#### ISSN 2311-8342



Всемирная ассоциация выставочной индустрии



Российский союз выставок и ярмарок Торгово-промышленная Палата РФ



## УГОЛЬ и МАЙНИНГ

2 0 1 7



# Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов



#### Министерство образования и науки Российской Федерации

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

ВК «Кузбасская ярмарка»



## НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**№3 - 2017** 

УДК 622.2 ISSN 2311-8342

ББК 33.1 Н 340

## 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. - N = 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. Йвушкин К.А.  |     |
| 1 – OOO «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 ОБЪЕКТО   | R   |
| УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК   |     |
| $^{1}$ Макаров Г.В., $^{2}$ к.э.н. Ивушкин К.А., $^{1}$ д.т.н. Евтушенко В.Ф., $^{1}$ д.т.н. Мышляев Л.П.   | 203 |
| 1 – OOO «Научно-исследовательский центр систем управления», г. Новокузнецк, Россия  |     |
|   |     |
| 2 – Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Россия   |     |
| ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ  | 200 |
| С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ   | 288 |
| <sup>1</sup> д.т.н. Мышляев Л.П., <sup>2</sup> Леонтьев И.А., <sup>1</sup> к.т.н. Грачев В.В., <sup>3</sup> Васькин В.В., <sup>1</sup> Раскин М.В., |     |
| <sup>3</sup> 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 |
| <sup>1</sup> д.т.н. Каледин В.О., <sup>2</sup> к.т.н. Каледин Вл.О.   |     |
| 1 – Новокузнецкий институт-филиал ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университе  | Γ», |
| 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. Островлянчик 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.   | 505 |
| Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия  |     |
| СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДРОБИЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ МАШИНОЙ В АВАРИЙНЫХ  |     |
|   | 200 |
| СИТУАЦИЯХ   | 508 |
| 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   | 211 |
| ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ  | 311 |
| д.т.н. Никитин А.Г., к.фм.н. Лактионов С.А., Медведева К.С.   |     |
| Сибирский госуларственный индустриальный университет, г. Новокузнецк. Россия  |     |

моделей. / В.Ф Евтушенко, Л.П. Мышляев, Г.В. Макаров, К.А. Ивушкин, Е.В Буркова // Сб. науч. статей межд. конф. «Наукоемкие 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. Гафиятов, Т.В. Тюжин // Сб. науч. статей межд. конф. «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». Новокузнецк, 2012. С. 201–207.
- 4. Макаров Г.В. Исследования подобия 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. «Наукоемкие 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. Х 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

<sup>1</sup>д.т.н. Мышляев Л.П., <sup>2</sup>Циряпкина А.В., <sup>3</sup>д.т.н. Бурков В.Н., <sup>4</sup>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

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.

Математические модели объектов с рециклом в пространстве состояний в достаточно общем виде описываются выражениями [1]:

$$\dot{X}(t) = A(t) \cdot X(t - \tau_x) + B(t) \cdot U(t - \tau_u) + C(t) \cdot W(t - \tau_w);$$
  
$$Y(t) = D(t) \cdot X(t - \tau_v) + F(t) \cdot E(t - \tau_e),$$

где X, U, W, Y, E - векторы состояний, управления, внешних воздействий, выходов и погрешносоответствующие измерений;  $\tau_x, \tau_u, \tau_w, \tau_v, \tau_e$ времена A(t), B(t), C(t), D(t), F(t) — матрицы соответствующих размерностей; t — непрерывное время.

Классификация объектов с рециклом в зависимости от типа рецикла и его влияние на объектов с ект управления представлена в табл. 1 [2, 3].

Для объектов с решиклом «по концентрации», «по массе», «по параметрам» были синтезированы системы автоматического регулирования (САР), представленные на рис. 1.

Для полученных САР и САР с типовыми законами регулирования был проведен сопоставительный анализ эффективности, а также определены области эффективной работы систем в зависимости от соотношения времени запаздываний в цепи рецикла и в прямой цепи.

#### Постановка задачи.

Дано.

- 1. Структуры САР объектов с рециклом «по концентрации», «по массе», «по параметрам» с типовым законом  $f_R$  регулирования и базовые структуры САР.

2. Операторы блоков САР 
$$\varphi_0(S) = \frac{k_0}{T_0S+1}, \ \varphi_0^M(S) = \frac{k_0^M}{T_0^MS+1}, k_0 = k_0^M, T_0 = T_0^M \ \text{- объект с самовыравниванием в прямой цепи;}$$
 
$$\varphi_r(S) = \frac{k_r}{T_rS+1}, \varphi_r^M(S) = \frac{k_r^M}{T_r^MS+1}, k_r = k_r^M, T_r = T_r^M, \text{ где } k_0, k_r \ \text{- коэффициенты передачи, } T_0, T_r \ \text{- постоянные времени;}$$
 
$$f(S) = \frac{k_r^M}{T_r^MS+1}, k_r = k_r^M, T_r = T_r^M, \text{ где } k_0, k_r \ \text{- коэффициенты передачи, } T_0, T_r \ \text{- постоянные времени;}$$
 
$$f(S) = \frac{k_r^M}{T_r^MS+1}, k_r = \frac{$$

- 3. Вариации отношения  ${}^{\tau_r}\!/_{\tau_0}$  в диапазоне [1; 45] для объектов с рециклом «по концентрации» и «по массе» (при  $\alpha = 0.6$ ), в диапазоне [1; 2,5] - для объектов с рециклом «по параметрам».
- 4. Ограничения на величину входного воздействия  $u_2 \in [0; 100]$ , влияющего на значение блока деления, для CAP объектом с рециклом «по параметрам».

Критерий эффективности:  $q(t) = \frac{1}{T} \int_{t-1}^{T} |y^*(\theta) - y(\theta)| d\theta$  , где T — время переходного процесса.

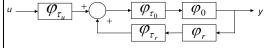
Требуется. Определить область эффективной работы САР объектами с рециклом всех классов.

Таблица 1

Классификация объектов с рециклом (с указанием структуры модели объекта)

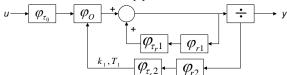
1 класс

Объект с рециклом «по концентрации». Все расходы материала фиксированы, а концентрация элементов (температура и др.) материала изменяется. Матрица A(t) не зависит от состояния X(t) и D(t) = 1.



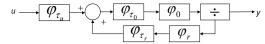
#### 3 класс

Объект с рециклом «по параметрам». Рецикл влияет на параметры отдельных их составляющих. В этом случае матрицы B(t) и C(t) зависят от состояния X(t).

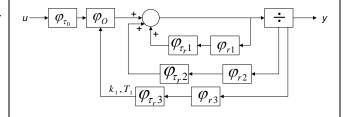


#### 2 класс

Объект с рециклом «по массе». За выходное воздействие принимается часть материала (готовой продукции), поступающей на выход объекта, а другая часть материала поступает в цепь рецикла. Матрица A(t) зависит от состояния X(t) и  $D(t) \neq 1$ .



Объект с комбинированным рециклом.



Переход от операторов  $\varphi_0$ ,  $\varphi_r$ ,  $\varphi_{\tau_u}$ ,  $\varphi_{\tau_0}$ ,  $\varphi_{\tau_r}$  к рекуррентно-разностной форме сделан методом конечных разностей. Программирование осуществлено в системе Microsoft Office Excel. Результаты численных исследований при вариации соотношений  ${}^{\tau_r}/{}_{\tau_0}$  для CAP объектов с рециклом «по концентрации», «по массе», «по параметрам» представлены в табл. 2-4.

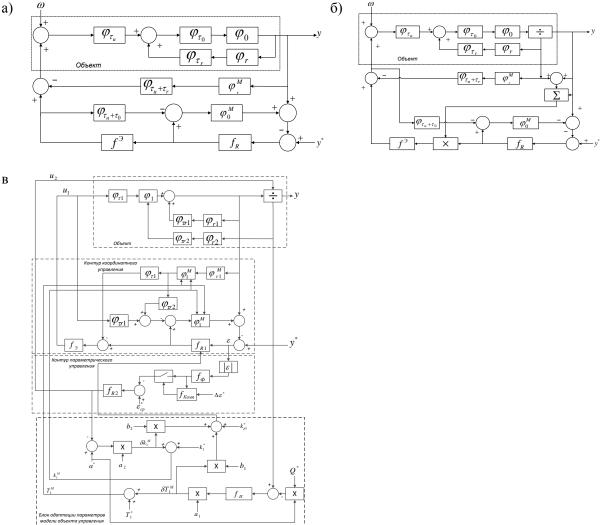


Рис. 1 – Структуры синтезированных САР объекта с рециклом: а) по концентрации, б) по массе, в) по параметрам

Таблица 2 Критерий эффективности для синтезированной САР объектом с рециклом «по концентрации» и САР с типовым законом регулирования

| $\tau_{r}$         | Критерий эффективности, отн.ед.     |                     |  |
|--------------------|-------------------------------------|---------------------|--|
| $^{\prime}/\tau_0$ | САР с типовым законом регулирования | Синтезированная САР |  |
| 1                  | неустойчива                         | 4,99                |  |
| 5                  | неустойчива                         | 5,02                |  |
| 10                 | неустойчива                         | 6,13                |  |
| 15                 | неустойчива                         | 7,50                |  |
| 20                 | неустойчива                         | 8,66                |  |
| 30                 | неустойчива                         | 10,61               |  |
| 35                 | неустойчива                         | 11,48               |  |
| 37                 | Граница устойчивости                | 11,82               |  |
| 38                 | 19,26                               | 11,98               |  |
| 40                 | 19,14                               | 12,28               |  |
| 45                 | 18,78                               | 12,98               |  |

Таблица 3

Критерий эффективности для синтезированной CAP объектом с рециклом «по массе» и CAP с типовым законом регулирования

| $\tau_{r}$    | Критерий эффективности              | , отн.ед.           |  |  |  |  |
|---------------|-------------------------------------|---------------------|--|--|--|--|
| $\tau/\tau_0$ | САР с типовым законом регулирования | Синтезированная САР |  |  |  |  |
| 1             | 3,84                                | 2,32                |  |  |  |  |
| 5             | 3,97                                | 2,48                |  |  |  |  |
| 10            | 4,62                                | 2,59                |  |  |  |  |
| 15            | 5,27                                | 2,99                |  |  |  |  |
| 20            | 5,42                                | 3,19                |  |  |  |  |
| 25            | 5,82                                | 3,65                |  |  |  |  |
| 30            | 6,20                                | 4,40                |  |  |  |  |
| 35            | 6,52                                | 4,87                |  |  |  |  |
| 40            | 6,79                                | 5,28                |  |  |  |  |
| 45            | 7,04                                | 5,70                |  |  |  |  |

Таблица 4 Критерий эффективности для синтезированной САР объектом с рециклом «по параметрам»

| reprine support in the control of th |                            |   |                      |  |  |  |
|--|----------------------------|---|----------------------|--|--|--|
| САР под влияние  | м внешних ступенчатых воз- | САР под влиянием внешних ступенчатых    |                      |  |  |  |
| действий по возмущающему входу $\omega(t)$   |                            | воздействий по задающему входу $y^*(t)$ |                      |  |  |  |
| $\tau_{r}$   | Критерий эффективности,    | $	au_r/	au_0$                           | Критерий эффективно- |  |  |  |
| $	au_r/	au_0$  | отн.ед.                    | $\tau/	au_0$                            | сти, отн.ед.         |  |  |  |
| 1  | 3,708                      | 1                                       | 5,248                |  |  |  |
| 1,25   | 3,824                      | 1,25                                    | 5,310                |  |  |  |
| 1,5  | 3,954                      | 1,5                                     | 5,369                |  |  |  |
| 1,75   | 3,943                      | 1,75                                    | 5,429                |  |  |  |
| 2,0  | 4,521                      | 2,0                                     | 5,512                |  |  |  |
| 2,1  | Граница устойчивости       | 2,1                                     | Граница устойчивости |  |  |  |
| 2,25   | Неустойчива                | 2,25                                    | Неустойчива          |  |  |  |
| 2,5  | Неустойчива                | 2,5                                     | Неустойчива          |  |  |  |

Выводы. По результатам решения задачи сделаны следующие выводы.

- 1. Синтезированная САР объектом с рециклом «по концентрации» остается устойчивой при любых соотношениях  ${}^{\tau_r}/_{\tau_0} \in [1;45]$ , в то время как САР с типовым законом регулирования становится устойчивой только при достижении  ${}^{\tau_r}/_{\tau_0}$  величины 38.
- 2. Синтезированная САР и САР с типовым законом регулирования объекта с рециклом «по массе» устойчивы при любых соотношениях  ${}^{\tau_r}/_{\tau_0} \in [1;45]$ .
- 3. САР объектом с рециклом «по параметрам» устойчива при любых значениях отношения запаздываний в прямой цепи и цепи рецикла  $^{\tau_r}\!/_{\tau_0}$  в диапазоне [1; 2,1]; при  $^{\tau_r}\!/_{\tau_0} >$  2,1 система становится неустойчивой.
- 4. Для устойчивых систем во всем исследуемом диапазоне соотношений  $^{\tau_r}/_{\tau_0}$  синтезированная САР объекта с рециклом превосходит по среднемодульному критерию САР с типовым законом регулирования не менее чем в 1,5 раза.
- 5. Во всем исследуемом диапазоне соотношений  ${}^{\tau_r}/_{\tau_0}$  время переходного процесса синтезированной САР меньше времени переходного процесса САР с типовым законом регулирования не менее, чем в 3 раза.

Результаты решения данной задачи могут быть применены как для настройки регуляторов при создании систем автоматизации, так и для выработки технологических решений на стадии проектирования агрегатов и технологического регламента, таких, чтобы конструктивное исполнение агрегатов прямой цепи и в цепи рецикла отвечало рассчитанным условиям.

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

\_\_\_\_\_

#### 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 ФАБРИК

<sup>1</sup>Макаров Г.В., <sup>2</sup>к.э.н. Ивушкин К.А., <sup>1</sup>д.т.н. Евтушенко В.Ф., <sup>1</sup> д.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 углеобогатительной 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 пусконаладки. 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

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

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

## 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