



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



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



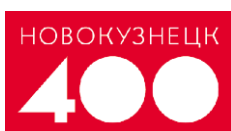
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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	

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

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

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.

Существующие эффективные методы идентификации динамических объектов в системах управления базируются на проведении специальных экспериментов, например, снятие кривых разгона, либо формирование из данных промышленной эксплуатации аналогов спланированных воздействий [1-3].

Однако практическое применение традиционных методов такого рода встречает серьезные трудности, связанные со значительными временными и материальными затратами, достаточно жесткими предпосылками методов к условиям функционирования систем управления. Поэтому необходимо развитие и адаптация методов идентификации для конкретных изучаемых объектов. Особенно это необходимо для объектов, характеризующихся распределенными управлениями с различной динамикой каналов управления и влияния одних управляющих воздействий на свойства каналов преобразования других, а также когда число управляющих воздействий превышает число выходных целевых воздействий.

Примером таких объектов может служить комплекс сушки горячей поверхностью угольного концентрата [4]. Математическая модель этого комплекса представлена в следующем виде

$$W_K(t) = W_K^H(t) - \delta W_K(t); \quad (1)$$

$$T(t, q, v) \cdot \frac{d[\delta W_K(t)]}{dt} + \delta W_K(t) = \sum_{l=1}^h k_l(t, q, v, u_l) \cdot u_l(t - \tau_l); \quad (2)$$

$$T(t, q, v) = T^*(t) - \alpha_q[q(t) - q^*(t)] - \alpha_v[v(t) - v^*(t)]; \quad (3)$$

$$k_l(t, q, v, u_l) = k_l^* - \beta_q \left[\frac{1}{\tau_l} \int_{t-\tau_l}^t q(\theta - \tau_l) d\theta - q^*(t) \right] - \beta_v \left[\frac{1}{\tau_l} \int_{t-\tau_l}^t v(\theta - \tau_l) d\theta - v^*(t) \right] - \beta_u \left[\sum_{i=1}^n \frac{C_i(t)}{\delta \tau_i} \int_{t-\delta \tau_i}^t u_i(\theta - \delta \tau_i) d\theta - u^*(t) \right]; \quad (4)$$

$$C_i(t) = \frac{d}{\tau_l} \int_{t-\tau_l}^t u_{l-1}(\theta - \tau_{l-1}) d\theta, \quad (5)$$

где $W_K(t)$, $W_K^H(t)$ – влажность концентрата на выходе и входе объекта в t -ый момент времени; $\delta W_K(t)$ – изменение влажности концентрата; T – постоянная времени; q, v, u_l – нагрузка на конвейер, скорость конвейера и электропитание нагревательных элементов l ; k_l – коэффициент передачи нагревательных элементов l ; τ_l – запаздывание нагревательных элементов l ; α_q, α_v – настроечные коэффициенты; T^*, q^*, v^*, k^*, u^* – опорные значения; $\beta_q, \beta_v, \beta_u, d$ – настроечные коэффициенты; θ – переменная интегрирования.

Наличие инерционных исполнительных систем, реализующих задаваемые значения управляющих воздействий, вызывает дополнительные задачи построения моделей исполнительных систем. Например, переходные процессы системы «задание на температуру нагревательных элементов – температура нагревательных элементов», представлены на рис. 1. Задание на температуру нагревательных элементов устанавливается за счет уровня электропитания (u_l) нагревательных элементов.

Аппроксимацию таких зависимостей можно удовлетворительно описать дифференциальным уравнением первого порядка с запаздывающим аргументом

$$T_n \frac{dT_{n.э.}(t)}{dt} + T_{n.э.}(t) = k_n \cdot T_{n.э.}^*(t - \tau_n), \quad (6)$$

где $T_{n.э.}$ – температура нагревательного элемента в t -ый момент времени; $T_{n.э.}^*$ – задание на температуру нагревательного элемента; T_n, k_n, τ_n – постоянная времени, коэффициент передачи и время чистого запаздывания системы, соответственно.

Наиболее эффективным подходом к идентификации представленного класса объектов (1) – (5) можно считать сочетание методов идентификации с прогнозированием траекторий рабочих управлений и последовательным построением моделей каналов управления, начиная с наиболее динамичных каналов, и использование уже полученных моделей для расчетного исключения эффектов по другим каналам управления из выходных воздействий управления [1, 5].

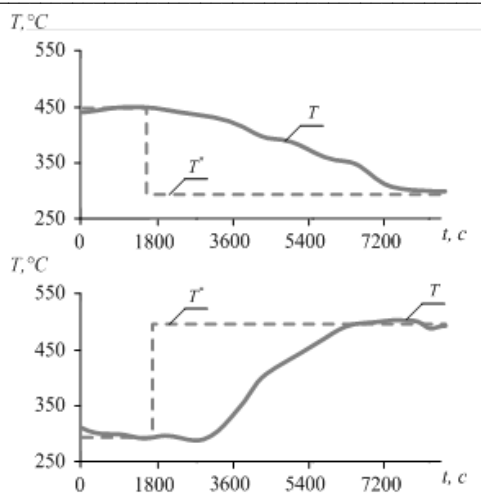


Рис. 1 Переходные процессы системы «задание на температуру нагревательных элементов T^* - температура нагревательных элементов T »

В применении к комплексу сушки горячей поверхностью угольного концентрата идентификация модели (1) – (5) включала операции.

1. Формирование информативных данных для идентификации модели «изменение скорости конвейера v – изменение влажности концентрата W_K » путем наложения пробного воздействия δv_n на прогнозируемую траекторию v (рис. 2). Остальные входные воздействия остаются на примерно постоянном уровне.

Эффект δW_n от нанесения пробного воздействия δv_n (заштрихованная область) в виде разности между натурным и прогнозируемым воздействиями определяется как разность между натурным W_K и прогнозируемым $\hat{W}_K$.

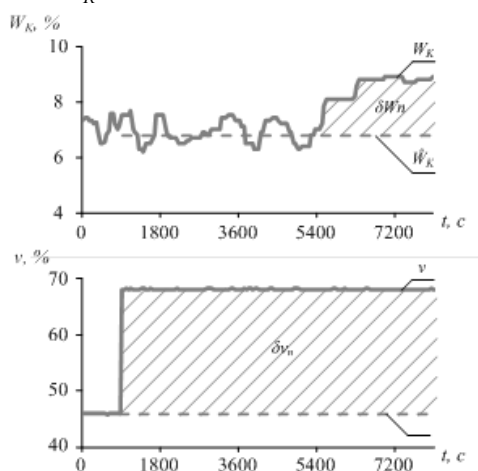


Рис. 2 Динамика натуральных W_K , v и прогнозируемых $\hat{W}_K$ значений

2. По полученным δv_n и δW_n оценивается структура и коэффициенты модели $\delta W_{Kv}(t) = \varphi_v(\delta v(t))$.

3. Формирование данных по другим каналам управления с расчетным исключением эффектов изменения скорости конвейера (рис. 3).

В результате исключения эффекта δv_K получена расчетная траектория W_p . Эффект δW_T изменения температуры нагревателей δT_n оценивается как разность между фактическим W и расчетным W_p значениями влажности концентрата.

4. По данным δT_n и δW_T оценивается структура и коэффициенты модели $\delta W_{KT}(t) = \varphi_T(\delta T_n(t))$.

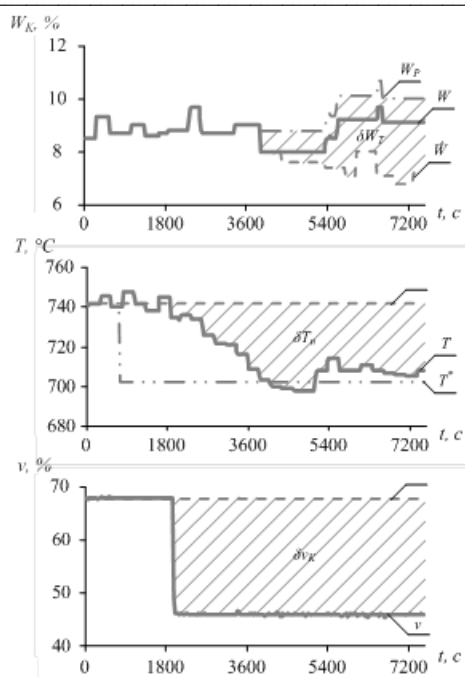


Рис. 3 Динамика натуральных W_K , T , v , прогнозируемых W_K и расчетных W_p значений

Вывод. Для определения коэффициентов влияния состояния предшествующих нагревательных элементов (температуры) на параметры модели последующих нагревательных элементов необходимо реализовать полный или дробный факторный эксперимент с нанесением, например, ступенчатых воздействий, охватывающих все варианты функционирования нагревательных элементов. При трех группах нагревательных элементов полный факторный эксперимент включает шестнадцать опытов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту №15-07-02231

Библиографический список

1. Емельянов С.В. Методы идентификации промышленных объектов в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, А.С. Рыков и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2007. – 307 с.
2. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. / Под. ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
3. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления: Пер. с англ. / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
4. Сазыкин Г.П. Сушка угольного концентрата горячей поверхностью / Г.П. Сазыкин, К.Н. Сывороткин, С.В. Белянин и др. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Научный журнал. – Новокузнецк, 2016. - №2. – С. 286 – 287.
5. Гроп Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп. – М.: Мир, 1979. – 302 с.

УДК 004.942

ПРОЦЕДУРА ИДЕНТИФИКАЦИИ НАТУРНЫХ СТРУКТУР ПУТЕМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ФРАКТАЛОВ

д.т.н. Мышляев Л.П., Циряпкина И.В., Саламатин А.С.

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

Аннотация. Рассмотрена постановка задачи идентификации изображений натуральных структур на основе механизма генерирования фрактальной структуры, подробно рассмотрена двухэтапная процедура идентификации, эффективность поисковой процедуры идентификации показана на модельном примере.

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