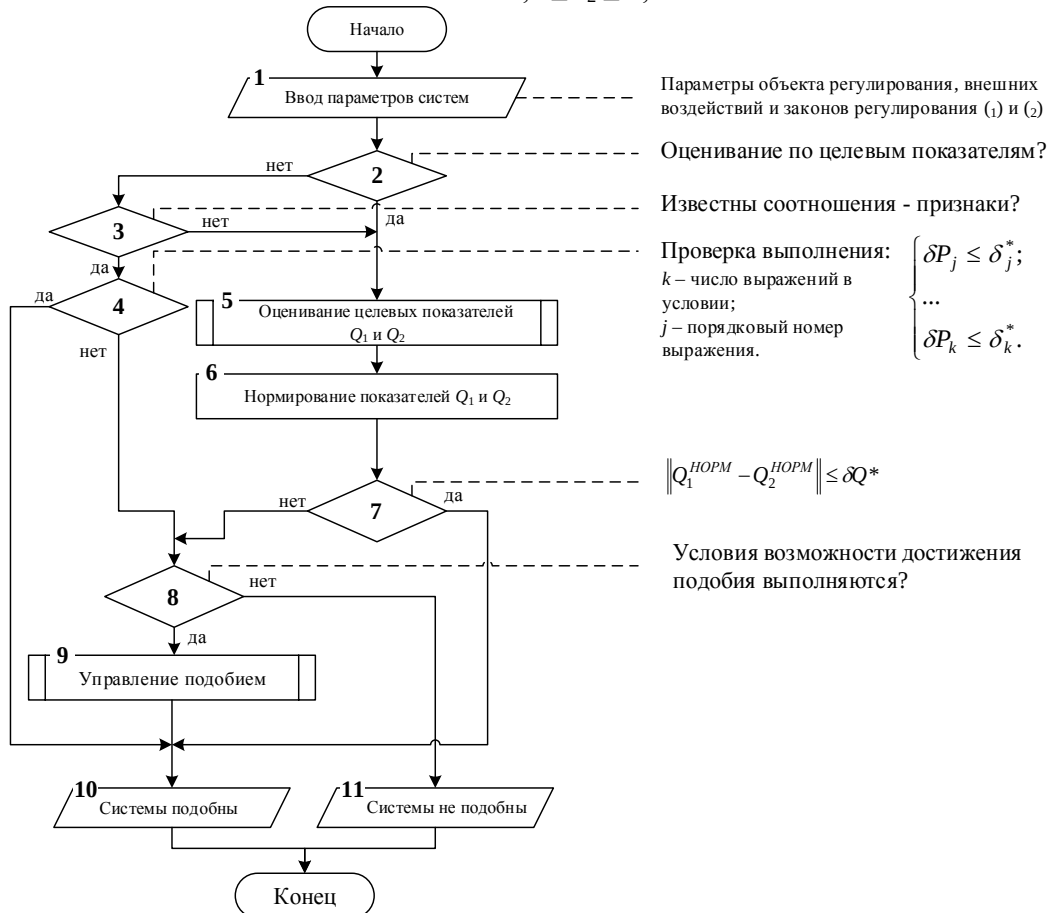


Рис. 1. Укрупненный алгоритм оценивания подобия САР

2. Приведенные к выходу объекта возмущения, оценки которых рассчитаны по схеме [3] на основе исходных данных о функционировании натуральных САР с использованием средних значений коэффициентов k , T и τ из диапазонов (2) и (3).

Автокорреляционные функции приведенных возмущений аппроксимированы выражением:

$$r_{np}(\theta) = \sigma_{np}^2 \cdot e^{-\alpha_{np} \cdot |\theta|}, \quad (4)$$

где σ_{np}^2 – дисперсия приведенного возмущения, α – коэффициент спада АКФ, θ – интервал временного сдвига между значениями приведенного возмущения.

Средние значения характеристик приведенного возмущения

– для тяжелосреднего сепаратора

$$\sigma_{np} = 11,05 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right); \quad \alpha_{np} = 0,11; \quad (5)$$

– для тяжелосреднего гидроциклона

$$\sigma_{np} = 10,10 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right); \quad \alpha_{np} = 0,17. \quad (6)$$

3. Пропорционально-интегральный закон регулирования с передаточной функцией

$$f_{nu}(s) = k_n + \frac{k_u}{s}, \quad (7)$$

где k_n и k_u – коэффициенты пропорциональной и интегральной части.

Оценивать подобие можно 2 способами – по целевым показателям эффективности функционирования САР [4] и по соотношениям условий подобия – признакам [5].

Оценивание и нормирование показателей эффективности функционирования САР по среднеквадратическим ошибкам регулирования без поднастройки параметров законов регулирования для тяжелосреднего сепаратора q_1^H и тяжелосреднего гидроциклона q_2^H

$$q_1^H = 0,870; \quad q_2^H = 0,985.$$

Проверка выполнения условия подобия для двух САР

$$\delta q = |q_1^H - q_2^H| = 0,870 - 0,985 = 0,115. \quad (8)$$

При заданном максимальном отклонении $\delta q^* = 0,05$ следует вывод об *отсутствии подобия* этих систем.

Решение о возможности достижения подобия САР – это границы, при которых можно изменением параметров законов регулирования добиться заданной эффективности САР. Из исследований [6] следует вывод, что для данных систем *может быть достигнуто подобие*.

Управление подобием согласно процедуры, представленной в [1] и включающей оценивание соотношений-признаков подобия

$$\begin{cases} |\sigma_{np1} - \sigma_{np2}| \leq \delta \sigma_{np}^*, \\ |\alpha_{np1} \cdot \tau_{u1} - \alpha_{np2} \cdot \tau_{u2}| \leq \delta (\alpha_{np} \cdot \tau_u)^*, \\ \left| \frac{\tau_{u1}}{T_{u1}} - \frac{\tau_{u2}}{T_{u2}} \right| \leq \delta \frac{\tau_u}{T_u}^*. \end{cases} \quad (9)$$

Для средних значений параметров (1) получены оценки

$$\delta \sigma_{np}^* \approx 2\%, \quad \delta (\alpha_{np} \cdot \tau_u)^* \approx 7\%, \quad \delta \frac{\tau_u}{T_u}^* \approx 1\%. \quad (10)$$

Из (10) следует, что для достижения подобия необходимо уменьшить показатель $\delta (\alpha_{np} \cdot \tau_u)^*$ без нарушения остальных условий. Как видно из структуры соотношений, это возможно за счет изменения показателя α_2 , для чего требуется формирование натурно-модельных приведенных возмущений с $\alpha_2 = 0,13$.

Натурно-модельное формирование приведенных возмущений осуществлено согласно процедуре, представленной в [7].

При сформированном натурно-модельном приведенном возмущении получены следующие значения отклонений

$$\delta \sigma_{np}^* \approx 2\%, \quad \delta (\alpha_{np} \cdot \tau_u)^* \approx 0\%, \quad \delta \frac{\tau_u}{T_u}^* \approx 1\%. \quad (11)$$

Для выполнения условий подобия САР сделан пересчет параметров закона регулирования по следующим соотношениям [1]

$$k_{П1} = k_{П2} \cdot \frac{k_1 \tau_1 T_2}{k_2 \tau_2 T_1} \cdot e^{\frac{1}{\beta} (\alpha_1 \cdot \tau_1 - \alpha_2 \cdot \tau_2)}; \quad (12)$$

$$k_{И1} = K_{И2} \cdot \frac{y_{cp} k_2 \tau_2}{y_{cp} k_1 \tau_1} \cdot e^{\frac{1}{\beta} (\alpha_1 \cdot \tau_1 - \alpha_2 \cdot \tau_2)}. \quad (13)$$

При этом получены

– для тяжелосреднего сепаратора

$$k_{nI}^H = -0,618; \quad k_{uI}^H = -0,001; \quad q_1^H = 0,870. \quad (14)$$

$$k_{nI}^H = -0,618 \frac{\% \text{ хода} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}; \quad k_{uI}^H = -0,001 \frac{\% \text{ хода} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}}; \quad q_1^H = 9,613 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (15)$$

– для тяжелосреднего гидроциклона

$$k_{n2}^{HM} = -0,748; K_{и2}^{HM} = -0,007; q_2^H = 0,875. \quad (16)$$

$$k_{n2}^H = -0,748 \frac{\% \text{ хода} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}; K_{и2}^H = -0,007 \frac{\% \text{ хода} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}}; q_2^H = 8,315 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (17)$$

В результате разность среднеквадратических критериев качества составила $|q_1^H - q_2^{HM}| = 0,870 - 0,875 = 0,005$, что указывает на подобие натурной и натурно-модельной САР.

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

Библиографический список

1. Евтушенко В. Ф. Настройка систем автоматического регулирования технологических агрегатов углеобогачительных фабрик с применением многовариантных физико-математических моделей / В. Ф. Евтушенко, Л. П. Мышляев, Г. В. Макаров, К. А. Ивушкин, Е. В. Буркова // Научно-емкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2016. – № 2. – С. 270-279.
2. Грачев В.В. Разработка системы автоматизации управления углеобогачительной фабрики «Матюшинская» / В.В. Грачев, А.В. Циряпкина, К.Е. Барагичев, В.О. Дмитриев // В сб.: Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. IX всерос. науч.-практ. конф.. под ред. С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. - 2013. - С. 69-71.
3. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. / В.Я. Ротач. – М.: Энергия, 1973. – 439 с.
4. Мышляев Л.П. Понятия и условия подобия систем управления / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, Д.Г. Березин, Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2012 - № 12 - С. 58-60.
5. Макаров Г.В. Оценивание подобия систем управления / Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин, В.Ф. Евтушенко, Л.П. Мышляев // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: тр седьмой науч –практ конф. – Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2016. – С. 170-177.
6. Евтушенко В.Ф. Исследования совместного подобия объектов управления и внешних воздействий / Евтушенко В.Ф., Ивушкин К.А., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Буркова Е.В. // Научно-емкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей. Новокузнецк: СибГИУ, 2014. - С. 195-201.
7. Авдеев В.П. К основам натурно-математического моделирования / В.П. Авдеев// Известия вузов. Черная металлургия. – 1979. – № 6. – С. 131-134.

УДК 621.34.001.2 (0758)

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

¹д.т.н. Мышляев Л.П., ²Леонтьев И.А., ¹к.т.н. Грачев В.В., ³Васькин В.В., ¹Раскин М.В.,
³Старченко Е.В.

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

2 – ЗАО «Стройсервис», г. Кемерово, Россия

3 – ОФ «Матюшинская», г. Прокопьевск, Россия

Аннотация. Рассмотрены особенности практических задач идентификации объектов сложной структуры с примерами построения моделей процесса сушки горячей поверхностью.

Ключевые слова: идентификация, многомерные объекты, распределенные воздействия, пробные воздействия, сушка горячей поверхностью.

Отсутствие адекватных динамических моделей внутренних механизмов объектов управления, построенных с использованием фундаментальных закономерностей, и приложенных к объектам воздействий заставляет обратиться к идентификации объектов по данным функционирования действующих систем 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