

СТАРООСКОЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ им. А.А. УГАРОВА



**XII**

**ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ**  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**«Современные проблемы горно-металлургического комплекса.  
Наука и производство»**

**II ТОМ**

**25–27 ноября 2015 г.  
г. Старый Оскол**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Старооскольский технологический институт им.А.А. Угарова  
(филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Современные проблемы  
горно-металлургического комплекса.  
Наука и производство

Материалы

Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции, с  
международным участием

ТОМ II:

«ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
«АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»  
«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

25-27 ноября 2015 г.

г. Старый Оскол

Старый Оскол

2015

УДК 622: 669  
ББК 33: 34.3  
С 568

Редакционная коллегия:

**Подгородецкий Геннадий Станиславович** – заведующий кафедрой экстракции и рециклинга черных металлов НИТУ «МИСиС», директор научно-образовательного центра «Инновационные металлургические технологии», член редколлегии журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия», к. т. н.

**Еременко Юрий Иванович** – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСиС», д.т.н., профессор.

**Ильичева Елена Вячеславовна** – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСиС», д.э.н., профессор.

**Демьяненко Маргарита Сергеевна** – заведующий кафедрой экономического анализа, финансов и аудита СТИ НИТУ «МИСиС», к.э.н., доцент.

**Крафт Людмила Николаевна** – заведующий кафедрой химии СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., профессор.

**Кожухов Алексей Александрович** – заведующий кафедрой металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., доцент.

**Ляхова Наталия Ивановна** – заведующий кафедрой экономики и менеджмента СТИ НИТУ «МИСиС», д.э.н., профессор.

**Макаров Алексей Владимирович** – заведующий кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., доцент.

Рецензенты:

**Подгородецкий Геннадий Станиславович** – заведующий кафедрой экстракции и рециклинга черных металлов НИТУ «МИСиС», директор научно-образовательного центра «Инновационные металлургические технологии», член редколлегии журнала «Известия высших учебных заведений. Черная металлургия», к. т. н.

**Еременко Юрий Иванович** – декан факультета автоматизации и информационных технологий СТИ НИТУ «МИСиС», д.т.н., профессор.

**Ильичева Елена Вячеславовна** – декан инженерно-экономического факультета СТИ НИТУ «МИСиС», д.э.н., профессор.

**Демьяненко Маргарита Сергеевна** – заведующий кафедрой экономического анализа, финансов и аудита СТИ НИТУ «МИСиС», к.э.н., доцент.

**Крафт Людмила Николаевна** – заведующий кафедрой химии СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., профессор.

**Кожухов Алексей Александрович** – заведующий кафедрой металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., доцент.

**Ляхова Наталия Ивановна** – заведующий кафедрой экономики и менеджмента СТИ НИТУ «МИСиС», д.э.н., профессор.

**Макаров Алексей Владимирович** – заведующий кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта СТИ НИТУ «МИСиС», к.т.н., доцент.

С568 Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции, Том II, 25-27 ноября 2015 г. / редколлегия: Г.С. Подгородецкий, Ю.И. Еременко, Е.В. Ильичева, Л.Н. Крафт, А.А. Кожухов, А.В. Макаров, М.С. Демьяненко, Н.И. Ляхова – Старый Оскол, 2015. – 400 с.

Сборник материалов Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство»

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 622: 669  
ББК 33: 34.3

## СЕКЦИЯ: ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.01

### О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Авдеев В.И., Кравченко О.Ф., Кравченко Н.В., Подгорный И.Е.**

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол

[Kafedra-pm-sti@mail.ru](mailto:Kafedra-pm-sti@mail.ru)

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы влияния конструктивных особенностей опор трубопроводов на динамические характеристики системы. Приведены сравнительные результаты математического моделирования.

*Ключевые слова:* опора трубопровода, частота колебаний, жесткость.

### ON THE INFLUENCE OF SOME STRUCTURAL FEATURES OF THE SUPPORTING DEVICES ON THE DYNAMIC PERFORMANCE OF MECHANICAL SYSTEMS

**Avdeev V. I., Kravchenko O. F., Kravchenko N. In., Podgorny I. E.**

StaryOskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and  
Technology "MISiS", StaryOskol

*Abstract.* The article discusses the impact of design features of pipe supports on the dynamic characteristics of the system. The comparative results of mathematical modeling.

*Keywords:* reliance pipeline, oscillation frequency, stiffness.

#### **Введение**

Одной из ответственных конструкций является система трубопроводов с установленными на них запорно-регулирующими устройствами: клапанами, задвижками, на динамические характеристики которой существенное влияние оказывает жесткость опор. Известны опоры концевые и промежуточные: подвески простая и пружинная; опора пружинная, скользящая, скользящая направляющая, неподвижная и др., характеристики которых безусловно влияют на динамическую нагруженность трубопроводов и достаточно полно рассмотрены в литературе. В месте присоединения трубопровода к оборудованию, имеющему значительную массу, концевой опорой часто является корпус оборудования, жесткость которого также влияет на динамические характеристики трубопроводов и

запорно-регулирующих устройств. Одна из динамических характеристик - частота собственных колебаний.

Объект исследования - участок трубопровода технической воды ответственных потребителей (DN200), с обеих сторон примыкающий к технологическому оборудованию, являющемуся концевыми опорами. На трубопроводе имеются две задвижки массой по 390 кг, вмонтированные в параллельные участки трубопровода и установленные на опорах скользящих.

### 1. Расчетная модель

Расчетная модель представляет собой стержневую систему из трубчатых элементов с массой, распределенной по элементам (рис.1).

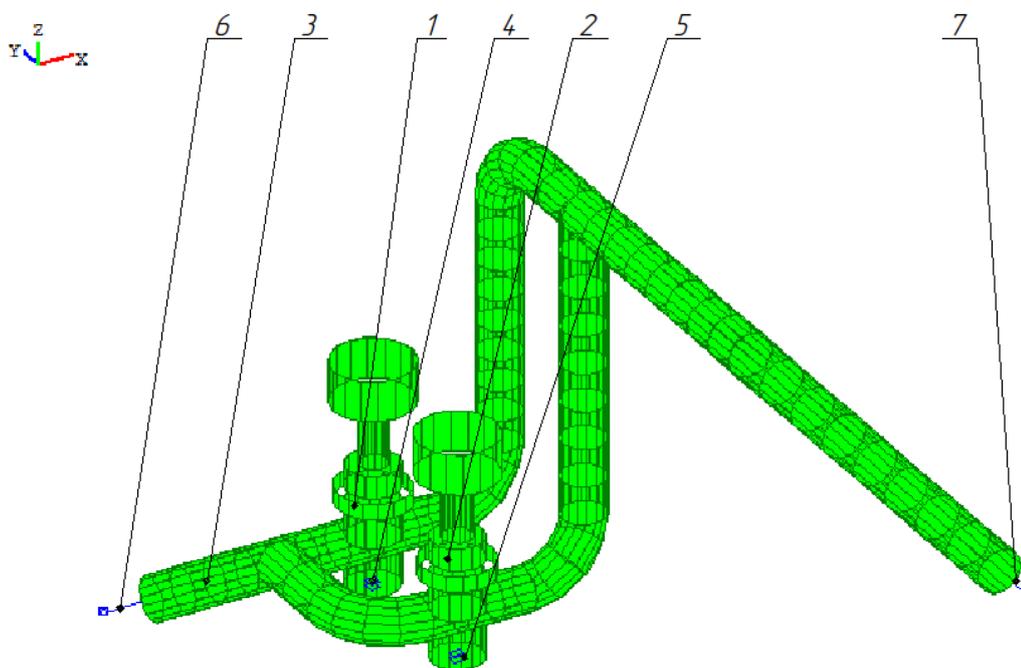


Рис.1 Расчетная модель: 1 – задвижка; 2 – задвижка; 3 – трубопровод; 4, 5 – опоры скользящие; 6, 7 – связи конечной жесткости.

Задвижки (позиции 1 и 2 на рис.1) представлены стержнями, отражающими габаритно-весовые характеристики арматуры. Опоры скользящие (позиции 4, 5 на рис. 1) моделируем связью по оси  $z$  (ограничение перемещений). Действие отброшенного оборудования заменено связями конечной жесткости (позиции 6 и 7 на рис. 1).

Варьируемым параметром принята жесткость опоры 7. Рассмотрим три варианта закрепления опоры 7 (таблица 1) :

- Жесткости соответствуют действующему оборудованию (вариант 1);
- Жесткость опоры 7 уменьшена (вариант 2);
- Введена угловая жесткость опоры 7 - ребра жесткости (вариант 3).

Таблица 1 – Жесткости опор при моделировании

Жесткость опоры	Опора 6	Опора 7, вариант 1	Опора 7, вариант 2	Опора 7, вариант 3
$K_x$ , Н/м	$4 \cdot 10^7$	$4,75 \cdot 10^8$	$4,75 \cdot 10^7$	$4,75 \cdot 10^8$
$K_y$ , Н/м	$4,75 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$
$K_z$ , Н/м	$4,75 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^8$
$K_{fx}$ , Н/м*рад	-	-	-	$1 \cdot 10^7$
$K_{fy}$ , Н/м*рад	-	-	-	$2 \cdot 10^7$
$K_{fz}$ , Н/м*рад	-	-	-	$1,4 \cdot 10^7$

## 2 Результаты математического моделирования

Расчет выполнен линейно-спектральным методом в универсальном комплексе ЗЕНИТ-95 [1]. В результате изменения жесткости корпуса оборудования, выполняющего функции концевой опоры трубопровода получили различные значения частот собственных колебаний. Результаты расчета частот собственных колебаний для трех рассматриваемых случаев представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета частот собственных колебаний

№ частоты	Собственная частота, Гц		
	вариант 1	вариант 2	вариант 3
1	8,6	8,5	11,0
2	14,3	11,7	14,7
3	25,2	21,9	27,2
4	26,8	25,7	29,0

Постановка ребер жесткости увеличивает в основном первую частоту собственных колебаний. Уменьшение жесткости опоры снижает частоты собственных колебаний.

## **Заключение**

Изменение жесткости концевых опор можно применять для достижения требуемых динамических характеристик наряду с традиционным варьированием жесткостью промежуточных опор.

## **Список литературы**

1. Программа ЗЕНИТ-95. Регистрационный номер паспорта 148 ГАН РФ от 20.02.2003.

УДК 621.643

## **РАСЧЕТ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ**

### **УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

**Авдеев В.И., Кравченко О.Ф., Кравченко Н.В., Подгорный И.Е.**

Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол

[Kafedra-pm-sti@mail.ru](mailto:Kafedra-pm-sti@mail.ru)

*Аннотация.* В статье представлены результаты расчета на сейсмостойкость участка трубопровода автоматического пожаротушения.

*Ключевые слова:* трубопровод, сейсмостойкость, напряжения.

### **CALCULATION OF SEISMIC RESISTANCE SECTION OF THE PIPELINE AUTOMATIC FIRE EXTINGUISHING**

**Avdeev V.I., Kravchenko O.F., Kravchenko N.V., Podgorny I.E.**

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISiS", Stary Oskol

*Annotation.* The article presents the results of the calculation of seismic stability section of the pipeline automatic fire.

*Keywords:* pipeline, seismic resistance, voltage.

## **Введение**

Наиболее эффективным средством борьбы с возгораниями является эксплуатация противопожарной сигнализации совместно с монтажом системы автоматического пожаротушения. Однако они при неблагоприятных техногенных или стихийных факторах по причине разрушения могут выйти из строя и не выполнить своего назначения, что недопустимо. Возможной причиной разрушения системы автоматического пожаротушения может быть динамическая нагрузка, вызванная ударной волной от взрыва, аварии, падения на трубопровод оборудования, сейсмического воздействия или иных факторов.

В данной работе проведен расчет на сейсмостойкость системы автоматического пожаротушения по спектрам ответа при сейсмическом воздействии, учитывающий возможные динамические воздействия в аварийно опасном диапазоне частот 0 ...30 Гц.

### **1. Расчетная модель**

Рассмотрен участок трубопровода автоматического пожаротушения, работающий при давлении 1,0 МПа, с клапаном запорным быстродействующим массой 40 кг. К клапану примыкают участки трубопровода (57x3мм), закрепленные на двух неподвижных опорах и опоре скользящей направляющей. Трубопровод (57x3мм) соединен с трубопроводом (89x3,5мм), закрепленным на опоре неподвижной, опоре скользящей направляющей и подвесках простых.

Расчетная модель представляет собой стержневую систему из трубчатых элементов с массой, распределенной по элементам (рис. 1). Клапан запорный 1 представлен стержнями, отражающими его габаритно-весовые характеристики. Подвески простые 4, 5 смоделированы связями по оси  $z$ , жесткости которых определены по проектным характеристикам. Скользящие направляющие опоры 6, 7 смоделированы связями, ограничивающими перемещения трубопроводов в вертикальном и поперечном направлениях. Неподвижная опора 8 заменена связью конечной жесткости. Неподвижные опоры 9, 10, 11 заменены шарнирами, действия отброшенных трубопроводов - связями конечной жесткости 12, 13, 14.

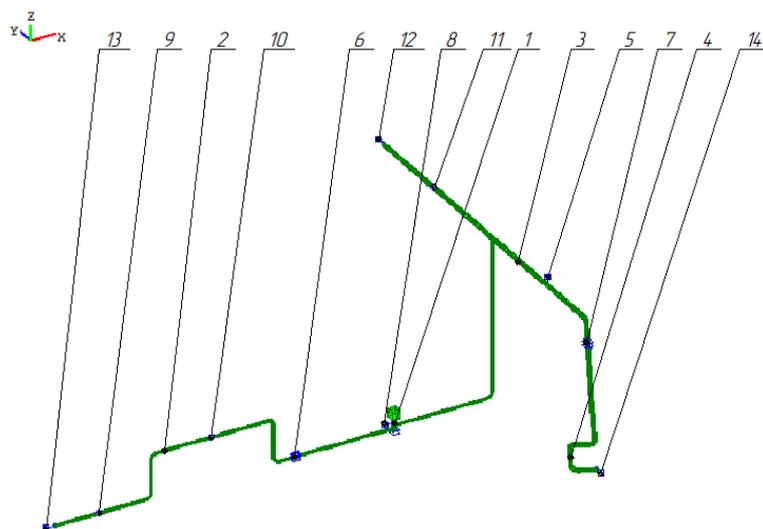


Рис. 1 – Расчетная модель: 1 – клапан запорный быстродействующий; 2 – трубопровод (57x3 мм); 3 - трубопровод (87x3,5 мм); 4, 5 – подвески простые; 6, 7 - опоры скользящие направляющие; 8, 9, 10, 11- опоры неподвижные; 12, 13, 14 – связи конечной жесткости

## 2. Физико-механические свойства материалов и допускаемые напряжения

Физико-механические свойства материала конструкции и номинальные допускаемые напряжения, принятые на основании [1], приведены в таблице 1. В таблице 2 представлены допускаемые напряжения при одновременном действии нагрузок нормальных условий эксплуатации (НУЭ) и максимального расчетного землетрясения (МРЗ). Нагрузками НУЭ являются собственный вес конструкции, внутреннее давление в трубопроводе. Нагрузки МРЗ заданы спектрами ответа при одновременном сейсмическом воздействии в двух горизонтальных и вертикальном направлениях [1].

Таблица 1 – Физико-механические свойства материала конструкции и номинальные допускаемые напряжения

Элемент конструкции	Материал	Механические характеристики			Номинальные допускаемые напряжения $[\sigma]$ , МПа
		Расчетная температура $T, ^\circ\text{C}$	Предел текучести $R_{p0.2}$ , МПа	Временное сопротивление $R_m$ , МПа	
Корпус клапана	Сталь 20	25	195	390	130
Трубопровод 57x3	Сталь 20	25	216	402	144
Трубопровод 87x3,5	Сталь 20	25	216	402	144

Таблица 2 – Допускаемые напряжения при действии нагрузок НУЭ и МРЗ

Элемент конструкции	Расчетная группа категорий напряжений	Допускаемое напряжение, МПа
Корпус клапана	$(\sigma_s)_2 = 1,8[\sigma]$	234
Трубопровод 57х3	$(\sigma_s)_1 = 1,4[\sigma]$	201
	$(\sigma_s)_2 = 1,8[\sigma]$	259
Трубопровод 87х3,5	$(\sigma_s)_1 = 1,4[\sigma]$	201
	$(\sigma_s)_2 = 1,8[\sigma]$	259

### 3. Результаты расчета на сейсмостойкость

Согласно рекомендациям Норм [1] расчет на сейсмостойкость проведен линейно-спектральным методом. Рассмотрено совместное действие нагрузок НУЭ и МРЗ

В качестве критериев сейсмостойкости приняты оценка прочности корпуса клапана в местах присоединения трубопровода и оценка прочности примыкающих трубопроводов по допускаемым напряжениям.

Расчет выполнен в универсальном комплексе ЗЕНИТ-95 [2]. В результате расчета получено распределение напряжений отдельно от нагрузок МРЗ(рис.2), от совместного действия нагрузок НУЭ и МРЗ  $(\sigma_s)_2$  (рис.3). Для проверки элементов примыкающих трубопроводов по расчетной группе категорий напряжений  $(\sigma_s)_1$  приведены максимальные окружные напряжения от внутреннего давления (рис.4).

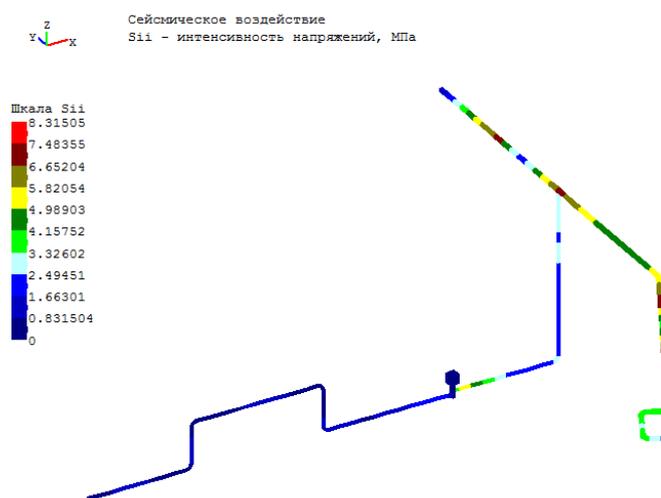


Рис. 2 – Приведенные напряжения (МПа) от нагрузок МРЗ



Рис.3 – Приведенные напряжения (МПа) от совместного действия нагрузок НУЭ и МРЗ



Рис. 4 –Максимальные окружные напряжения от внутреннего давления (МПа)

Расчетные напряжения в основных элементах конструкции при сочетании нагрузок НУЭ+МРЗ сведены в таблицу 3.

Таблица 3. – Результаты расчета напряжений при сочетании нагрузок НУЭ+МРЗ

Элемент конструкции	Группа категорий напряжений	Напряжения, МПа	
		расчетные	допускаемые
Корпус клапана	$(\sigma_s)_2$	25,6	234
Трубопровод 57х3мм	$(\sigma_s)_1$	9,8	201
	$(\sigma_s)_2$	25,6	259
Трубопровод 89х3,5мм	$(\sigma_s)_1$	12,2	201
	$(\sigma_s)_2$	36,5	259

## **Заключение**

Сравнение полученных напряжений с допускаемыми величинами показало, что условие прочности во всех элементах соблюдено с большим запасом.

## **Список литературы**

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86)/ Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат. 1989. -525с.
2. Программа ЗЕНИТ-95. Регистрационный номер паспорта 148 ГАН РФ от 20.02.2003.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ АМЕРИКАНСКОГО СТАНДАРТА ASCE 7-10, ЭКВАДОРСКОГО СТРОИТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА NEC-11 И РОССИЙСКИХ СТАНДАРТОВ И НОРМ К ПАРАМЕТРАМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ**

**Авдеев В.И., Ермаков В.В., Кравченко О.Ф.**

Старооскольский технологический институт

*Аннотация.* В данной работе производится сравнительный анализ требований к параметрам сейсмического воздействия на технологическое и электротехническое оборудование промышленных объектов эквадорского строительного стандарта NEC-11 [1], американского стандарта ASCE 7-10 [2] и российского ГОСТ 17516.1-90 «Изделия электротехнические» [3].

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие; спектр ускорений.

## **COMPARATIVE ANALYSIS REQUIREMENTS OF AMERICAN STANDARD ASCE 7-10, ECUADORIAN CONSTRUCTION STANDARDS NEC-11 RUSSIAN STANDARDS AND NORMS TO PARAMETERS OF SEISMIC IMPACT ON INDUSTRIAL**

**Avdeev V.I., Ermakov V.V., Kravchenko O.F.**

*Abstract.* In this study, a comparative analysis of the requirements to the parameters of the seismic action for technological and electrical equipment of industrial facilities the Ecuadorian construction standard NEC-11 [1], the American standard ASCE 7-10 [2] and the Russian GOST 17516.1-90 "Electrotechnical products" [3].

**Keywords:** seismic effect; spectrum of acceleration.

В данной работе производится сравнительный анализ требований к параметрам сейсмического воздействия на технологическое и электротехническое оборудование промышленных объектов эквадорского строительного стандарта NEC-11 [1], американского стандарта ASCE 7-10 [2] и российского ГОСТ 17516.1-90 «Изделия электротехнические» [3].

Сейсмические воздействия задаются как спектры ускорений.

Расчет ускорений по Эквадорским нормам проводится по формулам:

**Диапазон 1:**

При  $T \leq T_0$

$$T_0 = 0.10 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} \quad (1)$$

$$S_a = Z \cdot F_a \cdot \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0}\right) \quad (2)$$

**Диапазон 2:**

При  $T_0 \leq T \leq T_c$

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (3)$$

$$S_a = \eta \cdot Z \cdot F_a \quad (4)$$

**Диапазон 2:**

При  $T_c \leq T$

$$S_a = \eta \cdot Z \cdot F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad (5)$$

где **Z** – фактор сейсмического зонирования;

**F<sub>a</sub>** - коэффициент усиления спектра ускорений;

**F<sub>d</sub>** - коэффициент усиления спектра передвижений;

**F<sub>s</sub>** - коэффициент, учитывающий нелинейное поведение грунта;

**η** - отношение спектрального усиления (зависит от региона Эквадора);

Спектр ускорений полученный в результате расчета приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Неупругий спектр ускорений

Расчет спектра по требованиям американского стандарта ASCE 7-10 [2] проводится по формулам:

**Диапазон 1:**

При  $T \leq T_0$

$$T_0 = 0.2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (6)$$

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + \frac{T}{T_0} \right)$$

(7)

**Диапазон 2:**

При  $T_0 \leq T \leq T_C$

$$T_C = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (8)$$

$$S_a = S_{DS} \quad (9)$$

**Диапазон 3:**

При  $T_C \leq T$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

(10)

где  $S_{DS}$  - параметр ускорения срабатывания спектра, короткие периоды;

$S_{D1}$  - параметр ускорения срабатывания спектра,  $T=1$  сек;

Значения спектров были скорректированы в соответствии с UFC 3-301-01 «UNIFIED FACILITIES CRITERIA. Structural engineering» [4]. Данные короткого периода (0,2 сек) ускорения срабатывания спектра с вероятностью 10% за каждые 50 лет.

## Неупругий спектр ускорений ASCE 7-10

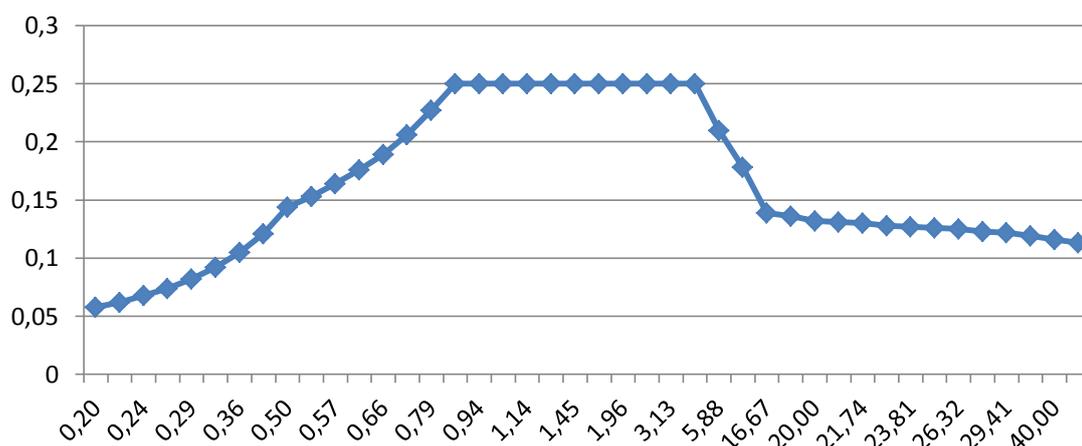


Рис. 2. Неупругий спектр ускорений, полученный по норме ASCE 7-10 [2]

На рисунке 3 показано сравнение между спектрами неупругих ускорений, полученных по нормам ASCE 7-10 [2] и NEC-11[1].

Как видно из рисунка 3 спектры ускорений, рассчитанные по стандарту NEC-11, имеют более высокие значения ускорений во всем диапазоне частот по сравнению со стандартом ASCE 7-10. Таким образом, использование стандарта NEC-11 для задания сейсмических нагрузок на оборудование обеспечивает больший запас прочности по сравнению со стандартом ASCE 7-10.

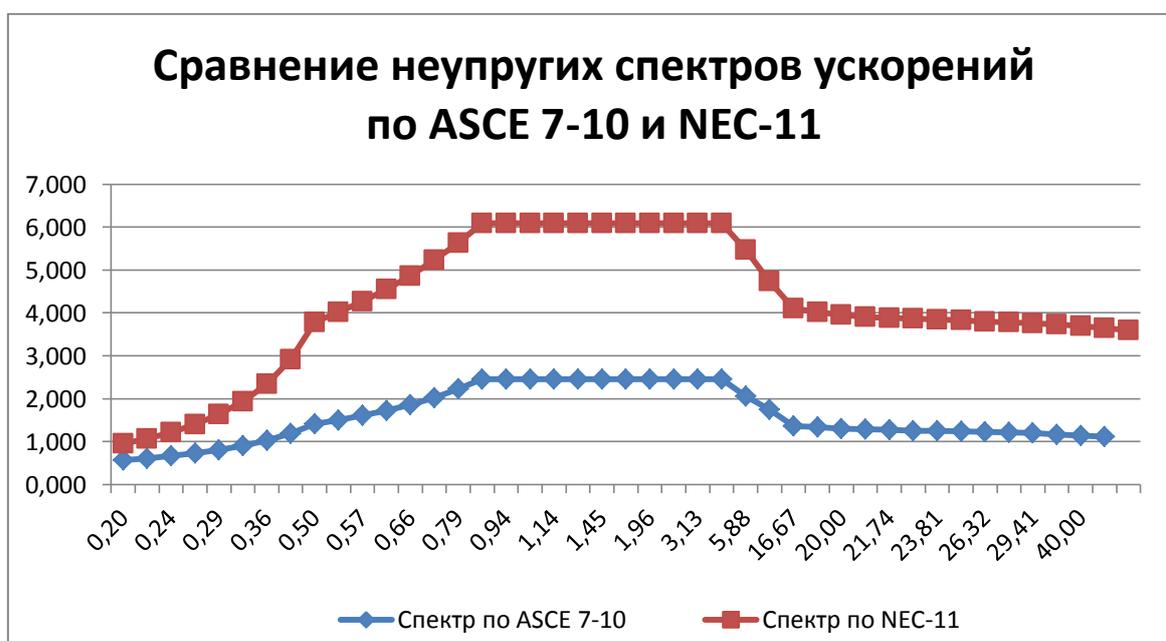


Рис. 3. Сравнение неупругих спектров ускорений, полученных по норме ASCE 7-10 [2] и по норме NEC-11[1]

Для стационарных изделий, выполненных в соответствии с ГОСТ 17516.1-90 [3], требования по максимальным амплитудам ускорений в горизонтальных направлениях и соответствующим частотам (спектру) синусоидальной вибрации устанавливаются по рисунку 4, полученному на основе обобщенного спектра отклика.

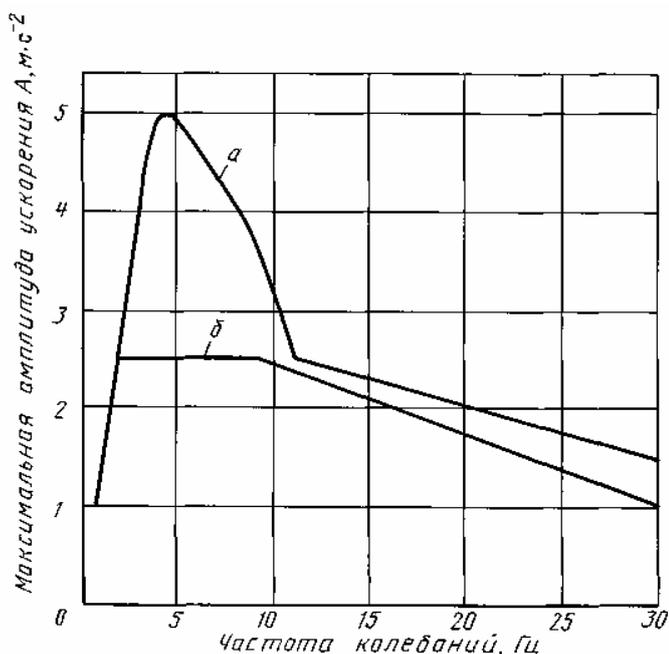


Рис. 4. Спектр ускорений по ГОСТ 17516.1-90 [3]:

а – для изделий систем управления технологическими процессами атомных станций;

б – для изделий, кроме указанных в а

Можно проследить, что значение спектра б по ГОСТ 17516.1-90 [3] очень близко к значениям спектра по нормам ASCE 7-10, а значение максимального ускорения по спектру приближается к максимальному ускорению спектра по стандарту NEC-11.

Проведенный в работе анализ требований к параметрам сейсмического воздействия на промышленные объекты отечественных и зарубежных стандартов показывает, что оборудование отечественных предприятий, поставляемое в другие страны, прошедшее экспертизу на сейсмостойкость по Российским стандартам, отвечает требованиям к сейсмостойкости таких стандартов как ASCE 7-10 и NEC-11.

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗЦОВ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА ПРИ ТОЧЕНИИ НАПЛАВЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ РОЛИКОВ МНЛЗ ЭСПЦ

<sup>1</sup>Александров А.В., <sup>2</sup>Лаптев А.И.

<sup>1</sup>Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,

г. Старый Оскол

<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

*Аннотация.* В статье представлены возможности применения резцов из кубического нитрида бора при точении наплавленной поверхности роликов МНЛЗ ЭСПЦ ОЭМК.

*Ключевые слова:* восстановление, токарные инструменты, кубический нитрид бора.

## USING CBN TURNING TOOLS FOR TURNING THE WELD SURFACE OF THE ROLLERS OF CONTINUOUS CASTING MACHINE

<sup>1</sup>Alexandrov A.V., <sup>2</sup>Laptev A.I.

<sup>1</sup>Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST «MISiS», Stary Oskol

<sup>2</sup>National University of Science and Technology «MISiS», Moscow

*Abstract.* The article present the possibility of applying the cBR turning tools for turning the weld surface of the rollers of continuous casting machine.

*Keywords:* recovery, turning tools, cubic boron nitride

Использование в условиях ОАО «ОЭМК» большого количества крупногабаритного изнашиваемого инструмента и рабочих органов транспортирующих устройств делает высокоэффективным применение технологии наплавки рабочей поверхности роликов проводковых рольгангов, направляющей арматуры, тянущих и холостых роликов машин непрерывной разливки стали.

Данные [1] показывают, что свыше 60% изношенных деталей машин могут быть восстановлены, так как их ресурс по прочности и долговечности выше, чем по износостойкости. Поэтому важнейшим направлением в ремонтном производстве является максимально эффективное использование остаточного ресурса деталей по долговечности за счет повышения износостойкости и восстановления рабочей поверхности деталей машин.

Наиболее ответственным и, вместе с тем, экономически обоснованным является именно технологический процесс восстановления рабочей поверхности роликов машины непрерывной разливки стали. Данная деталь изготавливается из материала 20Х13. Большая масса детали, быстрый износ рабочей поверхности и большое количество одновременно работающих роликов делает восстановительную наплавку наиболее целесообразным вариантом её ремонта.

Поверхность детали работает в чрезвычайно тяжелых условиях, связанных с контактным воздействием разогретой до температуры выше 1200 °С поверхности заготовки; абразивным воздействием твердых частиц, не только на основе железа, но и на основе легирующих элементов, входящих в состав специальных марок сталей; значительными касательными напряжениями, возникающими на поверхности контакта заготовки с роликом; циклическим температурным и силовым воздействиями [2].

Текущая технология восстановления рабочей поверхности ролика МНЛЗ осуществляется в условиях ремонтно-механического цеха ОАО «ОЭМК» и включает в себя следующие этапы [3]:

- 1) Предварительный отжиг всей заготовки при температуре  $T_{отж}=680-710$  °С затем замедленное охлаждение в течение 4 часов вместе с печью.
- 2) Предварительная токарная обработка рабочей поверхности заготовки  $d$  400 мм до полного устранения поверхностных трещин до минимально допустимого диаметра 340 мм или выбраковка заготовки.
- 3) Нагрев перед наплавкой до  $T_{нагр}=350$  °С.
- 4) Наплавка под слоем флюса АН-20 порошковой проволокой ПП-АН-25Х5ФМС (диаметр 3,6 мм) на установке УМН-10 до диаметра  $d=406-408$  мм. Максимальная толщина наплавленного слоя до 30 мм с припуском до 4 мм на сторону. Возможна наплавка под слоем флюса АН-348А сварочной проволокой 08Г2С (диаметр 3,0 мм) на установке УМН-10 до диаметра  $d=406-408$  мм. Максимальная толщина наплавленного слоя до 30 мм с припуском до 4 мм на сторону.
- 5) Отпуск после наплавки  $T_{отп}=560$  °С с последующим охлаждением на воздухе в течение 4 часов.
- 6) Осмотр наплавленной поверхности. Не допускается наличие пор, шлаковых включений, трещин.

При механической обработке слоя наплавленного металла так же следует учитывать такие особенности его физико-механических свойств [4], как:

- 1) химическая и структурная неоднородность металла наплавленного слоя, вызванная тем, что при электродуговом процессе в сварочной ванне имеют место сложные металлургические превращения, связанные с высокой степенью неравновесности жидкого металла и шлака, а также с тем, что они имеют многокомпонентный состав;
- 2) значительное упрочнение отдельных участков слоя;
- 3) различная степень упрочнения металла по глубине слоя и различная твердость отдельных участков слоя;
- 4) макронеровность поверхности, пористость, трещиноватость и наличие неметаллических включений;
- 5) значительное влияние на процесс наплавки высоких температур, технологических факторов, внешней среды и др.;
- б) особую роль шлака, состав которого определяет стабильность технологического процесса, качество наплавленной поверхности, химический состав и структура металла шва.

Таким образом, обобщенную структуру наплавленной поверхности можно представить в виде схемы показанной на рис. 1 [4].

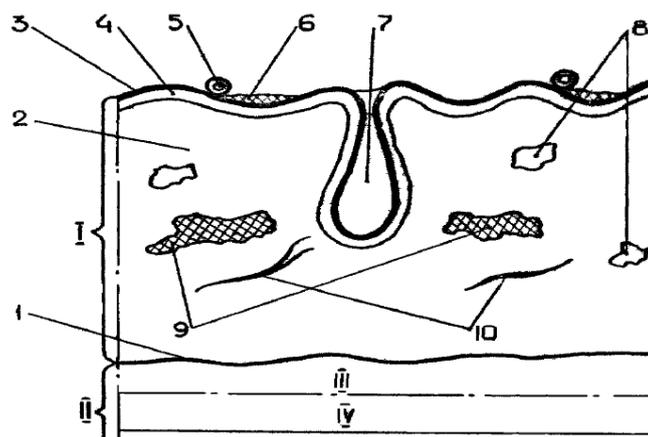


Рис. 1. Схема строения участка детали с наплавленным слоем:

I – наплавленный слой; II – основной металл детали; III – зона термического влияния; IV – металл детали с неизменными свойствами; 1 – поверхность сплавления; 2 – металл наплавленного слоя; 3 – поверхность наплавленного слоя; 4 – окисная пленка; 5 – капли застывшего металла; 6 – шлаковые включения; 7 – поры, выходящие на поверхность; 8 – поры, не выходящие на поверхность; 9 – неметаллические включения; 10 – трещины

Полностью избежать включения в состав наплавочных электродных материалов шлакообразующих компонентов (электродные обмазки, флюсы и шихта порошковой проволоки) в промышленных условиях практически невозможно из-за необходимости создания специальных защитных газовых сред [2].

Поэтому наиболее простым способом повышения качества поверхности деталей, восстановленных наплавкой, является совершенствование процессов последующей механической обработки, в том числе, изменение самой технологии механической обработки, конструкции и материалов токарных резцов.

При этом необходимо отметить влияние качества последующей механической обработки поверхности на эксплуатационные характеристики восстановленного наплавкой изделия. Оно заключается том, что в наплавленном металле на крупногабаритных изделиях возникает значительные растягивающие напряжения, что обуславливает его повышенную склонность к зарождению и раскрытию трещин как в процессе наплавки, так и при эксплуатации изделия в условиях циклического термического воздействия. Таким образом, косвенно повышение чистоты обработанной поверхности может снизить интенсивность образования и раскрытия термических трещин при термоциклическом воздействии заготовки на МНЛЗ [2].

Рассмотрим механическую обработку на примере наплавленной поверхности роликов МНЛЗ ЭСПЦ ОАО «ОЭМК» ( $\varnothing 400$  мм, длина 500 мм). Наплавленный материал - 25X5ФМС, материал основы - 20X13. Твердость поверхности – 42...47 HRC.

В настоящее время в условиях РМЦ ОАО «ОЭМК» токарная обработка наплавленной поверхности роликов осуществляется в два этапа – сначала черновая обработка в два-три прохода резцами из T5K10, а затем получистовая и чистовая обработка резцами Sandvik. Причем, перед черновой обработкой, требуется нагрев роликов до 560°C [3], а после черновой обработки охлаждение роликов до комнатной температуры. В печь ролики помещаются только по одному. В результате это приводит к потерям времени.

Научно-исследовательской лабораторией сверхтвердых материалов (НИЛ СТМ НИТУ «МИСиС») было предложено применять для обработки данных роликов токарный инструмент из кубического нитрида бора.

Кубический нитрид бора (cBN) — сверхтвердый материал, не имеющий природного аналога. Кристаллическая решетка кубического нитрида бора показана на рисунке 2.

Свойства кубического нитрида бора близки к свойствам алмаза, химический состав обуславливает его особенную ценность при обработке стали, где химическая активность алмаза может вызвать затруднения.

Инструменты с ПСТМ на основе cBN в сравнении с инструментами, оснащенными твердыми сплавами, обладают повышенной работоспособностью при обработке наплавленных покрытий.

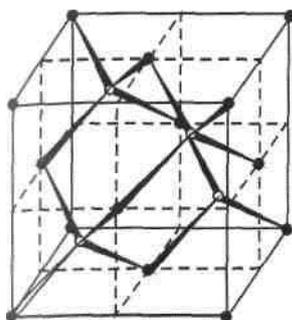


Рис. 2. Кубическая кристаллическая решетка сфалеритного нитрида бора

Характерной особенностью инструментов, оснащенных ПСТМ на основе cBN, является то, что с увеличением твердости наплавленного материала их стойкость снижается не столь значительно, как это имеет место у инструментов из твердых сплавов, что позволяет их эффективно использовать даже при большой неоднородности покрытий, наплавленных порошковыми проволоками.

Резцы с  $\varnothing 12,7$ ; h 13 мм пригодны для черновой обработки без предварительного нагрева "по корке" при режимах:  $n = 38$  об./мин.,  $t = 2,0$  мм/ на сторону,  $S = 0,2$  мм/об. Время обработки примерно 66 минут, шероховатость поверхности чистовая, расход пластин 1 шт./12 роликов. Применяемая в настоящий момент, обработка горячих роликов твердосплавными резцами осуществляется приблизительно за 105-110 минут.

Резцы с  $\varnothing 9,52$ ; h 4,76 пригодны для получистовой и чистовой обработки наплавленной поверхности при режимах:  $n = 106$  об/мин.,  $t = 1,0$  мм/ на сторону,  $S = 0,2$  мм/об. Стойкость резца примерно 500 мм (на один проход – одна шестая одной стороны пластины). Нужен один чистовой проход. Время одного прохода примерно 25 минут. Для резцов Sandvik полный цикл чистовой обработки составляет 70-80 минут.

Таким образом, применение токарных резцов с режущими пластинами из кубического нитрида бора для обработки наплавленных поверхностей роликов МНЛЗ, позволяет существенно сократить время обработки, а также отказаться от нагрева ролика перед механической обработкой (что приведет к сокращению общего времени восстановления ролика и снижению расходов на электроэнергию). А значит применение резцов из cBN (даже без учета стоимости твердосплавных резцов, изготавливаемых непосредственно в условиях РМЦ) становится экономически целесообразным.

### Список литературы

1. Фисенко К.С. Повышение эффективности восстановления цилиндрических деталей машин за счет совмещения процессов наплавки и механической обработки // Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., Ростов-на-Дону, 2013. – 26с.
2. Соколов Г.Н. Формирование композиционной структуры наплавленного металла для работы в условиях термосилового воздействия и разработка технологии ЭШН прессовых штампов и инструмента // Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н., Волгоград, 2007. – 36с.
3. Маршрутная карта технологического процесса ремонта ролика машины непрерывного литья заготовки ОАО «ОЭМК» от 19.10.2012г. Разработал Перекупка П.А.
4. Ангелло Г.Н. Обоснование рационального способа обработки высокотвердых наплавленных поверхностей // Вестник Астраханского ГТУ. – 2008. – № 2 (43). – С. 79-83.

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ОПОРНЫХ ВАЛКОВ НШС  
ПО КРИТЕРИЮ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ**

**Анцупов А.В. (мл), Анцупов А.В., Анцупов В.П., Слободянский М.Г., Русанов В.А.**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Россия, г. Магнитогорск

E-mail: momz-magtu@yandex.ru

***Аннотация.** Разработана модель отказов опорных валков клетей кварто непрерывных широкополосных станов по критерию выносливости материалов и на ее основе сформулирована методика расчета их ожидаемого ресурса для заданного графика прокатки полос. В основу построения аналитической модели положен кинетический подход к описанию процесса разрушения материалов твердых тел и основные принципы теории прогнозирования надежности технических объектов.*

***Ключевые слова:** прогнозирование; модель отказов; критерий; кинетическая прочность; ресурс; опорные валки.*

**THE METHOD OF FORECASTING OF RESOURCE OF BACK-UP ROLLS ENM BY  
THE CRITERIA CONTACT STRENGTH**

**Antsupov A. (jr), Antsupov A.V., Antsupov V.P., Slobodyanskii M. G., Rusanov V. A.**

Magnitogorsk state technical University. G. I. Nosov, Russia, Magnitogorsk

E-mail: momz-magtu@yandex.ru

***Annotation.** A model of failures backup roll cages quarto continuous broadband camps on the criterion of endurance materials and on this basis formulated method of calculating their expected lifetime for a given rolling schedule bands. The basis of analytical models put kinetic approach to the description of the destruction of solid materials and the basic principles of the theory of forecasting the reliability of technical objects.*

***Keywords:** forecasting; Model denials; criterion; kinetic strength; resources; supporting rolls.*

Одной из основных причин потери работоспособности опорных валков непрерывных широкополосных станов (НШС) горячей и холодной прокатки является выкрашивание их поверхностного слоя [1, 2]. Момент отказа валков по этой причине не поддается предсказанию, а классические условия контактной прочности, предложенные А.И. Целиковым, П.И. Полухиным, А.А. Королевым, А.В. Третьяковым, Э.А. Гарбером и другими известными учеными [1, 2] вида:

$$\sigma \leq \sigma_{np}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  - максимальное расчетное контактное напряжение;  $\sigma_{np} \approx 10HSh$  или  $\sigma_{np} \approx 3 \cdot \sigma_T$  - предел выносливости материала поверхностного слоя вала ( $HSh$  - твердость по шкале Шора;  $\sigma_T$  - предел текучести), не позволяющий оценить ресурс валков, так как время  $t$ , как аргумент, в выражениях (1) отсутствует.

Для построения модели отказа опорных валков по указанному критерию и разработки аналитической методики расчета их проектного ресурса использованы базовые положения теории прогнозирования надежности технических объектов [3-6] и кинетический подход к моделированию процесса повреждаемости и разрушения структуры материалов твердых тел [7, 8]. Такой подход описывает разрушение как кинетический, развивающийся во времени процесс постепенной повреждаемости материалов и накопления дефектов их структуры. Он успешно использован при разработке моделей отказов и методики расчета ожидаемого ресурса деталей трибосопряжений при моделировании процесса повреждаемости и разрушения (изнашивания) материалов поверхностных слоев [9-13].

Применительно к опорным валкам условием их работоспособности по критерию кинетической прочности материала поверхностного слоя, в отличие от статического неравенства (1), является энергетический критерий [3, 5]:

$$u_t(\sigma, T) < u_*. \quad (2)$$

В этом случае в соответствии с общей теорией прогнозирования надежности деталей машин в качестве параметра изменяющегося во времени состояния вала принимается текущая величина плотности внутренней энергии  $u_t(\sigma, T)$  локальных, наиболее нагруженных объемов материала, в которых действуют изменяющиеся по отнулевому циклу максимальные контактные напряжения  $\sigma$  при температуре слоя  $T$ . Следовательно, условием перехода опорного вала в предельное состояние (состояние отказа) по этому параметру является равенство [7]:

$$u_t(\sigma, T) = u_*, \quad (3)$$

где  $u_* = \Delta H_{TB}$  - критическая энергоёмкость материала валка, значение которой коррелирует с величиной энтальпии плавления материала в твердом состоянии  $\Delta H_{TB}$ .

Здесь текущая величина плотности внутренней энергии определяется выражением:

$$u_t(\sigma, T) = u_0 + \Delta u_t = u_0 + \Delta u_{et} + \Delta u_{Tt}, \quad (4)$$

где  $u_0$  - плотность внутренней энергии  $u_t$  материала в исходном состоянии (при  $t = t_0$ );

$\Delta u_t = \int_0^t \dot{u}_t \cdot dt$ ,  $\Delta u_{et} = \int_0^t \dot{u}_{et} \cdot dt$  и  $\Delta u_{Tt} = \int_0^t \dot{u}_{Tt} \cdot dt$  - приращение плотности энергии  $u_t$ , ее скрытой (потенциальной)  $u_{et}$  и кинетической (тепловой)  $u_{Tt}$  составляющих за время  $t$  со скоростью  $\dot{u}_t$ ,  $\dot{u}_{et}$  и  $\dot{u}_{Tt}$  соответственно.

При выводе аналитической зависимости для расчета ожидаемого ресурса  $t_*$  примем стационарными условия нагружения опорного валка, когда максимальное контактное напряжение при прокатке каждой  $j$ -той полосы и температуру поверхностного слоя валка в течение периода эксплуатации можно считать постоянными ( $\sigma_j = const$ ,  $T = const$ ,  $\Delta u_{Tt} = const$ ). В этом случае, с учетом уравнений (2) и (3), условие его отказа (2) примет вид:

$$u_{et} = u_{e0} + \dot{u}_e \cdot t = u_{e*}, \quad (5)$$

Поскольку плотность скрытой энергии  $u_{et}$  накапливается постепенно в поверхностном слое валка при последовательной прокатке  $j$ -тых полос при изменении  $j$  от  $j = 1$  до  $j = j_*$ , уравнение (5) отказа валка можно записать в виде:

$$u_{et} = u_{e0} + \sum_{j=1}^{j=j_*} \Delta u_{ej} = u_{e0} + \sum_{j=1}^{j=j_*} \dot{u}_{ej}(\sigma_j, T) \cdot t_j \geq u_{e*}, \quad (6)$$

где  $u_{et}$  - текущее значение плотности скрытой энергии на произвольный момент времени  $t$ ;

$u_{e0}$  - плотность скрытой энергии дефектов материала в исходном состоянии [7]:

$$u_{e0} = \left( (0,067 \cdot HV)^{1,2} \cdot k_{\sigma} \right)^2 / (6 \cdot G); \quad (6.1)$$

$k_{\sigma}$  – комплексный структурный параметр:

$$k_{\sigma} = \left( 6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV + 0,12 \cdot 10^{-2} \right)^{-1}; \quad (6.2)$$

$G$  и  $HV$  – модуль сдвига материала и среднее значение твердости по Виккерсу;

$$\sum_{j=1}^{j=j^*} \Delta u_{ej} = \sum_{j=1}^{j=j^*} \mathcal{W}_j(\sigma_j, T) \cdot t_j \quad - \text{ суммарное приращение скрытой плотности энергии,}$$

накопленное в локальных наиболее нагруженных объемах поверхностного слоя опорного вала после прокатки  $j^*$ -ой полосы. Здесь  $j^*$  – номер последней полосы, при котором значение  $u_{et}$  будет меньше  $u_{e*}$ , а при  $j = j^* + 1$  станет равным или превысит критическую величину  $u_{e*}$  ( $u_{et} \geq u_{e*}$ );

$u_{e*} = \Delta H_{TB} - \Delta u_T$  – критическое значение плотности скрытой энергии дефектов  $u_{et}$  на момент разрушения  $t_*$ ;  $\Delta u_T = \rho(T) \cdot c(T) \cdot T$  – постоянная величина приращения тепловой составляющей внутренней энергии материала поверхностного слоя опорного вала при рабочей температуре  $T = const$ ;  $\rho(T)$  и  $c(T)$  – плотность и теплоемкость материала опорного вала.

$\mathcal{W}_j(\sigma_j, T)$  – скорость накопления плотности скрытой энергии дефектов при прокатке  $j$ -той полосы, уравнение для определения которой представлено ниже.

Искомый ожидаемый ресурс вала может быть определен решением уравнения (6) относительно  $t = t_{j^*}$ :

$$t = t_{j^*} = k_{\Pi} \cdot k_{fj} \cdot \left[ u_{e*} - u_{e0} - \sum_{j=1}^{j=j^*} \mathcal{W}_j(\sigma_j, T) \cdot t_j \right] / \mathcal{W}_{j^*}(\sigma_{j^*}, T), \quad (7)$$

где  $j = j^*$  – номер последней полосы, при котором выражение в квадратных скобках и  $t = t_{j^*}$  сохраняют положительное значение, а при  $j = j^* + 1$  становятся равным или меньше нуля, т.е. при прокатке  $j^* + 1$ -вой полосы плотность скрытой энергии материала поверхностного слоя вала достигает или превышает значение  $u_{e*}$ ;

$k_{\Pi} = (t_j + t_{\text{паузы}}) / t_j$  – коэффициент, учитывающий увеличение ресурса из-за наличия пауз между прокатываемыми полосами;

$k_{fj} = \pi \cdot D_{on} / l_j$  - коэффициент, учитывающий фактическую частоту циклов нагружения валка;  $l_j$  - ширина зоны контакта рабочего и опорного валков при прокатке  $j$ -ой полосы, определяемая согласно [14];  $D_{on}$  - диаметр опорного валка.

Для оценки в условии (7) скорости деградации материала поверхностного слоя опорного валка  $u_{ej}(\sigma_j, T) = u_e(\sigma, T_f)$  при прокатке  $j$ -той полосы может быть использовано общее кинетическое уравнение повреждаемости твердых тел в квазистационарном приближении [7, 8]:

$$\mathcal{U}(\sigma, T_f) = K_C \cdot A \cdot sh[a \cdot \alpha \cdot \sigma_i^2 / v_0], \quad (8)$$

где  $\sigma = \sigma_j$  - максимальное контактное напряжение в зоне взаимодействия опорного и рабочего валков при прокатке  $j$ -той полосы, изменяющееся по отнулевому циклу;

$\sigma_i$  - девиаторная часть тензора напряжений:

$$\sigma_i = M_R \cdot \sigma; \quad (8.1)$$

$M_R$  - коэффициент эквивалентности воздействия статических и циклических напряжений:

$$M_R^2 = 3 \cdot \sigma_T \cdot (65 + 0,46 \cdot HV) / (3 \cdot \sigma_R)^2; \quad (8.2)$$

$\sigma_T, \sigma_R$  - предел текучести и предел выносливости материала опорного валка;

$K_C$  - коэффициент учитывающий упрочнение материала валка при прокатке [15, 16]:

$$K_C = \mathcal{U}' / \mathcal{U} = (u_{e*} - u_{e0}) / (u'_{e*} - u_{e0}) = (2 \cdot (u_{e*} - u_{e0})) / (3 \cdot u_{e*} - u_{e0}); \quad (8.3)$$

$v_0 = T_0 / 870$  - коэффициент неравномерности распределения плотности внутренней энергии по объему материала валка в исходном состоянии.

Параметр  $A$ , характеризующий скорость повреждаемости от действия шаровой части тензора напряжений  $\sigma_0 = M_R \cdot \sigma / 3$ :

$$A = (2 \cdot k \cdot T_f \cdot U(\sigma_0, T_f) / h) \exp[-(U(\sigma_0, T_f) \cdot V_{am} / (k \cdot T_f))]; \quad (8.4)$$

$T_f = T_0 + (T_* - T_0)/(44 \cdot v_0)$  - средняя температура поверхностного слоя опорного валка с учетом саморазогрева материала при циклическом нагружении;  $T_0$  - температура валка в исходном состоянии;

$T_* = T_0 \cdot (3 \cdot \sigma_T)^2 / ((3 \cdot \sigma_T)^2 - \sigma_i^2)$  - мгновенная температура разогрева локальных, наиболее нагруженных объемов материала поверхностного слоя;

$U(\sigma_0, T_f) = U(p_{T_0}) - \Delta U_T - \Delta U_{\sigma_0}$  - энергия активации процесса разрушения материала валка для заданных условий нагружения:

$U(p_{T_0}) = -2,05 \cdot 10^{-8} T_0^3 + 5,055 \cdot 10^{-5} T_0^2 + 0,0103 T_0 + 10,43$  - начальная энергия активации разрушения с учетом теплового давления при  $T = T_0$  и  $\sigma = 0$ ;

$\Delta U_T = 3 \cdot \alpha_0 \cdot K(T_f) \cdot T_* / 2$  - изменение энергии активации от температуры  $T_*$ ;

$\alpha_0$  - коэффициент линейного расширения;

$K(T_f)$  - модуль объемной упругости материала при температуре  $T_f$ ;

$\Delta U_{\sigma_0} = \beta \cdot \sigma_0^2$  - изменение энергии активации от шаровой части тензора напряжений;

$\beta = \varphi_\sigma^2 / (2 \cdot K(T_f))$  - коэффициент энергии изменения объема;

$\varphi_\sigma = k_\sigma \cdot v_0^{0,5}$  - коэффициент перенапряжения на межатомных связях.

Коэффициенты для определения энергии формоизменения  $a$  и  $\alpha$  в уравнении (7):

$$a = v_0 \cdot V_{am} / (2 \cdot k \cdot T_*); \quad \alpha = \varphi_\sigma^2 / (6 \cdot G(T_f)), \quad (8.5)$$

где  $G(T_f) = E(T_f) / (2 \cdot (1 + \mu(T_f)))$  - модуль сдвига материала при температуре  $T_f$ ;

$E(T_f) = E \cdot e^{-0,0007 \cdot T_f}$ ;  $\mu(T_f) = \mu \cdot e^{-0,0005 \cdot T_f}$  - модуль линейной упругости, коэффициент

Пуассона материала;

Методика прогнозирования ресурса опорных валков по критерию контактной выносливости материала на основе модели их отказов (6) - (8) с учетом (6.1), (6.2) и (8.1) - (8.5), представляет последовательность следующих операций:

- последовательно для каждого  $j=1\dots j_*$  определяются максимальные контактные напряжения  $\sigma = \sigma_j$  в зоне взаимодействия опорного и рабочего валков [14];

- определяется скорость повреждаемости материала  $u_{ej}(\sigma_j, T) = u_e(\sigma, T)$  поверхностного слоя опорного валка по уравнению (8), с учетом рассчитанных по условиям (8.1)-(8.5) всех входящих в него параметров;

- по уравнению (7) с учетом (6.1) и (6.2) рассчитывается ресурс валка  $t = t_{j*}$ .

В настоящее время методика проходит адаптацию к условиям работы валков станов горячей и холодной прокатки ОАО "ММК".

### Список литературы

1. Гарбер Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология). – М.: ОАО «Черметинформация»; Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2004. – 416 с.
2. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: учеб.пособие для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: «Металлургия».1985. 376 с.
3. Анцупов А.В. (мл.). Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и износостойкости материалов: монография / А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 308 с.
4. Antsupov A.V. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jun), V.P. Antsupov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013. №5 (45). P. 62-66.
5. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2014. №1. С. 141-146.
6. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №2. С.26-32.
7. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. – Ташкент: Издательство «Фан» УзССР, 1985. – 165с.

8. Федоров В.В. Основы эргодинамики и синергетики деформируемых тел / В.В. Федоров; под ред. С.В. Федорова. - Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2014.- Ч.III. Основы эргодинамики деформируемых тел.- 222с.
9. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, №4. С. 56-61.
10. Анцупов А.В. (мл) Структурно-энергетическая интерпретация взаимосвязи процессов трения и изнашивания / А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский и др. // Межрегиональный сборник научных трудов. под редакцией С.И. Платова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2009. С. 233-239
11. Анцупов А.В. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: Монография / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов // Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013.- 293с.
12. Анцупов В.П. Выбор износостойких материалов при проектировании узлов трения / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, М.Г. Слободянский и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 67-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Том 1. С. 197-200.
13. Анцупов В.П. Структурно-энергетический подход к оценке фрикционной надежности материалов и деталей машин / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, М.Г. Слободянский и др. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 66-й научно-технической конференции. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. Том 1. С. 258-262.
14. Анцупов А.В. (мл.), Слободянский М.Г. Прогнозирование долговечности опорных валков и оценка эффективности способов продления их ресурса // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. №3. С. 74-79.
15. Теоретический метод обеспечения ресурсных характеристик деталей машин / А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов // Механическое оборудование металлургических заводов / Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2015. №1 (4) С. 14-18.
16. Методика контрольной проверки деталей машин на надежность при компоновке машины / А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, В.А. Русанов // Вопросы технических наук: новые подходы в решении

актуальных проблем / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. №2. Казань, 2015. С. 16-20.

УДК 669.1.002.5-192

## **МОДЕЛЬ ИЗНОСОВЫХ ПРОЕКТНЫХ ОТКАЗОВ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН**

**Анцупов А.В., Анцупов А.В., Анцупов В.П., Русанов В.А., Слободянский М.Г.**

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Россия, г. Магнитогорск, E-mail: [volody-74mgn@mail.ru](mailto:volody-74mgn@mail.ru), тел: 89048107171

*Аннотация.* Представлена общая постановка краевых задач теории надежности подшипников скольжения граничного трения. Методика их решения показана для краевых условий и расчетной схемы стандартных пар трения "ролик - колодка" при проектной оценке их ресурса. На базе методики оценен ресурс и предложены решения по повышению долговечности ряда промышленных узлов трения, которые внедрены в производство.

*Ключевые слова:* трибосопряжение; модель отказов; критерий; износостойкость; ресурс; подшипник скольжения.

## **MODEL PROJECT IZNOISOVYH BEARING FAILURE SLIDING METALLURGIC**

**Antsupov A., Antsupov A., Antsupov V., Rusanov V., Sloboyanskyi M.**

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, the Russian Federation

*Annotation.* A general formulation of boundary value problems of reliability theory of sliding bearings boundary lubrication. Methods of their solution is indicated for the boundary conditions and the design scheme of standard friction pairs "movie - shoes" when assessing their design life. Based on the estimated resource and methodology proposed solutions to improve the durability of a number of industrial friction units that are introduced into production.

*Keywords:* friction units; model denials; criterion; wear; resources; plain bearing.

Актуальной проблемой металлургического производства является вопрос обеспечения требуемого уровня надежности и долговечности механического оборудования. Как показывает практика, главной причиной отказов машин и агрегатов является не поломка

наиболее нагруженных элементов, а износ подвижных сопряжений, значительную часть которых составляют опоры скольжения, работающие в условиях граничного или полужидкостного трения [1]. К ним относятся подшипники скольжения прокатных валков обжимных и сортовых станков, черновых клетей листовых станков горячей прокатки, силовых редукторов и шестеренных клетей, роликов рольгангов, многочисленные опоры скольжения исполнительных гидродвигателей и золотниковых гидроаппаратов, направляющие скольжения и ползуны кантователей рулонов, вальцешлифовальных станков и множество других подобных пар трения вращательного и поступательного движения.

При проектировании новых машин конструктор обязательно рассчитывает на прочность наиболее ответственные детали, тогда как практически ни одно подвижное соединение не проверяют на износостойкость. Для многих узлов трения подобного рода, в которых по условиям работы режим жидкостного трения принципиально недостижим, практическим критерием оценки их работоспособности являются условия [2]:

$$p = F_r / (l \cdot d) \leq [p], \quad p \cdot \vartheta \leq [p\vartheta], \quad (1)$$

где  $p$  - условное давление на контакте;  $F_r$  - радиальная нагрузка на подшипник;  $l$ ,  $d$  и  $\vartheta$  - длина подшипника, диаметр и окружная скорость цапфы вала;  $[p]$  и  $[p\vartheta]$  - допускаемые величины, определяемые из опыта эксплуатации подобных конструкций.

Условный расчет по  $[p]$  в приближенной форме предупреждает разрушение вкладыша или его поверхностного слоя, по  $[p\vartheta]$  - интенсивный износ, перегрев и заедание.

Кроме того, к настоящему времени известно множество моделей концептуального подхода [3, 4], в рамках которого созданы классические расчетные зависимости В.Д. Кузнецова, И.В. Крагельского, Г. Фляйшера, Д. Арчарда, Е. Финкина, Дж. Ланкастера, Д. Мура, А. Кризи, и др. Наиболее распространенные классы моделей, широко применяемые для оценки текущего линейного износа  $y_t$  элементов трибосопряжений, работающих в условиях стационарного трения и усталостного изнашивания, можно использовать для проектной оценки их ожидаемого ресурса  $t_*$ . Его величина может быть определена из условия отказа сопряжения  $y_t = [y]$  в виде трех возможных уравнений [3]:

$$t_* = [y] / (\alpha^* \cdot I_h \cdot V_{CK}); \quad (2)$$

$$t_* = [y] / (\alpha^* \cdot \Phi_I \cdot p_a \cdot V_{CK}); \quad (3)$$

$$t_* = [y] / (\alpha^* \cdot I_\omega \cdot f \cdot p_a \cdot V_{ск}). \quad (4)$$

Первое уравнение получено для случая, когда  $y_t = I_h \cdot L_t = I_h \cdot V_{ск} \cdot t$ , второе - для  $y_t = \Phi_I \cdot a_{мп}^{\max} = \Phi_I \cdot p_a \cdot V_{ск} \cdot t$ , третье - для  $y_t = I_w \cdot a_{мп} = I_w \cdot f \cdot p_a \cdot V_{ск} \cdot t$ . Здесь  $[y]$  - допустимое значение линейного износа поверхности трения  $A_T = A_a / \alpha^*$  трибоэлемента ( $A_a$  - номинальная площадь контакта;  $\alpha^*$  - коэффициент перекрытия);  $p_a = F_n / A_a$  - среднее (или максимальное) номинальное давление на контакте;  $V_{ск}$  - скорость скольжения;  $F_n$  - нормальная сила в сопряжении;  $f$  - коэффициент трения на контакте;  $L_t$ ,  $a_{мп}^{\max}$  или  $a_{мп}$  - путь трения, максимальная (при  $f = f_{\max} = 1$ ) или фактическая работа удельной  $f \cdot p_a$  силы трения.

Коэффициенты пропорциональности (показатели изнашиваемости) в выражениях (2)–(4) имеют следующий физический смысл:  $I_h$  - линейной интенсивности изнашивания,  $\Phi_I$  - фактора (коэффициента) износа;  $I_\omega$  - энергетической интенсивности изнашивания. Значения этих коэффициентов находят экспериментально по стандартной методике [5], статистической обработкой результатов измерений износа  $y_t$  образцов и рассчитанных значений параметров трения: пути ( $L_t$ ) или работы ( $a_{мп}^*$  или  $a_{мп}$ ). Поэтому описанные выше полуэмпирические модели невозможно использовать на стадии проектирования новых узлов трения, или сопряжений для других условий эксплуатации. В этом случае возникает необходимость проведения модельных или натурных испытаний для определения  $I_h$ ,  $\Phi_I$  или  $I_\omega$ , которые характеризуют определенные условия фрикционного взаимодействия и конструктивные особенности исследуемых изделий. Это связано с существенными материальными, временными и финансовыми затратами.

В связи с этим уже на стадии проектирования подшипников скольжения (ПС) актуальной становится проблема оптимального выбора их конструкции, материалов наиболее изнашиваемых элементов и условий трения на контакте для обеспечения требуемого в техническом задании уровня их долговечности (срока службы) при одновременном снижении стоимости этапов проектно-конструкторской разработки. Эти задачи, на наш взгляд, можно решить аналитически, без проведения модельных или натурных испытаний образцов, на основе математического моделирования процесса формирования отказов ПС по критерию износостойкости материалов поверхностного слоя.

В этом случае физико-математическая модель отказов ПС представляет собой однопараметрическую краевую задачу теории надежности класса стационарных сопряжений. Для ее построения можно использовать общий методологический подход к прогнозированию надежности технических объектов [6] и энерго-механическую концепцию изнашивания стационарных трибосистем [4]. Она сформулирована на базе совместного решения основополагающих уравнений молекулярно-механической [7] и структурно-энергетической [8-10] теорий трения.

В соответствии с правилами общей теорией прогнозирования надежности объектов [11, 12] в качестве параметра состояния  $x_t$  исследуемого сопряжения можно принять текущее значение толщины вкладыша (направляющей втулки, уплотнения и т.п.). В процессе изнашивания вкладыша со средней скоростью  $\dot{x}$  его размер уменьшается от начального значения  $x_t = x_0$  до предельной величины  $x_t = x_*$ , которая назначается из нормативно - технической документации. При этом можно полагать, что трибосопряжение работает в установившемся режиме усталостного изнашивания в нормальных условиях эксплуатации. Износом стального контртела (шейки вала, ролика, плунжера, золотника и т.п.), как показывает практика, можно пренебречь.

В этом случае уравнение эволюции ПС в процессе будущей эксплуатации можно записать в виде:

$$x_t = x_0 - \dot{x}t. \quad (5)$$

Решением уравнения перехода ПС в предельное состояние:

$$x_t = x_0 - \dot{x}t = x_* \quad (6)$$

относительно  $t = t_*$ , получим выражение для оценки его ожидаемого ресурса:

$$t_{n*} = (x_0 - x_*) / \dot{x}. \quad (8)$$

Кинетическое уравнение деградации ПС для оценки скорости изнашивания вкладыша можно записать в виде базовой зависимости энерго-механической концепции [4]:

$$\dot{x} = \alpha^* \cdot \nu \cdot f_{мех}^y \cdot p_a \cdot V_{ск} / \Delta u_{e*}, \quad (9)$$

где  $\alpha^*$  - коэффициент перекрытия вкладыша;

$\nu$  - коэффициент преобразования внешней энергии в материале его поверхностного слоя;

$f_{мех}^y$  - механическая составляющая коэффициента трения в стационарном режиме;

$p_a$  - среднее номинальное давление на контакте для пар вращения или  $p_{\max}$  для сопряжений поступательного движения;

$V_{ск}$  - скорость скольжения на контакте;

$\Delta u_{e^*}$  - критическая энергоемкость материала поверхностного слоя вкладыша.

Система уравнений (8), (9) и зависимостей для определения перечисленных параметров, входящих в выражение (9), представляет однопараметрическую краевую задачу физической теории надежности ПС в общем виде. Для получения однозначного решения поставленной задачи необходимо сформулировать условия однозначности, выделяющие исследуемый объект из класса ему подобных, которые включают:

- его отличительные признаки, характеризующие конструктивные особенности и расчетную схему нагружения элементов ПС;

- начальные условия, включающие совокупность значений параметров, характеризующих исходное состояние трибоузла в начальный момент времени  $t = 0$ ;

- граничные условия, представляющие совокупность уравнений, позволяющие математически описать взаимодействие элементов сопряжения на границах с окружающей средой и определить необходимые для решения краевой задачи (8) - (9) стационарных величин.

Таким образом, если задана конструкция, отличительные признаки и расчетная схема нагружения элементов выбранного ПС, совокупность уравнений (8)-(9) и зависимостей, описывающих начальные и граничные условия, представляет модель его износных отказов, с помощью которой возможно решать различные, упомянутые выше, проектные задачи по обеспечению его долговечности.

Решение краевой задачи удобно представить на примере проектной оценки долговечности стандартных пар трения "ролик 1 - колодка 2" по критерию износостойкости колодки (вкладыша) для расчетной схемы, представленной на рисунке. Данная схема моделирует практически любую реальную подшипниковую опору скольжения.

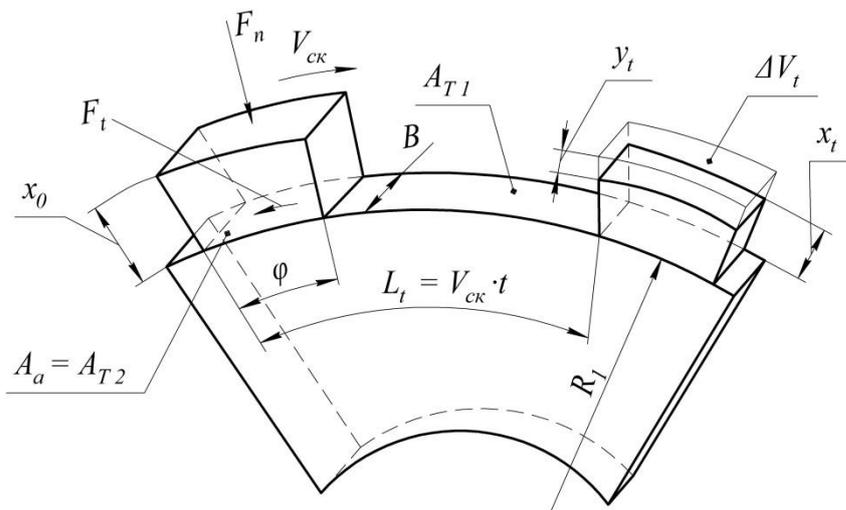


Рис.1. Расчетная схема нагружения элементов ПС

Алгоритм решения включает следующие блоки.

Блок 1. Исходные данные (см. рис.).

1 группа. Параметры внешнего нагружения (трения).  $F_n$ ,  $V_{ск}$  - нормальная сила и скорость скольжения на контакте.

2 группа. Геометрические характеристики элементов, рис.  $R_1$ ,  $B$ ,  $\varphi$  - радиус ролика, его ширина и угол охвата ролика колодкой;  $x_0$ ,  $x_*$  - толщина колодки в исходном состоянии и ее предельное значение.

3 группа. Микрогеометрические характеристики трущихся поверхностей.  $R_{a1}$ ,  $R_{a2}$  и  $\Delta_1$  - среднеарифметическое отклонение профиля поверхностей трибоэлементов и комплексный параметр шероховатости поверхности ролика;

4 группа. Физико- механические характеристики материалов ролика и колодки в исходном состоянии.  $\mu_{1,2}$ ,  $E_{1,2}$ ,  $\sigma_{тц1,2}$ ,  $\sigma_{T1,2}$ ,  $\sigma_{B1,2}$ ,  $HB_{1,2}$ ,  $HV_{1,2}$ ,  $\alpha_{\varphi 1,2}$ ,  $\rho_{1,2}$  - коэффициент Пуассона, модуль упругости, предел пропорциональности, текучести и прочности, твердость по Бринеллю и Виккерсу, коэффициент гистерезисных потерь и плотность материалов ролика и колодки соответственно.

5 группа. Теплофизические характеристики материалов ролика и колодки в исходном состоянии.  $\Delta H_{s1,2}$ ,  $\lambda_{1,2}$ ,  $\alpha_{1,2}$  - энтальпия плавления, коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи соответственно.

6 группа. Фрикционные характеристики сопряжения материалов.  $\tau_0$ ,  $\beta$  - удельная сдвиговая прочность поверхностей и коэффициент упрочнения молекулярной связи.

Блок 2. Параметры контакта и свойства материалов.

2.1. Площади контакта, трения и коэффициент перекрытия, рис. :

$$A_a = A_{T2} = R_1 \cdot \varphi \cdot B; \quad A_{T1} = 2\pi \cdot R_1 \cdot B; \quad \alpha_1^* = A_a / A_{T1}; \quad \alpha_2^* = A_a / A_{T2}.$$

2.2. Периметры площадей трения:  $u_1 = 2 \cdot (2\pi \cdot R_1 + B)$ ;  $u_2 = 2 \cdot (R_1 \cdot \varphi + B)$ .

2.3. Номинальное давление на контакте:  $p_a = F_n / A_a$ .

2.4. Предел пропорциональности и модуль сдвига материалов:

$$\sigma_{ну1,2} = (0,9 \div 0,97) \cdot \sigma_{T1,2}; \quad G_{1,2} = E_{1,2} / (2 \cdot (1 + \mu_{1,2})).$$

2.5. Упругие постоянные материала ролика и колодки:

$$\theta_1 = (1 - \mu_1^2) / E_1; \quad \theta_2 = (1 - \mu_2^2) / E_2.$$

Блок 3. Распределение внешней энергии [9].

3.1. Коэффициент поглощения внешней энергии материалом ролика:

$$\nu_1 = 1 - (K_\varepsilon \cdot R_{a1}^{1/3} + 1)^{-1}; \quad K_\varepsilon = \theta_1^{2/3} / (\theta_2^{2/3} \cdot R_{a2}^{1/3}).$$

3.2. Коэффициент поглощения внешней энергии материалом колодки:  $\nu_2 = 1 - \nu_1$ .

Блок 4. Коэффициент трения.

4.1. Внутреннее напряжение (контурное давление) в поверхностном слое колодки [13]:

$$\sigma_{a2} = \sigma_{T2} \cdot (p_a / \sigma_{T2})^{p_a / \sigma_{T2}}.$$

4.2. Вид напряженного состояния поверхностного слоя колодки [7]:

$$\begin{cases} \text{упругое состояние, если } \sigma_{a2} < \sigma_{ну2}; \\ \text{упруго-пластическое, если } \sigma_{y2} < \sigma_{a2} < \sigma_{T2}; \\ \text{пластическое, если } \sigma_{T2} < \sigma_{a2} < HB_2. \end{cases}$$

4.3. Коэффициент трения для определенного вида напряженного состояния поверхностного слоя колодки:

- при упругом напряженном состоянии:

$$f = 2,4 \cdot \tau_0 \cdot \left( \frac{\theta_2^4}{p_a \cdot \Delta_1^2} \right)^{0,2} + \beta + 0,2 \cdot \alpha_{\varphi 2} \cdot (p_a \cdot \Delta_1^2 \cdot \theta_2)^{0,2};$$

- при упругопластическом:  $f = 1,25 \cdot \tau_0 \cdot \left( \frac{\theta_2^2}{p_a \cdot \Delta_1} \right)^{1/3} + \beta + 0,4 \cdot \alpha_{\varphi 2} \cdot (p_a \cdot \Delta_1 \cdot \theta_2)^{1/3};$

- при пластическом напряженном состоянии:  $f = \frac{\tau_0}{HB_2} + \beta + 0,9 \cdot \left( \frac{p_a}{HB_2} \cdot \Delta_1 \right)^{0,5}.$

Блок 5. Температура [14].

5.1. Параметры, определяемые свойствами ролика и колодки:  $m_{1,2} = \sqrt{\frac{\alpha_{1,2} \cdot u_{1,2}}{\lambda_{1,2} \cdot A_{T 1,2}}}.$

5.2. Температуры поверхностных слоев ролика и колодки в установившемся режиме

трения:  $T_{1,2} = \frac{f \cdot F_n \cdot V_{ск}}{A_{T 1,2} \cdot (\lambda_2 \cdot m_2 + \lambda_1 \cdot m_1)} + T_0.$

Блок 6. Физико-механические характеристики материалов для  $T_{1,2} = const$ . Упругие

постоянные материалов ролика и колодки:  $\theta_{1,2}(T_{1,2}) = (1 - \mu_{1,2}^2(T_{1,2})) / E_{1,2}(T_{1,2}).$

Блок 7. Коэффициент трения в стационарном режиме [7].

7.1. Полный коэффициент трения:  $f^y = 1,25 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2})^{0,5} + \beta.$

7.2. Его механическая составляющая:  $f_{мех}^y = \frac{1,25 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2}) + \beta \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2})^{0,5}}{3 \cdot (\tau_0 \cdot \theta_2(T_2) \cdot \alpha_{\varphi 2})^{0,5} + \beta}.$

Блок 8. Критическая энергоемкость [15].

8.1. Плотность скрытой энергии материала колодки в исходном состоянии: для

эластомеров  $u_{e02} = 0$ , для металлов:  $u_{e02} = \frac{(0,071 \cdot HV_2)^{2,4}}{6 \cdot G \cdot (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV_2 + 0,12 \cdot 10^{-2})^2}.$

8.2. Изменение плотности тепловой составляющей внутренней энергии материала

колодки при температуре  $T_2$  установившегося режима:  $\Delta u_{T^*2} = \int_0^{T_2} \rho_2(T_2) \cdot c_2(T_2) \cdot dT.$

8.3. Критическая плотность скрытой энергии материала поверхностного слоя колодки (критическая энергоемкость материала) в установившемся режиме трения и усталостного изнашивания:  $\Delta u_{e*2} = \Delta H_{S2} - u_{e02} - \Delta u_{T*2}$ .

Блок 9. Повреждаемость. Скорость линейного изнашивания колодки по (9):

$$\dot{x}_2 = \alpha_2^* \cdot v_2 \cdot f_{mex}^y \cdot p_a \cdot V_{ck} / \Delta u_{e*2}.$$

Блок 10. Долговечность. Ожидаемый ресурс пары трения по (8):  $t_* = (x_0 - x_*) / \dot{x}_2$ .

Предложенная методика была использована для построения моделей износных отказов ряда промышленных узлов трения станков горячей листовой прокатки: опорных валков [16], уплотнений исполнительных гидродвигателей системы уравнивания рабочих валков [17-19], направляющих втулок и герметизирующих узлов гидрораспределителей системы очистки горячекатаных полос от окалина [19-20]. Теоретические исследования на моделях позволили разработать ряд новых решений по повышению долговечности перечисленных узлов трения, которые прошли промышленную проверку и внедрены в действующее производство.

### Список литературы

1. Современные методы прогнозирования износа узлов трения / Крагельский И.В., Комбалов В.С., Логинов А.Р., Сачек Б.Я. // Обз. инф. «Межотраслевые вопросы науки и техники». М.:ГОСНИТИ, 1979, вып.15. – 31с.
2. Чернавский С.А. Подшипники скольжения.- М.: Машгиз, 1963.-244с.
3. Обобщение моделей концептуального подхода для оценки показателей износостойкости трибосистем / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.А. Русанов и др. // Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Корчунова А.Г. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. тех. ун-та, 2012.- С. 67-73.
4. Анцупов А.В. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: монография/ А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 293 с.
5. Р 50-95-88 Обеспечение износостойкости изделий: основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1989.- 24с.

6. Анцупов А.В. (мл.) Теория и практика обеспечения надежности деталей машин по критериям кинетической прочности и износостойкости материалов: монография / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 308с.
7. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ.- М.: Машиностроение, 1977.- 526 с.
8. Структурно-энергетическая интерпретация взаимосвязи процессов трения и изнашивания / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.С. В.А. Русанов, Губин и др.. // Процессы и оборудование металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр./ под ред. Платова С.И. Вып.8.- Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009.- С. 233-240.
9. Протасов Б.В. Энергетические соотношения в трибосопряжении и прогнозирование его долговечности. – Саратов.: Саратовский университет, 1979. – 152с.
10. Структурно-энергетический подход к оценке фрикционной надежности материалов и деталей машин / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский и др. // Материалы 66-й науч.-техн. конф.: сб. докл. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008.- Т.1.- С. 258-262.
11. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский, А.В. Анцупов (мл), А.В. Анцупов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.- 2014.- №1.- С. 141-146.
12. Анцупов А.В. (мл.). Развитие теории прогнозирования надежности деталей машин / А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, В.П. Анцупов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал.- 2014.- №2.- С. 26-32.
13. Хохлов В.М. Расчет площадей контакта, допускаемых напряжений, износа и износостойких деталей машин.- Брянск: БГТУ, 1999.- 104 с.
14. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлингер, Э.Д. Браун и др. // Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе.– М.: Машиностроение, 2003.– 576с.
15. Федоров С.В. Основы трибоэргодинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости. – Калининград: КГТУ, 2003. – 409с.
16. Анцупов А.В. (мл.), Слободянский М.Г. Прогнозирование долговечности опорных валков и оценка эффективности способов продления их ресурса // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. №3. С. 74-79.

17. Оценка долговечности и повышение срока службы гидроцилиндров уравнивания прокатных валков / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов, А.С. Губин // Безопасность и живучесть технических систем: Труды IV Всероссийской конференции. В 2т./ Науч. ред. В.В. Москвичев.- Красноярск: Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, 2012.- Т.2.- С. 20-24.

18. Пат.на ПМ 114890. Гидроцилиндр устройства для регулирования раствора валков прокатной клетки / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), С.П. Шинкевич, А.С. Губин, В.А. Русанов // БИПМ.- 2012.- №11.- С 36.

19. Выбор износостойких материалов при проектировании узлов трения / В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.В. Анцупов, М.Г. Слободянский, А.С. Губин, В.А. Русанов // Материалы 67-й научно-технической конференции: сб. докл. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009.- Т.1.- С. 197-200.

20. Оценка долговечности и повышение срока службы золотниковых распределителей / А.В. Анцупов, В.А. Русанов, В.П. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), Р.Н. Савельева // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г.- Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. тех. ун-та, 2012.- С. 44-52.

УДК 621.77

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ГЕТЕРОГЕННОМ УПРОЧНЕНИИ**

**Афонин А.Н., Ларин А. И.**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

*Аннотация.* В статье приведена краткая характеристика методов формирования гетерогенной структуры поверхностным пластическим деформированием для повышения эксплуатационных характеристик деталей горно-металлургических машин, их достоинства, недостатки и перспективы применения.

*Ключевые слова:* коррозия; упрочнение; изнашивание; поверхностное пластическое деформирование; твердость; структура.

## **HETEROGENEOUS HARDENING OF MINING AND METALLURGICAL MACHINERY SURFACE PLASTIC DEFORMATION**

**Afonin A.N., Larin A.I.**

***Abstract.** Brief description of the methods of formation of heterogeneous structures by surface plastic deformation to improve the performance of parts of mining-metallurgical machines, their advantages, disadvantages and application prospects.*

***Keywords:** corrosion; hardening; wear; surface plastic deformation; hardness; structure.*

Увеличение статической прочности деталей не всегда равнозначно повышению их долговечности, так как с ростом предела прочности увеличивается вероятность усталостного и хрупкого разрушений деталей. Использование высокопрочных сталей ограничивается большой их чувствительностью к концентрации напряжений, различного рода дефектам поверхности, загрязненности неметаллическими включениями. Поэтому, когда наряду с высокими величинами упругости детали должны обладать большим сопротивлением переменным и динамическим нагрузкам, коррозии под напряжением, использование высокопрочных сталей оказывается малоэффективно [1]. Высокие комплексные требования современного машиностроения ставят перед машиностроителями задачи, которые не решаются применением традиционных видов термической и химико-термической обработки, их возможности уже в большей мере исчерпаны. В настоящее время накоплен большой опыт в разработке новых способов повышения надежности деталей и конструктивных узлов. Из многочисленных современных средств упрочнения не всегда легко выбрать оптимальный вид упрочнения для конкретного случая.

Сравнение эффективности различных способов повышения эксплуатационной стойкости деталей дало возможность наметить области их рационального применения с учетом факторов, лимитирующих надежность деталей в данных условиях [2] и известно, что наибольшее повышение усталостной прочности обеспечивает упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) [3]. С помощью ППД можно получать гетерогенно упрочненные структуры, для получения которых применяются различные методы ППД. Сущность способа заключается в следующем. Под давлением деформирующего инструмента микровыступы (микронеровности) поверхности детали пластически деформируются (сминаются), заполняя микровпадины обрабатываемой поверхности, что способствует повышению твердости поверхностного слоя. Это способствует повышению усталостной прочности на 30...70 %, износостойкости - в 1,5...2 раза, значительно снижается шероховатость поверхности упрочняемой детали.

К наиболее распространенным способам упрочнения ППД относятся: обкатка рабочих поверхностей шариками или роликами; алмазное выглаживание; дробеструйная обработка; ультразвуковое упрочнение; упрочнение наклепом.

Обкатку шариками или роликами выполняют с помощью шариковых или роликовых накаток (раскаток) на токарно-винторезных станках. При выполнении обработки ППД на упрочняемой поверхности детали формируется волнистый рельеф в направлении идущего в сторону главного движения. После этого деталь подвергается пластическому деформированию для формирования гладкой поверхности. Деформирование должно осуществляться накатниками с жестко закрепленными роликами, которые выставляются на номинальный размер упрочняемой поверхности. При деформировании металл перемещается роликами из выступов нарезанного рельефа во впадины. Обработка ППД сопровождается сложными структурными и фазовыми превращениями, что характерно для формирования поверхностного слоя. На начальной стадии происходит дробление зерен металла на блоки и образуется мозаичная структура. Затем по плоскостям скольжения образуются новые измельченные зерна. При этом кристаллиты сплющиваются, вытягиваются в направлении деформирования. Образуется упорядоченная ориентированная структура волокнистого характера с анизотропными механическими свойствами. Степень и равномерность упрочнения зависят в большей степени от основных параметрических характеристик: высоты, формы, шага. Шаг рельефа при ППД не должен превышать 1 мм, а высота 0,5 мм, так как высота рельефа пропорциональна неравномерности упрочнения, но необходимо обращать внимание на возможность образования складок – закатов. Преимущества: снижается шероховатость поверхности, микротвердость поверхностного слоя увеличивается на 40...60 %, возрастает глубина упрочненного слоя металла.

Алмазное выглаживание отличается от ППД обкаткой лишь конструктивными особенностями инструмента, в котором рабочим элементом служат алмаз, гексанит и другие сверхтвердые материалы. На качество алмазного выглаживания, степень упрочнения, твердость поверхностного слоя, влияет радиус сферической поверхности алмаза, усилие прижатия поверхности к детали, продольная подача и число проходов. Радиус алмаза выбирают в зависимости от исходной поверхности металла, из которого изготовлена деталь. Для материалов твердостью  $HV < 300$  радиус алмаза 2,5...3,0 мм; при  $HRC_{\Sigma} 35...50$  радиус алмаза 1,5...2,5 мм, т.е. с увеличением твердости поверхности детали радиус алмаза уменьшается.

Упрочняющий эффект при дробеструйной обработке достигается за счет пластического деформирования поверхности детали потоком металлической дроби, поступающей к поверхности детали со скоростью 30...90 м/с. На поверхности детали образуется

наклепанный слой глубиной до 0,7 мм. Микротвердость поверхностного слоя увеличивается на 30...35 %. Дробь к поверхности детали подается пневматическим и механическим способом. Материал дроби выбирают в зависимости от материала упрочняемой поверхности. Данный способ эффективен для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, например: листы рессор, пружины, зубья колес, сварные швы и т. д.

Ультразвуковое упрочнение относится к импульсивным способам деформирования наружной поверхности восстанавливаемых деталей. Рабочая часть инструмента, выполненная из материалов ВК8, Т15К6 или ШХ15, прижимается к обрабатываемой детали с помощью груза с усилием 300...400 Н и получает ультразвуковые колебания, создаваемые ультразвуковым генератором. Под действием статической и динамической сил пластически деформируется поверхностный слой детали, что повышает поверхностную микротвердость в 1,5...2 раза с глубиной упрочнения 0,3...0,4 мм; снижается шероховатость поверхности. Применение ультразвукового упрочнения особенно эффективно для инструментов, зубьев колес, деталей, изготовленных из чугуна, цветных металлов и сплавов, в том числе твердосплавных, а также для деталей сложной формы.

Упрочнение наклепом – это местное уплотнение металла с помощью специальных отбойных молотков, приводящее к возникновению внутренних напряжений сжатия при ударе рабочего инструмента по поверхности детали. Твердость поверхности детали возрастает на 30...50 %. Глубина наклепа достигает 20...25 мм, сопротивление усталости повышается на 50...90 %, долговечность увеличивается в два раза и более. Наклепом упрочняют как плоские поверхности (зубья колес, сварные швы), так и поверхности сложной формы (галтели коленчатых валов). Приобратки деталей ППД повышается также и сопротивление усталости [4]. Усталостные разрушения происходят в результате приложения малого числа циклов (порядка сотен тысяч) при повышенных напряжениях и протекает в основном при упругом и при упругопластическом деформировании. Путем ППД повышают сопротивление обычной и малоциклового усталости при воздействии как низких, так и высоких (до  $t = 800$  °С) температур и при различных схемах нагружения (изгиб, растяжение-сжатие, кручение и т. д.). Методы ППД применяют для повышения сопротивления усталости деталей любых размеров: торсионные валы с мелкими треугольными шлицами; зубчатые колеса; коленчатые валы двигателей всех типов и размеров, в том числе крупногабаритных из чугуна с шаровидным графитом; шатуны; силовые шпильки и болты, пружины, рессоры и т. д. Большое влияние на износостойкость при изнашивании всех видов оказывает микрогеометрия поверхности.

Большинство методов ППД не только снижает параметр шероховатости в 5...10 раз, но и создает благоприятную для износостойкости форму микронеровностей[5]. Это повышает

износостойкость и сокращает период приработки. Большое влияние на износостойкость оказывают твердость поверхности, микроструктура, состав металла. Обработка деталей ППД увеличивает поверхностную твердость до 40...70 %, в результате чего практически во всех случаях повышается износостойкость [1].

После обработки ППД, как правило, происходит сглаживание неровностей исходной поверхности и образование микрорельефа с впадинами, радиус которых значительно больше чем у поверхностей, обработанных любым методом резания, что определяет меньшую концентрацию в них продуктов, вызывающих коррозию. В результате коррозионная стойкость повышается. Повышение коррозионной стойкости обеспечивают статические методы, создающие небольшие глубины упрочнения, сильно снижающие шероховатость поверхности, при которой микронеровности имеют сглаженный характер без глубоких впадин. Повышению контактно-усталостной выносливости способствуют такие параметры поверхностного слоя, как: сглаженная форма микронеровностей; большая твердость; мелкодисперсная структура и сжимающие остаточные напряжения. Эти параметры при обработке достигаются на поверхности ПДД. Данные методы гетерогенного упрочнения ППД могут применяться для повышения эксплуатационных характеристик самых разнообразных деталей различного сортамента, которые используются в различных условиях. Но активное применение методов гетерогенного упрочнения ППД сдерживается, в связи с тем, что нет научнообоснованных требований к параметрам упрочненного слоя, который обеспечивает заданные эксплуатационные характеристики детали [3]. Нет в наличии рекомендаций по оптимальному распределению упрочненных участков по объемным характеристикам рабочей поверхности для разных условий эксплуатации материалов детали. Поэтому, чтобы существенно повысить качество изделий в области металлургии и машиностроения необходимо выполнить задачу по выявлению характера влияния параметров гетерогенно упрочненного слоя на эксплуатационные характеристики деталей машин и оборудования.

#### **Список литературы**

1. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. Бойцов А.Г., Машков В.Н., Смоленцев В.А., Хворостухин Л.А. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами. – М.: Машиностроение, 1991. – 144 с.

3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В. Разработка параметров для описания гетерогенно-упрочненной структуры// *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2011. – № 1 (285). – С. 63-66.
4. Ильин В. М., Кравец А. Н. Повышение надежности инструмента лазерным легированием // *Вестник машиностроения.* – 1987. – № 1. – С. 44-46.
5. Афонин А.Н., Ларин А.И., Макаров А.В., Бойко П.Ф. Гетерогенное упрочнение деталей горно-металлургических машин поверхностным пластическим деформированием. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Старый Оскол, 2014. – Т.П. – С. 3-10.

УДК 621.787

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ  
ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

**Афонин А.Н., Ларин А.И., Макаров А.В., Должиков Д.А., Зуйкин Р.А.**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

*Аннотация.* Установлено, что известные конструкции тензометрических приспособлений не позволяют моделировать упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) со значительными силами деформации. Предложена конструкция трехроlikовой тензометрической головки, создающей замкнутую систему сил. Описана методика проектирования и тарирования головки. Приведены параметры применяемого в автоматизированном тензометрическом комплексе измерительного оборудования и программного обеспечения. Разработанный тензометрический комплекс позволяет моделировать упрочняющую обработку ППД, а также накатывание резьб и других профилей на заготовках диаметром от 10 до 100 мм с силами деформирования до 20000 Н. Погрешность измерения силы деформирования не превышает 50 Н.

**Ключевые слова:** *поверхностное пластическое деформирование, силы деформирования, автоматизированный измерительный комплекс, тензометрическая головка, горно-металлургические машины, качество.*

## AUTOMATED MEASURING SYSTEMS FOR MODELING SURFACE PLASTIC DEFORMATION

**Afonin A.N, Larin A.I, Makarov A.V., Dolzhikov D.A., Zuykin R.A.**

StaryOskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»

**Abstract.** *It was found that the strain known design tools do not allow you to simulate hardening by surface plastic deformation (SPD) with significant deformation forces . The design of three roller strain gauge head , creating a closed system of forces. The methodology of engineering and calibration of head described. The parameters used in the automated complex strain gauge measuring equipment and software described. The automated measuring system allows to simulate strain hardening treatment of SPD , as well as rolling threads and other profiles in the blanks with a diameter of 10 to 100 mm with forces up to 20000 N. Measurement error of deforming force does not exceed 50 N.*

**Keywords:** *surface plastic deformation , deformation force , an automated measuring system , strain gauge head of mining - metallurgical machinery , quality.*

Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД) является одним из наиболее эффективных способов повышения надежности и долговечности горно-металлургических машин [1, 2, 6, 7, 8, 12]. Однако, использование этой прогрессивной технологии на производстве зачастую сдерживается отсутствием научно обоснованных рекомендаций по режимам обработки. В особенности это касается упрочнения ППД поверхностей сложной формы, деталей из сложнолегированных сталей и сплавов и т.д.

Важнейшим технологическим параметром обработки ППД является сила деформирования. Известные конструкции тензометрических приспособлений для измерения силы деформирования при ППД представляют собой упругую державку с установленным на ней роликом [2, 3, 13, 14, 15]. Подобная конструкция не позволяет моделировать обработку деталей со значительными силами, так как односторонняя нагрузка вызывает деформацию заготовки. Более рациональным представляется использование многороликовых приспособлений с замкнутой системой сил.

Для измерения сил при упрочнении ППД наружных цилиндрических поверхностей разработан автоматизированный тензометрический комплекс. Основным элементом комплекса является тензометрическая накатная головка [5]. Общий вид головки представлен на рис. 1. Головка имеет три ролика 2. Ролики установлены на игольчатых подшипниках на

оси 3. Оси 3 вставлены в крышки 1, которые стянуты шпильками 5 и гайками 6. В одну из таких стяжек ставится хвостовик 4, при помощи которого головка устанавливается в резцедержатель универсального токарного станка. Для простоты конструкции радиальное обжатие самой головкой не регулируется, оно варьируется размерами роликов. В крышках имеются специальные пазы, которые служат концентратором напряжений и, следовательно, местом расположения тензорезисторов.

Головка может устанавливаться на оборудование токарного или сверлильного типа. Поскольку головка охватывает упрочняемую поверхность со всех сторон, создается замкнутая система сил деформирования. Их величина при этом будет ограничена только прочностью самой головки и максимально допустимой величиной крутящего момента, обеспечиваемого приводом станка.

При проведении эксперимента на тензометрическую головку будут действовать две составляющие силы деформирования: радиальная сила  $P_r$  и тангенциальная сила  $P_t$ . При проектировании головки необходимо проанализировать возникающие эквивалентные деформации «ушка» крышки при нагружении её каждой составляющей силы деформирования. Для анализа деформаций крышки использовался программный продукт T-Flex. Результаты моделирования методом конечных элементов [11] нагружения крышки суммарной силой 5000 Н приведены на рис. 2.

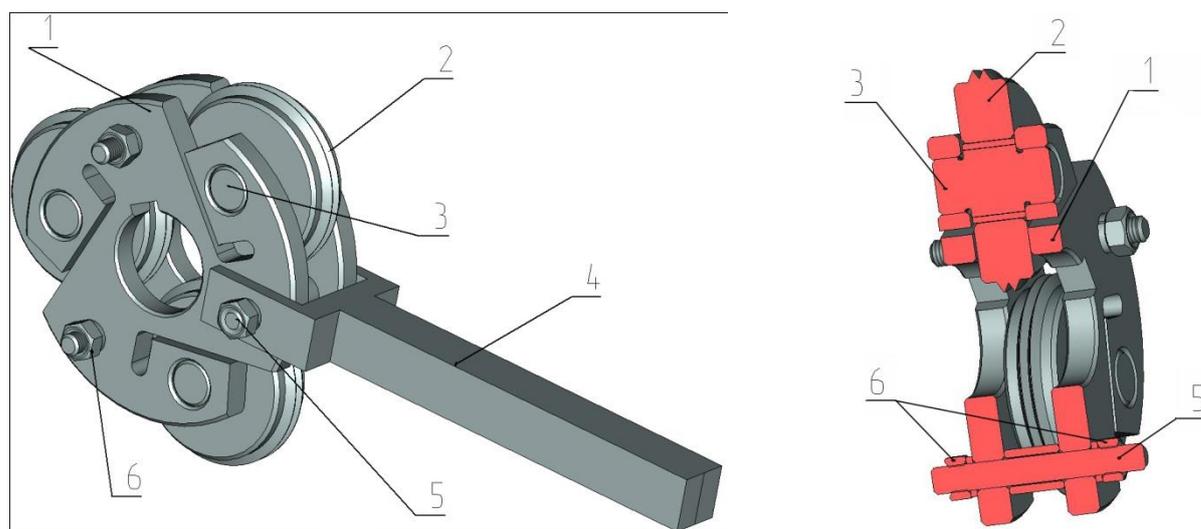


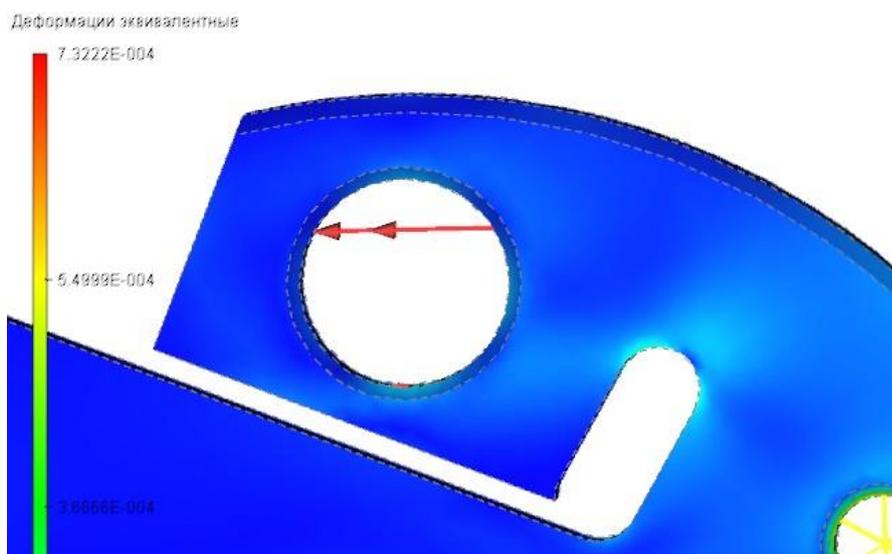
Рис. 1. Общий вид экспериментальной тензометрической накатной головки

Деформации, возникающие в крышке при приложении суммарной тангенциальной нагрузки 5000Н, значительно меньше деформаций, вызванных аналогичной по величине

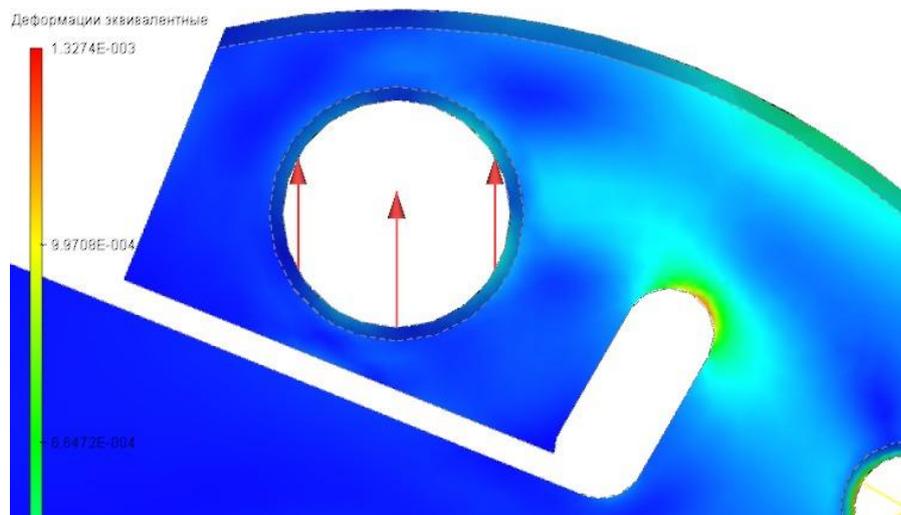
радиальной силой, и составляют менее 3%. В связи с этим тангенциальной составляющей можно пренебречь.

Для измерения радиальной силы, действующей на ролики в процессе эксперимента, в зоне растяжения «ушка» крышки наклеены тензорезисторы. Для увеличения чувствительности измерительной установки и повышения точности результатов тензорезисторы наклеиваются на обе крышки головки для каждой оси ролика. Для применения в экспериментальном комплексе выбраны фольговые тензорезисторы с длиной базы 5 мм, как наиболее универсальные и подходящие для данного типа измерений. Проволочные тензорезисторы рекомендуются только для больших деформаций и высоких температур. Область применения полупроводниковых тензорезисторов также ограничена, так как они не обладают достаточной линейностью и в значительной степени подвержены влиянию температур. Выбор длины чувствительной части (базы) тензорезистора обусловлен размерами очага деформации (толщины «ушка» крышки).

Тензорезисторы попарно соединены в мостовые схемы Уитстона [4], в которые так же входят компенсационные переменные резисторы. Общая принципиальная схема одного канала измерительного комплекса показана на рис. 3.



a)



б)

Рис. 2. Распределение эквивалентных деформаций в «ушке» крышки при её нагружении:

а – суммарной тангенциальной силой; б – радиальной силой, равной 5000Н.

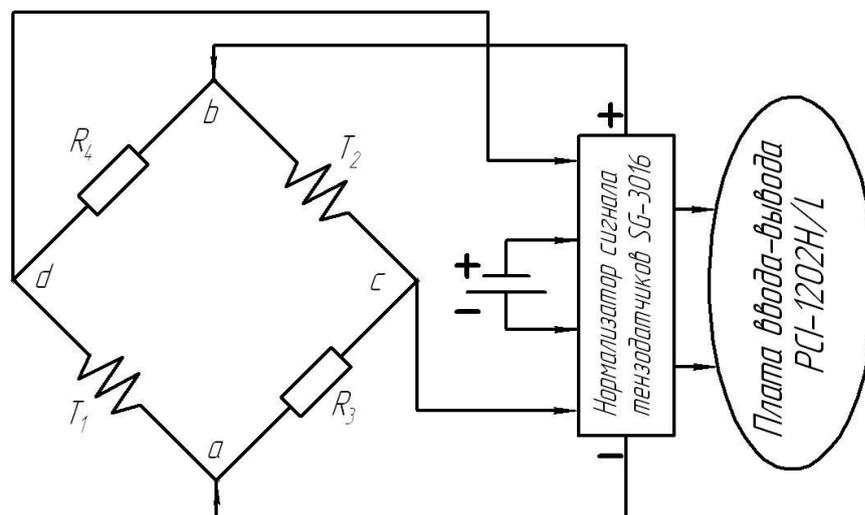


Рис. 3. Принципиальная схема канала измерительного комплекса

В одну из диагоналей моста (ab) подается опорное напряжение с нормализатора сигнала тензорезистора. С другой диагонали моста (cd) полученный аналоговый сигнал подается на нормализатор, который усиливает его в 1000 раз. Затем аналоговый сигнал подается на универсальную плату ввода-вывода PCI-1202H/L фирмы ICPDAS. Плата оснащена встроенной оперативной памятью, что позволяет фиксировать результаты в реальном времени не смотря на возможные простои и зависания операционной системы ЭВМ. Для усиления сигнала тензорезисторов использовался нормализатор сигнала

тензодатчиков SG-3016 фирмы ICPDAS. Условие равновесия моста Уитстона выглядит следующим образом [4]:

$$\frac{T_1}{R_3} = \frac{R_4}{T_2} \quad (1)$$

Данное соотношение достигается за счет подстройки переменных тензорезисторов  $R_3$  и  $R_4$ . Нарушение соотношения за счет небольшого изменения одного из сопротивлений моста приведет к появлению тока в диагонали  $cd$ , пропорционального относительно изменению сопротивления. Таким образом, ток, возникающий в мостовой схеме, будет пропорционален деформации «ушка».

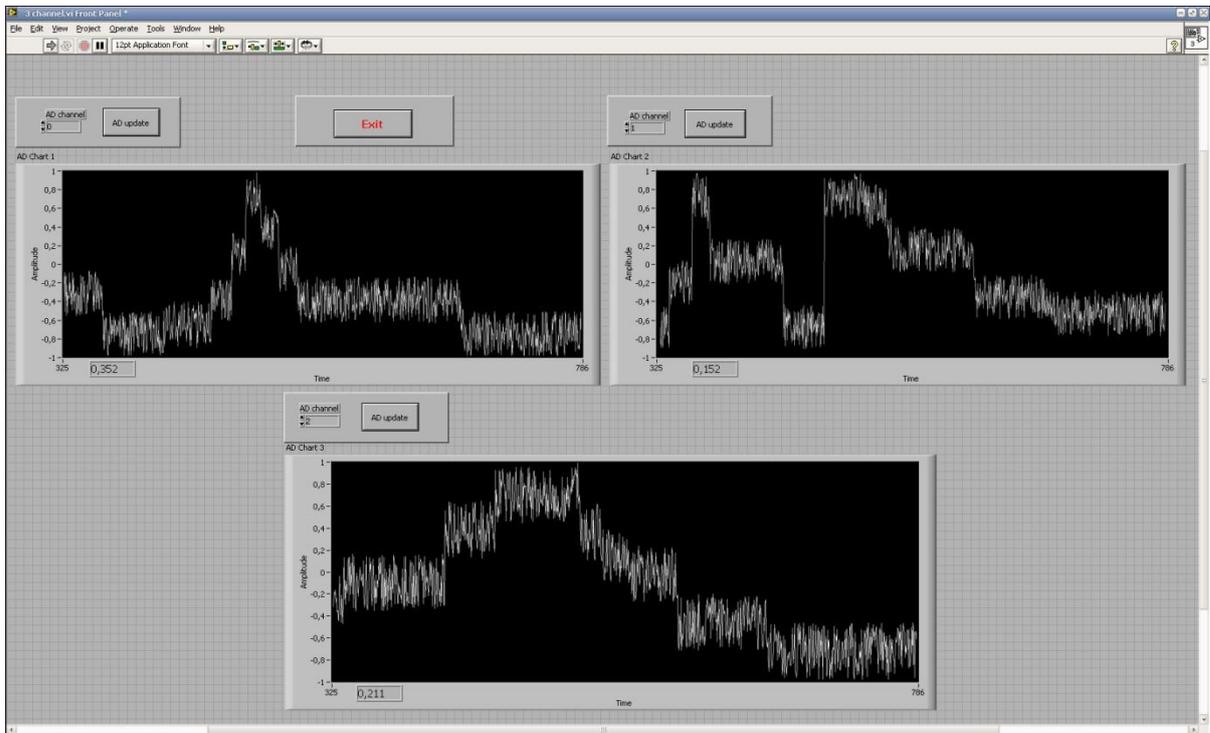
Для регистрации результатов на ЭВМ использовалась программная среда LabView [9, 10]. Созданный в ней виртуальный прибор (рис. 4) позволяет в режиме реального времени принимать аналоговый сигнал одновременно с трех каналов и по завершении измерений сохранять его в табличный файл.

Для установления соответствия величине получаемого на ЭВМ сигнала силы, возникающей при накатывании необходимо провести тарировку каждой из осей экспериментальной головки. Для этого головка устанавливается в резцедержку универсального токарного станка. Между ней и патроном устанавливается динамометр с индикатором часового типа (рис. 5).

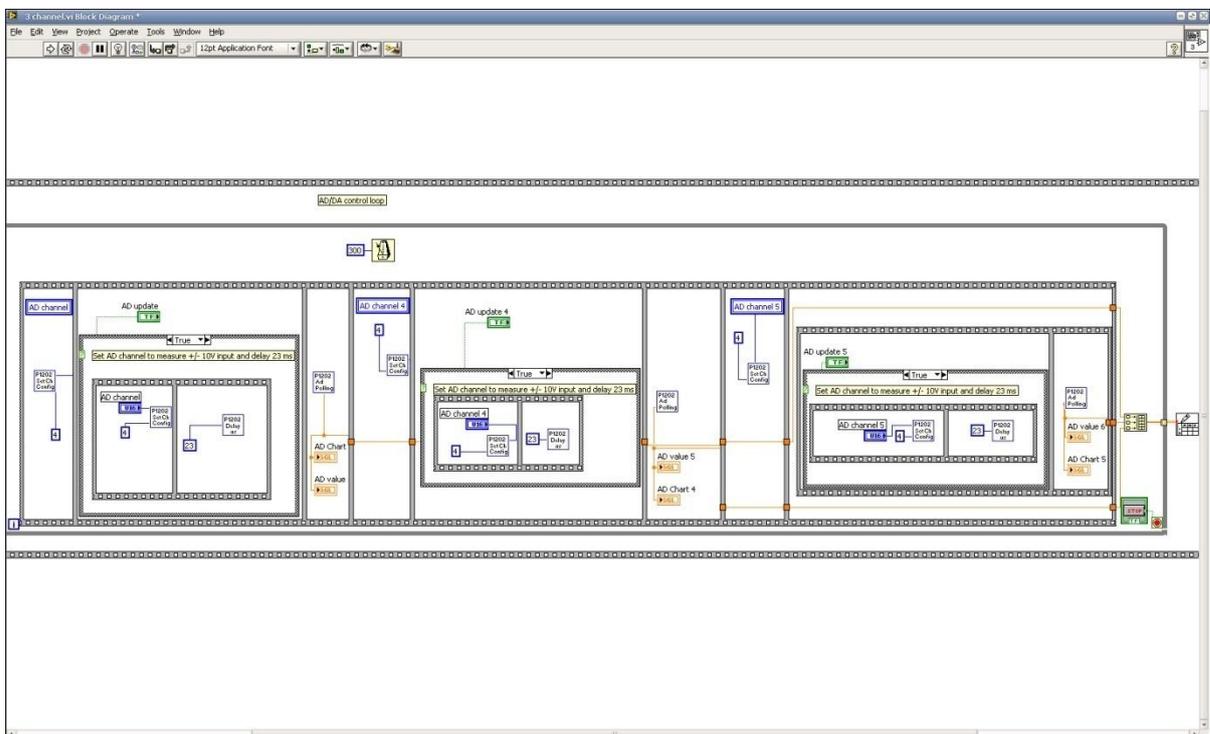
Максимальная нагрузка на динамометр – 10000 Н, цена деления – 20 Н. После каждого этапа нагружения и разгрузки тарировочной системы (каждые 1000 Н) результат, полученный на ЭВМ фиксируется. Тарировка проводится отдельно для каждой оси ролика экспериментальной головки. Полученные данные усреднены для каждой оси и по ним построены тарировочные графики (рис. 6).

Образцы для моделирования упрочнения ППД наружных поверхностей представляют собой конические стержни с тремя равномерно расположенными лысками (рис. 7).

Регулировка радиального обжатия достигается установкой головки с роликами на заранее рассчитанное расстояние от торца образца. Остальные факторы эксперимента определяются конструктивными особенностями роликов.



а)



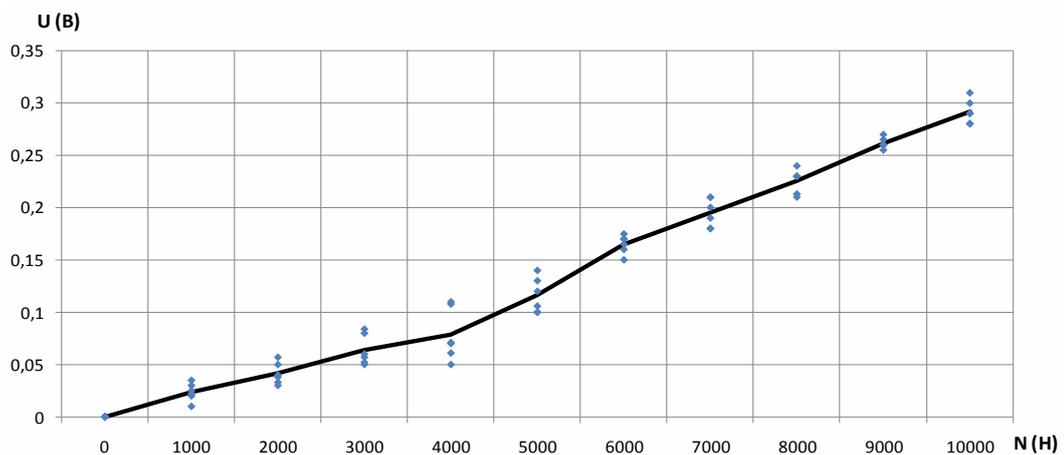
б)

Рис. 4. Виртуальный прибор для обработки сигналов тензорезисторов, созданный в программной среде LabView: а – лицевая панель; б – графический код

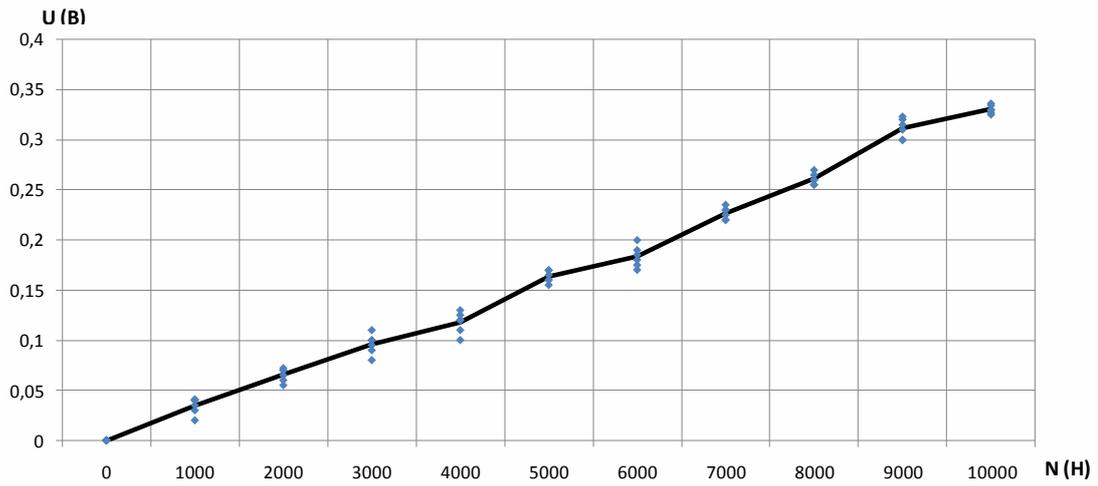


Рис. 5. Тарировка головки

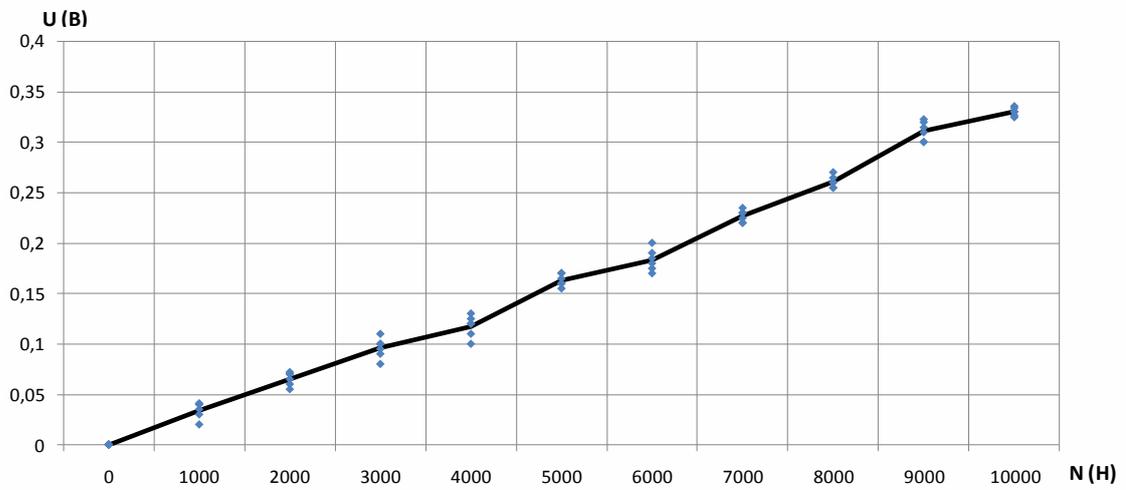
Разработанный тензометрический комплекс позволяет моделировать упрочняющую обработку ППД, а также накатывание резьб и других профилей на заготовках диаметром от 10 до 100 мм с силами деформирования до 20000 Н. Погрешность измерения силы деформирования не превышает 50 Н.



а)



б)



в)

Рис. 6. Тарировочные графики для осей головки:

а – первой; б – второй; в – третьей



Рис. 7. Комплекты роликов, образцы и головка

Исследования проводятся в рамках государственного задания 2014/420-723.

### Список литературы

1. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 184 с.
2. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. - М.: Машиностроение, 1975. - 160 с.
3. Киричек А.В., Афонин А.Н. Резьбонакатывание. Библиотека технолога. - М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.
4. Макаров Р.А., Ренский Л.Б. и др. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. - М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
5. Киричек А.В., Афонин А.Н., Должиков С.А. Тензометрическая резьбонакатная головка // Сборник трудов 3-й международной научно-технической конференции «Модернизация Машиностроительного комплекса России на научных основах технологии машиностроения». – Брянск: Десяточка, 2011. – С. 120-121.
6. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
7. Суслов А.Г., Безъязычный В.Ф., Панфилов Ю.В. и др. Инженерия поверхности деталей. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
8. Суслов А.Г., Амбросимов С.К., Афонин А.Н., Бабичев А.П. и др. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. В 2-х томах. – М.: Машиностроение, 2014.
9. Трэвис, Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и

дополненное. – М.: ДМК Пресс, 2011. - 904 с.

10. Федосов В.П., Нестеренко А.К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб.пособие. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 456 с.

11. Baker, A.J. Finite Elements: Computational Engineering Sciences. – JohnWiley& Sons, 2012. - 288 p.

12. Hogan, B. Longer Life with Low Plasticity Burnishing. – Manufacturing Engineering, Dec. 2001. – Pp. 34-38.

13. Luo, Hongyun. The effect of burnishing parameters on burnishing force and surface microhardness [текст] / Hongyun Luo, Jianying Liu, Lijiang Wang, Qunpeng Zhong // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, Vol. 28. – Pp. 707-713.

14. Naga Malleswara Rao, J. Design and Fabrication of New Type of Dynamometer to Measure Radial Component of Cutting force and Experimental Investigation of Optimum Burnishing force in Roller Burnishing Process [текст] / J. Naga Malleswara Rao, A. ChennaKesava Reddy, P. V. Rama Rao // Indian Journal of Science & Technology, 2010, Vol. 3, Issue 7. – Pp. 737-742.

15. Ravuri, M.K. Optimization of Burnishing Parameters by the Application of Design of Experiments [текст] / Murali Krishna Ravuri, Eshwara Prasad Koorapati, G.K. Srinivas // International Journal of Applied Engineering Research, 2009, Vol. 4, Number, - Pp. 1247–1257.

УДК 621.822

## **ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

**Бойко П.Ф.**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

*Аннотация.* Установлено, что выполнить импортозамещение подшипников качения горно-металлургических машин можно методами подбора отечественного аналога или реконструкцией подшипниковых узлов.

*Ключевые слова:* импортозамещение; подшипники качения; горно-металлургическое оборудование; подшипниковые узлы.

## **THE IMPORT SUBSTITUTION OF ROLLING BEARINGS OF METALLURGICAL MACHINERY AND EQUIPMENT**

**Boyko P.F.**

**Abstract.** *Found that to perform the substitution of rolling bearings metallurgical machinery can methods selection of domestic analogue or reconstruction of bearing units.*

**Keywords:** *import substitution; rolling bearings; mining and metallurgical equipment; bearing assemblies.*

Существует предание, что российский царь-реформатор Петр I при создании русского флота столкнулся с неожиданной проблемой – для шитья парусов требовалось много иголок, которых в России не производили, а за границей они стоили дорого. В итоге в 1711 году было повелено построить в Рязанском уезде Истьянский металлургический завод с молотовыми кузницами, который был введен в работу через два года, а дела с производством иголок стали идти настолько успешно, что поставки игл осуществлялись не только по всей России, но также в Персию и другие дальние места. Это был один из наглядных примеров импортозамещения [4].

Существует версия, что в связи с вводом новых подшипниковых заводов в СССР начался ощущаться дефицит в подшипниковой стали, которую завозили из-за рубежа. Поэтому по решению руководства СССР в 1974 году было подписано соглашение с группой германских фирм о строительстве Оскольского электрометаллургического комбината – первого крупного отечественного предприятия бездомной металлургии, на котором предусмотрена принципиально новая технология производства металла, основанная на прямом получении металла из руды, что позволило на базе природной шихты получать высококачественный прокат, характеризующийся особой чистотой по содержанию вредных примесей и однородностью химического состава. Основным потребителем металла такого качества планировалось производство подшипников качения. В 1984 году проведена первая промышленная плавка в дуговой сталеплавильной печи №1. Сегодня продукцию комбината используют все подшипниковые заводы России. Это тоже наглядный пример импортозамещения.

Учитывая, что подшипники качения являются ключевыми деталями большого числа горно-металлургических машин, а доля импортных машин на горно-металлургических предприятиях постоянно растет, наблюдается импортозависимость, которую необходимо уменьшать из-за вводимых зарубежными странами санкций и со значительной денежной выгодой.

Признаки идентичности (аналогов) импортных и отечественных подшипников качения:  
- соответствие габаритных размеров и допусков на их изготовление;

- соответствие классов точности на изготовление, вращение, формы и расположение колец;
- равенство углов контакта;
- равенство радиальных и осевых зазоров;
- соответствие материала, конструкция сепаратора и способа его центрирования;
- соответствие динамической и статической грузоподъемности;
- подобие термических режимов обработки подшипников;
- подобие подачи смазочного материала в зону контакта.

Проведенный анализ более семи тысяч типоразмеров наиболее часто применяемых импортных подшипников качения показал, что 2565 из них типоразмеров имеют отечественные аналоги, а 964 типоразмера имеют близкие по размерам и техническим характеристикам характеристики, которые при определенных условиях позволяют заменить на российские подшипники [5].

Импортозамещение остальных, не имеющих аналогов, подшипников качения необходимо проводить в следующей последовательности.

1. Выбрать отечественный аналог из числа освоенных подшипниковыми заводами России. Источником технической информации для замены импортных подшипников качения могут служить отечественные каталоги, справочники, таблицы ГОСТов, данные по подшипникам иностранных фирм.

2. При идентичности типов подшипников возможно несоответствие в конструкции колец – у отечественных подшипников могут отсутствовать отверстия и канавки для подведения смазочного материала. В этом случае при модернизации подшипниковых узлов в существующих деталях предусматривают изготовление каналов, проточек в корпусах (валах) и деталях осевого крепления с гарантированной доставкой смазывающего материала в зону контакта элементов качения. Возможность установки отечественного подшипника с иным материалом сепаратора, конструкцией, центровкой согласовывают с рабочей и ресурсной частотой вращения и режимом смазывания [3].

3. При равной расчетной долговечности импортного и отечественного подшипников допускается замена другими типами и сериями диаметров и ширины. При этом, технология монтажно-демонтажных операций и защиты подшипника от окружающей среды должны быть сохранены или улучшены.

4. Выбор подшипников по расчетной долговечности должны удовлетворять нормам долговечности, рекомендуемым для данного вида оборудования. Если импортный подшипник установлен с завышенной долговечностью, то можно предложить отечественный подшипник с меньшими габаритными размерами по серии диаметра и ширины при условии сохранения норм прочности и жесткости валов и корпусов. Одновременно учитывается

возможность последующей интенсификации режимов работы. Не исключена установка подшипников других типов, если фирма выбирала по конструктивным соображениям. Демонтаж и монтаж подшипников, сборка и разборка подшипниковых опор должны максимально удовлетворять условиям эксплуатации.

5. Выбор подшипников при незначительном изменении конструкции подшипниковых узлов связан с изменением продольных размеров подшипниковых опор и установкой компенсирующих втулок, стаканов. Проточка валов и расточка корпусов нежелательна из-за возможного снижения прочности и жесткости узлов, а также из-за трудоемкости работ. В этом случае соблюдается соответствие параметров точности, жесткости и нагрузки.

6. Выбор подшипников при изменении конструкции подшипниковых узлов. В этом случае наиболее ощутимый эффект дает предварительная проработка на стадии заключения контракта со специалистами фирм перечня (спецификации) применяемых в приобретаемом оборудовании подшипников. Переделка подшипниковых узлов с изменением размеров посадочных мест возможно нарушит первоначальную точность, прочность и жесткость узлов и приведет к снижению нагрузочной способности. Все работы по изменению конструкции подшипниковых узлов должны быть аргументированы и обоснованы инженерными расчетами, при этом должны быть учтены конструктивные особенности подшипников.

7. Изменение конструкции подшипниковых узлов должна быть согласована с режимом работы узлов, последующим техническим обслуживанием и ремонтом.

8. При больших осевых нагрузках конические роликоподшипники с низким сроком службы заменяют подшипниками двух типов, отдельно воспринимающих радиальную и осевую нагрузку, что повышает грузоподъемность и быстроходность опор и упрощает их сборку и разборку.

9. В тихоходных опорах при небольших осевых нагрузках возможна замена радиальных и упорных подшипников коническими. У упорных конических и радиальных роликоподшипников нормы допустимой несоосности примерно одинаковы.

10. Замена радиальных сферических двухрядных роликоподшипников двухрядными коническими обеспечивает повышение грузоподъемности, некоторое снижение быстроходности и требует соблюдение норм соосности, свойственных линейному контакту.

11. Упорные шарикоподшипники допускается заменять более быстроходными радиально-упорными шариковыми при условии примерно равной долговечности. Опоры становятся более компактными, особенно в случае использования однорядных шарикоподшипников с разъемным внутренним или наружным кольцом типа 116..., 126..., 176....

12. Срок службы подшипников существенно зависит от конструкции, материала и способа центрирования сепаратора. В каталогах предельная частота вращения дается для подшипников нормального класса точности со стальным штампованным сепаратором, когда подшипник нагружен приведенной нагрузкой, примерно равной десятой части коэффициента динамической грузоподъемности. Фактической частоте вращения должна соответствовать ресурсная частота вращения  $n_{рес}$ , соответствующая расчетной долговечности и габаритным размерам подшипника –  $n_{рес} \leq n_{пред}$ . Более надежны в эксплуатации сепараторы из антифрикционных сплавов с меньшим коэффициентом трения и отводом тепла. При рабочей частоте вращения, большей  $0,6n_{пред}$  рекомендуются к применению подшипники с увеличенным радиальным или осевым зазором, а при частоте вращения, большей  $0,6 n_{пред}$  рекомендуются к применению подшипники с увеличенным радиальным или осевым зазором, при частоте вращения более  $0,8n_{пред}$  – подшипники с классом точности не ниже высокого [2].

13. В высокоскоростные и высокоточные опоры с установленными в них подшипниками качения высокого класса точности нельзя устанавливать подшипники низшего класса точности, так как нарушаются геометрические размеры опор, которые трудно восстанавливаются в последствии, даже при установке в них подшипников, предусмотренных проектом. Не допускается и установка прецизионных подшипников в опоры с низкой точностью и частотой вращения [1].

14. Установка подшипников с меньшими радиальными зазорами, как правило, сопровождается их заклиниванием, провертыванием циркуляционно нагруженных колец и износом сопряженных с ними посадочных мест валов, осей и корпусов, у электромашин – разрушением обмотки статора и ротора.

15. Фирма TIMKEN, которая, как правило, изготавливает только конические роликоподшипники, выполняет посадочные поверхности внутренних и наружных колец с плюсовым допуском, в то время как западноевропейские фирмы и фирмы Японии, США, Российской Федерации и стран СНГ – с минусовым допуском. Эту особенность подшипников фирмы TIMKEN следует учитывать при импортозамещении, иначе внутренние кольца подшипников будут установлены с чрезмерными натягами, а наружные – с большими посадочными зазорами, что сильно отразится на уменьшении зазоров подшипников и жесткости опор.

16. При изменении конструкции подшипниковых узлов горно-металлургического оборудования, применяемого на опасном производственном объекте, на основании статьи 7 Федерального закона от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (в редакции Федерального закона № 22-ФЗ от марта 2013 г. «О внесении изменений в Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных

производственных объектов») данные устройства подлежат экспертизе промышленной безопасности.

17. С целью выявления возможного брака подшипников качения на стадии поступления их на склад горно-металлургического предприятия рекомендуется организовать их входной контроль, состоящий из внешнего осмотра с целью выявления дефектов поверхностей деталей подшипников, определения радиальных и осевых зазоров, проверки легкости, шумности и уровня вибрации подшипников качения.

При грамотно выполненной работе по импортозамещению подшипников качения будет обеспечено работоспособное состояние горно-металлургических машин и оборудования, уменьшение его импортозависимости и экономия денежных средств.

### **Список литературы**

1. Радкевич Я.М., Мнацаканян В.У., Бойко П.Ф. Контроль качества сборки по вибрационной характеристике// Труды 5-й международной научной конференции «Авиация и космонавтика - 2006». – 2006. – С. 12-13.
2. Бойко П.Ф. Обеспечение качества узлов силового оборудования // Труды 5-й международной научной конференции «Авиация и космонавтика -2006». - 2006.– С. 13-15.
3. Островский М.С., Бойко П.Ф. Применение эндоскопической диагностики для определения состояния машин // Труды международной конференции «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии» БГТУ им. В.Г.Шухова. –Ч. 9. – 2007. – С. 179-181.
4. Голубев О., Черноусов П. Родина русской иголки// Корпоративный журнал Группы компаний НЛМК. – № 5-6/48. - 2014. – С. 64-67.
5. ИНЖУС. Взаимозаменяемость отечественных и импортных подшипников качения. – М., 1990.

УДК [621.74+669.1574-197]:621.746.6

### **ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ ОТЛИВКИ «ЗУБ КОВША ЭКСКАВАТОРА»**

**Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А., Хренов И.Б., Дерябин Д.А.**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследования качественных показателей литой структуры стали марки 110Г13Л, а именно: экспериментальные данные по изучению напряжений второго рода, образующиеся в кристаллической решетке в зависимости от скорости охлаждения сплава в интервале кристаллизации. Посредством компьютерного*

моделирования рассчитаны скорости охлаждения марганцовистой стали в различных частях отливки «Зуб ковша экскаватора».

**Ключевые слова:** марганцовистая сталь; напряжения; кристаллическая решётка; износостойкость; скорость кристаллизации; зуб ковша; компьютерное моделирование.

## THE STUDY OF QUALITATIVE PARAMETERS OF THE CAST STRUCTURE CASTING «TOOTH EXCAVATOR BUCKET»

Vdovin K.N., Feoktistov N.A., Gorlenko D.A., Khrenov, I.B., Deryabin D.A.

Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov

**Annotation.** The article presents the results of qualitative research of cast steel structure manganese steel, namely the experimental data for the study of regions of the second kind, formed in the crystal lattice as a function of the cooling rate of the alloy in the range of crystallization. Through computer simulation, we calculated the rate of cooling of manganese steel castings in various parts of «tooth excavator bucket».

**Keywords:** manganese steel; stress; crystal cell; wear; crystallization rate; Tooth Bucket; computer Modelling.

### Введение

Повышение эксплуатационных показателей литых деталей, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного изнашивания, является приоритетной задачей литейного производства [1, 2]. Ярким представителем отливок, работающих в таких условиях, является «Зуб ковша экскаватора». Кроме того, в этой отливке реализуются различные скорости охлаждения стали, так как отливка имеет форму клина, т.е. переменное сечение рабочей части зуба. В свою очередь, это обеспечивает различные скорости охлаждения в интервале кристаллизации стали марки 110Г13Л в рабочей части отливки «Зуб ковша экскаватора». Такие условия кристаллизации существенным образом влияют на первично-литую структура марганцовистой стали и её качественные характеристики, что предопределяет надежность и долговечность детали при эксплуатации [3, 4].

### Оборудование, материалы и методика эксперимента

Для моделирования протекания литейных процессов использовали специализированное лицензионное программное обеспечение LWMFlow 4.2r2.

Образцы стали для реализации широкого интервала скоростей охлаждения заливали в различные формы (сухую и сырую песчано-глинистую форму, кокиль), а масса отливок колебалась от 0,05 кг до 0,5 кг. Измерение температуры металла проводили с помощью

заформованной вольфрам-рениевой термопары, запись результатов осуществляли на приборе LA-50USB.

Напряжения в кристаллической решётке определяли на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000, материал анода рентгеновской трубки – хром, напряжение – 30 кВ, сила тока – 40 мА, программное обеспечение – PCXRDSStressAnalysisSoftware.

### Обсуждение результатов

Технологический процесс производства зуба ковша экскаватора в условиях различных производств представляет собой формовку в песчано-глинистых смесях, отверстия и полости, имеющиеся в отливке, формируются при помощи стержней из холоднотвердеющей смеси. Для предотвращения образования дефектов усадочного происхождения применяют боковые отводные приливы как для индивидуального, так и для совместного питания двух отливок (рис. 1, а).

Отливка «Зуб ковша экскаватора» имеет клиновидную форму и различные габариты поперечного сечения рабочей части, что обуславливает разные скорости кристаллизации металла в литейной форме. Это наглядно показано на рис. 1, б.

Как видно из рис. 1, б, кристаллизация рабочей части протекает не равномерно во времени. Скорость кристаллизации сплава уменьшается по мере увеличения поперечного сечения рабочей части зуба.

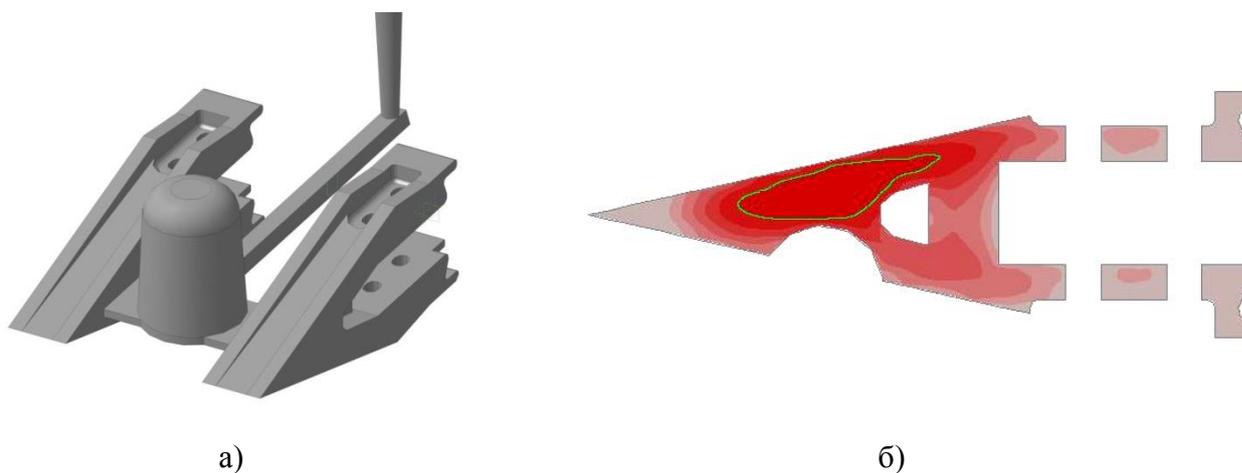


Рис. 1. Зуб ковша экскаватора:

а – трёхмерная модель; б – распределение жидкой фазы в процессе кристаллизации

Посредством компьютерного моделирования определены скорости кристаллизации стали в рабочей части отливки «Зуб ковша экскаватора» (рис. 2)[5].

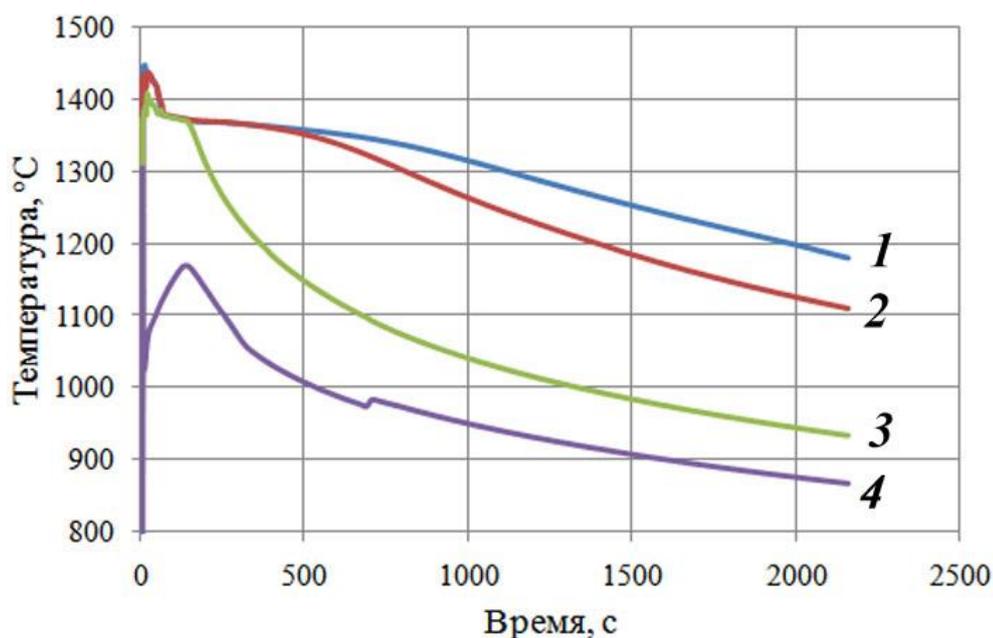


Рис. 2. Кривые скоростей охлаждения в интервале кристаллизации в различных зонах рабочей части «Зуба ковша экскаватора»

Все исследуемые зоны находились в центральной части отливки. Зона 1 соответствует наибольшей толщине профиля поперечного сечения зуба, а зона 2 – самому узкому профилю (заострение зуба). Зоны 3 и 4 находятся в промежутке между ними. Рассчитав средние скорости охлаждения в интервале кристаллизации, установили, что они отличаются друг от друга в десять раз. Это отразилось на степени переохлаждения и, как следствие, на скорости кристаллизации расплава. В свою очередь, эти факторы способствуют формированию напряжений различной величины в кристаллической решётке отливок [6, 7].

Для исследования величины и типа напряжений провели лабораторный эксперимент, при котором были получены неконтролируемые скорости охлаждения в интервале кристаллизации от 1,1 до 25 °C/с. Такой широкий диапазон скоростей получен за счёт использования форм с различной теплоаккумулирующей способности. Полученные результаты представлены на рис. 3.

Наибольшую величину напряжений наблюдали при низких скоростях охлаждения, они являются растягивающими. Их наличие в исследуемых образцах обусловлено разницей в объёмах металла в твёрдом и жидком состояниях, разницей в значениях температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), медленным продвижением фронта кристаллизации и большим градиентом температур между соседними областями.



Рис. 3. Зависимость величины напряжений от скорости охлаждения в интервале кристаллизации

С увеличением скорости охлаждения ускоряется движение фронта кристаллизации, уменьшается разница температур и ТКЛР по сечению отливки, а, следовательно, переход в упорядоченное состояние происходит с меньшими значениями усадочных напряжений (рис. 3).

Согласно полученным данным, при достижении значения скорости охлаждения в интервале кристаллизации равном 12...13 °C/с происходит снижение растягивающих усадочных напряжений до минимального значения и качественная смена на сжимающие напряжения.

#### **Выводы:**

1. Посредством компьютерного моделирования изучен процесс кристаллизации отливки «Зуб ковша экскаватора» в литейной форме. Установлено, что в рабочей части отливки реализуются различные скорости охлаждения расплава в интервале кристаллизации от 8,0 до 78,1 °C/мин.

2. Установлено, что в процессе кристаллизации сплава одного и того же химического состава в отливке могут появляться как растягивающие, так и сжимающие напряжения второго рода.

3. Качественная смена растягивающих напряжений на сжимающие происходит при скоростях охлаждения марганцовистой стали 12...13 °C/с.

## Список литературы

1. Вдовин К.Н. Технологический процесс производства броней из стали марки 110Г13Л в условиях ООО «Ремонтно-механические завод» / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Ш.М. Хабибуллин // Теория и технология металлургического производства. – 2014. – № 1. – С. 51 – 52.
2. Колокольцев В.М. Повышение эксплуатационных свойств отливок путем рафинирования и модифицирования расплавов сталей / В.М. Колокольцев, В.В. Бахметьев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2006. - № 4. – С. 34 – 40.
3. Сысоев А.М. Рафинирование и модифицирование стали 110Г13Л комплексом титан-бор-кальций / А.М. Сысоев, В.В. Бахметьев, В.М. Колокольцев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – № 1. – С. 9 – 11.
4. Вдовин К.Н. Совершенствование технологии производства литых броней из стали марки 110Г13Л для мельницы МПСИ – 70×23 / К.Н. Вдовин, Н.А. Феоктистов, Ш.М. Хабибуллин // Литейщик России. – 2014. – № 1. – С. 13 – 15.
5. Сушко Т.И. Применение СКМ LVM FLOW для поиска оптимальных вариантов изготовления отливок при литье в кокиль / Т.И. Сушко, Р.О. Новиков, Т.В. Пашнева, И.Г. Руднева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. - № 2. – С. 26 – 28.
6. Селиванов В.Н. Математическая модель затвердевания стали в системе Fe-C-O-Mn-S-P / В.Н. Селиванов, Э.В. Дюльдина // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2005. - № 9. – С. 17 – 22.
7. Колокольцев В.М. Исследование структуры и свойств железоуглеродмарганцевых сплавов / В.М. Колокольцев, П.С. Лимарев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2005. - № 3. – С. 9 – 11.

УДК 621.9.048.6:621.794

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ $\text{MoS}_2$ С ВЫСОКИМИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ НА СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЯХ ПОДЪЕМНО - ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН, НАНЕСЕННЫХ В УСЛОВИЯХ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ.**

**Иванов В.В., Попов С.И., Донцов Н.С., Марченко Ю.В., Марченко Э.В.**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

*Аннотация. В статье представлены материалы по исследованию вибрационного механо-химического твердосмазочного покрытия (ВиМХП). Установлено оптимальное формирование покрытия в условиях вибрационного воздействия со свободно движущимися*

инденторами. Сформированные таким образом покрытия имеют макро/микро частицы, внедренные в поверхность металла, заполняющие микро/макро полости и трещины. При данном методе обработки возможно получить частицы  $MoS_2$  ориентированные параллельно плоскости скольжения, что является одним из главных преимуществ покрытия, т.к. снижен коэффициент трения.

## RESEARCH OF $MoS_2$ COATINGS WITH HIGH TRIBOLOGICAL PROPERTIES ON STEEL PARTS OF LIFTING- TRANSPORT MACHINES DEPOSITED IN CONDITIONS OF SHOCK WAVE TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Ivanov V.V., Popov S.I., Dontsov N.S., Marchenko Yu.V., Marchenko E.V

Don State Technical University, Rostov on Don, Russia

*Abstract. The article presents the research of mechanical vibration - chemical solid lubricating coating. The optimal coating formation in the conditions of vibration exposure with freely moving indenters. Thus formed coatings have a macro / micro particles embedded into the surface of the metal filling the micro / macro cavities and cracks. With this method of processing is possible to obtain  $MoS_2$  particles oriented parallel to the plane of the slide, which is one of the main advantages of the coating, as reduced coefficient of friction.*

Исследование вибрационного механохимического твердосмазочного покрытия (ВиМХП), определение времени обработки, толщины покрытия, адгезионной способности, антифрикционных свойств. Уникальные свойства твердосмазочных покрытий на основе дисульфид молибдена ( $MoS_2$ ), и не менее уникальные свойства вибрационной механохимии (ВиМХ), создают предпосылки для повышения износостойкости ответственных деталей, входящих в пары трения различных изделий.

Суть метода заключается в том, что в результате виброволнового взаимодействия рабочей среды и детали на поверхности образуется сравнительно равномерный слой пластически-деформированного активного металла с покрытием. Первоначальный контакт частиц рабочей среды, покрытых  $MoS_2$ , происходит по вершинам микронеровностей поверхности металла. В местах контакта формируются участки, покрытые  $MoS_2$ . При дальнейшей обработке порошок заполняет впадины микронеровностей, образуя сначала рыхлый слой, который впоследствии уплотняется, и на поверхности получается равномерное покрытие, морфология которого представлена на (рис.1, а). Для оценки качества полученного покрытия на (рис.1, б) приведено изображение покрытия дисульфида молибдена, нанесенного традиционным методом-кистью, который широко применяется на

предприятиях машиностроения и авиастроения для деталей входящих в пары трения [1, 2]. Сравнительный анализ покрытий позволил выявить недостатки традиционного способа: наличие над поверхностью покрытия возвышающихся пластин дисульфида молибдена, свидетельствующих о недостаточности усилий прилагаемых кистью для формирования уплотненного, равномерного покрытия. Также установлено, что дисульфид молибдена не измельчен, следовательно, внедрение его в микро/нано профиль поверхности металла невозможен, что непосредственно влияет на адгезионную прочность покрытия.

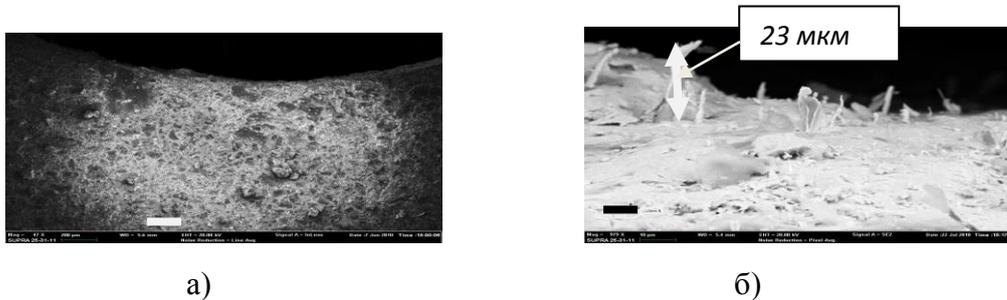


Рис.1. Морфология поверхности пленки ВиМХТП MoS<sub>2</sub>:  
а – масштаб 20 мкм., б – нанесенного кистью масштаб 10 мкм

Ориентация частиц дисульфида молибдена параллельно плоскости скольжения позволяет снизить коэффициент трения. Исследования показали, что адсорбированные частицы дисульфида молибдена не имеют определенной ориентации, но в зоне контакта, частицы ориентируются базовыми плоскостями параллельно обрабатываемой поверхности (стрелка), хорошо видимые на изображении (рис. 2) [3]. Такая ориентация частиц характерна для данной группы покрытий и предопределяет повышенные антифрикционные свойства поверхности.

Исследование образца с покрытием нанесенного кистью показали, что его толщина в два раза меньше чем покрытие сформированное в условиях виброволнового воздействия и составляет 2,41 мкм. (рис.3).

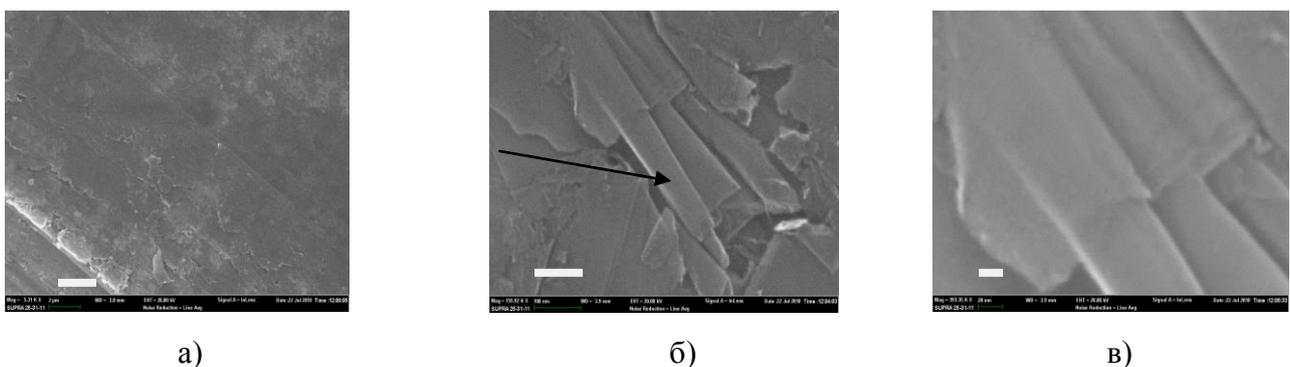


Рис.2. Морфология поверхности ВиМХТП MoS<sub>2</sub> с различным разрешением на микро/наноуровне:

а – масштаб 1 мкм., б – масштаб 100 нм., в – масштаб 20 нм



Рис.3. Толщина покрытия дисульфид молибдена нанесенного кистью. Масштаб 100 мкм

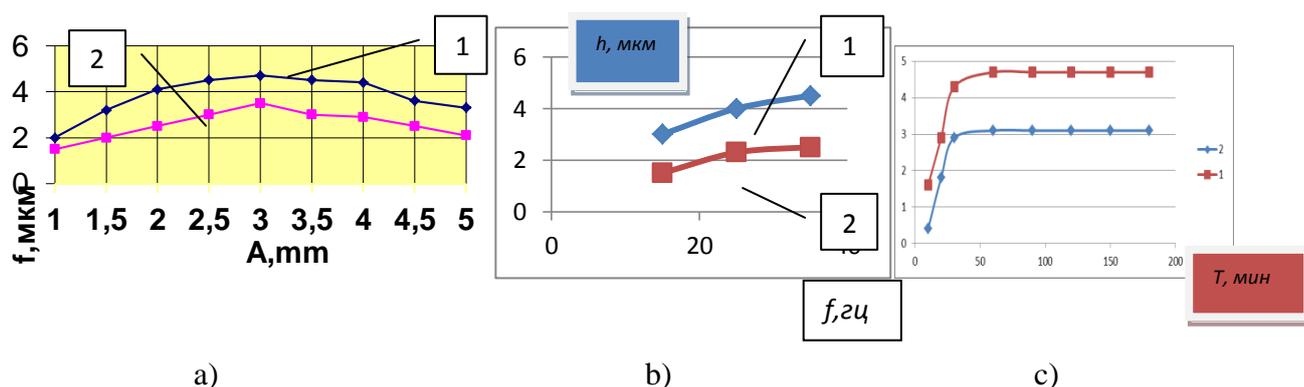


Рис.4. Зависимость толщины покрытия MoS<sub>2</sub> на стали 45:

а – от амплитуды колебаний рабочей камеры: 1 – отожженной; 2 – закаленной; б – от частоты колебаний рабочей камеры; с – от времени обработки

Установлено, что максимальный рост покрытия наблюдается при амплитуде до 3 мм (рис.4, а). При обработки с амплитудами более 3 мм. толщина покрытия снижается. С увеличением частоты колебаний (рис.4, б) толщина пленки покрытия возрастает, в связи с увеличением количества микроударов в единицу времени. Активный рост покрытия происходит, в пределах 30 минут далее происходит стабилизация толщины покрытия и его уплотнение. При увеличении времени обработки более 120 мин толщина покрытия незначительно уменьшается вследствие его разрушения. (рис.4, в).

#### Выводы:

Нанесение покрытия MoS<sub>2</sub> для деталей узлов трения горных машин приводит к значительному уменьшению коэффициента трения с 0,24 в исходном состоянии, порытого кистью 0,19, и 0,04 ВиМХТП. Износостойкость покрытого образца возрастает в 17 раз.

Вибрационная обработка в среде металлических шаров позволяет совместить три этапа нанесения твердосмазочного покрытия, а именно:

- подготовку поверхности под покрытие - активацию поверхностного слоя металла в результате виброволнового воздействия, увеличения плотности дислокаций поверхностных слоев, формирование сложного микрорельефа, увеличение площади контакта, разрушение окисных пленок, образование ювенильных поверхностей;
- нанесение материала смазки;
- приработку поверхностного слоя покрытия.

### Список литературы

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии. Часть I, Ростов-на-Дону, 1993.
2. V.V. Ivanov, V.A. Lebedev, I.A. Pinahin. Improving Wear Resistance of Surface by Depositing Vibrational Mechanochemical MoS<sub>2</sub>. Journal of Friction and Wear, 2014, Vol. 35, No. 4, pp. 339–342.
3. Иванов В.В., Лебедев В.А., Шишкина А.П. Влияние вибрационного механохимического покрытия MoS<sub>2</sub> на повышение износостойкости поверхности // Научные технологии в машиностроении. – №6. – 2014. – С. 35-38.
4. Иванов В.В., Валявин В.Ю., Попов С.И., Марченко Ю.В., Марченко Э.В. Особенности инструментального обеспечения для формирования вибрационных механохимических покрытий. // Мир гальваники. – №1 (29). – 2015. – С. 34-38.

УДК 621.822

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОРУДНОГО КОМПЛЕКСА

Клюев Р.В.<sup>1</sup>, Котова О.А.<sup>1</sup>, Васильев Е.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Россия, Владикавказ

<sup>2</sup>Московский энергетический институт (технический университет), Россия, Москва

*Аннотация.* Предприятия горнорудного комплекса являются крупными потребителями электроэнергии, режим работы которых определяется спецификой технологических процессов. На потребление электроэнергии влияет большое число достаточно неопределённых факторов. Поэтому, для решения важной и актуальной задачи повышения эффективности использования электроэнергии необходимо предварительное определение самих факторов и оценка степени их влияния на потребление электроэнергии. Эта задача решается на основе экспертных оценок. В статье путём проверки экспертных оценок по ряду статистических гипотез и проведенного кластерного анализа уточнены значимые

*слабокоррелированные между собой факторы (независимые переменные), оказывающие наибольшее влияние на потребление электроэнергии (системы рудничного транспорта; объем добычи руды; производительность труда при добыче). Разработанная методика экспертных оценок и кластерного анализа успешно апробирована для предприятия цветной металлургии, и может использоваться для других отраслей промышленности.*

**Ключевые слова:** *экспертные оценки, потребление электроэнергии, кластер.*

## **APPLICATION OF EXPERT ESTIMATES AT THE ENTERPRISES OF A MINING COMPLEX**

**Klyuev R.V.<sup>1</sup>, Kotova O.A.<sup>1</sup>, Vasiliev I.E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>The North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Russia,  
Vladikavkaz

<sup>2</sup>Moscow Electrical Power Institute (Technical University), department «Industrial Power Supply»,  
Russia, Moscow

**Review.** *The enterprises of a mining complex are large consumers of the electric power which operating mode is defined by specifics of technological processes. Electricity consumption is influenced by a large number enough uncertain factors. Therefore, the solution of an important and actual problem of increase of efficiency of use of the electric power requires preliminary definition of factors and an assessment of extent of their influence on electricity consumption. This problem is solved on the basis of expert estimates. In article by check of expert estimates on a number of statistical hypotheses and the carried-out cluster analysis significant factors (independent variables) the poorly correlated among themselves having the greatest impact on electricity consumption (systems of miner transport are specified; ore production volume; labor productivity at production). The developed technique of expert estimates and the cluster analysis is successfully approved for the enterprise of nonferrous metallurgy, and can be used for other industries.*

**Keywords:** *expert estimates, electricity consumption, cluster.*

Предприятия горнорудной отрасли представляют собой сложный комплекс, и поэтому проблема повышения эффективности использования на них может быть решена только на основе системного подхода [1]. Специфические условия ведения горных работ, зависимость их от природных факторов, сложность и разнообразие технологических процессов не позволяют однозначно оценить влияние показателей, характеризующих потребление электроэнергии. К специфическим условиям горного производства необходимо отвести

условия работы в ограниченном пространстве, в обстановке практически непрерывного перемещения машин и механизмов (породопогрузочные машины, конвейера, самоходное оборудование, электровозный транспорт, экскаваторы, буровые станки.). В условиях объективно существующей неопределенной зависимости потребления электроэнергии от многих факторов важная роль принадлежит экспертным оценкам, основанным на способности создавать полезную информацию. Оценки используются в ситуациях, когда достоверность информации, необходимой для принятия решения, невелика. Использование методики экспертных оценок позволяет с помощью статистических критериев провести проверку гипотез о значимости влияния тех или иных показателей на потребление электроэнергии и еще на предварительном этапе обосновать и сократить размерность задачи функционального анализа. Основными потребителями электроэнергии на рудниках являются компрессорные установки, водоотлив, вентиляция, электровозный транспорт. В целом по рудникам удельный расход электроэнергии достигает 22-25 кВт·ч/т. При добыче руды открытым способом удельные расходы электроэнергии значительно ниже 2-7,5 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> горной массы. Так, при обогащении полиметаллических свинцово-цинковых руд (Садонский СЦК) удельный расход на 1 т руды составляет 25-55 кВт·ч/т, при обогащении медно-пиритовых руд (Маднеульский ГОК) - 18-35 кВт·ч/т.

Для экспертной оценки и анализа влияния показателей подсистем рудников разработаны специальные анкеты, в которых в качестве основных параметров определены:

1 – климатические условия; 2 – горно-геологические условия; 3 – водоприток; 4 – горнотехнические свойства пород; 5 – система разработки; 6 – основное технологическое оборудование; 7 – надежность системы электроснабжения; 8 – системы рудничного транспорта; 9 – система проветривания; 10 – система водоотлива; 11 – система сжатого воздуха; 12 – выработка тепла; 13 – объем добычи руды; 14 – горно-подготовительные работы; 15 – горно-капитальные работы; 16 – списочный состав персонала; 17 – производительность труда при добыче; 18 – производительность труда при проходке; 19 – себестоимость добычи. Для оценки каждого показателя используется дискретная шкала экспертных оценок, позволяющая провести достаточно подробный анализ влияния показателей рудников на электропотребление.

Корректность и адекватность переформированных экспертных оценок  $a_{ji}^{(2)}$  проверяется рядом статистических гипотез [2] (гипотеза  $H_{01}$ : исходная матрица рангов неадекватна матрице связанных рангов; гипотеза  $H_{02}$ : нет согласованности во мнениях экспертов (совпадение мнений экспертов является случайным); гипотеза  $H_{03}$ : различие в оценках

экспертов по вопросу о влиянии рассматриваемых показателей на потребление электроэнергии существенно; гипотеза  $H_{04}$ : различие во влиянии исследуемых показателей на потребление электроэнергии по мнению экспертов несущественно). Методика проверки статистических гипотез предполагает последовательное выдвижение ряда нулевых гипотез  $H_0^i$  при принятом уровне значимости  $\alpha=0,05$ . Результаты проведенного дисперсионного анализа показателей отдельных рудников показали, что гипотезы  $H_0^3$  и  $H_0^4$  отвергаются. Статистический анализ экспертных оценок на уровне значимости  $\alpha=0,05$  подтверждает корректность и эффективность разработанной методики и позволяет использовать значимые технологические показатели при кластерном анализе и ранговом распределении техноценоза потребителей в горнорудной промышленности.

В соответствии с полученными результатами для рудников значимыми показателями являются следующие: 13, 6, 9, 11, 3, 14, 8, 5, 15, 17, 2, 20, 10.

На основе статистического анализа ранговой корреляции были формализованы априорные сведения об оцениваемых показателях. Для оценки значимости влияния отдельных показателей на потребление электроэнергии использован кластерный анализ экспертных оценок. Формирование кластеров основано на матрице расстояний между группируемыми показателями, каждый из которых в начале рассматривается как отдельный кластер, и реализуется по следующему алгоритму [3]:

1. Степень близости показателей, вычисляемое как евклидово расстояние между ними:

$$d_{kl}^2 = \frac{n(n^2 - 1)}{6} (1 - r_{kl}^2),$$

(1)

где  $k, l$  – рассматриваемые показатели;  $k \neq l$ ;

$$r_{kl} = \frac{\frac{\sum_{j=1}^m (a_{jk} a_{jl})}{m-1} - \bar{a}_k \bar{a}_l \left(\frac{m}{m-1}\right)}{\bar{S}_k \bar{S}_l} . - \text{выборочный коэффициент парной корреляции};$$

$\bar{a}_k, \bar{a}_l$  – выборочные средние показателей  $k, l$ ;

$\bar{S}_k, \bar{S}_l$  – стандарты показателей  $k, l$ :

$$\bar{S}_k^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (a_{jk} - \bar{a}_k)^2; \bar{S}_l^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (a_{jl} - \bar{a}_l)^2. \quad (2)$$

2. Процесс формирования кластеров заканчивается, когда все показатели будут объединены, что произойдет на последнем шаге объединения (1×1).

3. По результатам расчёта строится дивизимное дерево иерархической классификации показателей и соответствующая ему дендрограмма кластеров показателей, приведённые на рис. 1 и рис. 2.

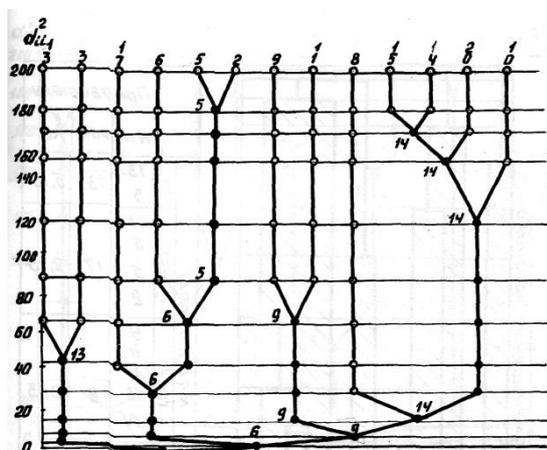


Рис. 1. Дивизимное дерево иерархической классификации показателей рудника

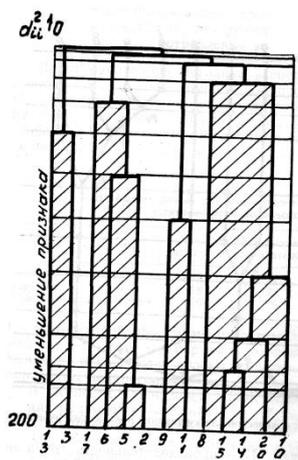


Рис. 2. Дендрограмма кластеров показателей рудника

Дендрограмма показателей рудника состоит из трех кластеров, характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика кластеров показателей рудника

Кластер	Показатели в кластере	Важнейший показатель	Расчетная оценка показателя
I	13÷3	13	5,13
II	17÷2	17	2,73
III	9÷10	8	3,13

На основании кластерного анализа можно сделать вывод о том, что в дальнейшем при функциональном анализе показателей использования электроэнергии на подсистемах рудников, в нем должны быть учтены важнейшие показатели, отраженные в таблице 1.

Разработанная методика экспертных оценок и кластерного анализа успешно апробирована и для предприятия цветной металлургии РСО-Алания ОАО «Победит» [4, 5].

Работа выполнена при поддержке проекта №3851 «Методика оценки и рациональное использование сырьевых, водных и биологических ресурсов в техногенной зоне РСО-Алания, выполняемого в рамках базовой части государственного задания.

### Список литературы

1. Васильев И.Е. Анализ, расчёт и прогнозирование потребления электроэнергии в горнорудной промышленности: Монография. Владикавказ: СОГУ, 1992. - 196 с.
2. Klyuev R.V. Study of electricity consumption of non-ferrous metallurgy using expert assessments of technological parameters // «European Applied Sciences»: ORT Publishing, Stuttgart, Germany, #7, 2013, pp. 9-12.
3. Васильев И. Е., Ключев Р. В. Кластерный анализ электропотребления на основе экспертных оценок технологических показателей производства твёрдых сплавов. // Труды СКГТУ. Владикавказ, 2002. Вып. 9. С. 86–92.

4. Ключев Р.В. Экспертные оценки потребления электроэнергии при производстве твёрдых сплавов. // Сборник научных трудов аспирантов. Владикавказ, 2000. С. 384–387.
5. Ключев Р.В. Математическая модель электропотребления на основе экспертных оценок. // Актуальные проблемы современной науки: тезисы докладов. Самара, 2001. Часть 4. С. 144–145.

УДК 621.9.048.6:621.794

**ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИСУЛЬФИДА  
МОЛИБДЕНА MoS<sub>2</sub> ДЛЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ ПОДЪЕМНО-  
ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ В ГОРНО-  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ**

**Короткий А.А., Попов С.И., Иванов В.В., Марченко Ю.В., Марченко Э.В.,  
Детистова А.А.**

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

*Аннотация.* Стальной канат относится к одному из видов грузоподъемных приспособлений и является сложным и ответственным видом проволочных изделий. Он имеет большое число типов и конструкций и различается по форме поперечного сечения, как самого каната, так и его элементов, а также по физико-механическим характеристикам проволок и сердечников.

**THE USE OF LUBRICANTS BASED ON MOLYBDENUM DISULFIDE MoS<sub>2</sub> FOR  
LIFTING AND TRANSPORTING OF STEEL ROPES AND MACHINERY IN THE  
MINING-METALLURGICAL COMPLEX**

**Korotkiy A.A., Popov S.I., Ivanov V.V., Marchenko Y.V., Marchenko E.V., Detistova A.A.**

Don State Technical University, Rostov on Don, Russia

*Abstract.* Steel rope is one of the most difficult and responsible kind of wire products. It has a large number of styles and designs and differs in shape of the cross section of the rope and its elements, as well as on the physico-mechanical properties of wires and cores.

Стальные канаты широко используются в различных отраслях человеческой деятельности. С их помощью транспортируют грузы, опускаются на большие глубины и поднимаются высоко в горы. Канаты удерживают ответственные элементы строительных конструкций, пролеты мостов, морские нефтедобывающие платформы, мачты антенн.

Массово канаты используются в составе подъемных сооружений, таких как краны, лифты, канатные дороги, вышки, подъемники. В настоящее время в России эксплуатируется более 721 636 подъемных сооружений, в том числе 258 940 кранов, 442 735 лифтов, 140 подвесных канатных дорог, и в каждом из этих объектов канаты выполняют важнейшую функцию. В горной промышленности используются сотни километров различных канатов (глубина стволов некоторых шахт достигает 2 000 м и более).

Основные характеристики каната:

- прочность;
- сопротивление усталости;
- сопротивляемость абразивному изнашиванию на шкивах, блоках, опорных и станционных башмаках;
- сопротивляемость деформированию в зажимах и при работе на шкивах, блоках и башмаках;
- сопротивляемость воздействию поперечной нагрузки от давления колес подвижного состава, вызывающей контактные напряжения и напряжения изгиба;
- коррозионная стойкость.

Наиболее важным и ответственным для качества и долговечности работы подъемных механизмов является смазывание канатов. Срок службы канатов во многом зависит от наличия и качества наружной и внутренней смазки, что особенно существенно, когда канаты являются главным элементом всей системы и замена их является весьма трудоемкой операцией.

В качестве канатных смазок применяют высоковязкие, тугоплавкие консистентные смазки.

По назначению смазочные материалы можно разделить на консервирующие и эксплуатационные.

В качестве консервирующей смазки применяют масла 39У и 278, разработанные Всесоюзным научно-исследовательским институтом по переработке нефти (ВНИИНП).

Эксплуатационные смазки для несущих канатов должны обеспечивать малый коэффициент трения ходовых колес во избежание потерь тягового усилия. Для тяговых канатов смазывание должно способствовать максимальному сцеплению каната с приводным шкивом. В отечественной практике используются смазки типа Торсиол-55, 265-5, разработанные во ВНИИНП [1].

Требования к канатным смазкам.

Применяемые канатные смазки должны обладать следующими свойствами:

- постоянной высокой адгезией к металлу;
- уменьшать трение и износ трущихся поверхностей;
- иметь стабильность свойств при низких и высоких температурах;
- надежной защитой от внешних агрессивных воздействий (водостойкость);
- защитой стальных проволок от коррозии;
- не оказывать разрушающего действия на материалы футеровки шкивов и роликов;
- не иметь токсичных свойств;

Разработанные в последние годы специальные методы испытаний канатных смазок позволили установить, что применяемые в настоящее время смазки не отвечают всем предъявляемым к ним требованиям. Практика эксплуатации стальных канатов показывает, что применяемые смазки сползают при температуре +45, +50 °С, растрескиваются на морозе и не обеспечивают достаточной защиты стальных канатов от коррозии стальных канатов.

Наиболее выгодными по своим эксплуатационным свойствам и экономическим затратам будут являться твердые смазки на основе дисульфида молибдена  $\text{MoS}_2$ . Такой вид смазок обладают хорошей адгезией, не снимаются при эксплуатации, проникают к центру каната и пряжей, обладают способностью покрывать поверхность каната тонкой пленкой и быстро застывать, не испаряются и не затвердевают со временем, не содержат щелочей, кислот и других элементов, вызывающих коррозию.

Смазка для башмаков, поддерживающих канат на линейных опорах, должна иметь повышенную способность к восприятию больших давлений и увеличенный срок службы. Для этой цели применяют масла, содержащие микрочастицы распыленного дисульфида молибдена. Нормы расхода смазочного материала в среднем составляют 20-30 г/м для нового каната и 15-20 г/м при повторном смазывании для канатов диаметром 20-28 мм.

Особенности эксплуатационных свойств смазок на основе дисульфида молибдена  $\text{MoS}_2$ .

Смазка на основе молибдена может служить при температурах до 400 °С. Применяется для долговременной смазки в точной механике, в виде порошкообразной смазки в процессах прокатки и волочения, в виде жидкой смазки, как добавка к пластическим массам для увеличения их плотности.

Дисульфид молибдена является классической противозадирной противоизносной присадкой в масла и смазки. Механизм действия добавки  $\text{MoS}_2$  сходен с действием графитовых добавок и основан на ее слоистой, пластинчатой структуре. Молекулы дисульфида молибдена  $\text{MoS}_2$  состоят из одного атома молибдена, который прочно связан

с двумя атомами серы. Размеры атомов серы сопоставимы с атомами металлов, поэтому сера прочно прикрепляется к металлической поверхности трущейся детали. Соединение серы с молибденом очень крепкое, а соединение между частицами серы в прилегающих молекулах наоборот, слабое [4].

При добавлении дисульфида молибдена в смазочные материалы обе трущиеся металлические поверхности покрываются защитными слоями молекул дисульфида молибдена, которые свободно скользят относительно друг друга. Таким образом, исключается непосредственный контакт металла с металлом. Значительно уменьшается трение и перегрев деталей в зонах трения, особенно при экстремальных нагрузках, и замедляется износ металлических деталей [3].



Рис.1. Толщина твердосмазочного покрытия дисульфид молибдена (x100)

Выводы: нанесение смазочного покрытия  $\text{MoS}_2$  приводит к значительному уменьшению коэффициента трения. Износостойкость покрытого образца возрастает в 17 раз. Дисульфид молибдена создает дополнительный смазочный слой при ударных нагрузках, тем самым предотвращая высокую степень износа металла и обеспечивая эффективную защиту.

### Список литературы

1. Стальные канаты подъемно-транспортных машин / Хальфин М.Н., Иванов Б.Ф., Маслов В.Б. // Юж. – Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. – 116с.
2. Влияние физико-механических свойств элементов каната на его долговечность / Хальфин М.Н., Гуревич А.Б. // Новочеркасский политехнический ин-т. – Новочеркасск: НПИ, 1984. – 6 с.
3. Иванов В.В., Лебедев В.А., Шишкина А.П. Влияние вибрационного механохимического покрытия  $\text{MoS}_2$  на повышение износостойкости поверхности // Научно технический журнал. «Научно-технические технологии в машиностроении». – 2014. – №6. – С. 35-38.

4. Пугина Л.И., Синявская М.Д., Максимчук И.М. Дисульфид молибдена. – Киев, Изд-во «Наукова думка», 1968г.

УДК 621.99

## **УПРОЧНЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕЗЬБ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Мартынов Е.М., Афонин А.Н.**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

*Аннотация.* Установлено, что повысить эксплуатационные характеристики резьб деталей машин можно путем формирования статико-импульсного упрочненного поверхностного слоя. Рассмотрены методы формирования гетерогенной структуры статико-импульсным упрочнением.

## **HARDENING OF LARGE THREADS OF MACHINE PARTS MINING AND METALLURGICAL EQUIPMENT**

**Martynov E.M., Afonin A.N.**

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»

**Abstract.** It is established that to improve the performance of the threads of machine parts by forming a static-pulse of the hardened surface layer. Methods of forming a heterogeneous structure of the static-pulse hardening.

В горнодобывающей и металлургической промышленности широко используется крупногабаритное дорогостоящее оборудование, ресурс которого невелик. Примером подобного оборудования являются конусные дробилки. Одной из основных причин выхода их из строя является смятие наружной и внутренней резьбы. Оно происходит по причине неравномерного износа поверхности резьбы и больших ударных нагрузок. На монтаж-демонтаж дробилки и замену гаек со смятой резьбой уходит до четырех суток, что ведет к простоем оборудования и большим материальным затратам. Периодичность подобного ремонта каждой дробилки типа Sandvik на ОАО «СГОК» в среднем 4 месяца.

Эксплуатационные характеристики деталей машин в значительной степени определяются показателями качества поверхностного слоя их рабочих поверхностей. Существует несколько способов повышения прочности резьбовых деталей: термическое

упрочнение, объемный наклеп, поверхностный наклеп, различные виды термомеханической обработки и т.д.

Известно, что одним из наиболее эффективных видов упрочнения является поверхностное пластическое деформирование (ППД) [2, 8]. ППД обеспечивает значительное повышение усталостной прочности при разнообразных условиях нагружения. Сущность способа заключается в следующем. Под давлением деформирующего инструмента микровыступы (микронеровности) поверхности детали пластически деформируются (сминаются), заполняя микровпадины обрабатываемой поверхности, что способствует повышению твердости поверхностного слоя. Более того, в поверхностном слое возникают благоприятные сжимающие напряжения, что способствует повышению усталостной прочности на 30...70%, износостойкостив 1,5...2 раза, значительно снижается шероховатость поверхности упрочняемой детали.

К наиболее распространенным способам упрочнения ППД относятся:

- обкатка рабочих поверхностей шариками или роликами;
- алмазное выглаживание;
- дробеструйная обработка;
- ультразвуковое упрочнение;
- упрочнение наклепом;
- статико-импульсная обработка.

Традиционные методы упрочнения ППД не обеспечивают необходимой для крупныхтяжелонагруженныхрезьб степени и глубины упрочнения. Решить данную проблему можно применением динамических (ударных) методов ППД, в частности статико-импульсной обработки (СИО) [6]. СИО осуществляется в условиях сочетания периодического динамического и постоянного статического воздействия деформирующего инструмента на обрабатываемую поверхность. Динамическое (ударное) воздействие позволяет создавать большие напряжения в пятне контакта инструмента и заготовки при сравнительно небольшой затраченной мощности, а статический поджим способствует более эффективной передаче ударного импульса в обрабатываемую поверхность. Глубина упрочнения при СИО может достигать 10 мм и более при степени упрочнения до 100% [2, 4, 6].

Важной особенностью СИО является возможность формирования поверхностного слоя с гетерогенным упрочнением [5, 9]. Чередование в подобном слое высокоупрочненных твердых участков с менее упрочненными вязкими способствует торможению микротрещин и повышению усталостной прочности материала. Равномерность упрочнения зависит от коэффициента перекрытия отпечатков. При небольших значениях коэффициента перекрытия

поверхность получается недостаточно упрочненной, а при слишком больших возникает переупрочнение. Необходимое значение коэффициента перекрытия достигается варьированием частоты деформирующих импульсов и скорости подачи. Проведенные экспериментальные исследования показали, что в ряде случаев рационально выбранное гетерогенное упрочнение может повысить усталостную прочность в 2 и более раза [1, 5, 7].

Для реализации СИО крупногабаритных резьб может быть использовано различное оборудование: гидравлическое, пневматическое, электрическое и т.д. Для упрочнения крупногабаритных резьб на деталях горно-металлургического оборудования представляется целесообразным использование электрических ударников. Электрические ударники имеют достаточно высокую энергию удара (более 40 Дж), обеспечивая высокую стабильность параметров ударного импульса на протяжении обработки. Стоимость их также существенно ниже гидравлического оборудования.

Однако, широкое применение СИО для упрочнения крупногабаритных резьбовых деталей сдерживается отсутствием научно-обоснованных требований к параметрам упрочненного слоя, обеспечивающим требуемые эксплуатационные характеристики детали [3, 5]. В частности, отсутствуют рекомендации по режимам СИО крупногабаритных резьб, оптимальному распределению упрочненных участков по объему рабочей поверхности для различных условий эксплуатации и материалов детали. Выявление характера влияния параметров гетерогенно упрочненного слоя и режимов СИО на эксплуатационные характеристики деталей машин является сложной научной задачей, решение которой позволит существенно повысить качество изделий машиностроительного производства.

Анализ научно-технической литературы показывает, что применение СИО представляется целесообразным для повышения эксплуатационных характеристик крупногабаритных деталей горно-металлургического оборудования, работающих в различных условиях. После проведения операций по упрочнению периодичность ремонтов данного оборудования должна сократиться примерно в 2 раза, что даст значительный экономический эффект.

Исследования проходят при поддержке гранта администрации Белгородской области № 2014.01.04.

### **Список литературы**

1. Иванов Г.П., Картонова Л.В., Худошин А.А. Повышение износостойкости деталей созданием регулярной гетерогенной макроструктуры // Строительные и дорожные машины, 1997, № 1. - С. 33-34.
2. Киричек А.В., Афонин А.Н. Резьбонакатывание. Библиотека технолога. – М.:

Машиностроение, 2009. – 312 с.

3. Киричек А.В., Афонин А.Н. Моделирование статико-импульсной обработки резьб с помощью метода конечных элементов // Сб. матер. IV междунар. симпозиума «Ударно-вибрационные машины и технологии», Орел: ОрелГТУ, 2010. – С. 135-139.
4. Бушенин Д.В., Киричек А.В., Афонин А.Н., Кульков И.Б. Сравнение твердости резьбовых профилей, полученных пластическим деформированием различными методами // Вестник машиностроения. – 1999. – №10. – С. 40-43.
5. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой // СТИН. – 2007. – №12. – С. 28-31.
6. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием. Библиотека технолога. М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
7. Смелянский В.М., Земсков В.А. Технологическое повышение износостойкости деталей методом электроэрозионного синтеза покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 1. – С. 27-35.
8. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. В 2-х томах / С.К. Амбросимов, А.Н. Афонин, А.П. Бабичев и др. Под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2014.
9. Афонин А.Н., Ларин А.И., Макаров А.В., Бойко П.Ф. Гетерогенное упрочнение деталей горно-металлургических машин поверхностным пластическим деформированием. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Старый Оскол, 2014. – Т. II. – С. 3-10.

УДК 621.7

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ЗАКАТКЕ НА ПРИМЕРЕ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ ШАССИ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Михайловский И.А., [i-mikhailovsky@yandex.ru](mailto:i-mikhailovsky@yandex.ru),**

**Гун Е.И., [ypa\\_gun@mail.ru](mailto:ypa_gun@mail.ru)**

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова»,  
кафедра технологий, сертификации и сервиса автомобилей, Россия, Магнитогорск

*Аннотация.* В данной статье обоснована и решена задача разработки математической модели процесса пластической деформации при закатке элементов металлических изделий, являющихся телами вращения, на примере шаровых шарниров шасси автомобилей. Введено

понятие прохода, позволяющее рассматривать процесс закатки как совокупность последовательных операций осадки произвольного осевого сечения деформируемого изделия за один проход. Разработанная модель, базирующаяся на методе конечных элементов, характеризуется точностью, достаточной для её использования в дальнейших исследованиях.

**Ключевые слова:** пластическое деформирование; закатка; метод конечных элементов.

## MODELING OF THE PLASTIC DEFORMATION PROCESS DURING ROLLING FOR THE EXAMPLE OF VEHICLE CHASSIS BALL JOINTS

Mikhailovsky I.A., Gun E.I.

Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Department of technologies, certification and service of automobiles, Russia, Magnitogorsk

**Annotation.** *In this paper problem of developing a mathematical model of the plastic deformation process during beading of metal parts' elements which are bodies of revolution is substantiated and solved for example of vehicle chassis ball joints. The concept of passage is introduced that allows us to consider the beading process as a set of sequential pressing operations of arbitrary axial cross-section of the part being deformed after one passage. Developed model is based on finite element method and has an accuracy that is sufficient for its use in further researches.*

**Key words:** *plastic deformation; beading; finite element method.*

Объектом исследования является технологическая операция закатки, заключающаяся в радиальном деформировании элементов металлических изделий, являющихся телами вращения, с целью создания неразъемного соединения с ответными деталями.

Данная операция получила широкое распространение в процессе производства шаровых опор подвески и рулевых наконечников автомобиля, т.к. в настоящее время в подавляющем большинстве случаев конструкция данных изделий подразумевает формирование неразъемного сборочного соединения между корпусом и шайбой путем пластической деформации бурта корпуса [1-3]. В данном случае на операции закатки используется закатная головка 1, в которой на осях установлено несколько роликов 2. При вращении закатной головки вокруг вертикальной оси с одновременным ее перемещением по вертикали деформация бурта корпуса 3 осуществляется в результате качения по нему роликов 2 (рисунок 1).

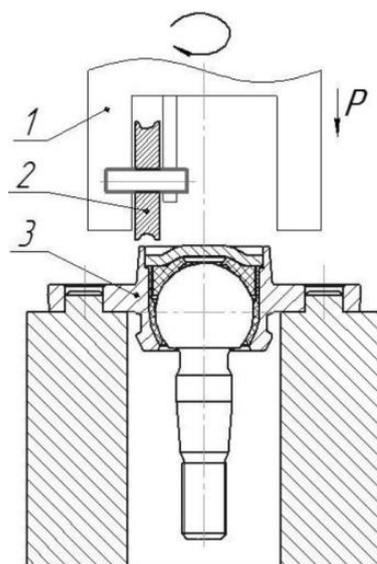


Рис. 1. Схема процесса закатки шарового шарнира подвески:  
1 – закатная головка; 2 – ролик; 3 – корпус шарового шарнира

Операция закатки является одной из ключевых в формировании качества готового изделия, т.к. технологические параметры данной операции непосредственно влияют на прочность соединения и на другие значимые функциональные показатели шарниров [4-8]. Однако анализ открытых источников выявил отсутствие работ, посвященных исследованию данного процесса. На практике это приводит к тому, что параметры деформирования на стадии проектирования технологического процесса выбираются экспертно, и это зачастую приводит к необходимости итерационного экспериментального процесса доводки и отладки операции с целью получения рациональных параметров процесса.

В связи с этим актуальной является задача разработки математической модели процесса, позволяющей уже на этапе проектирования операции осуществлять обоснованный выбор её технологических параметров и, тем самым, сокращающей сроки и стоимость наладки операции при освоении новых изделий.

Для исследования процесса предлагается ввести понятие прохода, под которым следует понимать процесс деформирования бурта корпуса в результате качения по нему ролика при повороте закатной головки на угол, равный угловому шагу расположения роликов. В этом случае процесс закатки может быть рассмотрен как совокупность последовательных операций осадки произвольного осевого сечения бурта в результате вертикального перемещения закатной головки за один проход. При этом по окончании каждого прохода деформация бурта в каждом осевом сечении будет обусловлена вертикальным перемещением закатной головки на величину  $h_0 - h_1$  (рисунок 2).

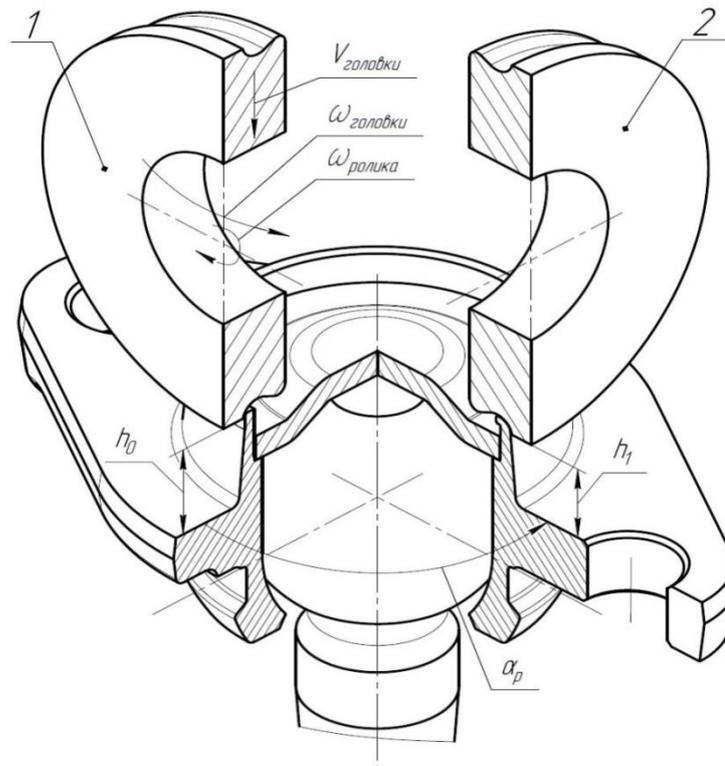


Рис. 2. К анализу кинематики процесса закатки:

- 1 – начальное положение ролика; 2 – положение ролика по окончанию прохода;  
 $h_0$  – расстояние от фланца корпуса до наружного диаметра ролика в положении 1;  
 $h_1$  – расстояние от фланца корпуса до наружного диаметра ролика в положении 2;  
 $\alpha_p$  – угловой шаг расположения роликов в закатной головке;  
 $V_{гол}$  – скорость перемещения закатной головки по вертикали;  
 $\omega_{гол}$  – угловая скорость закатной головки;  $\omega_{рол}$  – угловая скорость ролика

На основе анализа кинематики процесса могут быть получены следующие выражения:

$$h_0 - h_1 = V_{гол} \cdot t_1^{np},$$

$$\frac{\pi \cdot d_{корп}}{n_{рол}} = \omega_{рол} \cdot R_{рол} \cdot t_1^{np},$$

где  $h_0 - h_1$  – вертикальное перемещение закатной головки за один проход, мм;  $V_{гол}$  – скорость перемещения закатной головки по вертикали, м/с;  $t_1$  – время прохода, с;  $d_{корп}$  – внутренний диаметр отверстия корпуса, мм;  $n_{рол}$  – количество роликов;  $\omega_{рол}$  – угловая скорость, 1/с;  $R_{рол}$  – наружный радиус ролика, мм.

Тогда:

$$h_0 - h_1 = \frac{\pi \cdot d_{корп} \cdot V_{гол} \cdot t_1^{np}}{n_{рол} \cdot \omega_{рол} \cdot R_{рол}}.$$

Напряженно-деформированное состояние бурта предлагается определять в каждом из его осевых сечений поэтапно – по окончанию каждого из проходов в результате реализации метода конечных элементов по явной схеме интегрирования с учетом физической и геометрической нелинейности. Основное допущение, принятые в конечно-элементной модели, заключается в том, что упруго-пластическое поведение материалов описывают билинейной диаграммой напряжения-деформации. Все контактные взаимодействия моделируются по принципу "Мастер-поверхность – Зависимые узлы", реализуя метод штрафных функций.

На рисунке 3 представлены результаты расчета изменения формы с распределением полей напряжений, при вертикальном перемещении закатной головки, рассчитанном по приведенным выше зависимостям.

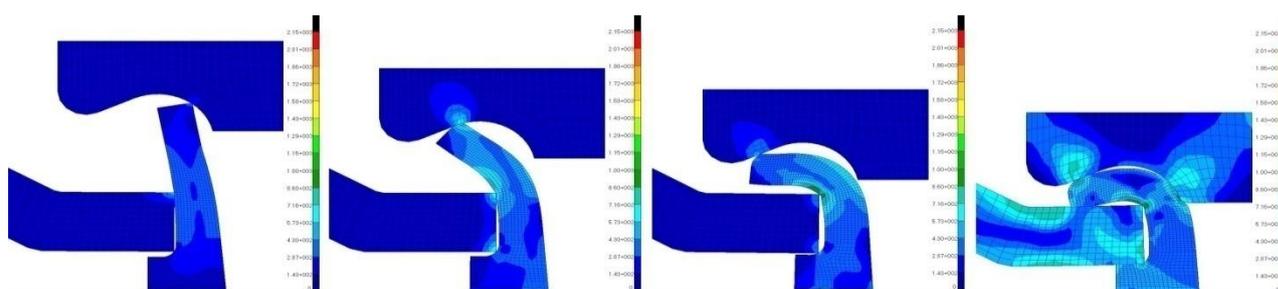


Рис. 3. Эквивалентные по Мизесу напряжения бурта корпуса и ролика по итогам рассматриваемых проходов



Рис. 4. Осевое сечение шаровой опоры после закатки

Предварительное сопоставление расчетной и фактической формы деформированного бурта позволяет говорить о достаточной адекватности модели, для её использования в дальнейших исследованиях.

#### Список литературы

1. Калмыков Ю.В., Михайловский И.А., Сальников В.В., Пестерев Д.А. Анализ существующих способов формирования соединения и основные требования к качеству при

сборке шаровых шарниров передней подвески автомобилей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №4. С. 47-50.

2. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Куцепендик В.И., Сальников В.В., Гун Е.И., Смирнов А.В., Смирнов А.В. Разработка моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 52-57.

3. Михайловский И.А., Гун И.Г., Лапчинский В.В. Методика проведения и обработка результатов объединенных испытаний верхних шаровых пальцев передней подвески автомобилей ВАЗ 2101-2107 // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2004. № 4. С. 43-50.

4. GunG.S., RubinG.Sh., ChukinM.V., MezinI.U., KorchunovA.G. Metallurgyqualitytheorydesignanddevelopment // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №5 (45). Р. 67-69.

5. Гун Г.С., Мезин И.Ю., Рубин Г.Ш., Минаев А.А., Назайбеков А.Б., Дья Х. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (46). С. 92-97.

6. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. и др. Комплексная оценка результативности сквозных технологий производства с использованием логики антонимов на примере шаровых пальцев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. № 1. С. 67-71.

7. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества шаровых пальцев: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 147 с.

8. Гун И.Г., Железков О.С., Михайловский И.А., Кривошапов Д.В. Совершенствование технологии изготовления шаровых пальцев автомобилей // Черная металлургия. 2000. №11-12. С.60-62.

УДК 669

## **РАЗРАБОТКА НОВОГО СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ И ШТАМПОВКИ**

**Песин А.М.<sup>1</sup>, Дригун Э.М.<sup>2</sup>, Гун Г.С.<sup>1</sup>, Пустовойтов Д.О.<sup>2</sup>, Песин И.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,

<sup>2</sup> ООО «ЧерметИнформСистемы»

*Аннотация.* Ключевым условием развития экономики является переход к качественно новым энергоэффективным промышленным технологиям, обеспечивающим многократное

повышение производительности оборудования и улучшение качества готовой продукции. В области металлургии и тяжелого машиностроения, особое место занимают технологии получения и обработки сложнопрофильных толстолистовых металлических изделий с толщиной стенки более 40 мм и диаметром/шириной до 4000 мм. К таким изделиям относятся получаемые методом горячей толстолистовой штамповки крупногабаритные детали типа тел вращения (например, сегмент цилиндрической поверхности кожуха конвертера, донная часть вакууматора и т.д.), используемые в металлургической, нефтехимической, газовой и атомной промышленности для аппаратов, работающих под давлением, сосудов, емкостей и других промышленных установок. Известные в настоящее время способы получения таких изделий, например, методом горячей штамповки, имеют ряд технологических проблем. В настоящей работе предложен новый совмещенный процесс толстолистовой прокатки и штамповки для получения таких изделий.

**Ключевые слова:** крупногабаритная деталь; совмещенный процесс; прокатка; штамповка; метод конечных элементов; математическое моделирование.

## DEVELOPMENT OF A NEW COMBINED PROCESS OF PLATE ROLLING AND STAMPING

Pessin, A.M. <sup>1</sup>, Dragon E.M. <sup>2</sup>, Gun G.S. <sup>1</sup>, Pustovoitov D.O. <sup>2</sup>, Pesin I.A. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nosov Magnitogorsk State Technical University, <sup>2</sup>ChermetInformSystemy

**Abstract.** *The key condition of economic development is the conversion to the brand new energy-efficient innovative technologies ensuring multiplier effect on the improvement of equipment productivity and the enhancement of finished product quality. Metallurgy and heavy engineering construction, which are considered the most energy-intensive industries, place great focus on complex shaped thick-gage plate metal items of equipment with the wall thickness exceeding 40 mm and the diameter /width of up to 4000 mm. Such items of equipment include large machine parts manufactured by means of hot plate stamping, like bodies of rotation (for example, the segment of the radial surface of converter shell, the bottom part of degassing unit, etc.) utilized as pressure-operated devices, vessels, tanks and other facilities by metallurgical, petrochemical, oil and gas, and nuclear industries. This project involves the development of scientific and engineering methods making it possible to manufacture the large size items of equipment like the bodies of rotation without utilization of expensive dies. The power efficiency of the brand new methods of deformation will be achieved through decrease by at least 40% of energy-power parameters of the processes as compared to the conventional methods, as well as through saving of calorific energy by means of reduced number of heating operations of the primary pieces.*

**Key words:** *large part, combined process, rolling, stamping, finite element method, mathematical modeling.*

В области металлургии и тяжелого машиностроения, которые относятся к наиболее энергоемким отраслям промышленности, особое место занимают технологии получения и обработки толстолистовых металлических изделий с толщиной стенки более 40 мм и диаметром до 4000 мм. К таким изделиям относятся получаемые методом горячей штамповки крупногабаритные детали типа тел вращения (например, донная часть вакууматора), используемые в металлургической, нефтехимической, газовой и атомной промышленности для аппаратов, работающих под давлением, сосудов, емкостей и других промышленных установок. Известные в настоящее время способы получения таких изделий, например, методом горячей штамповки, имеют ряд технологических проблем: значительная энергоемкость процессов, низкая производительность.

Условия эксплуатации крупногабаритных изделий предъявляют к ним повышенные требования по структуре и свойствам, однако, толстолистовые заготовки имеют пониженные механические свойства и значительные колебания размеров по толщине, что приводит к увеличению вероятности образования трещин, складок и других дефектов, а также снижению надежности готовых металлоконструкций.

Указанные проблемы снижают экономическую эффективность производства крупногабаритных изделий ответственного назначения.

Настоящая работа направлена на разработку нового энергоэффективного и высокопроизводительного способа получения крупногабаритных деталей с эллиптической поверхностью (с толщиной стенки более 40 мм и диаметром до 4000 мм) из металлических материалов с повышенными механическими свойствами. Энергоэффективность нового метода деформирования заключается в снижении (до 40%) энергосиловых параметров разрабатываемых процессов в сравнении с известными технологиями. Научная новизна поставленной задачи заключается в создании и развитии теории и технологии новых методов деформирования, основанных на совмещении процессов толстолистовой прокатки и штамповки.

При производстве крупногабаритных изделий типа днищ следует учитывать возможности имеющегося оборудования. В некоторых случаях это является основным ограничивающим фактором, так как при разработке технологического процесса выбор того или иного способа получения заготовки возможен лишь при наличии очень мощного оборудования.

Уникальность приведенных разработок заключается в использовании мощного

прокатного стана в качестве основного оборудования для производства толстолистовых заготовок и крупногабаритных деталей типа эллиптических днищ без использования специализированных прессов.

Коллективом исполнителей разработаны две новые принципиальные схемы совмещенного процесса толстолистовой прокатки и штамповки для производства крупногабаритных изделий типа тел вращения без использования прессового оборудования. В основе процесса положен принцип прокатки пакета, состоящего из верхнего (пуансон), нижнего (матрица) оснований и расположенной между ними толстолистовой заготовки (рисунок 1).

Ключевым условием реализации процесса является выполнение условий захвата при горячей прокатке пакета (рисунок 2):

$$\Delta H_{\text{пак}} \leq 2R(1 - \cos \alpha), \quad (1)$$

$$\alpha = \arctg(m), \quad (2)$$

где  $\Delta H_{\text{пак}}$  – абсолютное обжатие пакета, мм;  $m$  – показатель трения,  $R$  – радиус вала, мм.



Рис. 1. Схема совмещенного процесса толстолистовой прокатки и штамповки (способ 1)

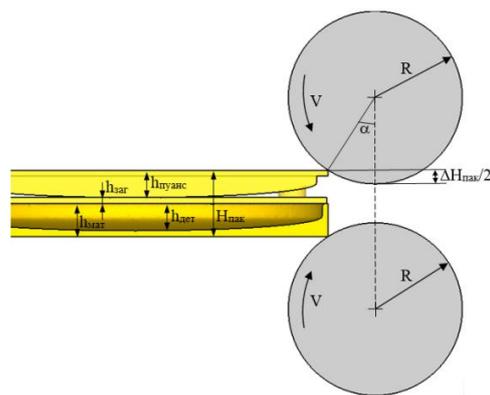


Рис. 2. Схема к определению условий реализации процесса

$$H_{\text{пак}} = h_{\text{пуанс}} + h_{\text{заг}} + h_{\text{мат}}, \quad (3)$$

где  $h_{\text{пуанс}}$  – высота пуансона, мм;  $h_{\text{заг}}$  – толщина заготовки, мм;  $h_{\text{мат}}$  – высота матрицы, мм.

Разработан способ производства эллиптических поверхностей из листовой заготовки, который включает: 1) сборку пакета, состоящего из верхнего (пуансон) и нижнего (матрица) оснований и расположенной между ними листовой заготовки; 2) реверсивную прокатку пакета в приводных рабочих валках, при этом пакет размещают в предварительно разведенных валках таким образом, чтобы центр пакета располагался на линии, соединяющей оси валков (рисунок 3).

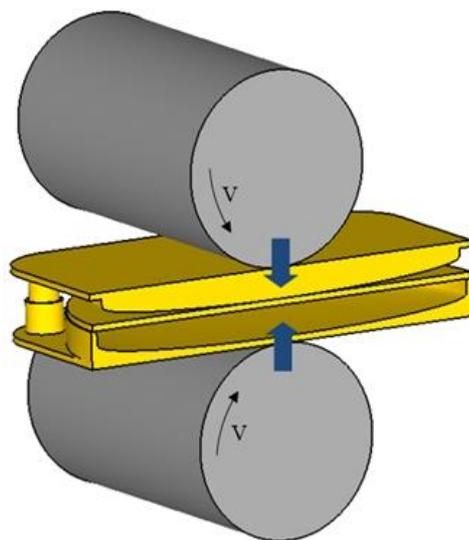


Рис. 3. Схема совмещенного процесса толстолистовой прокатки и штамповки (способ 2)

С использованием представленной выше конечно-элементной модели выполнено численное исследование и расчет характеристик напряженно-деформированного состояния металла при совмещении процессов горячей прокатки и штамповки эллиптического днища. Диаметр исходной заготовки 2660 мм, толщина 40 мм, материал – сталь 09Г2С. Высота готового изделия 200 мм. Температура нагрева заготовки 900 0С. Скорость прокатки 1000 мм/сек. Показатель трения 0,7. Время транспортирования заготовки от печи к штампу 60 сек. Условия деформирования – неизотермические. Условия моделирования – симметричные в одной плоскости. Форма пуансона, матрицы, а также конечно-элементная модель пакета показаны на рисунках 4-6.

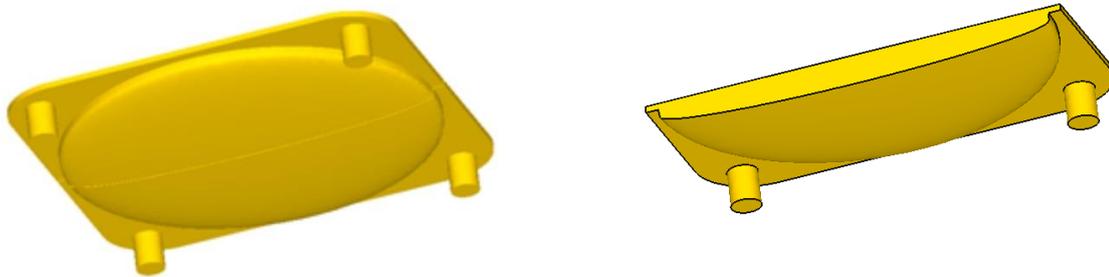


Рис. 4. Пуансон

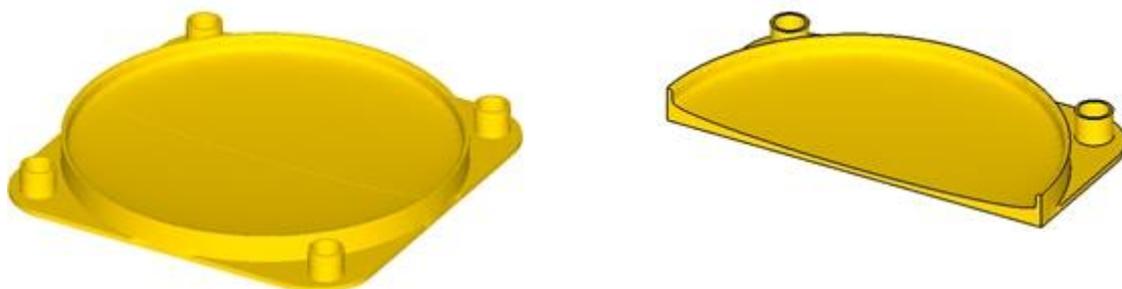


Рис. 5. Матрица

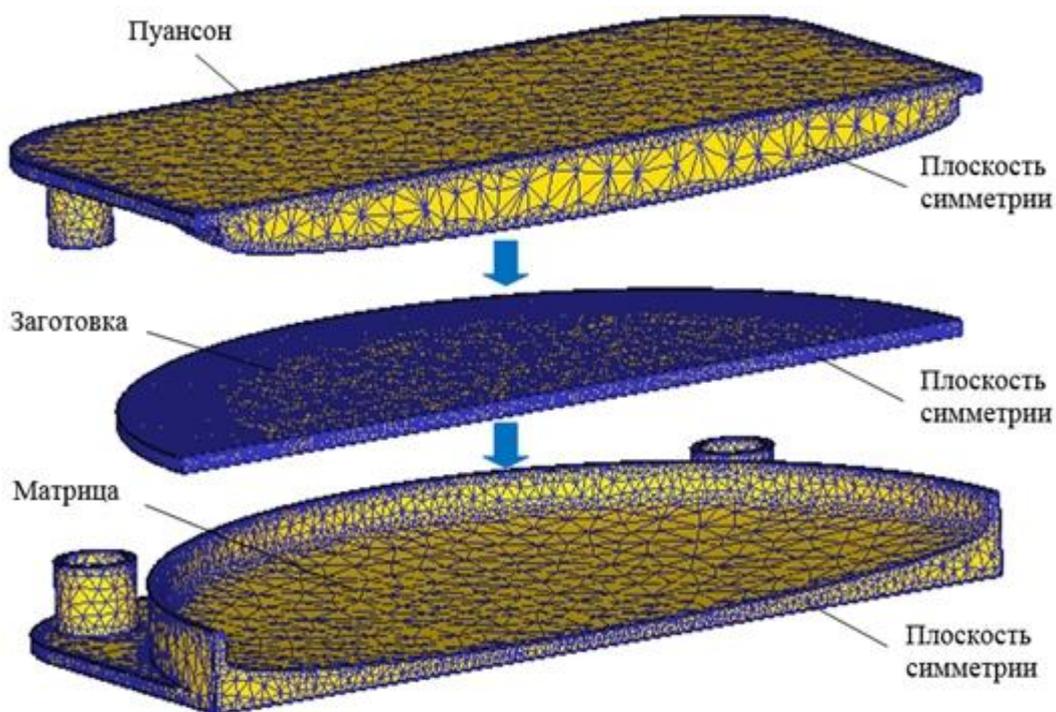


Рис. 6. Конечно-элементная модель пакета

**УСТАНОВКА ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ  
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ КРЕПЛЕНИЯ В РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЕ СТАНКА**

**Сергиев А.П., Владимиров А.А., Швачкин Е.Г.**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

*Аннотация.* Разработана конструкция установки, позволяющая крепить ее на резцедержатель токарного станка. При этом нет необходимости снимать со станка резцедержатель и верхний суппорт с поворотной плитой.

*Ключевые слова:* вибрационное резание; устройство для виброрезания; тангенциальные колебания; низкочастотные вибрации.

**INSTALLATION FOR VIBRATION CUTTING  
WITH THE ABILITY TO MOUNT IN A TOOL HOLDER OF THE MACHINE**

**Sergieev A.P., Vladimirov A.A., Shvachkin E.G.**

SaryOskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»

*Abstract.* The design installation, allowing secure it to the tool holder of a lathe. There is no need to remove from the machine tool holder and the upper support with swivel plate.

*Keywords:* vibrationcutting; device for vibrorezaniya; tangential oscillations; low-frequency vibrations.

Из проведенного обзора установок для вибрационного резания труднообрабатываемых сталей, с применением механического вибратора, отличилась работа авторов А.П. Сергиева и Е.Г. Швачкина [1, 2].

Для разработки новой конструкции с упрощенной установкой на резцедержатель станка примем за основу патент РФ 2212309 [1]. Плюсом установки является ее компактность и масса. Одним из недостатков связанных с эксплуатацией данной установки для вибрационного резания является невозможность ее установки на станок без предварительного демонтажа резцедержателя и верхнего суппорта с поворотной плитой. Что в свою очередь, в условиях производства, оказывает негативное влияние на производительность, увеличением подготовительно-заключительного времени и сокращением объема производства.

Еще одним недостатком, связанным с влиянием вибраций на механизмы токарного станка, является направление задания колебаний. Т.е. колебания, передаваемые от вибратора

к резцедержателю установки, задаются по направлению поперечного хода подачи суппорта токарного станка.

Решение этих проблем заключалось в разработке такой конструкции установки для виброрезания, которая позволяла бы монтировать и демонтировать установку с наименьшими временными затратами и в то же время оказывала меньшее негативное влияние на механизмы токарного станка.

Для определения габаритных и установочных размеров установки для виброрезания за основу был принят токарно-винторезный станок модели 1М63.

Корпус новой конструкции установки (рис. 1) представляет собой коробчатую конструкцию, состоящую из передней 1 и задней 2 плит, которые соединяются между собой верхней плитой 3. На верхней плите 3 имеются крепежные отверстия для установки вибратора 4 и электродвигателя на регулируемом основании 5 (на рисунке не показан). На передней плите 1 для создания оси качания резца приварены две серьги 6. Ось качания резца связана с эксцентриковым валом 8 через механизм качания резца 7.

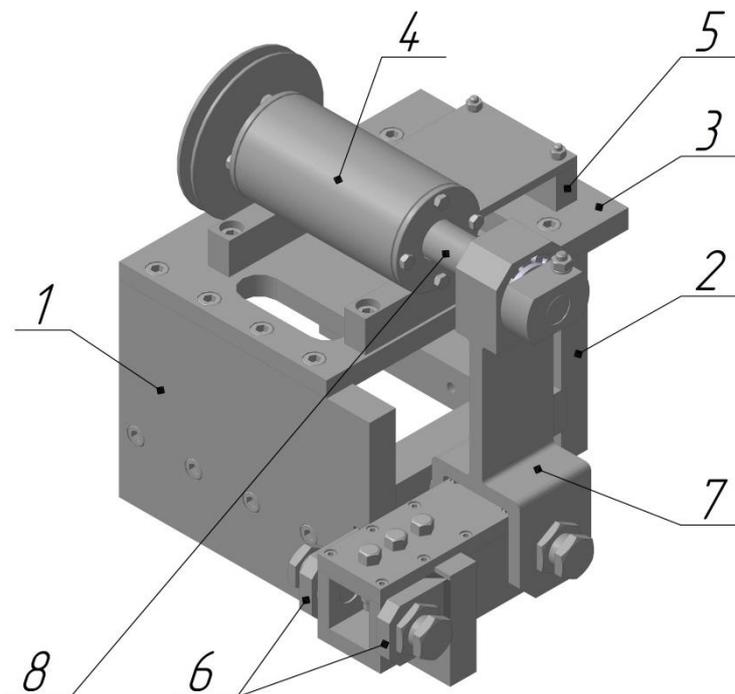


Рис. 1. Общий вид установки для вибрационного резания

Крепление установки в резцедержателе станка (рис. 2) осуществляется за счет зажима направляющих планок, продольных 9 и поперечной 10, винтами резцедержателя.

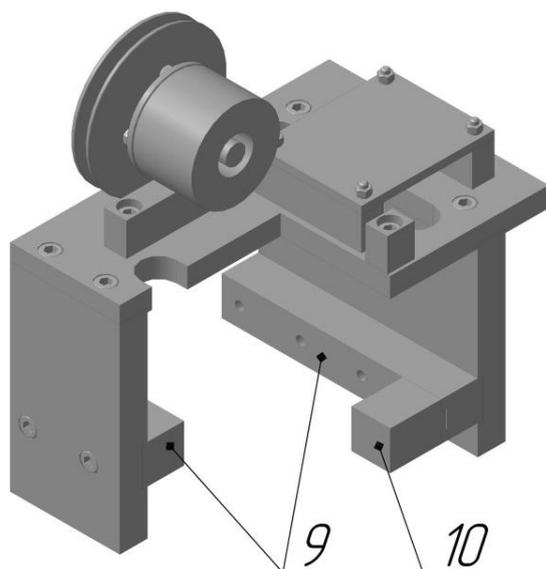


Рис. 2. Крепежные элементы установки

Вибратор (рис. 3) представляет собой корпус 1, с установленными в нем роликовыми коническими подшипниками 5. Корпус 1 закрыт с обеих сторон крышками 2 и 3, которые, в свою очередь, крепятся к корпусу 1 посредством болтов 4. В подшипниках 5 установлен эксцентриковый вал 6. Вращение от электродвигателя передается на вал 6 через шкив 8, закрепленный на валу б через шайбу 9 и гайку 10. Между торцевой поверхностью внутреннего кольца подшипника 5 и торцом шкива 8 предусмотрена дистанционная втулка 7, предназначенная для регулирования зазоров в подшипниках 5.

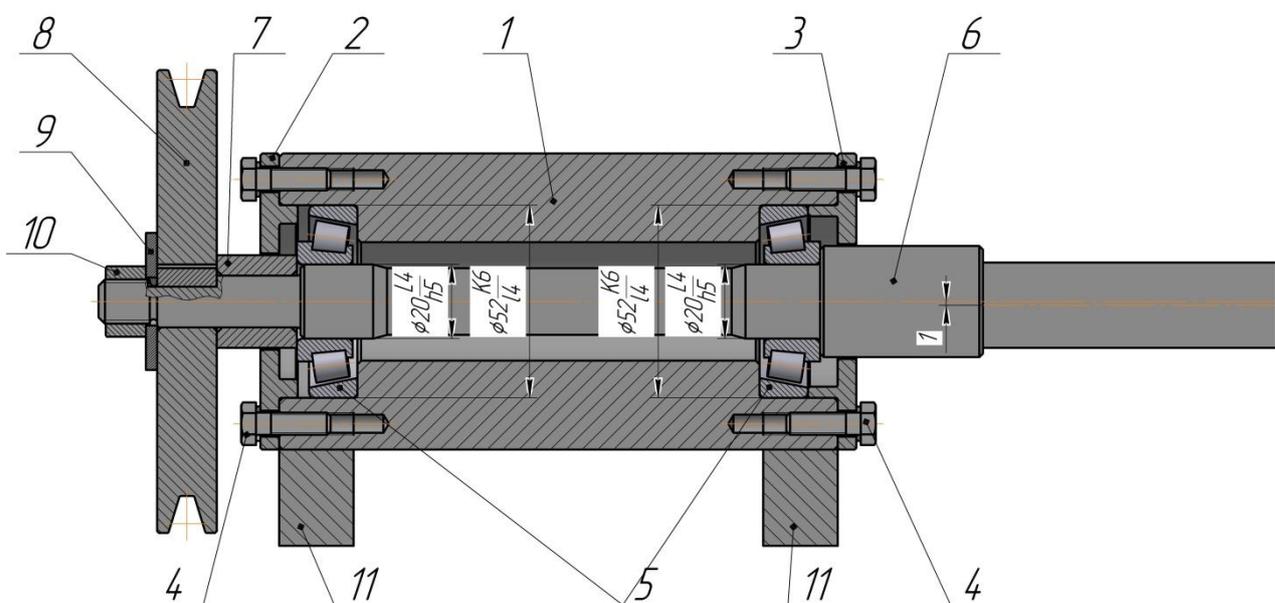


Рис. 3. Конструкция вибратора

В результате проделанной работы была спроектирована новая конструкция устройства для вибрационного резания. Была решена проблема установки и снятия устройства на станок без разборки и снятия механизмов станка. В результате чего увеличились габариты и масса устройства.

Так же была решена проблема влияния вибраций на механизмы станка путем изменения направления задания колебаний. В новой конструкции колебания задаются по вертикали перпендикулярно поперечному ходу подачи суппорта. Колебания, задаваемые в этом направлении, будут оказывать меньшее влияние на механизмы станка, что в свою очередь положительно скажется на точностных характеристиках станка и процессе резания.

### Список литературы

1. Пат. 2212309 РФ, МКИ 7 В 23 В 25/00. Устройство для вибрационного резания / А.П.Сергиев, Е.Г. Швачкин. – № 2001123546/02; заявл. 22.08.2001; опубл. 20.09.2003, Бюл. № 26. – 7 с.
2. Сергиев А.П., Швачкин Е.Г. Устройство для вибрационного резания //Образование, наука, производство и управление. – Старый Оскол, 2011. – Т. 1. – №1. – С. 149-153.

УДК 621.98.073

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛА В ЗОНЕ СРЕЗА

**Сергиев А.П., Проскурин А.А., Макаров А.В.**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»

*Аннотация.* В статье рассматривается моделирование деформационных процессов при реверсивном нагружении и практическое подтверждение результатов моделирования. Оценивается влияние реверсивного деформирования на ресурс пластичности, снижение которого обеспечивает получение деталей холодной листовой вырубкой без заусенцев.

*Ключевые слова:* реверсивное деформирование, микротвердость зоны среза, ресурс пластичности, отсутствие заусенцев.

## RESOURCE EXPLORATION DUCTILE METAL CUT IN THE ZONE

**Sergiev A.P., Proskurin A.A., Makarov A.V.**

StaryOskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS»

*Abstract.* The article discusses the modeling of deformation processes in reverse loading and practical confirmation of the modeling results. The influence of reversible deformation of a

*resource of plasticity, which provides a reduction in parts of cold sheet cutting burr.*

**Keywords:** *reversible deformation, microhardness zone cutoff plasticity resource, no burrs.*

В процессе листовой вырубки образуются заусенцы на кромках деталей. Существенно снизить или полностью исключить их образование позволяет реверсивная вырубка.

По результатам проведения полного факторного эксперимента процесса было получено уравнение регрессии и проведена оптимизация целевой функции, что позволило установить значения доминирующих факторов: число циклов и величину скорости деформирования, соотношение и величину первичного и реверсивного деформирования [1].

Рассчитанные и экспериментально подтвержденные [2, 3] технологические параметры процесса были положены в основу моделирования деформационных процессов в зоне среза с использованием сетки Лагранжа.

Постадийное исследование различных соотношений величин первичного и реверсивного деформирования позволило установить изменения, происходящие в зоне деформирования.

При меньших значениях первичного и реверсивного деформирования изменения в строении сетки Лагранжа показывают, что пластичность материала снижается незначительно, сохраняя знак растягивающих напряжений, что не препятствует появлению заусенцев по контуру среза при вырубке (рис. 1).

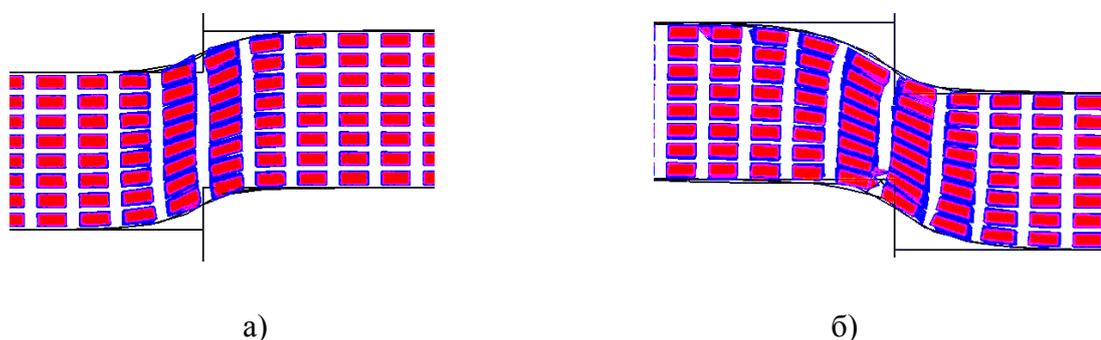


Рис. 1. Недостаточное соотношение первичного 25% (а) и реверсивного 45% (б) деформирования смоделированное для образцов из меди М1

При расчетных значениях первичного деформирования сетка Лагранжа начинает растягиваться (рис. 2, а), а при деформировании в обратную сторону сетка сжимается и снова растягивается (рис. 2, б).

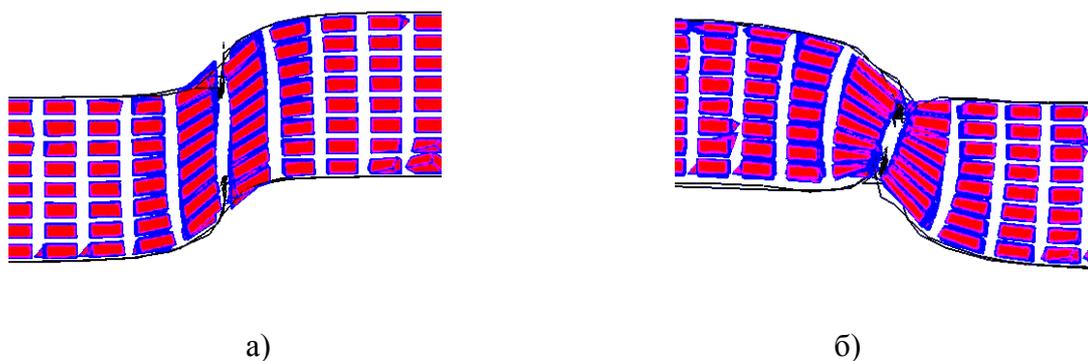


Рис. 2. Расчетное соотношение первичного 50% (а) и реверсивного 50% (б) деформирования смоделированное для образцов из меди М1

Полученные модели показали, что при наложении реверсивного деформирования растягивающие напряжения сменяются сжимающими, оси главных напряжений поворачиваются, появляются касательные напряжения и возникают зоны с растягивающими напряжениями. Это свидетельствует, что происходит снижение ресурса пластичности в зоне среза как при возникновении растягивающих, так и при возникновении сжимающих напряжений.

Для подтверждения результатов моделирования деформационных процессов в зоне среза были изготовлены образцы для каждой стадии деформирования на экспериментальном оборудовании. Образцы, представляющие собой шайбы с наружным диаметром 20 мм, внутренним диаметром 5мм и толщиной 1,5 мм, были изготовлены из меди М1.

Микрошлифы были протравлены с выделением границ зерен, что позволило производить замеры микротвердости в зонах с различной стадией деформирования. Результаты замеров после первичного и реверсивного деформирования представлены на рисунках 3, 4 и в таблице 1.

Результаты измерения микротвердости показывают, что ее рост при первичном деформировании локализуется в центральной части зоны деформирования в точках 3, 6 (рис. 3) и составляет соответственно HV134 и HV143, убывая до HV107 и HV118 соответственно в точках 2 и 4 на границах зоны деформации при исходной твердости основного материала HV87,6 (точка 5).

При последующем реверсивном деформировании происходит дальнейшее повышение микротвердости и достигает в центре зоны деформирования в точках 2 и 7 (рис. 4) значений

HV160 и HV174 соответственно, убывая до HV142 и HV133 на границе зоны соответственно в точках 1 и 4 (рис. 4) при твердости основного материала HV85,4.

Таким образом, постадийное исследование изменения микротвердости зерен в зоне деформирования показало, что при первичном деформировании микротвердость в центральной зоне возрастает в 1,6 раз по сравнению с исходной микротвердостью материала, а при реверсивном деформировании увеличивается еще в 1,3 раз по сравнению с первичным деформированием. При суммарном первичном и реверсивном деформировании микротвердость в зоне среза увеличивается в 2 раза.

Аналогичные исследования зоны деформирования, проведенные на образцах из стали 30, показали увеличение микротвердости с HV128 до HV330, т.е. более чем в 2 раза.

Таблица 1

Значения микротвердости в зонах изменения структуры зерен при постадийном деформировании меди М1

Наименование зоны касания инструмента	МикротвердостьHV при первичном деформировании на величину $\Delta_1=50\%$ (номер точки на рис. 3, 4)	МикротвердостьHV при первичном деформировании на величину $\Delta_1=50\%$ и реверсивном деформировании на величину $\Delta_2=50\%$ (номер точки на рис. 3, 4)
не деформированная зона (исходная)	87,6 (5)	85,4 (5)
левая граница зоны деформирования	95,8 (1); 107 (2)	142 (1)
центральная зона деформирования	143 (3); 134 (6)	160(2); 160(3); 150(6);

		174(7)
правая граница зоны деформирования	118(4); 119(7)	133(4)



Рис. 3. Разрез образца из меди М1 (x100) подвергнутого первичному деформированию при  $\Delta_1=50\%$  с обозначением точек касания инструмента для измерения микротвердости



Рис. 4. Разрез образца из меди М1 (x100) подвергнутого реверсивному деформированию при  $\Delta_1=50$  и  $\Delta_2=50\%$  с обозначением точек касания инструмента для измерения микротвердости

В отличие от эффекта Баушингера, который проявляется при сжатии-растяжении или растяжении-сжатии, в рассматриваемом процессе деформирования наблюдается обобщенный (суммарный механизм) потери ресурса пластичности при любом виде пластического деформирования, включая сдвиговую и изгибающую деформацию зерен в зоне среза, что исчерпывает ресурс пластичности и при окончательной вырубке способствует развитию трещин, направленных навстречу друг другу, позволяющих сформировать поверхность среза без образования заусенцев по контуру среза.

Чтобы оценить влияние технологических параметров реверсивного деформирования были изготовлены образцы для каждой стадии деформирования с окончательной вырубкой.



а)

б)

в)

Рис. 5. Недостаточное соотношение первичного и реверсивного деформирования в поперечном разрезе образцов из меди М1 (х30):

а – первичное деформирование 10%, б – реверсивное деформирование 30%,

в – окончательная вырубка



а)

б)

в)

Рис. 6. Достаточное соотношение первичного и реверсивного деформирования в поперечном разрезе образцов из меди М1 (х30):

а – первичное деформирование 50%, б – реверсивное деформирование 50%,

в – окончательная вырубка

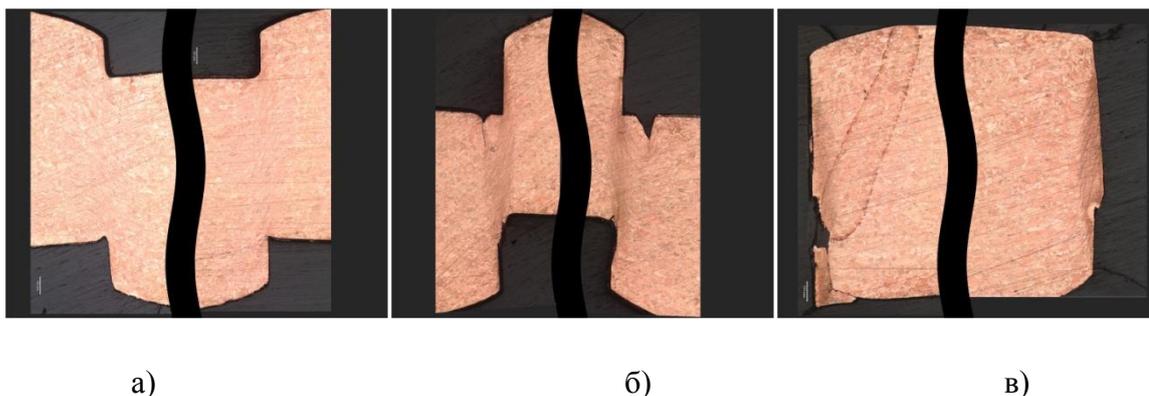


Рис. 7. Избыточное соотношение первичного и реверсивного деформирования в поперечном разрезе образцов из меди М1 (х30):

а – первичное деформирование 50%, б – реверсивное деформирование 65%,

в – окончательная вырубка.

На поперечном срезе образцов видно, что при недостаточном соотношении (рис. 5) первичного и реверсивного деформирования пластичность не уменьшается и на готовой детали образуется заусенец, а при избыточном соотношении (рис. 7) первичного и реверсивного деформирования скальвающие трещины не идут навстречу друг другу и образуется рваная кромка на детали. При использовании первичного и реверсивного деформирования, с теоретически рассчитанными по математической модели, технологическими параметрами достигается получение листовой детали с полным отсутствием заусенца и наличием с обеих кромок образца характерного завала от вырубке (рис. 6), в результате того что при деформировании с обратным знаком на определенную величину происходит уменьшение пластичности материала.

Произведенное моделирование и эксперименты подтверждают, что в процессе листовой штамповки появляются растягивающие напряжения. При наложении реверсивного деформирования растягивающие напряжения сменяются сжимающими, оси главных напряжений поворачиваются, появляются касательные напряжения и возникают зоны с растягивающими напряжениями. Это свидетельствует о том, что происходит снижение ресурса пластичности в зоне среза как при возникновении растягивающих, так и при возникновении сжимающих напряжений.

Суммарный эффект снижения пластичности в зоне среза при листовой штамповке снижает вероятность появления заусенцев по периметру среза.

## Список литературы

1. Сергиев А.П., Проскурин А.А. Оптимизация математической модели реверсивной вырубки // Кузнечно-штамповочное производство. 2013. № 6. С. 19-22.
2. Сергиев А.П., Проскурин А.А. Проведение контрольных экспериментов для оптимизации нового технологического процесса реверсивной вырубки листовых деталей // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 5 (295). – С. 99-103.
3. Сергиев А.П., Проскурин А.А., Макаров А.В. Исследование влияния соотношения первичной и реверсивной деформации на структурные изменения в зоне среза при холодной листовой штамповке // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 4 (306). – С. 82-85.

УДК 621.73.073, 621.91, 004.942

### МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОВЫХ ВСТАВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

<sup>1</sup>Таупек И.М., [wert8608@mail.ru](mailto:wert8608@mail.ru), <sup>1</sup>Положенцев К.А., [kirill.polozhentsev@gmail.com](mailto:kirill.polozhentsev@gmail.com),

<sup>2</sup>Лисовский А.В., [a\\_lisovsky@mail.ru](mailto:a_lisovsky@mail.ru), <sup>3</sup>Глушенкова С.Г. [svetlana\\_606@mail.ru](mailto:svetlana_606@mail.ru)

<sup>1</sup>Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,  
Россия, г. Старый Оскол,

<sup>2</sup>Электростальский политехнический институт - филиал ФГБОУ ВПО «Московский  
государственный машиностроительный университет (МАМИ)»,

Россия, г. Электросталь

<sup>3</sup>АО «Металлургический завод «Электросталь», Россия, г. Электросталь

*Аннотация.* Приведена методика проектирования и изготовления штамповых вставок, включающая использование современных средств САПР на всех этапах процесса.

*Ключевые слова:* штамповка; штампы; штамповые вставки; САПР; моделирование; метод конечных элементов; МКЭ.

**METHODS OF DESIGN AND MANUFACTURE OF INSERT DIES, USING COMPUTER-AIDED DESIGN**

<sup>1</sup>Taupek I.M., <sup>1</sup>Polozhentsev K.A., <sup>2</sup>Lisovsky A.V., <sup>3</sup>Glushenkova S.G.

<sup>1</sup>A.A.Ugarov StaryOskol Technological Institute, Russia, StaryOskol,

<sup>2</sup>Elektrostal Polytechnic Institute, Russia, Elektrostal

<sup>3</sup>"Metallurgical Plant "Electrostal" JSC, Elektrostal

**Abstract.** *The technique of designing and manufacturing insert dies, including the use of modern CAD/CAE at all stages of the process.*

**Keywords:** *forging; insert dies; CAD; CAM; simulation; finite element method; FEM.*

Проектирование и изготовление штамповой оснастки является одним из основных факторов, влияющих на качество готовых поковок при горячей объёмной штамповке. Современные системы автоматизированного проектирования позволяют значительно облегчить и повысить точность изготовления таких изделий, как штамповые вставки, которые отвечают за непосредственное формоизменение исходной заготовки в необходимую поковку.

Рассмотрим создание штамповых вставок, предназначенных для получения поковок латунного (Л59) водопроводного тройника на кривошипном горячештамповочном прессе. Производство вставки начинается с создания трёхмерной модели поковки в САПР PTC Creo. В качестве исходных данных для модели служит чертёж поковки, построенный на основе исходного тройника и литературных данных [1]. На рисунке 1 приведены чертёж и построенная модель.

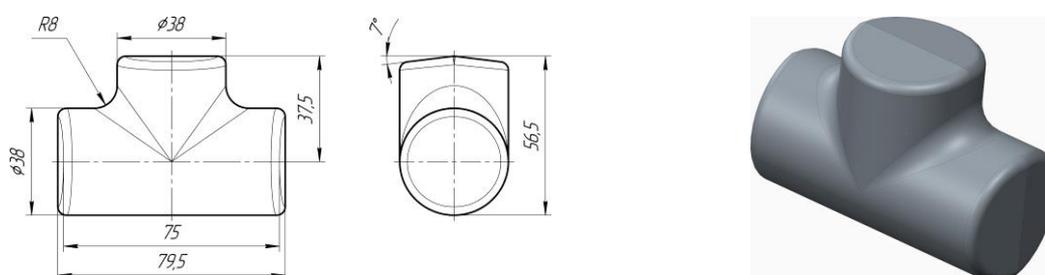


Рис. 1. Чертёж и трёхмерная модель тройника

Далее создаётся модель вставки: сначала в виде простого цилиндра – заготовки, из которой посредством булевой операции и модели поковки удаляется область, образующая ручей штампа. После чего, согласно справочным данным [2] добавляются облойная канавка,

а также необходимые технологические уклоны и скругления. Данные операции показаны на рисунке 2. Для упрощения на итоговой модели не показаны крепления вставки непосредственно в штампе.

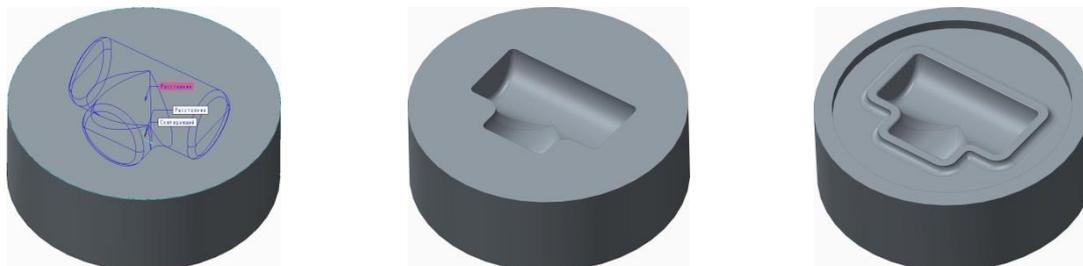


Рис. 2. Этапы построения нижней штамповой вставки

После построения итоговой модели вставки производилось моделирование процесса штамповки в инженерном программном комплексе DEFORM-3D, позволившее оценить их работоспособность. Полученные результаты показаны на рисунке 3. Как видно, ручей штампа заполнен полностью, а распределение интенсивности деформаций позволяет судить о будущих механических свойствах: повышенные значения (а, следовательно, и более высокая прочность) наблюдаются в области бокового выступа, который обычно и испытывает повышенные нагрузки при эксплуатации. Также моделирование позволило получить величину усилия штамповки и, как следствие, определиться с выбором пресса.



Рис. 3. Моделирование процесса штамповки

Полученные значения усилия использовались в прочностных расчётах с использованием отечественной САПР КОМПАС-3D, основные этапы которого показаны на рисунке 4. Изначально модели присваивались свойства стали 5ХНМ. Далее к ручью штамповой вставки прикладывалось усилие (красная область), производилось закрепление перемещения (зелёные стрелки), после чего она разбивалась на конечно-элементную сетку, и производился расчёт. Как видно, возникающие напряжения во вставке не превышают 200 МПа, что гораздо ниже предельных значений для данной стали.



Рис. 4. Модель и результаты расчёта штамповой вставки

Значения усилий штамповки использовались и для расчёта оборудования пресса на прочность. На рисунке 5 показан расчёт шатуна и ползуна, выполненных в единой сборке моделей. Возникающие напряжения также не превышают критических значений.



Рис. 5. Модель и результаты расчёта оборудования пресса

Произведённые моделирования позволили оценить будущую работу штамповой вставки и её влияние на пресс в целом. При возникновении различных проблем (например, проявление возможных дефектов поковки, разрушение вставки и др.) их устранение на данном этапе проектирования занимает как малое время, так и незначительные финансовые вложения и сводится к изменению в модели и последующему моделированию вплоть до устранения проблем

После внесения всех изменений модель вставки передаётся в модуль Сгео по изготовлению деталей на станке с ЧПУ, где производится задание применяемого станка, используемой заготовки, а также описывается черновая и чистовая механические обработки. В результате создаётся модель обработки, которая состоит из ссылочной модели (детали) и заготовки, собранных вместе. Модель обработки является неотъемлемой частью процесса обработки и содержит ссылочную модель, заготовку и все остальные элементы, составляющие процесс обработки: дополнительные приспособления, технологические операции и переходы и др. Пример задания модели обработки показан на рисунке 6.

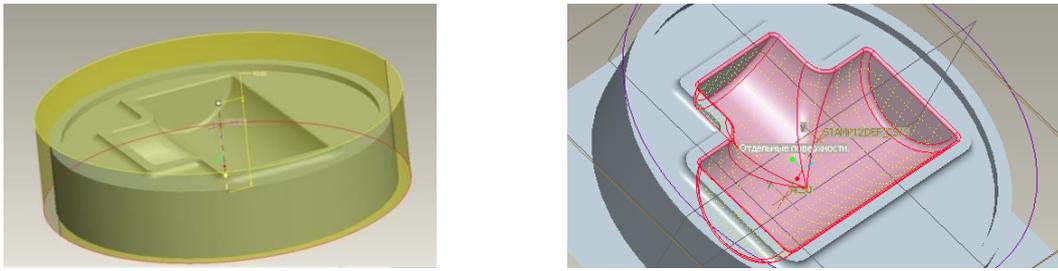


Рис. 6. Задание заготовки и поверхностей фрезерования

Для проверки правильности заданного процесса модель передаётся в программный комплекс Vericut, позволяющий осуществлять подготовку, контроль и оптимизацию программ ЧПУ. В Vericut производится полная симуляция (в том числе и визуальная) процесса обработки, как показано на рисунке 7.

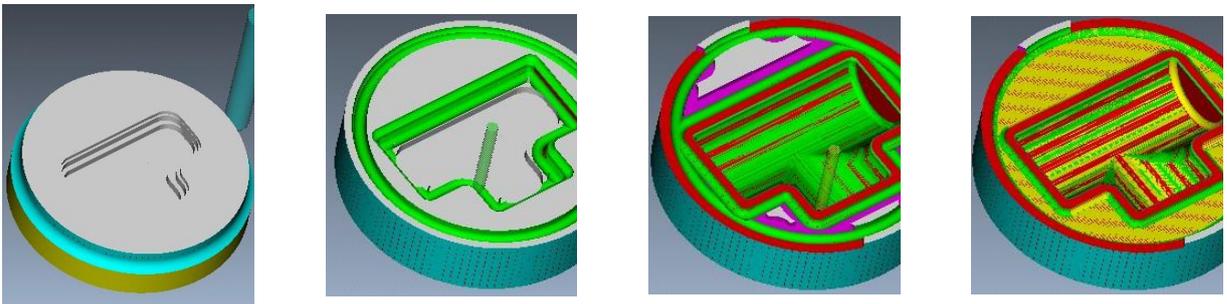


Рис. 7. Симуляция управляющей программы

При отсутствии ошибок, создаётся управляющая программа для станка. Далее полученная программа обработки передаётся в станок с ЧПУ, на котором производится изготовление итоговой штамповой вставки. Vericut позволяет в полном объёме отобразить процесс обработки заготовки на станке, как показано на рисунке 8.

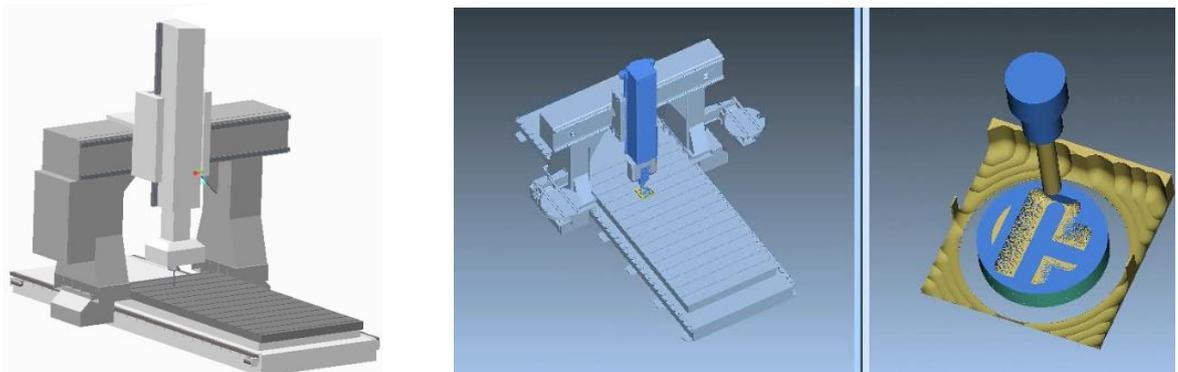


Рис. 8. Модель станка с ЧПУ и симуляция обработки заготовки

Методики, во многом похожие описной активно применяются в мировом машиностроении и позволяют значительно ускорить процесс производства и повысить качество штамповой оснастки, а, следовательно, и качество поковок и готовых изделий. Однако внедрение подобных методов требуют от конструкторов и технологов хороших знаний современных средств САПР, которое невозможно достигнуть без надлежащего обучения студентов технических специальностей [3].

#### Список литературы

1. Ковка и штамповка Справочник в 4-х томах. Том 2. Горячая штамповка. Под ред. Е.И.Семенова. М.: Машиностроение, 1986. – 592с.
2. Банкетов А. Н., Бочаров Ю. А., Добринский Н. С. и др. Кузнечно-штамповочное оборудование. М.: Машиностроение, 1982. – 573с.
3. Таупек И.М., Алексеев П.Л. Применение конечно-элементных программных комплексов при обучении студентов технических специальностей на примере DEFORM 2D/3D. "Образование, наука, производство и управление" сборник научных и научно-методических докладов всероссийской научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием. 7-8 декабря 2011 г. – Старый Оскол, 2011. – Т.3, - С. 245.

УДК 621.73, 621.77

#### ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННЫХ КОЛЕЦ В УСЛОВИЯХ АО «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД «ЭЛЕКТРОСТАЛЬ»

<sup>1</sup>Таупек И.М., [wert8608@mail.ru](mailto:wert8608@mail.ru); <sup>1</sup>Положенцев К.А., [kirill.polozhentsev@gmail.com](mailto:kirill.polozhentsev@gmail.com),

<sup>2</sup>Глушенкова С.Г., [svetlana\\_606@mail.ru](mailto:svetlana_606@mail.ru), <sup>2</sup>Бородин А.А., [ale90810911@gmail.com](mailto:ale90810911@gmail.com)

<sup>1</sup>Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ  
«МИСиС»,

Россия, г. Старый Оскол

<sup>2</sup>АО «Металлургический завод «Электросталь», Россия, г. Электросталь

*Аннотация.* Приведено описание производства горячедеформированных колец в условиях АО «Металлургический завод «Электросталь».

*Ключевые слова:* ковка; прокатка колец; осадка; прошивка.

#### PRODUCTION OF HOT ROLLING RINGS IN THE CONDITIONS OF «METALLURGICAL PLANT «ELECTROSTAL»

<sup>1</sup>Taupek I.M., <sup>1</sup>Polozhencev K.A., <sup>2</sup>Glushenkova S.G., <sup>2</sup>Borodin A.A.

<sup>1</sup>A.A.Ugarov StaryyOskol Technological Institute, Russia, StaryyOskol,

<sup>2</sup> "Metallurgical Plant "Electrostal" JSC, Electrostal

**Abstract.** *The description of production of hot rolling rings in the conditions of «Metallurgical Plant «Electrostal».*

**Keywords:** *forging; ring rolling; upsetting; piercing.*

Горячедеформированные кольца – востребованные изделия, широко применяемые в машиностроительной отрасли промышленности для производства сварных корпусов двигателей, различных детали ракет и космических кораблей, зубчатых передач двигателей самолетов и вертолетов, элементов газовых трубопроводов.

В рамках проводящегося технологического перевооружения для производства горячедеформированных колец в условиях АО «Металлургический завод «Электросталь» были установлены кольцепрокатные станы фирм Siempelkamp и SMS Meer. Предложенная производителями технология предполагала осадку и прошивку цилиндрической заготовки в шайбу на прессах усилием 200, либо 40 МН (в зависимости от размера заготовки) и дальнейшую раскатку на кольцепрокатных станах. Примеры получаемой продукции показаны на рисунке 1.



Рис. 1. Получаемые кольца

Подобная схема производства позволяет заметно ускорить время производства по сравнению с традиционной кузнечной раскаткой [1], а также получать кольца больших диаметров: на стане Siempelkamp до 2500 мм, а на SMS Meer – до 4000 мм. Высота колец

может варьироваться от 30 до 600 мм, а толщина стенки достигать всего 20 мм. Внешний вид колец в кольцепрокатном стане и сразу после деформации показан на рисунке 2.

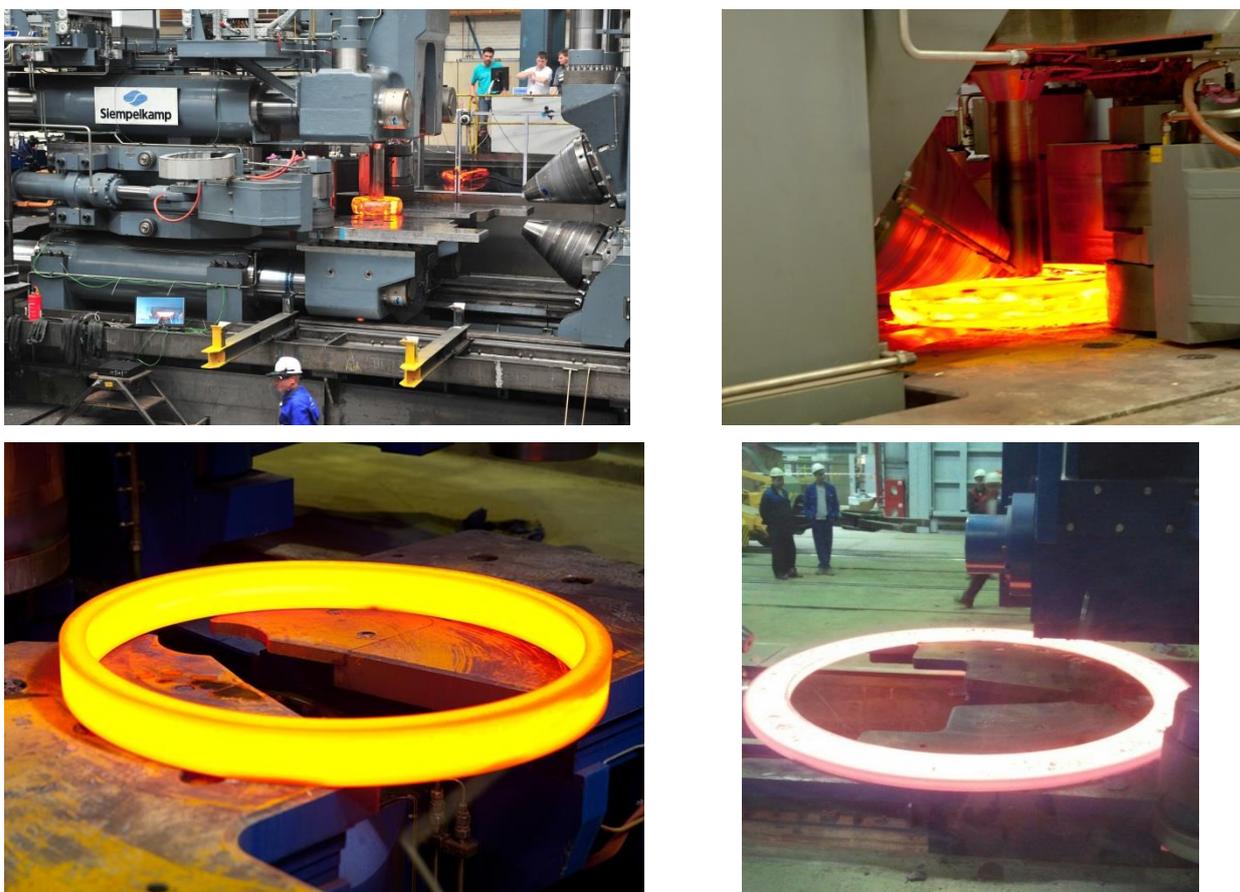


Рис. 2. Кольца после раскатки

Вследствие использования в технологическом процессе раскатных станов в готовых кольцах возникает значительная анизотропия механических свойств, определяемая процессом деформирования, который представляет, по сути, прокатку бесконечной заготовки с постепенным уменьшением межвалкового зазора и увеличением внешнего диаметра. Вследствие этого зёрна металла оказываются, вытянуты вдоль направления главных деформаций.

При использовании описанной схемы производства возник ряд проблем. Усилия прессы 40 МН оказывалось недостаточно для прошивки крупных отверстий, необходимых для дальнейшего помещения заготовки в кольцепрокатный стан. Применение для всего сортамента прессы усилием 200 МН являлось нецелесообразным ввиду его высокой загруженности. Также при производстве колец из высоколегированных сталей и сплавов у

части сортамента отмечалась недостаточная проработка структуры: исходная литая структура дробилась не полностью и частично сохранялась в готовом кольце.

Для решения данных проблем в технологический процесс производства части сортамента была введена операция кузнечной раскатки прошитой заготовки на оправке. Для данной операции применяется быстроходный пресс усилием 12 МН, сам процесс показан на рисунке 3.



Рис. 3. Кузнечная раскатка заготовок

Введение данной операции позволило улучшить микроструктуру заготовки для кольцепрокатных станов. Также кузнечная раскатка позволяет управлять анизотропией механических свойств готовых изделий, вследствие дискретного характера деформаций, которые испытывает заготовка [2].

Для осуществления кузнечной раскатки были изготовлены дорны и подставки под них. Верхний боёк остался стандартным плоским, что совместно с малым опытом операторов прессы на первоначальном этапе освоения процесса раскатки приводило к появлению брака. На рисунке 4 показаны дефекты, вызванные излишними единичными обжатиями при раскатке.



Рис. 4. Возникающие дефекты

Решением данной проблемы, помимо обучения и накопления опыта операторами, является замена обычного плоского верхнего бойка на специализированный раскатной. Рабочая плоскость данного типа бойков повернута на  $90^\circ$  относительно стандартного бойка. Схематическое изображение подобного инструмента показано на рисунке 5. Данный боёк позволяет уменьшить площадь контактной поверхности с заготовкой, что в свою очередь снижает величину отпечатка на заготовке. Также происходит уменьшение величины уширения и, как следствие, отличия итоговой высоты заготовки от исходной.

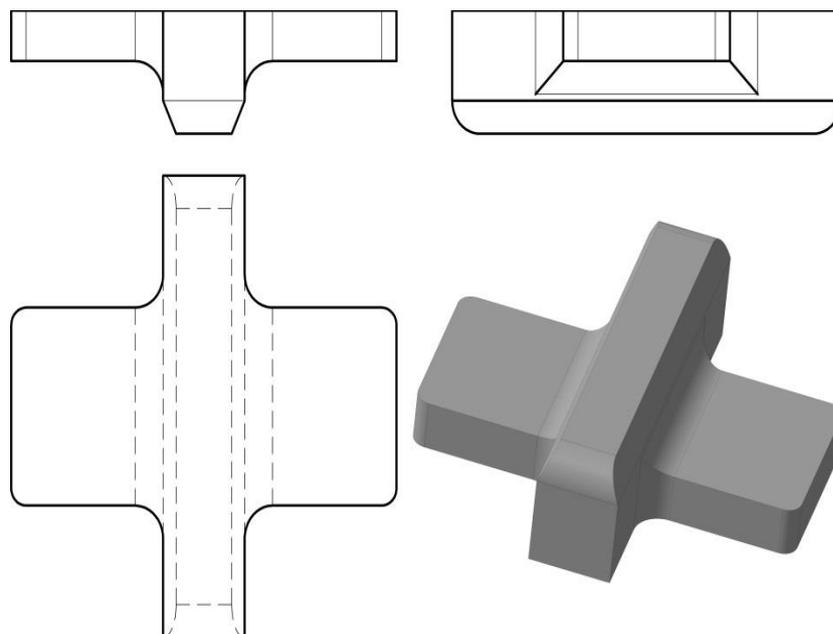


Рис. 5. Раскатной боёк

Применяемые на предприятии способы изготовления горячедеформированных колец из сплавов на основе никеля, титана и алюминия позволяют получать высококачественную продукцию, отвечающую как отечественным, так и мировым стандартам.

### **Список литературы**

1. S.L. Semiatin as the Volume Chair. ASM Handbook, Volume 14: Forming and Forging. ASM International. Materials Park, Ohio, 2009. – 2110 p.
2. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства, издание второе переработанное. – М.: Машиностроение, 1976. – 560с.

**СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

УДК 004.896

**АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-  
НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

**Алпеева А.Н., Цуканов М.А.**

*Старооскольский технологический институт (филиал) ФГОУ ВПО «Национальный  
исследовательский технологический университет «МИСиС» (СТИ НИТУ МИСиС), Старый  
Оскол*

*anya2911@yandex.ru, tsukanov\_m\_a@mail.ru*

***Аннотация.** Проведен анализ подходов оперативного планирования дискретно-  
непрерывных производственных систем. Предложен наиболее перспективный метод  
оперативного планирования для дискретно-непрерывных производственных систем.*

***Ключевые слова:** мультиагентная система; агенты; планирование дискретно-  
непрерывных систем, интеллектуализация.*

**ANALYSIS OF OPERATIONAL PLANNING APPROACHES FOR DISCRETE AND  
CONTINUOUS MANUFACTURING SYSTEMS**

**Alpeeva A.N., Tsukanov M.A.**

*Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science  
and Technology "MISiS", Stary Oskol*

*anya2911@yandex.ru, tsukanov\_m\_a@mail.ru*

***Abstract.** The analysis of operational planning approaches for discrete-continuous  
production systems. It offers the most promising method of operational planning for discrete-  
continuous production systems.*

***Keywords:** multi-agent system; planning discrete-continuous systems; intellectualization.*

Современный уровень автоматизации производства предъявляет высокие требования к качеству построения автоматизированных систем оперативного управления (АСОУ), такие как контроль за всеми технологическими этапами производства в реальном времени,

получение возможности оперативного контроля исполнения планов подразделениями с выявлением отклонений на ранних стадиях. Важная подзадача построения АСОУ - разработка системы поддержки принятия решений (СППР), позволяющая в реальном времени предсказывать нежелательное поведение системы, выдавать предупреждения и рекомендации персоналу. При построении моделей процессов, происходящих в сложных производственных системах, используются различные аналитические (АМ) и имитационные (ИМ) схемы математического моделирования. Построение АМ функционирования производства является трудоемким и часто не реализуемым процессом [1]. Для АМ процессы функционирования системы записываются в виде функциональных соотношений. АМ может быть исследована:

- 1) аналитически, стремятся получить в общем виде явные зависимости;
- 2) численно, не находится решение в общем виде, их решают для конкретных данных;
- 3) качественным методом, при отсутствии решения находят некоторые его свойства.

АМ удается получить только для простых систем. В сложных часто возникают проблемы. При применении АМ упрощают первоначальную модель. Исследование на упрощенной модели дает ориентировочные результаты. АМ математически верно отражают связь между вх. и вых. переменными и параметрами, но их структура не отражает внутреннюю структуру объекта. Единственным выходом в такой ситуации становится метод ИМ, являющийся эффективным инструментом оценки характеристик функционирования сложных систем на этапах их исследования и проектирования. В современных системах управления ИМ используется в контуре управления, на его основе решаются задачи диагностики и прогнозирования для принятия решений. Цель ИМ - воспроизведение поведения исследуемой системы на основе анализа наиболее существенных взаимосвязей между её элементами.

### **Виды имитационного моделирования**

- Агентное - используется для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования определяется, когда глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель - получить представление о глобальных правилах, поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном поведении отдельных активных объектов и взаимодействии объектов в системе. Агент - сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в

соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, самостоятельно изменяться.

- Дискретно-событийное - подход, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы.

- Системная динамика - парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на ПК.

Современные тенденции решения задач оптимизации основаны на принципах природных механизмов принятия решений. Следовательно, реализовать новые подходы к внутрицеховому планированию рационально с помощью хорошо зарекомендовавших себя при решении подобного рода задач систем искусственного интеллекта.

**Генетические алгоритмы.** ГА используя аналогию между естественным отбором и процессом выбора наилучшего решения, производит отбор лучших расписаний путем эволюции в популяции особей. ГА не гарантирует обнаружения глобального решения за приемлемое время, и что оно будет оптимальным. Но он применим для поиска "достаточно хорошего" решения задачи за "достаточно короткое время". ГА представляет собой разновидность алгоритмов поиска и имеют преимущества перед другими алгоритмами при очень больших размерностях задач и отсутствия упорядоченности в исходных данных, когда альтернатива - полный перебор вариантов. Достоинство: применение для решения сложных неформализованных задач, для которых не разработаны специальные методы.

**Метод роя частиц (МРЧ).** В МРЧ агенты-частицы, которые в момент времени имеют в пространстве параметров задачи положение и скорость. Правила, по которым частица меняет положение и скорость, определяются на основе вычисления ЦФ частицы. Канонический МРЧ был предложен в [3], его основа: на каждой итерации для определения следующего положения частицы учитывается информация о наилучшей частице от «соседей» и информация о данной частице на том шаге, когда этой частице соответствовало наилучшее значение ЦФ.

Достоинства: простота, скорость. Недостатки: не гарантирована сходимость при конечном числе частиц, увеличение необходимого количества расчетов ЦФ, ориентация на одну лучшую точку, что увеличивает вероятность остановки в неплохом, но не глобальном.

**Метод муравьиного алгоритма (МА).** Анализ и использование модели поведения муравьев, ищущих пути от колонии к источнику. МА представляют -

вероятностную жадную эвристику, где вероятности устанавливаются, исходя из информации о качестве решения, полученной из предыдущих. Идея – моделирование поведения муравьёв, связанного с их способностью быстро находить кратчайший путь к источнику пищи и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Достоинства: опираются на память обо всей колонии вместо памяти только о предыдущем поколении, меньше подвержены неоптимальным начальным решениям, могут использоваться в динамических приложениях. Недостатки: теоретический анализ затруднён, сходимость гарантируется, но время сходимости не определено, необходимо применение дополнительных методов, зависят от настроечных параметров, подбираемых из экспериментов. Использование мультиагентных систем (МАС) при моделировании позволяет избежать недостатков, классических подходов. МАС, образованные из взаимодействующих интеллектуальных агентов, добивающихся собственных целей могут быть использованы для решения таких проблем, которые сложно или невозможно решить с помощью одного агента или монолитной системы. В МАС задачи распределены между агентами, каждый из которых рассматривается как член группы или организации. Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из членов группы, определение меры его ответственности и требований к опыту.

На рис.1 в МАС каждой сущности ставится в соответствие программный агент, представляющий ее интересы. На рис. 2 показаны области знания и технологии, с помощью которых формируются механизмы искусственного интеллекта и применения МАС.

В МАС несколько агентов могут общаться, передавать друг другу некоторую информацию, взаимодействовать между собой и решать задачи. Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из членов группы, определение меры его "ответственности" и требований к "опыту". На рис. 3 входами структуры агента являются внутренние параметры агента и данные о состоянии среды. Выходы - параметры, воздействующие на среду и информирующие пользователя о состоянии среды и принятых решениях. Решатель-процедура принятия решений.

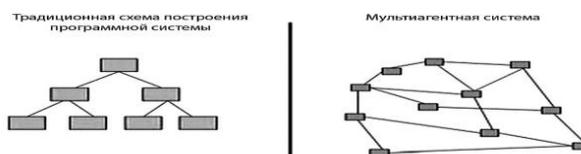


Рис. 1. Традиционное и мультиагентное построение программного продукта



Рис. 2. Области знания и технологии, используемые интеллектуальными агентами



Рис. 3. Укрупнённая структура агента

Мультиагентный подход к управлению цехом в реальном времени предполагает[4]:

- Непрерывный поток событий на входе позволяет системе автоматически реагировать на изменения состояния заказов и ресурсов в реальном времени.
- Каждый заказ (процесс) и каждый ресурс (оборудование) предприятия, получает своего программного агента, который инициируется такими событиями или запускается проактивно, по своему усмотрению, для улучшения своих текущих показателей
- Агенты каждого заказа и ресурса строят свои собственные, связанные в общую сеть расписания, в такой сети расписание может содержать сотни тыс взаимосвязанных операций
- Основой подхода к планированию становится не полный или частичный комбинаторный перебор вариантов, а выявление и разрешение конфликтов путем переговоров агентов и достижением компромиссов - как это делают люди в реальной жизни.
- Созданный план запускается на исполнение, система следит за выполнением и инициирует перепланирование в случае обнаружения расхождений между планом и фактом.

В результате проведенного анализа работ по основам построения систем технологической координации и планирования определено, что задача составления расписания относится к классу детерминированных и частично (не полностью) структурированных. Пока не существует единого подхода к решению задач этого типа.

Применение блока МАМ реализации оперативных производственных программ предприятия позволяет производить анализ динамики показателей производственной деятельности, при этом возможно сделать выводы о стабильности функционирования моделируемой системы и принять управляющие решения, регулирующие в модели темпы соответствующих потоков. Таким образом, использование предложенной системы позволяет повысить точность, оперативность и эффективность принимаемых плановых решений, повысить обоснованность оперативного планирования, обеспечить своевременность

изготовления продукции, что приводит к снижению затрат и повышению эффективности производства.

Данная статья рассматривает вопросы моделирования непрерывно-дискретных производств. Как наиболее перспективный выделен метод МАМ, позволяющий более полно описать моделируемую систему. Дальнейшее направление исследований связано с применением данного метода для построения модели конкретного непрерывно-дискретного производства, анализом ее применимости в подсистеме принятия решений и возможных ограничений.

### Список литературы

1. А.А. Вавилов Имитационное моделирование производственных систем — М.: Машиностроение; Берлин: Техника, 1983. - 416 с.
2. Цуканов М.А., Боева Л.М. Мультиагентная система поддержки принятия решения по оперативному планированию и технологической координации сложно-структурированных производственных систем. Управление большими системами. Выпуск 39, 2012г., №39, с. 254-263.
3. Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization // Proceedings of IEEE International conference on Neural Networks. – 1995. – P. 1942-1948.
4. Иващенко А. В. Научно-производственная компания «Разумные решения» [www.smartsolutions-123.ru](http://www.smartsolutions-123.ru)
5. Г. Г. Куликов, В. Л. Христюбов, Т. К. Гиндулина, М. С. Демченко Автоматизация литейного производства на машиностроительном предприятии на основе процессной модели. Вестник УГАТУ Управление, ВТ и И Т. 9, № 4 (22). С. 39–47.

УДК 519.6

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА НЕПРЕРЫВНОЙ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

**Беляев Д.Ю., Орешина М.Н.**

*Липецкий государственный технический университет, Россия, Липецк*

*belyaev.dmitryi.info@mail.ru, m\_oreshina@mail.ru*

**Аннотация.** В работе исследуется задача о выделении тепла в очагах деформации, а также о распределении температур в межклетевых промежутках при холодной прокатке.

Для моделирования используется уравнение теплопроводности с краевыми условиями первого и второго рода в очаге деформации, а также с краевыми условиями второго и третьего рода на межклетевом промежутке. Разработана программа, позволяющая рассчитать температуру в точках валков и полосы.

**Ключевые слова:** холодная прокатка; уравнение теплопроводности; неявная разностная схема.

## MATHEMATICAL MODELING OF THE THERMAL REGIME OF THE CONTINUOUS COLD ROLLING

**Belyaev D.Y., Oreshina M.N.**

*Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk*

*belyaev.dmitryi.info@mail.ru, m\_oreshina@mail.ru*

**Abstract.** We discuss the problem of heat generation in the deformation zones and the temperature distribution of the strip in the gaps for cold rolling. For modelling it is used the heat equation with boundary conditions of the first and second type in the deformation zones and with boundary conditions of the second and third type in the gaps. We present a program that allows one to calculate the temperature at the points of the rolls and the strip.

**Keywords:** cold rolling; heat equation; implicit difference scheme.

Тепловой режим прокатки [1, 2] в непрерывных станах оказывает существенное влияние на механические свойства, структуру и качество проката. Кроме того, от температуры валков зависит их износостойкость и профиль, а, следовательно, и точность проката. Математически задача сводится к численному решению нескольких краевых задач для уравнения теплопроводности с разрывной правой частью и разрывными начальными условиями. Опишем эту идею подробнее.

Для моделирования распределения температур в очаге деформации будем использовать неоднородное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + f(t, y), \quad t \in [0, T], \quad y \in \left[0, \frac{d}{2} + R\right],$$

где  $a^2 = \frac{\lambda}{\rho c}$ ,  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности,  $\rho$  — плотность,  $c$  — удельная теплоемкость. Здесь полоса имеет исходную толщину  $d$  деформируется двумя валками радиуса  $R$ , ось  $OY$  направлена по нормали к полосе, точка  $y = 0$  соответствует середине

полосы (по вертикали). В силу симметричности задачи достаточно рассчитать значения температуры полосы для  $y \in \left[0, \frac{d}{2}\right]$  и значения температуры в точках одного валка, т.е. для  $y \in \left[\frac{d}{2}, R + \frac{d}{2}\right]$ . Будем считать точку  $y = \frac{d}{2}$  точкой идеального контакта. Функция правой части имеет смысл теплового источника и задается соотношением

$$f(t, y) = \begin{cases} \mu_1(t), & 0 \leq y < \frac{d}{2}, \\ \mu_1(t) + \mu_2(t), & y = \frac{d}{2}, \\ 0, & y > \frac{d}{2}. \end{cases}$$

Здесь функции  $\mu_1$  и  $\mu_2$  описывают процессы выделения тепла в полосе от трения и деформации соответственно. Начальное условие имеет вид

$$u(0, y) = \begin{cases} g_1(y), & y \in \left[0, \frac{d}{2}\right], \\ g_2(y), & y > \frac{d}{2}, \end{cases}$$

где функции  $g_1$  и  $g_2$  задают исходное распределение температур в точках полосы и валка соответственно. Для первой клетки обычно эти функции равны некоторым константам. В середине полосы (при  $y = 0$ ) имеем краевое условие второго рода

$$\frac{\partial u}{\partial y}(t, 0) = 0.$$

В центре валка температура остается постоянной, поэтому для  $y = \frac{d}{2} + R$  справедливо краевое условие первого рода

$$u\left(t, R + \frac{d}{2}\right) = T_e = \text{const.}$$

Для моделирования межклетевого промежутка будем использовать однородное уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad t \in [0, T_{mkl}], \quad y \in \left[0, \frac{d_{mkl}}{2}\right],$$

Отсутствие функции правой части здесь связано с тем, что нет внешних тел, взаимодействующих с полосой. На данном промежутке на поверхность полосы подается

охлаждающая жидкость и происходит постепенное остывание полосы. Начальные условия имеют вид

$$u(0, y) = h(y), y \in \left[0, \frac{d_{mkl}}{2}\right],$$

где функция  $h(y)$  задает исходное распределение температур в точках полосы. Очевидно, в качестве  $h(y)$  необходимо использовать выходные значения температур из предшествующего клеточного промежутка. В середине полосы (при  $y=0$ ) имеем краевое условие второго рода:

$$\frac{\partial u}{\partial y}(t, 0) = 0.$$

На поверхности полосы (при  $y = l$ ) имеем граничное условие третьего рода:

$$\frac{\partial u}{\partial y}(t, l) = -k(u(t, l) - \theta(t)),$$

где  $k = \frac{\alpha}{\lambda}$ ,  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности,  $\theta(t)$  - температура охлаждающей жидкости.

Разработана программа для решения поставленной задачи, рассчитывающая температурный режим в клеточном и межклеточном промежутке на основе неявной разностной схемы с четырехточечным шаблоном [3]. На рисунке 1 изображено окно программы с активной вкладкой ввода исходных данных. Результаты расчета в табличном виде можно сохранить в файл формата Microsoft Excel. Имеется возможность построить график распределения температур по глубине полосы в фиксированный момент времени по любому клеточному и межклеточному промежутку (см., например, рисунок 2). На рисунке 3 приведен график распределения температур по поверхности полосы для всех пяти клеток стана. В качестве дополнительной статистики можно вывести расчет сил, отвечающих за деформацию, а также рассчитать теплоотдачу (см. рисунок 3). Результаты моделирования теплового режима при различных входных данных могут быть использованы для подбора оптимальных параметров прокатки.

Программа для вычисления распределения температур прокатного производства(ХП)

Данные для расчета: Клетевой промежуток1 | Межклетевой промежуток1 | Клетевой промежуток2 | Межклетевой проме...

Данные для расчета холоднокатанного проката

Характеристики для задания сетки	Константы для стали	Пластичность металла	Начальные условия
T: 0.001	Cstrip: 500	SigmaT0: 49	Полоса: 47
Кол-во точек по полосе: 10	p: 7650	bt: 6.9	Валок: 55
Кол-во точек по t: 10	Lambda: 47	ct: 0.5	

Заднее натяжение (полное)	Переднее натяжение (полное)	Кoeffициенты трения
ТВ для 1-ой кл. (t): 8.7	TF для 1-ой кл (t): 22	Для 1-ой кл.: 0.033
ТВ для 2-ой кл. (t): 16	TF для 2-ой кл (t): 20	Для 2-ой кл.: 0.042
ТВ для 3-ой кл. (t): 10.8	TF для 3-ой кл (t): 13.5	Для 3-ой кл.: 0.04
ТВ для 4-ой кл. (t): 8.5	TF для 4-ой кл (t): 9.2	Для 4-ой кл.: 0.023
ТВ для 5-ой кл. (t): 5	TF для 5-ой кл (t): 5.7	Для 5-ой кл.: 0.025

Характеристики вала и полосы:	
Размер вала (mm): 145	Скорость на 1-ой кл. (m/min): 173
Размеры полосы (mm): 2.3	Скорость на 2-ой кл. (m/min): 209
Размеры полосы на кл. 1 (mm): 1.403	Скорость на 3-ей кл. (m/min): 260
Размеры полосы на кл. 2 (mm): 0.84	Скорость на 4-ой кл. (m/min): 607
Размеры полосы на кл. 3 (mm): 0.528	Скорость на 5-ой кл. (m/min): 411
Размеры полосы на кл. 4 (mm): 0.39	Температура охл. жидкости: 55
Размеры полосы на кл. 5 (mm): 0.265	Ширина полосы: 1050
	Элемент Zero: 6

Вычислить

Рисунок 1. Вкладка входных данных

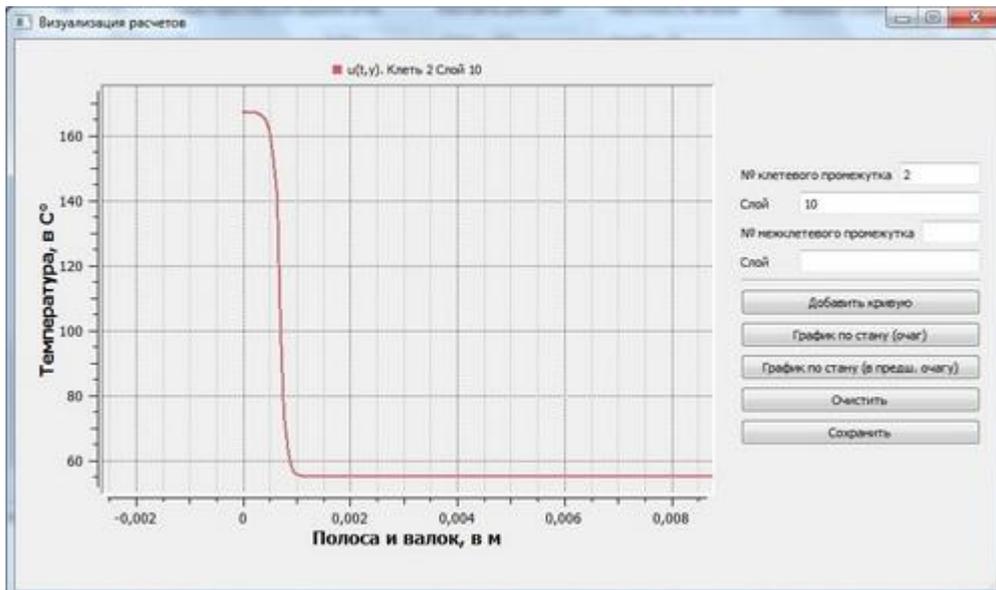


Рисунок 2. График распределения температур в очаге деформации для второй клетки по глубине полосы и вала в 10-й момент времени

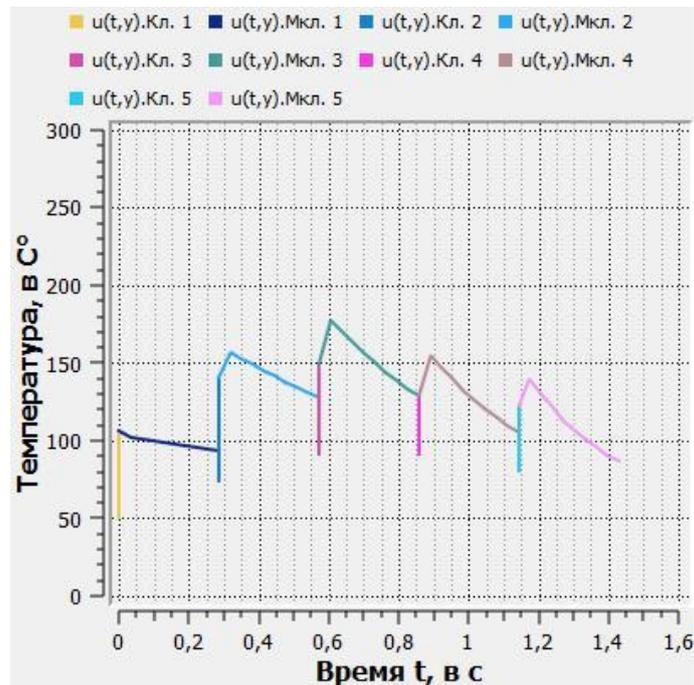


Рисунок 3. График распределения температур на поверхности полосы по стану

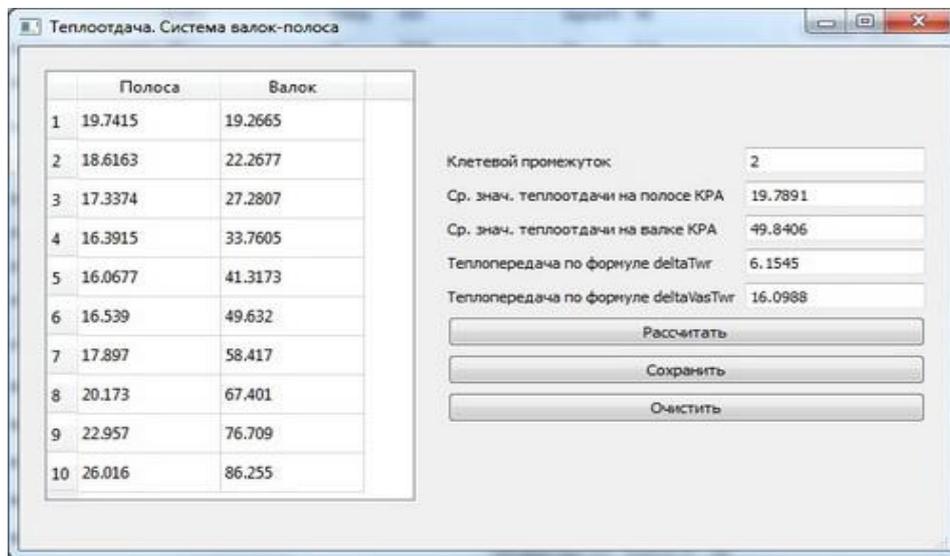


Рисунок 3. Теплоотдача. Расчет для второго очага деформации

### Список литературы

1. Робертс, В.Л. Холодная прокатка стали/ В.Л. Робертс. – М.: Металлургия, 1982. – 544с.
2. Целиков, А.И. Теория продольной прокатки / А И. Целиков, Г.С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
3. Самарский, А.А. Численные методы/ А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ ДОЗАПРАВКИ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ  
АВТОСАМОСВАЛОВ РУДОУПРАВЛЕНИЯ ОАО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК» В  
РАМКАХ АСУ ГТК «МОДУЛАР»**

**Боева Л.М., Основина О.Н.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол  
boeva@inbox.ru*

**Аннотация.** *Рассматривается возможность повышения производительности транспортировки горной массы большегрузными автосамосвалами в карьере РУ ОАО «Лебединский ГОК» за счет сокращения времени проезда на дозаправку и времени простоя под заправкой.*

**Ключевые слова:** *горнотранспортная техника; автомобильно–заправочная станция; информационная система; системы массового обслуживания; очередь на заправку.*

**DEVELOPING OF APPLICATION FOR REFUELING SCHEDULING OF HEAVY-DUTY  
DUMP MINE JSC "LEBEDINSKY GOK" IN FRAMEWORK OF ACS SCC "MODULAR"**

**Boeva L.M., Osnovina O.N.**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Stary  
Oskol*

*boeva@inbox.ru*

**Abstract.** *The possibility of increasing productivity by heavy transportation of rocks in a quarry dump RU JSC " Lebedinsky GOK" by reducing the travel time to refuel and downtime for refueling is examined.*

**Keywords:** *mine transport technique; motor-car-filling station; informative system; queuing systems; turn on priming.*

Одна из главных задач горного производства состоит в добыче и транспортировке горной массы на переработку и получение максимума товарной продукции. Процесс транспортировки железистых кварцитов на ОАО «ЛГОК» представляет собой перевозку

горной массы 30-ю автосамосвалами (АС) из 14-и забоев на 12 перегрузочных площадок с последующей перегрузкой экскаваторами и погрузкой из 10-и прямых забоев в железнодорожный транспорт и доставкой сырья на обогатительную фабрику для дальнейшей переработки[1]. Бесперебойная погрузка экскаваторами железистых кварцитов с перегрузок в железнодорожный транспорт возможна при постоянном поступлении горной массы на перегрузочные площадки.

В связи с началом строительства третьей очереди завода по производству горячебрикетированного железа и увеличением объемов отгружаемой комбинатом товарной продукции потребителям возникает потребность в увеличении добычи железистых кварцитов ГТК. Рост количественных и повышение мощностных показателей горнотранспортной техники приводит к увеличению потребления топливо–смазочных материалов, в связи с чем актуальное практическое значение имеет совершенствование процесса заправки технологических машин. Существенный резерв в повышении производительности парка технологических машин заключается в снижении количества их простоев.

Заправка техники дизельным топливом и маслами в условиях ОАО «ЛГОК» осуществляется на стационарной автомобильно–заправочной станции (АЗС), расположенной на стоянке большегрузных автомобилей в карьере, и на двух оборудованных площадках с передвижными автомобильными топливозаправщиками (АТЗ) по периметру карьера. Предлагается организовать площадки для дозаправки топливом с АТЗ вблизи перегрузочных площадок, что позволит сократить время и расстояние на переезд АС под дозаправку и обратно и сформировать график очередности заправки АС для сокращения времени ожидания дозаправки в очереди АС [1].

В карьере ОАО ЛГОК эксплуатируется автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом «Модулар» (АСУ ГТК «Модулар») [2]. Её задачей является оптимизация работы карьера по осуществлению погрузки и перевозки руды на основе данных, поступающих в реальном времени от датчиков, установленных на большегрузных автомобилях и экскаваторах, и максимальное использование парка техники ГТК, что дает возможность повысить производительность и снизить издержки производства.

Программный продукт DISPATCH - АСУ ГТК «Модулар» обеспечивает оптимизацию посредством автоматического назначения АС, автоматического назначения большегрузных автомобилей на дозаправку. Основным недостатком системы DISPATCH, относительно отслеживания за расходом топлива, является ожидание программы до остатков

топлива в баке в соответствии с предельными объемами и только потом обозначение в поиске АЗС, а возможность дозаправки с АТЗ может отсутствовать в реальный момент времени (получение ГСМ, заправка другой техники по периметру карьера и т.д.), и АС будет вынужден следовать до ближайшего АТЗ с потерей рабочего времени по транспортировке горной массы. Модуль заправки оборудования топливом позволяет диспетчеру контролировать в реальном времени рассчитанное системой DISPATCH количество топлива, оставшегося в АС. Однако, имеют место случаи, когда диспетчеру необходимо игнорировать рекомендованную системой остановку в работе АС для дозаправки и принять самостоятельное решение о назначении АС на заправку.

Разработанная авторами ИС обеспечивает доступ к базе данных системы DISPATCH и позволяет на основе полученной информации рассчитывать оптимальное место расположения АТЗ в карьере. Система определяет, в какой из пунктов заправки необходимо направить АТЗ, что позволяет сократить холостой пробег, время простоя АС и увеличить объем перевозимой горной массы.

Для моделирования назначения АТЗ с учетом вероятностного характера изменения действующих в условиях карьера факторов была использована теория массового обслуживания. Заправка техники осуществляется АТЗ, прибывающими на заправочные площадки, на основании заявки центрального диспетчерского пункта, сформированной в реальном времени из АСУ ГТК «Модулар». Данные обрабатываются информационной системой, и формируется очередь заправки АС по гаражным номерам на определенной программой заправочной площадке.

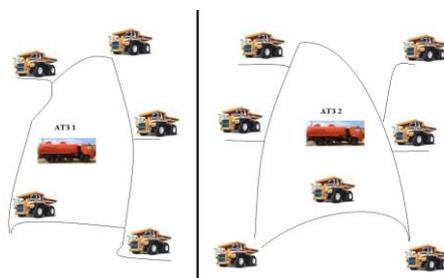


Рис. 1. Принципиальная схема организации заправки АС  
в зоне выполнения горных работ с применением АТЗ

Расстановка АТЗ производится по двум секторам на основе анализа объема потребности и мест работы АС (рис. 1). Подсистема заправки большегрузных АС топливом

может быть смоделирована [3] как две замкнутые одноканальные системы массового обслуживания (СМО). В каждой зоне заправки - по одному АТЗ, в которых количество АС равно  $m_i$ . В связи с тем, что зоны СМО замкнутые, средняя интенсивность потоков на заправку АС  $\lambda$  определяется из расчета среднего времени между заправками (дозаправками) каждой единицы АС.

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{izza.}}^{\text{cp.}}} \quad , \quad (1)$$

$$t_{\text{izza.}}^{\text{cp.}} = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} t_{\text{зан.}}^j}{m_i} \quad , \quad (2)$$

где  $m_i$  – количество единиц АС в обслуживаемой  $i$ -ой зоне, шт.;

$t_{\text{зан.}}^j$  – средний интервал времени между заправками  $j$ -ой единицы АС, час.

Среднее время заправки рассчитывается с учетом затрат на движение АС к АТЗ и непосредственно на заправку

$$t_{\text{обсл.}}^i = t_{\text{дв.}}^i + t_{\text{з.}}^i \quad , \quad (3)$$

откуда интенсивность потока заправки будет равна

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{обсл.}}^i} \quad . \quad (4)$$

Предельные значения вероятностей состояний при  $\rho = \frac{\mu}{\lambda}$ , одном АТЗ и числе источников требований на заправку АС, могут быть рассчитаны при условии, что число обслуживающих АТЗ равно одному (одноканальная СМО).

Вероятность того, что АТЗ свободен и готов к заправке

$$P_0 = \left[ 1 + m + m \sum_{k=2}^m \frac{m! \rho^k}{(m-k)!} \right]^{-1} \quad , \quad (5)$$

где  $k$  - количество АС, нуждающихся в заправке.

Средняя длина очереди АС на заправку

$$r = P_0 \cdot \sum_{k=2}^m \frac{m! \rho^k}{(m-k)!} \quad (6)$$

Среднее время ожидания заправки

$$T_{ож.} = \frac{r}{\mu m} \quad (7)$$

Общая потребность в АТЗ определяется рациональным количеством зон заправки. При фиксированном наличии АТЗ в системе оптимизации подлежит определение состава зон заправки – числа АС в зоне и месте расположения АТЗ в ней, обеспечивающего минимальные средние потери времени на передвижение АС к АТЗ и обратно.

Для разработки программного обеспечения ИС была выбрана гибкая и функциональная среда разработки Visual Studio 2010, которая имеет простой визуальный интерфейс для разработки форм ввода/вывода информации, а также позволяет подключать к проекту базу данных. Для разработки программного обеспечения использовалась версия Visual C# и платформа NET.

«Главная форма» системы обеспечивает удобную навигацию по всей программе. При открытии формы «Справочники» предоставляется возможность выбрать необходимый справочник (АС, АТЗ, Зоны заправок, Уровень топлива – рис.2).

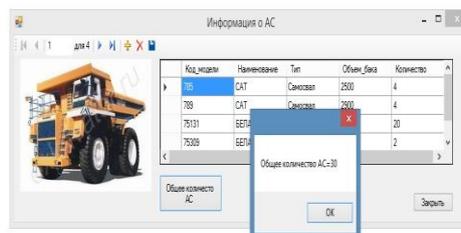


Рис. 2. Пример экранной формы «Информация об АС»

Вход на форму «Определение АС, нуждающихся в дозаправке» представляет возможность отобразить АС по уровню топлива. В поле «Гаражный номер» можно выбрать один из предлагаемых гаражных номеров, после чего появится информация, к какому АТЗ и какой площадке относится выбранный АС. Нажатием кнопки «Маршрут движения» выводится таблица с расшифровкой маршрута движения АС от забоя до перегрузки с указанием зоны заправки.

Алгоритм определения АС, нуждающихся в дозаправке, представлен на рис. 3.

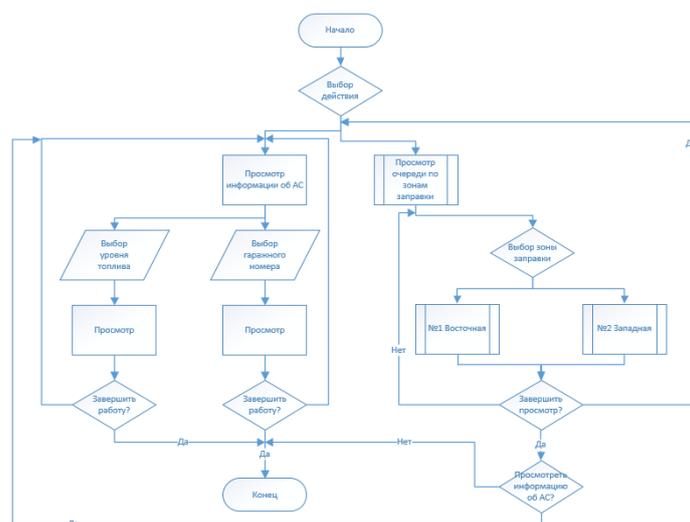


Рис. 3. Алгоритм определения АС, нуждающихся в дозаправке

Внедрение разработанной информационной системы позволит сократить время, затрачиваемое на формирование графиков заправки АС, и обеспечит оптимизацию дозаправки АС.

### Список литературы

1. Регламент организации процесса заправки дизтопливом техники с АТЗ в ОАО «Лебединский ГОК»
2. Технологическая инструкция по эксплуатации АСУ ГТК «Модулар».
3. Гимазетдинов Р.Ф. Математическое и имитационное моделирование управления системой нефтепродуктообеспечения нефтяных компаний. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.э.н., Казань, 2013 г.

УДК 519.6

## ДИХОТОМИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАНЦЕ

**Буркова И.В., Волков А.А., Порядина В.Л.**

*Воронежский ГАСУ, Воронеж, Россия*

**Аннотация.** Рассмотрен новый метод получения верхних (нижних) оценок в задачах целочисленного линейного программирования, названный методом допустимых решений. В основе метода лежит дихотомическое представление задачи, применяемое в методе дихотомического программирования.

**Ключевые слова:** дихотомическое программирование, допустимые решения, метод ветвей и границ.

## DICHOTOMOUS SUBMISSION KNAPSACK PROBLEM

**Burkova I.V., Volkov A.A., Poryadina V.L.**

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronez, Russia*

**Abstract.** A new method for obtaining the upper ( lower ) estimates in problems of integer linear programming method called feasible solutions . The method is based on the dichotomous view of the problem , the method used in the dichotomous programming .

**Keywords:** dichotomous programming, feasible solutions , branch and bound method .

### Задача о ранце

Идею метода рассмотрим на примере задачи о ранце с нецелочисленными параметрами.

$$\sum_i a_i x_i \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sum_i b_i x_i \leq B \quad (2)$$

$b_i$  - целые неотрицательные числа

Сначала рассмотрим иллюстрацию метода на простом примере.

Пусть размер таблиц ограничен величиной  $N$ .

1. Выбираем структуру дихотомического представления задачи.
2. Решаем задачу методом дихотомического программирования.
3. Пусть на каком-либо шаге алгоритма размер таблицы  $N$  превысил  $N$  ( $N > N$ ).

В этом случае необходимо «склеить» ряд вариантов. Алгоритм определения подмножеств склеиваемых вариантов, при которых максимальная разность весов вариантов минимальна и представляет собой отдельную задачу. Склеенные пары отмечаем как проблемные.

Получив окончательную таблицу, определяем оптимальное решение методом обратного хода.

Если это решение является допустимым, то оно оптимально. В противном случае, это решение определяет оценку сверху. Применяем метод ветвей и границ. Методом обратного хода определяем проблемный вариант, на котором для полученного решения нарушается ограничение. Пусть это вариант  $y_k$ . Делим множество всех решений на два подмножества. В первом подмножестве  $y_i \leq y_{k-1}$ , а во втором -  $y_i \geq y_k$ . Далее действуем согласно методу ветвей и границ.

### Задача о многомерном ранце

Рассмотрим обобщение метода на задачу о многомерном ранце

$$\sum_i a_i x_i \rightarrow \max \quad (3)$$

$$\sum_i b_{ij} x_i \leq B_j, \quad j = \overline{1, m} \quad (4)$$

Параметры  $b_{ij}$  по-прежнему будут весами  $j$ -го типа.

Алгоритм аналогичен описанному выше. Отличие состоит в правиле склеивания вариантов. Пусть  $Q$  – множество склеиваемых вариантов. Обозначим  $Y_{ij}$  - суммарный вес  $j$ -го варианта,  $A_{ij}$  - суммарная ценность.

Определяем

$$Y_j(Q) = \min_{i \in Q} Y_{ij} \quad (5)$$

$$A(Q) = \max_{i \in Q} A_{ij} \quad (6)$$

Множества склеиваемых вариантов выбирается таким образом, чтобы размер таблицы был не более  $N$ .

После получения итоговой таблицы определяем оптимальное решение, которому соответствует клетка итоговой таблицы с максимальной суммарной ценностью. Само решение находим методом обратного хода.

**Теорема 1.** Если полученное решение является допустимым, то оно является оптимальным. В противном случае оно определяет оценку сверху.

**Доказательство.** Согласно правилам склеивания полученная совокупность таблиц содержит все допустимые решения (но может содержать и недопустимые). Это доказывает

теорему. Если полученное решение недопустимо, то применяем метод ветвей и границ. Для этого при определении решения методом обратного хода находим проблемный вариант для которого нарушается хотя бы одно ограничение. Пусть это вариант  $y_k$  некоторой таблицы допустимых решений. Делим множество всех решений на два подмножества. В первом таблица допустимых решений содержит варианты  $y_i$ ,  $i \leq k - 1$ , а во втором - варианты  $y_i$ ,  $i \geq k$ .

### **Заключение**

Предложенный подход к решению многомерных задач о ранце естественно обобщается на задачи целочисленного линейного программирования с неотрицательными параметрами системы ограничений. Выбор подмножеств вариантов для слияния представляет собой отдельную задачу. В качестве критериев задачи может выступать минимизация максимальной разности весов склеиваемых вариантов. Эта задача требует дальнейших исследований.

### **Список литературы**

1. Буркова, И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации // Автоматика и телемеханика. 2009. № 10 с. 15-21.
2. Задачи дихотомической оптимизации / В.Н.Бурков, И.В.Буркова. – М. Радио и связь 2003. – 156 с.
3. Баркалов, С.А. Модели и методы управления строительными проектами [Текст] / С.А. Баркалов, П.Н. Курочка, М.П. Михин, П.В. Михин // М.: «Уланов-пресс». 2007. – 440 с.
4. Баркалов, С.А. Модели и методы управления проектами при организационно-технологическом проектировании строительного производства / С.А. Баркалов, П.Н. Курочка, Л.Р. Маилян, И.С. Суровцев // Воронеж: ВГАСУ, 2013. – 533 с.
5. Бекирова О.Н. [Двухэтапная модель формирования обучающей выборки для оценки конкурентоспособности строительного предприятия Экономика и менеджмент систем управления](#). 2013. Т. 10. [№ 4](#). С. 16-25.
6. Курочка, П.Н. Критичность в сетях с нечеткими продолжительностями операций [Текст] / П.Н. Курочка, А.М. Потапенко, И.В. Федорова // Системы управления и информационные технологии. 2005. №4(21). – с. 43 – 45.
7. Курочка, П.Н. Модель определения оптимальной очередности реализации проектов с учетом возможности манипулирования информацией [Текст] / П.Н. Курочка, И.А. Урманов, В.О. Скворцов // Системы управления и информационные технологии. 2008. №2.1(32). – с. 201 – 203.
8. Курочка, П.Н. Модель определения надежности при нечетких сведениях о степени

надежности [Текст] / П.Н. Курочка, А.Л. Маилян // Системы управления и информационные технологии. Научно-техн. журнал, Москва-Воронеж, том 49, № 3.1(49), 2012. С. 192 – 197.

9. Чередниченко, Н.Д. Модели распределения ресурсов в строительном проекте [Текст] / П.Н. Курочка, А.Н. Симоненко, Н.Д. Чередниченко // Технология и организация строительного производства. – Москва: АНО "Международный центр по развитию и внедрению механизмов саморегулирования", 2013. №4(5). – 46 – 48 с.

УДК 519.63

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛЯБА В УНРС**

**Галкин А.В.<sup>1</sup>, Пименов В.А.<sup>2</sup>, Кузина Н.Е.<sup>1</sup>, Филиппов Д.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк*

<sup>2</sup>*ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», Россия, г. Липецк*

*avgalkin82@mail.ru, pimenov\_va@nlmk.ru, ma011077@rambler.ru*

***Аннотация.** В работе предложена математическая модель затвердевания стали в установке непрерывной разливки стали (УНРС). Модель представлена в форме двумерного уравнения параболического типа с граничными условиями третьего рода. Решение уравнений модели осуществлено методом конечных элементов. Произведен анализ полученных результатов. Предложена также математическая модель напряженно-деформируемого состояния сляба в УНРС в виде дифференциального уравнения равновесия и соотношений, связывающих деформации, напряжения и перемещения. Реализация модели осуществлена с помощью программного комплекса ABAQUS. Проведен анализ полученных результатов моделирования.*

***Ключевые слова:** разливка стали; уравнение теплопроводности; напряженно-деформируемое состояние; метод конечных элементов; дефекты.*

## **MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL REGIME AND THE STRESS-STRAIN STATE SLAB STEEL CONTINUOUS CASTING PLANT**

**Galkin A.V.<sup>1</sup>, P.V.A.<sup>2</sup>, Kuzina N.E.<sup>1</sup>, Filippov D.A.<sup>1</sup>**

**Abstract.** *The paper presents a mathematical model of solidification of steel in the continuous casting of steel. The model is presented in the form of two-dimensional parabolic equation with boundary conditions of the third kind. The solution of the model equations performed by finite element method. The analysis of the results. Also propose a mathematical model of the stress-strain state in the slab continuous caster in the form of elliptic differential equations and the relations connecting the strain, tension and displacement. Implementation of the model performed by a software package ABAQUS. The analysis of the results of modeling.*

**Keywords:** *casting of steel; heat equation; the stress-strain state; finite element method; defects.*

Определение температурного градиента в УНРС является важной инженерной задачей. Знание температурных полей срезов сляба позволяет определить количество теплоты, которое тело теряет в процессе охлаждения и скорость затвердевания стали под действием охлаждающих установок. Также, используя полученные температурные данные, можно сделать вывод о наличии или отсутствии трещин в полученном слябе. При их обнаружении можно определить систему охлаждения иным образом для ликвидации подобных дефектов в дальнейшем.

Одним их важнейших факторов, оказывающих влияние на трещинообразование, является напряженно-деформированное состояние (НДС) непрерывнолитых заготовок. Поэтому создание эффективных математических моделей способных прогнозировать НДС твердой фазы слитка является весьма актуальной научной и практической задачей.

Процесс затвердевания стали в УНРС сопровождается непрерывным орошением сляба водой, а значит, имеет место конвективный теплообмен [1]. Таким образом, процесс затвердевания стали математически описывается дифференциальным уравнением с частными производными параболического типа (1) с начальными условиями (2) и граничными условиями (3) [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q(x, y, t), \quad (1)$$

$$T(x, y, t_0) = \varphi(x, y), \quad (2)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} l_x - k \frac{\partial T}{\partial y} l_y = \alpha [T_{\text{среды}} - T], \quad (3)$$

где  $x, y$  – координаты в пространстве;

$T$  – вектор распределения температуры (неизвестен);

$k$  – коэффициент теплопроводности (Вт/м·°С);

$l_x, l_y$  – длина граничащего участка (м);

$T_{\text{среды}}$  – температура окружающей среды (известна);

$\alpha$  – коэффициент теплообмена (Вт/м<sup>2</sup>·°С).

Рассматривается двумерное уравнение теплопроводности в связи с тем, что распространение тепла происходит медленнее скорости движения сляба в УНРС. Решение задачи (1) – (3) осуществлялось методом конечных элементов [3]. На рисунке 1 представлено распределение температур в слябе при выходе из УНРС для входных данных из таблицы 1. Решение осуществлялось в разработанном программном продукте, реализующем алгоритм моделирования температурного режима в процессе разливки в УНРС [4].

Таблица 1. Входные параметры

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Начальная температура	$T_0$	°С	1200
Температура охладителя (вода)	$T_f$	°С	50
Коэффициент теплопроводности	$k$	Вт/м <sup>2</sup> ·°С	50
Произведение удельной теплоемкости на плотность материала	$c\rho$	Дж/м <sup>2</sup> ·°С	2535
Коэффициент теплообмена	$h$	Вт/м <sup>2</sup> ·°С	350 – для стальных роликов 150 – для воды
Ширина сляба	$a$	мм	250
Длина сляба	$b$	мм	1500
Количество	$l$	шт	4

разбиений по узкой стороне			
Шаг по времени	$\Delta t$	мин	0,08

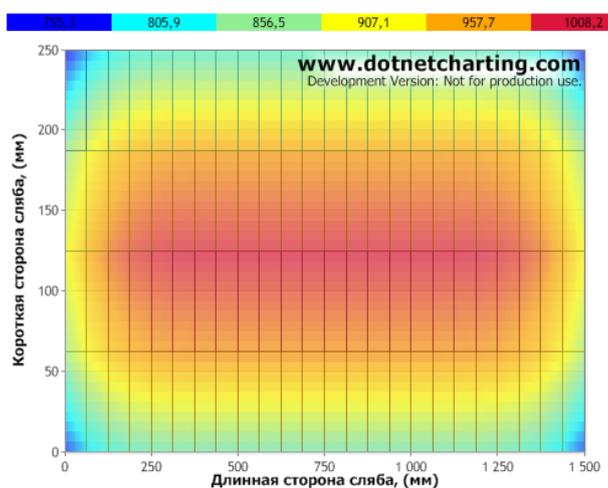


Рис.1. Распределение температур в срезе сляба на выходе из УНРС

Разработанное программное обеспечение также позволяет моделировать прогнозировать возникновение трещин на слябе на участках поворота УНРС (рис.2).

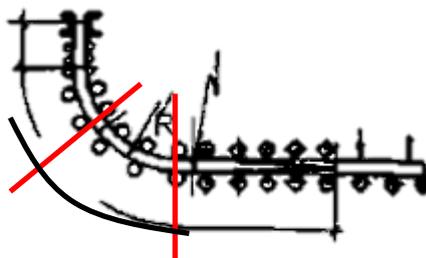
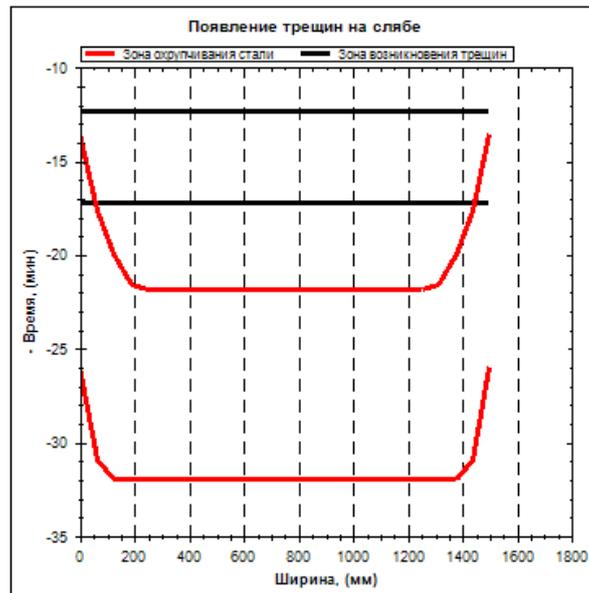


Рис.2. Зона возможного возникновения трещин

Вероятность возникновения трещин больше со стороны внутреннего радиуса, т.к. там деформация стали значительно больше. Трещины на «опасном» участке возникают не всегда. Существует понятие «охрупчивание стали». Оно означает, что при температурном воздействии на сталь меняется ее структура, при этом снижается пластичность и вязкость.

Рассмотрим на примере стали 08Ю, на основе которой выполнен расчет в программе, возникновение трещин на слябе в УНРС. На выходе из кристаллизатора (начало работы программы) сталь имеет температуру 1200, при которой возникновение трещин невозможно. «Опасной» зоной для стали 08Ю считается температурный коридор от 800 до 900. При исходных данных из таблицы 1 график возникновения трещин выглядит следующим образом (рис.3).



На слябе возникают трещины!

Рис.3. График появления трещин на слябе

На рисунке 3 между черными линиями заключена зона возникновения трещин, т.е. участок УНРС, на котором стальной сляб меняет свою форму, а между красными линиями заключена зона, в которой сталь обладает наименьшей пластичностью. В случае перекрытия двух областей на слябе возникает дефект в виде трещины. На данном рисунке видно, что трещины возникают на ребрах сляба, что является самым плохим исходом, т.к. при этом помимо возникновения трещин может произойти откалывание целых участков стали. Для избежания возникновения трещин следует изменить систему охлаждения стали. То есть, следует увеличить температуру охлаждения до «опасного» участка и уменьшить после, или же наоборот.

Считая известным температурное поле слитка, можно сформулировать математическую модель напряженно-деформированного состояния сляба в УНРС. При исследовании поведения сляба в УНРС принимались следующие допущения:

- моделируется напряженно-деформированное состояние только твердой фазы металла, а присутствие жидкого расплава учитывается действием на корочку граничных условий в виде ферростатического давления;
- в пределах твердой фазы металл рассматривается как однородная изотропная среда;
- деформирующие ролики являются абсолютно жесткими;
- остаточные напряжения в твердой фазе после обжатия при переходе от одной деформирующей секции к другой не учитываются;
- температура внутренней поверхности твердой фазы равна температуре солидуса.

Первоначальной задачей является наиболее точно определить модель поведения материала исследуемого объекта. Учитывая высокие значения температур корки слитка и

уровень нагрузок от ферростатического давления, следует предполагать возможность образования упругих деформаций. Для упругой модели поле напряжений должно удовлетворять дифференциальным уравнениям равновесия

$$\nabla_i \sigma_{ij} = 0, \quad (4)$$

а соотношения, связывающие компоненты тензора деформации  $\varepsilon_{ij}$  и вектора перемещений  $u_i$  имеют вид:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right). \quad (5)$$

Напряжения и составляющие деформации связаны друг с другом законом Гука

$$\sigma_{ij} = G \varepsilon_{ij}. \quad (6)$$

Для получения единственного решения поставленной задачи необходимо дополнить ее граничными условиями:

- внутренняя граница (внутреннее давление - ферростатическое)

$$p = \rho g l; \quad (7)$$

- внешняя граница (широкая сторона)

$$u = \hat{u}; \quad (8)$$

и начальными условиями

$$u = u_0, \quad (9)$$

где  $\hat{u}$  – вектор перемещений при входе сляба в ролики,  $u_0$  – вектор заданных перемещений точек поверхности,  $p$  – ферростатическое давление,  $\rho$  – плотность металла,  $g$  – ускорение свободного падения,  $l$  – высота столба расплава.

Моделирование сляба производилось в трехмерном пространстве с помощью программного комплекса ABAQUS [5]. Модель состоит из недеформируемых роликов и деформируемого бруса, моделирующего только затвердевшую часть слитка. На рисунках 4, 5, 6 и 7 представлены напряжения и деформации в слябе в зоне разгиба УНРС.

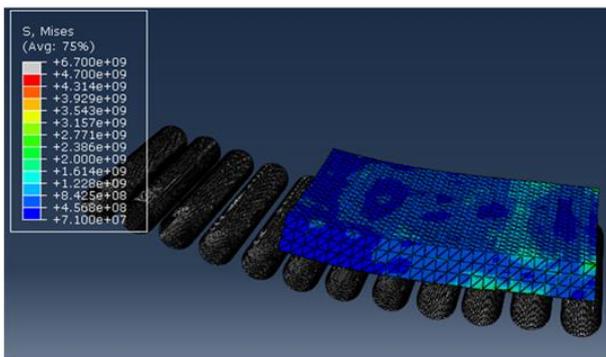


Рис.4. Напряженное состояние сляба (без боковых роликов)

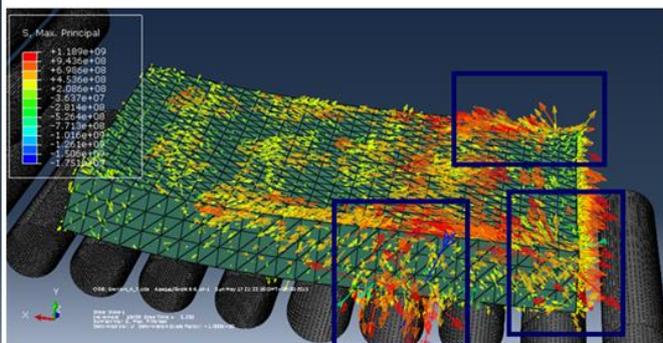


Рис.5. Направления максимальных напряжений

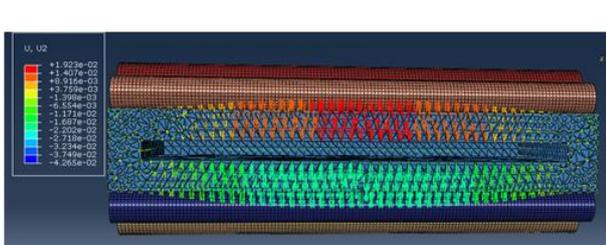


Рис.6. Деформация в направлении  $\epsilon_{yy}$  (межроликовое пространство)

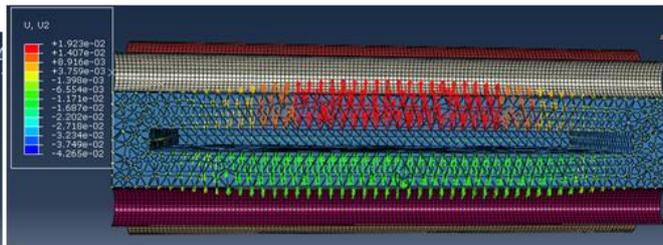


Рис.7. Деформация в направлении  $\epsilon_{yy}$  (контакт с роликом)

Анализируя рис.5 с направлениями максимальных напряжений, можно выделить явно выраженные растягивающие и сжимающие напряжения, возникающие в результате разгиба сляба. Анализируя рису.6, 7, видим, что максимальные значения  $\epsilon_{yy}$  достигаются в середине широкой грани. Так же можно заметить, что деформация в месте контакта с роликом, меньше деформации в межроликовом пространстве.

### Выводы:

Была разработана программная реализация модели затвердевания стали в УНРС. Данный продукт позволяет на основе введенной информации о стали, исходных температурах и интервалах разбиения получить данные о температурном поле среза сляба на выходе из УНРС. Вся полученная информация представлена численно и графически. Все результаты соответствуют реальным данным.

В программном комплексе ABAQUS построены модели, которые в совокупности моделируют процесс непрерывной разливки стали в криволинейных УНРС. Обобщенный анализ полученных результатов позволяет утверждать, что на базе разработанной математической модели, при известных механических и пластических свойствах разливаемой марки стали, а также условиях реализации процесса, можно производить сопоставительный анализ НДС непрерывнолитого сляба целиком, либо отдельных его

участков при установившемся процессе разлива, с целью оценки степени вероятности возникновения дефектов.

### Список литературы

1. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. Липецк: ОАО «НЛМК». 2011. 221с.
2. Галкин А.В., Кузина Н.Е., Пименов В.А. Математическое моделирование теплового режима процесса остывания и затвердевания слитка в УНРС // Управление большими системами (УБС'2014) [Электронный ресурс]: Материалы XI Всерос. школы-конференции молодых ученых. М.: ИПУ РАН. 2014. С. 961-972.
3. Чернявский А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения. М.: Машиностроение. 2007. 106 с.
4. Кузина Н.Е., Галкин А.В. Моделирование процесса затвердевания стали в УНРС. М.: ФГБУ ФИПС. 2014. Госрегистрация № 2014614683 от 21.05.2014.
5. SIMULIA Abaqus. Применение в инженерных задачах. М.: Тесис. 2008. 99 с.

УДК 669.162

## О ПРИМЕНЕНИИ ШАГОВОГО ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА В АСУ ПРОЦЕССА ОКОМКОВАНИЯ

Гамбург К.С., Мякотина М.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,  
Старый Оскол*

*ksgam@mail.ru*

***Аннотация.** Для снижения воздействия высокой влажности концентрата на процесс окомкования предлагается применить шаговый экстремальный регулятор для автоматического поиска и поддержания такого значения скорости вращения чаши, которое обеспечивало бы получение максимального количества кондиционных окатышей при любой влажности исходного сырья. Для моделирования, максимально приближенного к реальным условиям, использовалась динамическая математическая модель.*

***Ключевые слова:** процесс окомкования, высокая влажность, концентрат, шаговый*

*экстремальный регулятор.*

## **ON EXTREMAL CONTROLLER APPLICATION AS PART PELLETIZING PROCESS AUTOMATIC CONTROL SYSTEM**

**Gamburg K.S., Meakotina M.V.**

*Sary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Sary Oskol*

*ksgam@mail.ru*

**Abstract.** It is proposed to apply extremal step controller To minimize influence of concentrate high humidity on the process of pelletizing. It is used to find automatically and maintain such value of the speed of bowl rotation that would provide the maximum amount of proper pellets at any moisture content of the feedstock. A dynamic mathematical model is used to simulate as close as possible to the real conditions.

**Keywords:***pelletizing process, high humidity, concentrate, step extremal controller.*

Основной проблемой производства окатышей в целом, и процесса окомкования в частности, на любом горно-обогатительном комбинате является нестабильность влажности исходного сырья.

Значение влажности определяется параметрами работы отделения обогащения, качеством исходной руды, текущим объемом производства и другими трудно поддающимися учету факторами. На практике, для снижения воздействия высокой влажности концентрата на процесс окомкования, чаще всего увеличивают дозировку бентонита в шихту, что приводит к его перерасходу и увеличению себестоимости окатышей.

Кроме того, контролируется влажность поступающего на фабрику окомкования концентрата. Влагомеры установлены на конвейерах, время транспортировки от которых до окомкователей составляет в среднем 1,5 часа, однако не является постоянным и может варьироваться в зависимости от режима работы оборудования и степени заполнения бункеров концентрата и шихты.

Учитывая показания влагомера, распределение по бункерам и движение материала внутри них, теоретически возможно спрогнозировать влажность поступающей в окомкователи шихты и даже распределить материал с целью его усреднения. Однако для решения этой задачи потребуется отдельная система управления шихтоподготовкой.

В настоящее время автоматизированная система управления (АСУ) обжиговой машины (ОМ) №3 ОАО «Лебединский ГОК» выполнена на оборудовании «Ремиконт». Управление процессом ведется в ручном режиме: машинист окомкователя, в соответствии со своим опытом и визуальной оценкой крупности окатышей, корректирует производительность или скорость вращения окомкователя. Для поддержания заданной скорости вращения привод окомкователя управляется частотным преобразователем MasterDrive.

По месту установлены приборы контроля скорости вращения, а также кнопки управления. Производительность по шихте контролируется по показаниям весов, выведенных на операторских станциях технологов-операторов отделения обжига. Система визуализации и управления ОМ №3 позволяет изменять уставки производительности по шихте и по скорости вращения, а также производить запуск и остановку окомкователя.

Разрабатываемая АСУ предполагает использование шагового экстремального регулятора (ШЭР). Регулирование крупности окатышей будет осуществляться путем автоматического поиска и поддержания такого значения скорости вращения чаши, которое обеспечивало бы получение максимального количества кондиционных окатышей.

Система управления процесса окомкования предназначена для:

- стабилизации среднемассового размера окатышей, производимых каждой ниткой окомкования;
- повышения качества сырых окатышей отделения окомкования ОМ-3;
- повышения оперативности управления технологическим процессом;
- улучшения условий труда технологического персонала;

Предлагаемая система будет обеспечивать следующие информационные функции:

- отображение текущей информации о технологическом процессе в режиме реального времени;
- отображение состояния технологического оборудования и режимов управления (ручной/автоматический);
- выдача оперативной информации оперативно-дежурному персоналу ФОК;
- выборка и передача показателей работы отделения окомкования ОМ-3 диспетчерской службе фабрики обкомкования (ФОК), в соответствии с разработанным функциональным обеспечением;
- отслеживание аварийных ситуаций и включение сигнализации/защиты;

- отслеживание действий оператора;

Аппаратные средства имеют следующие технические характеристики:

- режим работы – непрерывно-дискретный, сочетающий непрерывную работу цеха с прерывистыми режимами работы оборудования;
- срок службы не менее 10 лет;
- возможность работы в закрытых помещениях с температурой  $-20...+30^{\circ}\text{C}$ , влажностью до 90% при  $30^{\circ}\text{C}$  без конденсата;
- степень защиты IP 20 – IP 65 в зависимости от места установки;
- в части коррозионной активности – группа 1 по ГОСТ 15150-69;
- в части воздействия механических факторов – М3 по ГОСТ 17516.1-90; окружающая среда взрывобезопасная, но содержит токопроводящую пыль до  $4\text{мг в м}^3$ ;
- все аппаратные средства должны быть заземлены;
- средства отображения информации имеют размер экрана не менее 19”;

Программные средства:

- имеют возможность однократного ввода и многократного использования информации;
- имеют способность защищать данные от разрушения при аварийных сбоях в электропитании с помощью сохранения их на твердых носителях и возможность использования при восстановлении системы;
- не обладают избыточностью, включают в себя структуры параметрической настройки;
- при аварийных ситуациях в системе или отклонениях параметров от нормы, кроме отображения этой ситуации на мониторе, используют определенные звуковые сигналы.

В АСУ ФОК проектируются три уровня доступа пользователя для защиты от несанкционированного доступа:

- системный (инженерный),
- операторский,
- сервисный.

Для моделирования, максимально приближенного к реальным условиям, необходимо использование динамической математической модели. При исследовании экстремальной системы объект оптимизации представлен последовательным соединением звеньев: входного линейного инерционного звена, звена чистого запаздывания и экстремальной статической характеристики (рис.1).

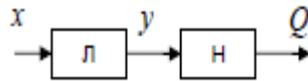


Рис 1. Структурная схема замещения динамического нелинейного ОУ

Коэффициенты усиления линейных звеньев удобно принимать равными единице. Причем динамические звенья призваны смоделировать процесс перемешивания шихты в чаше. Первоначально шихта перемешивается, обеспечивая физические и химические процессы образования окатышей, а затем получается конечный продукт, выраженный в виде окатышей [1].

Средствами пакета Matlab динамическая модель объекта представляется в виде:

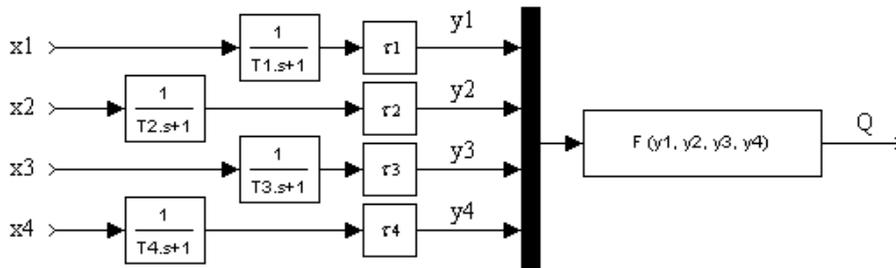


Рис 2. Структурная схема динамической модели окомкователя

где:  $T_i$  – постоянные времени объекта, с;  $t_i$  – время чистого запаздывания объекта, с;  $Q$  – выход кондиционной фракции окатышей, %.  $F(X)$  – безинерционная экстремальная функция (7.1) [2].

Согласно [2]  $T_i$  примерно 110с.,  $t_i$  примерно 30 с., поэтому для дальнейших расчетов применялись именно эти значения.

Исполнительный механизм изменяет входную координату  $x_2$  системы за пренебрежимо малый промежуток времени, т.е. поисковые возмущения, вносимые в объект экстремальным регулятором, можно считать скачкообразными. Это допущение практически оправдано, так как время перестановки исполнительного механизма на шаг существенно меньше времени переходных процессов в объекте. Период повторения в СЭР коррелирован с переходными процессами в чашевом окомкователе, поэтому примем, что  $\Delta t = 360$  сек., что менее величины переходного процесса.

Современные средства цифровой микропроцессорной техники могут позволить реализовать сигнум – реле в цифровом виде, и, следовательно, определение направления изменения задания может производиться без зоны нечувствительности сигнум - реле [1].

Алгоритм функционирования одноканальной системы экстремального регулятора с управлением по каналу скорости выглядит следующим образом: в начале осуществляется ввод данных текущей скорости вращения ЧО –  $x_2$  и шага изменения скорости вращения –  $\Delta x_2$ . На следующем шаге система производит опрос SCADA системы на значение гранулометрического состава при текущей скорости вращения  $x_2$ , после чего изменяет скорость вращения на шаг. Далее формируется цикл, в котором задается время, в течение которого система будет функционировать. Спустя 360 секунд система рассчитывает номер периода повторения. Далее производится сравнение значений гранулометрического состава на текущем и предыдущем шаге. Если значение  $Q_{n-1} < Q_n$ , то система продолжает изменять скорость в том же направлении, если же  $Q_{n-1} > Q_n$ , то изменение скорости осуществляется в обратном направлении. Величина  $h$  характеризует направление поиска:  $h = 1$  – скорость увеличивается,  $h = -1$  – скорость уменьшается. Далее система изменяет скорость вращения ЧО в выбранном направлении и присваивает значению гранулометрического состава в предыдущий момент времени значение в текущий момент. После этого система ждет 360 секунд и повторяет цикл.

При создании модели в пакете Matlab были использованы блоки Transfer Fcn – для задания линейной входной инерционной части, Transport Delay – для реализации времени чистого запаздывания, а также блок Mux – для формирования входного вектора размерностью  $4 \times 1$ , которая была реализована блоком Fcn. Блок «FD» призван смоделировать процесс изменения скорости вращения чаши окомкователя для частотно-регулируемого привода. Коэффициент усиления в описанном блоке принят равным 1, так как для целей моделирования точность данных параметров реальному процессу не является принципиальной. Необходимо отметить, что алгоритм изменения регулируемой величины, в данном случае скорости вращения, был реализован посредством S-функции «extr» см. (приложение А), которая реализовывала изменение скорости вращения чаши на шаг, равный  $\Delta x_2 = 0,2$ .

### Список литературы

1. Повышение эффективности управления чашевым окомкователем путем совершенствования алгоритмов экстремального регулирования: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук/Д.Полещенко, Липецк, 2007. – 134с.

2. Теория управления окомкованием сыпучих материалов: Книга/Е. А. Исаев, Е. Е. Чернецкая, Л.Н. Крахт, В. С. Титов, 2004г. — 383с.

УДК 004.89

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ЕГО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ

**Еременко Ю.И., Олюнина Ю.С.**

*Старооскольский технологический институт, Старый Оскол, Россия*

[julijasergeevna@mail.ru](mailto:julijasergeevna@mail.ru)

***Аннотация.** Статья посвящена методам защиты данных от несанкционированного доступа. Для решения проблемы предложено применение биометрических систем идентификации пользователя, а именно идентификации по клавиатурному почерку. Авторами рассматриваются основные характеристики клавиатурного почерка и режимы его распознавания. Для обработки параметров клавиатурного почерка предложено использование нейросетевых технологий.*

***Ключевые слова:** идентификация, биометрия, клавиатурный почерк, нейронные сети*

## USER IDENTIFICATION ON HIS KEYBOARD HANDWRITING

**Eremenko Y.I., Olynina Y.S.**

*Sary Oskol technological Institute, Sary Oskol, Russia*

[julijasergeevna@mail.ru](mailto:julijasergeevna@mail.ru)

***Abstract.** This article concentrates on protection of the data from unsanctioned access. As solution offered use biometrical systems of user's identification by keyboard handwriting. The authors review the main characteristics of the handwriting keyboard and recognition modes. For processing of parameters of keyboard handwriting use of neural network technology.*

***Keywords:** identification, biometrics, keyboard handwriting, neural networks.*

Многие сферы деятельности современного общества функционируют в электронном формате. Развитие электронных средств сбора, обработки и хранения данных обусловило необходимость разработки эффективных средств защиты информации. Значительную

опасность представляют угрозы, возникающие при обработке конфиденциальной информации, и в первую очередь это угроза несанкционированного доступа. Аналитический центр компании InfoWatch представил глобальное исследование утечек информации за первую половину 2014 года. Согласно результатам исследования, Россия удерживает второе место по количеству инцидентов, причем их количество по сравнению с первым полугодием 2013 года выросло более чем вдвое. Аналитики центра отмечают, что лишь в 22% случаев утечка информации происходила в результате хакерской активности, в большинстве случаев (75%) информация утекала по вине внутреннего нарушителя[4].

В свете представленных фактов вопрос контроля и управления доступом к компьютерным системам становится особенно актуальным. В качестве перспективного варианта решения проблемы рассматривается применение биометрических систем идентификации пользователя. Такой подход имеет ряд преимуществ по сравнению с другими средствами идентификации. Во-первых, в отличие от парольных средств защиты, которые человек может непреднамеренно или по своему умыслу сообщить злоумышленнику, или от различных карт и ключей, которые могут быть утеряны или украдены, биометрические характеристики позволяют однозначно идентифицировать человека[1]. Во-вторых, биометрические методы позволяют производить скрытую идентификацию, когда пользователь не подозревает, что его проверяют, а значит, не может сообщить об этом злоумышленнику или сам произвести противоправные действия.

Для биометрической идентификации можно применять статические или динамические характеристики человека. К статическим характеристикам относятся отпечатки пальцев, радужная оболочка и сетчатка глаза, форма уха. Такие характеристики присущи человеку с рождения и не меняются в течение всей жизни. Динамические или поведенческие биометрические характеристики описывают подсознательные действия, привычные для пользователя. Это может быть голос, походка или манера печати на клавиатуре, то есть клавиатурный почерк.

Из всех биометрических методов защиты информации метод идентификации личности по ее клавиатурному почерку является самым простым для внедрения и наименее затратным, поскольку не требует установки специальных аппаратных средств, не нуждается в сопровождении, является прозрачным для конечного пользователя, т. е. не причиняет ему неудобств, и позволяет проводить скрытую аутентификацию.

Рассматривая клавиатурный почерк, можно выделить следующие его характеристики [2]:

- время удержания нажатой клавиши;
- интервал времени между нажатиями клавиш;
- общее время набора парольной фразы;
- количество ошибок при наборе, допускаемое в единицу времени;
- факт использования дополнительных клавиш (использование числовой клавиатуры);
- особенности ввода заглавных букв (с использованием клавиши Shift или CapsLock) и т.д.

Однако клавиатурный почерк как динамическая (поведенческая) характеристика пользователя подвержен влиянию множества факторов, что делает его весьма нестабильным. Основные сложности при работе с клавиатурным почерком связаны с большим разнообразием навыков набора текста у пользователей. Процедура идентификации может быть неэффективной или невозможной для лиц, не имеющих стойких навыков работы с клавиатурой. Из теории машинописи и делопроизводства установлено, что срок, необходимый для формирования устоявшегося клавиатурного почерка, составляет не менее 6 месяцев. Кроме того, на характеристики набора текста влияют факторы, обусловленные психологическим состоянием человека: сонливость, тревога, усталость. Не менее значимыми являются и другие объективные причины, например, травма кисти или пальца, использование устройств ввода нестандартного размера, обладающих другой эргономичностью [3]. Все эти факторы снижают достоверность идентификации и увеличивают вероятность возникновения ошибок первого и второго рода.

Распознавание клавиатурного почерка можно производить в двух режимах. Во-первых, использовать его для аутентификации перед входом в систему. Для этого пользователю будет предложено ввести некую парольную фразу, по характеристикам которой система сделает вывод о подлинности владельца почерка. Такая схема аутентификации операторов подробно рассмотрена в работах российских и зарубежных ученых, таких как А.И. Иванов, Р.М. Болл и других, и является классической. Во-вторых, можно производить идентификацию пользователя по свободному смысловому тексту. Такой подход позволит осуществлять постоянный мониторинг, при котором пользователь, не зная о проверке, будет вводить свободный текст, а система, получив характеристики почерка, позволит произвести проверку подлинности его владельца. Очевидно, что такая методика является наиболее перспективной, поскольку она не ограничивает возможности идентификации длиной парольной фразы и позволит производить скрытый мониторинг клавиатурного почерка по свободному тексту.

На сегодняшний день существует несколько подходов к распознаванию клавиатурного почерка, таких как использование математической статистики и теории вероятностей, имитационного моделирования, подробно описанных в работах Ю.А.Брюхомицкого, А.Е.Лепского, Я.А.Фомина, Г.Р.Тарловского и других. Тем не менее разработка альтернативных методов и алгоритмов распознавания клавиатурного почерка, повышающих точность и качество функционирования систем идентификации, является достаточно актуальной задачей.

В качестве перспективного подхода к распознаванию клавиатурного почерка предлагается применение методов искусственного интеллекта, а именно аппарата нейронных сетей. Область их применения во многом совпадает с кругом задач, решаемых традиционными статистическими методами, однако нейронные сети имеют ряд преимуществ. Канадский ученый С.Хайкин в книге «Нейронные сети. Полный курс» выделяет следующие преимущества:

1. способность работать при наличии большого числа неинформативных, шумовых входных сигналов;
2. способность выявлять скрытые закономерности и развития ситуации и зависимости между входными и выходными данными, используя способность обучения на множестве примеров;
3. потенциальное сверхвысокое быстроедействие за счет использования массового параллелизма обработки информации и т.д.

Таким образом, среди рассмотренных методов идентификации пользователя определение подлинности по клавиатурному почерку является наиболее перспективным, поскольку позволяет однозначно идентифицировать владельца подписи, не требует дополнительных затрат на установку специальных аппаратных средств, а также позволяет сократить количество паролей, используемых для идентификации в различных системах. Для обработки данных, полученных в результате анализа клавиатурного почерка, предложено использование аппарата нейронных сетей, который имеет ряд преимуществ перед классическими методами.

### **Список литературы**

1. Епифанцев Б. Н. Альтернативные сценарии авторизации при идентификации пользователей по динамике подсознательных движений / Б. Н. Епифанцев, П. С. Ложников, А. Е. Сулавко // Вопросы защиты информации / ФГУП «ВИМИ». – 2013. - № 2. - С. 28-35.

2. Скуратов С.В. Использование клавиатурного почерка для аутентификации в компьютерных информационных системах //Безопасность информационных технологий - 2010. - №2. - С.35-38.
3. Савинов А.Н. Методы, модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах: Дис. ...канд. техн. наук. – г. Санкт-Петербург, 2013. – 128с.
4. Information Security/Информационная безопасность [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.itsec.ru>. – (Дата обращения 05.10.2014).

УДК 62-83, 681.5

**АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ЛИНЕЙНЫХ  
РЕГУЛЯТОРОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
ДУО-РЕВЕРСИВНОЙ КЛЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АДАПТИВНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ**

**Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Петров В.А.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол  
79040882508@ya.ru*

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные методы настройки линейных регуляторов в системах автоматизированного электропривода. Выделены недостатки этих методов относительно задачи управления электроприводом ДУО-реверсивной клетки.

*Ключевые слова:* ПИД-регулятор, электропривод, методы Циглера-Никольса, Чина-Хронеса-Ресвика, последовательной коррекции, модульный и симметричный оптимум.

**APPLICABILITY ANALYSIS OF LINEAR CONTROLLERS ADJUSTMENT METHODS  
FOR DC MOTOR OF TWO-HIGH REVERSING ROLLING MILL FOR ADAPTIVE  
CONTROL IMPLEMENTATION**

**Y.I. Eremenko, A.I. Glushchenko, V.A. Petrov**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A. Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Stary Oskol  
79040882508@ya.ru*

***Abstract.** Basic methods of linear controllers adjustment for automated electric drive control systems is considered. Shortcomings of such techniques in relation to electric drive of two-high reversing rolling mill control are shown.*

***Keywords:** PID-controller, electric drive, Ziegler-Nichols method, Chien-Hrones-Reswick method, cascade compensation, modular and symmetric optimum.*

Наиболее распространенными в прокатном производстве являются электропривода постоянного тока. Системы управления таких электроприводов построены по принципу тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока. «Классической» для таких систем является двухзонная четырехквadrантная система регулирования скорости, применяемая, в частности, при управлении электроприводом ДУО-реверсивной клетки. В контурах управления такой системой используются П- и ПИ-регуляторы, параметры которых подбираются один раз и не настраиваются в процессе работы из-за трудоемкости и существенных затрат времени. Это приводит к энергопотерям из-за изменения параметров объекта управления при прокатке [1] из-за неоптимального характера переходного процесса. Для решения этой проблемы необходимо постоянно перенастраивать параметры регуляторов, т.е. обеспечить адаптивное управление. Возможные методы такой настройки изложены ниже.

### **Метод Циглера-Никольса**

Наиболее простым и часто применяемым на практике методом настройки регуляторов в системах автоматизированного электропривода считается метод Циглера-Никольса [2]. Суть метода состоит в следующем. Время интегрирования и дифференцирования регулятора задаются равными нулю. Затем коэффициент передачи увеличивается до тех пор, пока не возникнут незатухающие колебания на выходе контура управления. Значение коэффициента передачи фиксируют и по графику переходного процесса определяют период автоколебания. Далее параметры настройки регулятора находят по эмпирическим формулам.

Недостатком данного метода является то, что он не учитывает требований к запасу устойчивости системы. Переходные процессы при настройке таким методом далеки от оптимальных. Метод Циглера-Никольса эффективен только при первоначальной настройке параметров регуляторов в системах управления электроприводов, но даже в этом случае трудно применим для прокатной клетки ввиду сложной механики объекта.

### **Метод Чина-Хронеса-Ресвика**

Развитием метода Циглера-Никольса стал метод Чина-Хронеса-Ресвика [3]. Основным отличием данного метода от предыдущего является применение других расчетных формул для определения коэффициентов. Этот метод также сложно применим для перенастройки параметров регуляторов электропривода клетки при смене режима ее работы.

Недостатками, как и в методе Циглера-Никольса, являются приближенная настройка и неполнота информации об устойчивости системы.

### **Метод последовательной коррекции**

Для достижения требуемого качества регулирования при проектировании систем автоматизированного электропривода пользуются методом последовательной коррекции. Этот метод настройки регуляторов является «классическим» для систем управления электроприводом [4]. Для его адекватной работы необходима точная модель объекта управления.

Для систем, модель которых представляется последовательным соединением интегрирующих и инерционных звеньев, обобщением метода последовательной коррекции является метод последовательной коррекции с подчиненным регулированием координат.

Метод заключается в настройке регулятора для каждого контура таким образом, что параметры регулятора компенсируют постоянные времени объекта и приводят передаточную функцию контура к требуемому виду. Из-за невозможности компенсации одним регулятором двух постоянных времени вводят два регулятора (регулятор скорости и регулятор тока/регулятор ЭДС и регулятор тока возбуждения) [5]. При этом в каждом контуре параметры регулятора компенсируют не более двух постоянных времени. Настройку регуляторов в таких системах производят независимо в каждом контуре [6]. Регуляторы контуров настраиваются последовательно, начиная с внутреннего контура тока [7].

При настройке каждого контура выбирается критерий оптимизации. На практике при наладке систем автоматизированного электропривода наиболее применяемыми являются два критерия оптимальной настройки контуров: симметричный оптимум (СО) и модульный (технический) оптимум (МО). Эти методы получили широкое распространение в системах управления электроприводами постоянного тока.

### **Модульный (технический) оптимум**

При настройке коэффициент интегрирования ПИ-регулятора выбирают таким, чтобы нейтрализовать влияние большой постоянной времени объекта управления. При этом

$T_{\mu}$  называют некомпенсированной постоянной времени (она должна учитывать все малые постоянные времени настраиваемого контура).

Передаточная функция разомкнутого контура:

$$W_{раз}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(1+T_{\mu}p)} \quad (1)$$

Система в замкнутом контуре:

$$W_{зам}(p) = \frac{1}{1+2T_{\mu}p(1+T_{\mu}p)} \quad (2)$$

При таких настройках регулятора перерегулирование переходного процесса составит 4.3%, время первого достижения задания  $t_1=4.7 \cdot T_{\mu}$ , запас по фазе  $63^{\circ}$ .

### **Симметричный оптимум**

При настройке на СО добиваются передаточной функция разомкнутого контура (3). Максимальное перерегулирование при такой настройке достигает 43%, запас по фазе  $37^{\circ}$ , время первого достижения установившегося значения  $t_1=3.1 \cdot T_{\mu}$ .

Передаточная функция разомкнутого контура:

$$W_{раз}(p) = \frac{4T_{\mu}p+1}{8T_{\mu}^2p^2(T_{\mu}p+1)} = W_{oy}(p)W_{pez}(p) \quad (3)$$

Настройки на МО и СО просты и удобны для практического применения, они обеспечивают качество управления [8-12] для процессов с относительно стабильными значениями параметров, к которым не относится прокатная клеть.

Главным недостатком рассмотренных методов является необходимость точной идентификации объекта в каждом режиме работы прокатной клетки для точного расчета постоянных времени и, соответственно, параметров регулятора. На практике при синтезе регуляторов параметры объекта «усредняют», что ведет к «усреднению» качества переходных процессов в различных режимах, т.е. к энергопотерям. Так же при расчете параметров регуляторов не учитывают нелинейности объекта управления, т.к. модель в большинстве случаев линейна.

Если принять во внимание существенные нелинейности привода прокатной клетки [13], то можно сделать вывод о том, что рассматриваемые методы не позволяют в полной

мере решить поставленную задачу перенастройки параметров регуляторов электропривода ДУО-реверсивной клетки в процессе работы. Таким образом, необходимо построение адаптивной системы настройки параметров линейных регуляторов.

Перспективным методом решения данной задачи является построение интеллектуальной надстройки. Общий вид системы управления с такой надстройкой приведен на рисунке 1.

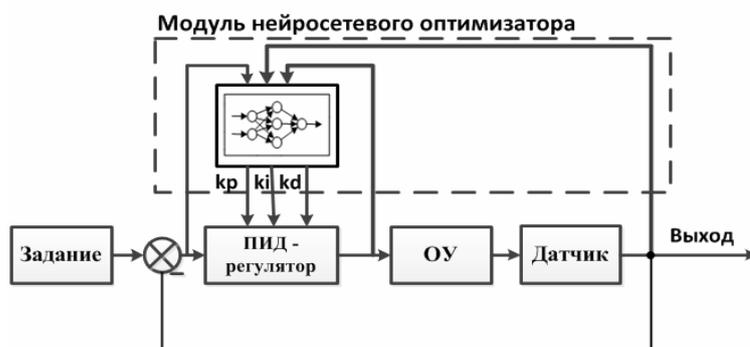


Рис.1 Схема нейросетевого управления с самонастройкой

Такая схема позволяет учитывать нелинейные свойства объекта, не внося значительных изменений в существующую схему управления.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты 13-08-00532-а, 15-07-0609215, гранта Президента РФ № 14.У30.15.4865-МК.

### Список литературы

1. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Петров В.А. О возможности применения нейросетевых технологий для подстройки коэффициентов ПИД-регулятора в системе автоматизированного электропривода прокатного стана. Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - Старый Оскол: типография ОАО "ОЭМК", 2014. - Т.1. - С. 193-198.
2. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Transactions of the ASME. – 1942. – Vol.64. – pp. 759-768.
3. Chien K.L., Hrones J.A., Reswick J.B. On the Automatic Control of Generalized Passive Systems // Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. – 1952. – Vol.74. - P.175-185.
4. Кояин Н. В., Мальцева О. П., Удут Л. С. Оптимизация контуров регулирования систем электропривода по типовым методикам // Известия ТПУ . 2005. №7.

5. Kessler C. Uber die Vorausberechnung optimal abgestimmter Regelkreise. Teil III. Die optimale Einstellung des Reglers nach dem Betragsoptimum // Regelungstechnik. – 1955. – В. 3. – Н. 2. – S. 40–49.
6. Kessler C. Das symmetrische Optimum. Teil I und III // Regelungstechnik. – 1958. – В. 6. – Н. 11. – S. 395–400; Н. 12. –S. 432–436.
7. Voda A.A., Landau I.D. A method for the auto-calibration of PID controllers // Automatica. – 1995. – V. 31. – № 1. – P. 41–53.
8. O'Dwyer A. PI and PID controller tuning rules for time delay processes: a summary // Proc. of the Irish signals and systems conference. – N.U.I., Galway, 1999. – P. 331–346.
9. Preitl S. Precup, R.E. An extension of tuning relations after symmetrical optimum method for PI and PID controllers // Automatica. –1999. – V. 35. – № 10. – P. 1731–1736.
10. Vrancic D., Strmenic S., Hanus R. Improving disturbance rejection of PI controllers by means of the magnitude optimum method // ISA Transactions. – 2004. – V. 43. – № 1. – P. 73–74.
11. Кояин Н.В., Мальцева О.П., Удут Л.С. Оптимизация контуров регулирования систем электропривода по симметричному оптимуму //Известия Томского политехнического университета, Томь. – 2005. – №. 7. – С. 120-125.
12. Певзнер Л.Д. Теория систем управления / Л. Д. Певзнер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2002. – 472с.
13. Молодых А.В., Петров В.А., Глущенко А.И. О целесообразности применения алгоритмов адаптации параметров ПИД-регулятора при управлении электроприводом ДУО-реверсивной прокатной клетки с двухзонным регулированием скорости. Материалы XII Всероссийской школы-конференции молодых ученых "Управление большими системами" [Электронный ресурс]. - М.: ИПУ РАН, 2015

УДК 004.89 + 669.162

**О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА  
ТЕПЛОВОЙ ОБЪЕКТ ВОЗМУЩЕНИЯ ДЛЯ ЕГО ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОТРАБОТКИ С  
ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОПТИМИЗАТОРА ПАРАМЕТРОВ ПИ-  
РЕГУЛЯТОРА**

**Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Фомин А.В.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,*

*Старый Оскол*

[Verner444@yandex.ru](mailto:Verner444@yandex.ru)

*Аннотация.* Для оптимизации качества переходных процессов при работе объекта

управления в условиях действия возмущений предлагается применить нейросетевой оптимизатор, настраивающий параметры ПИ-регулятора в реальном масштабе времени. Рассмотрены два типа возмущающих воздействий, моделирующих открытие дверцы печи для загрузки обрабатываемого материала и снижение теплоотдачи носителя. Разработан метод идентификации возмущений в оперативном режиме. Проведено моделирование, демонстрирующее работоспособность метода такой идентификации.

**Ключевые слова:** ПИ-регулятор, типы возмущающих воздействий, нейросетевой оптимизатор, адаптивное управление, нагревательные печи.

## ABOUT IDENTIFICATION OF DISTURBANCE TYPE AFFECTING HEATING PLANTS TO COPE WITH IT BY MEANS OF PI-CONTROLLER NEURAL TUNER

Eremenko Y.I., Poleshchenko D.A., Glushchenko A.I., Fomin A.V.,

*Sary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Sary Oskol*

[Verner444@yandex.ru](mailto:Verner444@yandex.ru)

**Abstract.** *A real-time PI-controller parameters neural tuner is proposed to be applied to optimize transient quality obtained from a heating plant functioning under the conditions of disturbances. Two types of the disturbances modeling a furnace door opening for loading of the material and fuel thermal output decrease are considered. A disturbance type identification method functioning in the operational mode is developed. Modeling experiments are conducted to show the efficiency of the proposed identification method.*

**Keywords:** *PI-controller, disturbance types, neural tuner, adaptive control, heating furnaces.*

Автоматизированные системы управления в своем развитии достигли такого уровня, при котором техническая модернизация уже не дает существенного улучшения процесса управления. Добиться экономии времени и энергоресурсов возможно только при использовании оптимальных и адаптивных систем управления. Однако, более 90% промышленных предприятий используют классические ПИД- и ПИ-регуляторы. Они являются линейными, в то время как большинство технологических объектов по своей природе нелинейны, что в результате приводит к снижению качества регулирования, увеличению брака и перерасходу энергоресурсов. Поэтому актуальными являются разработки методов построения адаптивных систем, ведущих подстройку параметров ПИ-регулятора в реальном масштабе времени. Перспективным является направление построения подобных систем на основе комбинации нейронных сетей [1] (НС) и экспертных систем (ЭС)

[2], поскольку ЭС позволяет отразить специфику объекта управления, а НС способны оперативно обучаться во время работы.

Такими свойствами обладает система, построенная на основе нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора [3] и представляющая собой нейросетевую надстройку над классическим ПИ-регулятором. Используя базу правил, определяющую необходимость настройки регулятора и скорость обучения отдельных нейронов сети, система производит обучение нейронной сети, выходами которой являются новые параметры ПИ-регулятора. Данная разработка показала свою высокую эффективность при работе с тепловыми объектами в технологических режимах, в которых преобладают частые смены уставок. Но регулятор, оптимально настроенный на переходные процессы, в большинстве случаев неэффективно борется с возникающими в установившемся режиме возмущениями. Поэтому дальнейшей целью стала реализация на базе действующей системы адаптивного управления подсистемы, позволяющей эффективно бороться с возникающими возмущениями. Для этой цели в нейрооптимизатор была введена нейронная сеть, отвечающая за отработку возмущений. Однако эффективность её работы колеблется от эксперимента к эксперименту, что вызвано различием возмущений, действующих на систему.

Как указывалось ранее в [4] имеет смысл рассматривать два вида возмущающих воздействий на систему: возмущение типа «А», имитирующие снижение теплопередачи носителя, и возмущение типа «Б», имитирующее открытие печи для загрузки термообрабатываемой заготовки. Авторами в [5] была показана необходимость различных подходов к настройке регулятора – для возмущений типа «А» необходима подстройка как параметров П-канала, так и И-канала регулятора. Для возмущения типа «Б» подстройка И-канала либо не влияет на качества отработки возмущений, либо приводит к его незначительному ухудшению. В связи с этим, для эффективной отработки возмущения типа «Б» необходимо настраивать лишь параметр П-канала регулятора. Поэтому разные типы возмущений требуют различной отработки, а для эффективной интеграции модуля отработки возмущений в нейросетевой оптимизатор необходим эффективный механизм идентификации их типа.

При разработке алгоритма идентификации было высказано следующее предположение: нагревательная печь с открытой дверцей (возмущение типа «Б») должна терять тепло быстрее, чем закрытая нагревательная печь при возмущении типа снижения теплотворности топлива (возмущение типа «А»), поскольку даже печь при нулевом управляющем воздействии будет остывать медленнее, чем печь с открытой дверцей.

Для проверки этого предположения было проведено моделирование технологического процесса управления муфельной электрической печью SNOL 40/1200 (рис.1). Ее модель была получена путем идентификации. Объект управления представлен двумя апериодическими звеньями I порядка в виде передаточных функций  $25/(1694s+1)$  и  $1/(10s+1)$  и звеном запаздывания.

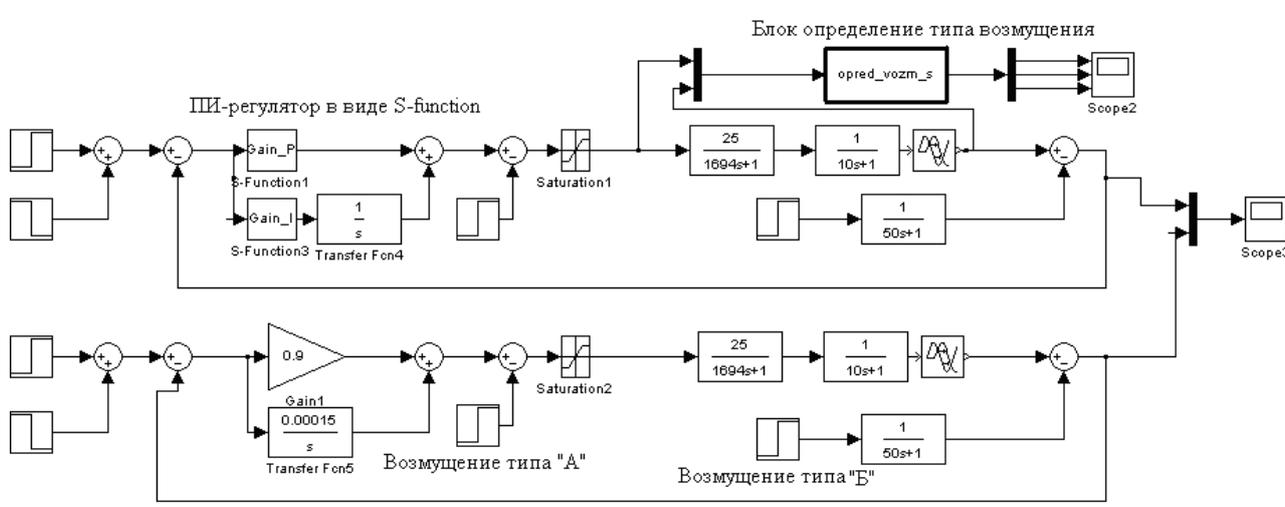


Рис.1. Структурная схема моделирования

На рисунке представлены две схемы управления. Верхняя часть рисунка содержит ПИ-регулятор, реализованный в виде двух S-функций «Gain\_P» и «Gain\_I», и блока определения типа возмущения «opred\_vozm\_s», реализованного так же в виде S-функции. Блоки Step служат для моделирования возмущающих воздействий. Нижняя часть рисунка представляет собой схему, аналогичную схеме в верхней части, но без настройки коэффициентов регулятора для отработки возмущений и служит для сравнения результатов.

На первом этапе моделирования система обрабатывала следующий график уставок-630-505-630 °С. Во время перехода от 630 до 505 градусов происходит остывание печи, и управляющее воздействие на большей части данного перехода равно нулю. В период нулевого управления (остывания печи) происходил расчет средней скорости изменения температуры, необходимый для дальнейшей работы системы. Это фактически, максимальная скорость естественного остывания печи.

На втором этапе, при выходе системы на уставку 630 °С, на систему подавалось возмущающее воздействие. Возмущение типа «А» представляло собой 10% снижение управляющего воздействия. Возмущение типа «Б» было равно ~40% от уставки по температуре с отрицательным знаком. Для определения типа возмущения в блоке «opred\_vozm\_s» были реализованы следующие условия:

- 1) Если скорость изменения температуры при подаче возмущения больше, чем средняя скорость остывания печи, определенная ранее при нулевом управляющем воздействии,

то имеет место возмущающее воздействие типа «Б». Для его отработки, коэффициент П-канала увеличивается в 2 раза.

- 2) Если скорость изменения температуры при подаче возмущения меньше, чем скорость остывания, то имеет место возмущающее воздействие типа «А». Для его отработки коэффициент И-канала увеличивается в 5 раз, коэффициент П-канала на 50%.

В результате получены следующие графики – рис.2 и рис.3.

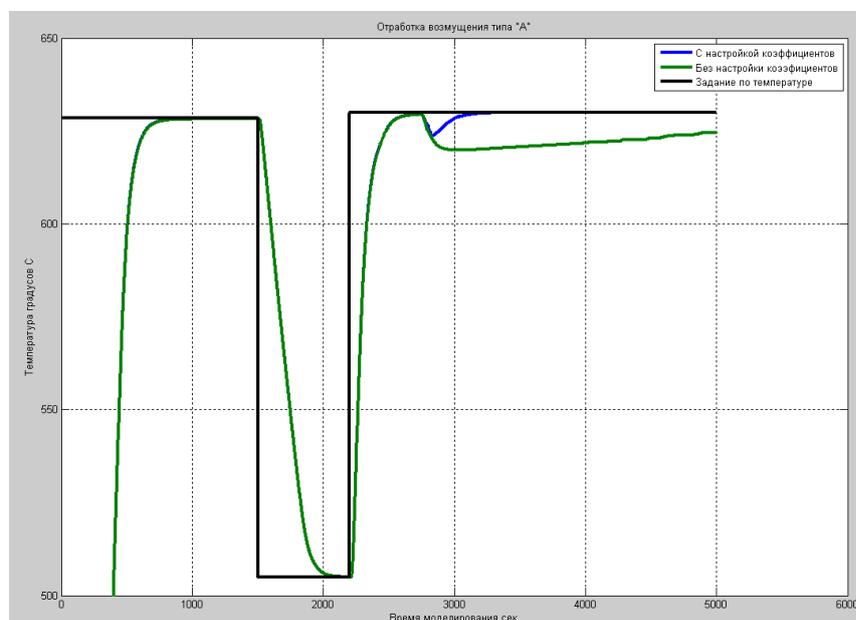


Рис.3. Сравнительный график отработки возмущений типа «А»

Предложенное решение по определению типа возмущения, основанное на сравнении температурного градиента со средней скоростью естественного остывания печи, может быть использовано для реализации нейросетевого оптимизатора, включающего отдельную НС и блок базы правил для отработки возмущений. Результаты моделирования показывают возможность дополнить базу правил нейросетевого оптимизатора полученными условиями, что позволит различать тип возмущающих воздействий и получать оптимальный набор коэффициентов регулятора для отработки каждого из них.

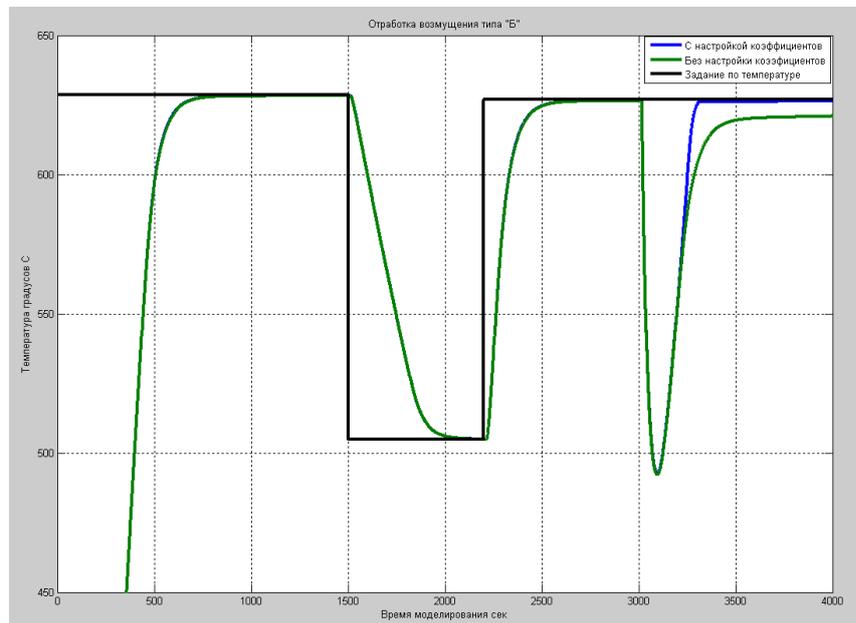


Рис.4. Сравнительный график обработки возмущений типа «Б»

Работа выполнена при поддержке РФФИ (13-08-00532-а, 15-07-0609215), гранта Президента РФ № 14.У30.15.4865-МК.

#### Список литературы

1. Omatu S., Khalid M., Yusof R. Neuro–Control and its Applications. – London: Springer, 1995. – 255 p.
2. Anderson K.L., Blankenship G.I., Lebow L.G. A rule–based adaptive PID controller: Proc. 27th IEEE Conf. Decision. Control, 1988. – P. 564–569.
3. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. О применении нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для управления нагревательными печами в различных режимах работы // Управление большими системами. –2015. – Вып. 56. – С.143-175.
4. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Фомин А.В. Об использовании нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для управления нагревательными печами в режиме борьбы с возмущениями. Материалы XII Всероссийской школы-конференции молодых ученых "Управление большими системами" [Электронный ресурс]. - М.: ИПУ РАН, 2015. – 12 с.
5. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Фомин А.В. К вопросу о применении нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора в условиях действия возмущений. Сборник трудов VIII Международной конференции «Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий "ПМТУКТ-2015»». – Воронеж: Изд-во "Научная книга", 2015. – С. 136-138.

**О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОПТИМИЗАТОРА ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

**Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Фомин А.В., Петров В.А.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,  
Старый Оскол*

*strondutt@mail.ru*

***Аннотация.** Для оптимизации качества переходных процессов при работе объекта управления в условиях действия возмущений предлагается применить нейросетевой оптимизатор, настраивающий параметры ПИ-регулятора в реальном масштабе времени. В качестве объекта управления использована модель электрической печи для нагрева литой заготовки. Проведено моделирование для контуров управления с обычным ПИ-регулятором и с использованием нейросетевого оптимизатора. Установлено, что использование оптимизатора позволяет сократить время на выполнение графика заданий на 10.9%, на отработку возмущающих воздействий – на 18% по сравнению с обычным ПИ-регулятором.*

***Ключевые слова:** ПИ-регулятор, возмущающее воздействие, нейросетевой оптимизатор, адаптивное управление, нагревательные печи.*

**ABOUT APPLICATION OF PI-CONTROLLER NEURAL TUNER UNDER CONDITION OF DISTURBANCES AFFECTING METALLURGICAL HEATING FURNACES**

**Eremenko Y.I., Poleshchenko D.A., Glushchenko A.I., Fomin A.V., Petrov V.A.**

*Sary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Sary Oskol*

*strondutt@mail.ru*

***Abstract.** Neural tuner is proposed to be used for on-line PI-controller parameters adjustment under the condition of disturbances affecting a heating plant. A model of electric furnace for cast heating is used to make experiments with both control loops based on conventional PI-controller and the neural tuner. Having conducted experiments, it is found that the neural tuner usage allows to achieve 10.9% and 18% reduction (in comparison with a conventional PI-controller) of time needed to follow stepoint sequence and cope with disturbances respectively.*

***Keywords:** PI-controller, disturbance, neural tuner, adaptive control, heating furnaces.*

## Введение

Более 90% контуров управления в промышленности находится под управлением линейных ПИ- и ПИД-регуляторов [1]. При этом объект управления является нелинейным, то есть меняет значения своих параметров в процессе функционирования. Параметры регулятора при этом настраиваются один раз на конкретный режим или на все режимы "в среднем" и не подвергаются корректировке в дальнейшем. Это приводит к ухудшению качества переходных процессов и, соответственно, к перерасходу энергоносителя. Особенно данная проблема свойственна металлургическим печам нагрева, поскольку для подобных объектов управления (ОУ) принудительное охлаждение невозможно, ввиду чего наличие даже небольшого перерегулирования требует длительного времени на охлаждение [2].

Решением данной проблемы может являться настройка параметров ПИ- и ПИД-регуляторов в реальном масштабе времени в соответствии с изменениями состояния ОУ. Существует ряд классических методов [2-5], осуществляющих подобную настройку. Однако все они основаны на построении модели ОУ, в частности, с помощью тестовых сигналов. Данный подход в реалиях производства является труднореализуемым.

Кроме того, следует выделить интеллектуальные методы настройки линейных регуляторов [6-8]. Авторами предложен нейросетевой оптимизатор параметров ПИ-регулятора [9], сочетающий в себе преимущества нейронных сетей и экспертных систем. Он состоит из базы правил, определяющей в какие моменты и с какой скоростью следует обучать НС, вычисляющую значения параметров  $K_p$  и  $K_i$ , и самой нейронной сети, обучаемой в оперативном режиме методом обратного распространения ошибки. Определение коэффициентов регулятора производится без идентификации ОУ.

Нейросетевой оптимизатор, описанный в [9] позволяет адаптировать параметры регулятора для ОУ, описываемых апериодическим звеном первого или второго порядков с запаздыванием, при условии что задание должно изменяться ступенчато. Однако данная реализация не учитывает возможные возмущающие воздействия, влияющие на ОУ. При отработке возмущений параметры регулятора, подобранные для переходных процессов, не являются эффективными [10]. Целью данной работы является добавление в состав нейросетевого оптимизатора еще одной нейронной сети и совершенствование базы правил для отработки возмущений, действующих на ОУ.

### 1. Разработка структуры и алгоритмов работы нейросетевого оптимизатора

Описание оптимизатора приведено в [9]. Он состоит из двух идентичных по структуре нейронных сетей (5 входных нейронов – 15 скрытых нейронов – 2 выходных нейрона), отвечающих за адаптацию параметров ПИ-регулятора для двух различных по своей природе режимов работы нагревательного объекта – нагрев и охлаждение. Предлагается ввести в

оптимизатор еще одну нейронную сеть такой же структуры для оптимизации параметров ПИ-регулятора при отработке возмущений. Предлагаемая функциональная схема нейросетевого оптимизатора приведена на рис.1.

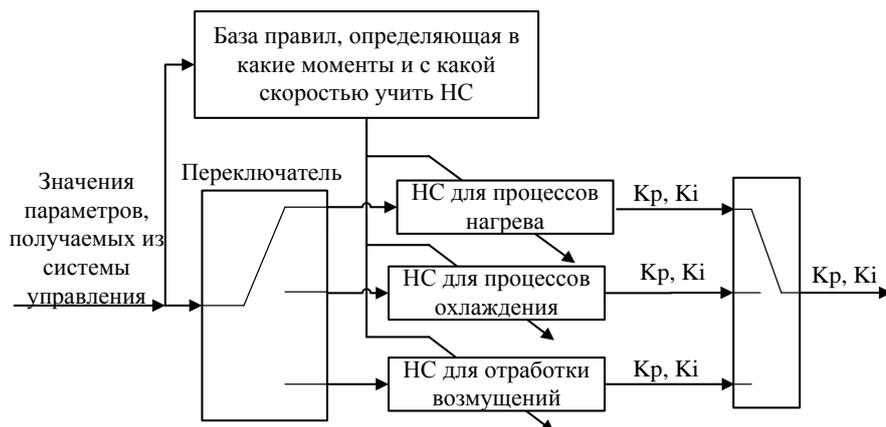


Рис.1. Функциональная схема нейросетевого оптимизатора

В процессе своей работы нейросетевой оптимизатор отслеживает момент  $t_y$ , когда очередной переходный процесс завершен и система управления (СУ) перешла в установившийся режим. Для этого выход ОУ должен находиться в установленной заранее окрестности текущего задания в течение времени, равного половине промежутка времени от момента смены задания до первого достижения контролируемой величиной на выходе ОУ величины нового задания. Если с момента  $t_y$  и до очередной смены уставки выход ОУ выходит за допустимую окрестность задания, то ситуация идентифицируется как появление возмущающего воздействия и производится переключение на НС для отработки возмущений.

База правил нейросетевого оптимизатора дополнена следующими правилами:

**Правило 1.** ЕСЛИ идентифицировано возмущающее воздействие И выход ОУ находится за пределами допустимой окрестности задания И скорость изменения выхода ОУ выше значения уровня помех, определенного ранее в установившемся режиме, ТО скорость обучения нейрона выходного слоя, отвечающего за вычисление  $K_p$ , устанавливается равной 0,001 для описанного ниже эксперимента.

**Правило 2.** ЕСЛИ идентифицировано возмущающее воздействие И выход ОУ находится за пределами допустимой окрестности задания И скорость изменения выхода ОУ ниже значения уровня помех, определенного ранее в установившемся режиме, ТО скорость обучения нейрона выходного слоя, отвечающего за вычисление  $K_i$ , устанавливается равной  $10^{-8}$  для описанного эксперимента.

## 2. Результаты экспериментальных исследований

Для моделирования в качестве объекта использовались математические модели

незагруженной и загруженной металлической заготовкой муфельной электропечи СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И4, полученные путем идентификации двумя апериодическими звеньями первого порядка и звеном запаздывания  $W(s) = \frac{K}{T_1 s + 1} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1} \cdot e^{-\tau s}$ . Загрузка составляла ориентировочно 20–30% от рабочего пространства печи. Параметры для моделей печи СНОЛ-1,6.2,5.1/11-И4: 1) пустая:  $K = 21$ ,  $T_1 = 1636$  с,  $T_2 = 69,4$  с,  $\tau = 64$  с; 2) загруженная:  $K = 21$ ,  $T_1 = 2683$  с,  $T_2 = 35$  с,  $\tau = 90$  с.

Смена заданий по температуре производилась путем повторения последовательности значений:  $590^{\circ}\text{C} \rightarrow 640^{\circ}\text{C} \rightarrow 505^{\circ}\text{C} \rightarrow 590^{\circ}\text{C}$  и т.д. Для смены уставки температура должна удерживаться в течение 30 минут в окрестности задания, равной 5% разности текущего задания и предыдущего. Для изменения состояния ОУ непосредственно в процессе моделирования производилась замена набора параметров модели ОУ: модель незагруженной печи (6 смен задания)  $\rightarrow$  модель загруженной печи (6 смен задания)  $\rightarrow$  модель незагруженной печи (6 смен задания). После шестой смены задания после выхода в установившийся режим в канал управления подавалось возмущающее воздействие, равное +5 единицам и моделирующее увеличение теплотворности топлива печи нагрева. После 15-й смены задания после выхода в установившийся режим в канал управления подается возмущающее воздействие, равное -7 единицам (снижение теплотворности топлива).

Для рассматриваемой модели незагруженной печи были подобраны значения коэффициентов ПИ-регулятора, обеспечивающие не более 5% перерегулирования для рассматриваемого графика заданий:  $K_P = 0,2422$ ,  $K_I = 1,504 \cdot 10^{-4}$ . Нейросетевой оптимизатор начинал работу с формирования этих значений коэффициентов на своих выходах. Обычный ПИ-регулятор в течение всего эксперимента использовал только их. Результаты моделирования для ПИ-регулятора и нейросетевого оптимизатора приведены на рис.2.

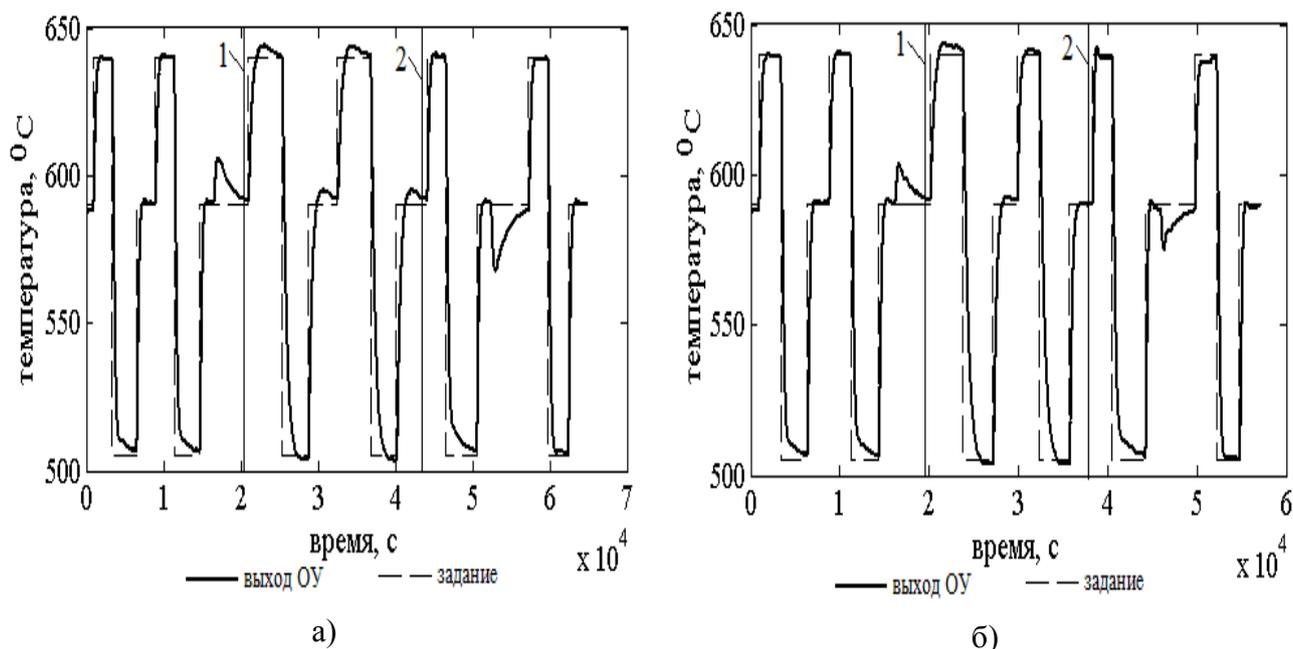


Рис.2. Результаты применения обычного ПИ-регулятора (а) и нейросетевого оптимизатора (б) для управления моделью нагревательной печи (1 – момент начала использования модели загруженной печи; 2 – момент возврата к модели пустой печи)

Общая экономия времени при использовании нейросетевого оптимизатора составила 10.9%, а экономия времени на обработку возмущающих воздействий составила 18%.

### Заклучение

Предлагаемый нейросетевой оптимизатор параметров линейных регуляторов позволяет эффективно учитывать нелинейные свойства нагревательного объекта управления как в режиме отслеживания графика уставок, так и при борьбе с возмущающими воздействиями. Его применение позволяет сократить время и расход энергоносителя на выполнение графика заданий. В дальнейшем предполагается проведение описанного в работе опыта на реальной муфельной электронагревательной печи.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №13-08-00532-а, 15-07-0609215-а), гранта Президента РФ № 14.У30.15.4865-МК.

### Список литературы

1. Astrom K.J., Hagglund T., Hang C.C., Ho W.K. Automatic tuning and adaptation for PID controllers. A survey // IFAC J. Control Eng. Practice. – 1993. – Vol. 1, №4. – P.699–714.
2. Pfeiffer, B.-M. Towards "plug and control": self-tuning temperature controller for PLC // International journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2000. – №14. – Pp.519-532.

3. Ziegler, J. Optimum settings for automatic controllers. – 1942. – №65. – Pp. 759–768.
4. Alexandrov A.G., Palenov M.V Self-tuning PID-I controller. Preprints of the 18th IFAC World Congress. – 2 Sept. 2011. – Pp. 3635-3640.
5. Шубладзе А.М., Кузнецов С.И. Автоматически настраивающиеся промышленные ПИ и ПИД регуляторы // Автоматизация в промышленности. – 2007. – № 2. – С. 15–17.
6. Zhao Z.Y., Tomizuka M., Isaka S. Fuzzy gain scheduling of PID controllers // IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. – 1993. – Vol. 23, № 5. – Pp. 1392–1398.
7. Anderson K.L., Blankenship G.I., Lebow L.G. A rule-based adaptive PID controller : Proc. 27th IEEE Conf. Decision. Control, 1988. – P. 564–569.
8. Omatu, S., Khalid, M., Yusof, R. Neuro-Control and its Applications. – London: Springer, 1995. – 255 p.
9. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. О применении нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для управления нагревательными печами в различных режимах работы // Управление большими системами. – 2015. – Вып. 56. – С.143-175.
10. Åström K. J., Hägglund T. Advanced PID control. – Research Triangle Park: ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. – 461 p.

УДК 004.89 + 669.162

## **О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДИСКОВОГО ВАКУУМ-ФИЛЬТРА**

**Ерёменко Ю.И., Халапян С.Ю., Анпилов А.О.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,*

*Старый Оскол л*

*cx@hotbox.ru*

***Аннотация.** Статья посвящена исследованию проблем построения систем автоматического управления дисковыми вакуум-фильтрами. Предложено применение методов спектрального анализа для исследования зависимости основных технологических*

параметров вакуум-фильтра от его барометрических характеристик (величина вакуума в зоне набора и в зоне сушки осадка, давление воздуха на отдувку).

**Ключевые слова:** дисковый вакуум-фильтр; влажность; осадок; вакуум; удельная производительность; пульпа; крупность концентрата; автоматическая система управления; спектральный анализ.

## **ON IMPROVING EFFICIENCY OF DISC VACUUM FILTER**

**Eremenko Y.I., Khalapyan S.Y., Anpilov A.O.**

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MIS&S", Russia, Stary Oskol

*cx@hotbox.ru*

**Abstract.** *Problems of automatic control system development for disc vacuum filters are considered. Methods based on spectral analysis usage are proposed to be used to study the relationship between the values of main technological parameters of the vacuum filter and its barometric characteristics (degree of vacuum in a zone of recruitment and in a zone of drying the precipitate, air pressure at the blow-off).*

**Keywords:** disk vacuum filter; humidity; precipitate; vacuum; specific performance; pulp; concentrate particle size; automatic control system; spectral analysis.

На предприятиях горно-металлургического комплекса получили широкое распространение дисковые вакуум-фильтры, используемые на стадии обезвоживания концентрата. Продуктивность этой стадии зачастую определяет общую эффективность отдельно взятого горно-обогательного комбината, тогда как качество фильтрования непосредственно влияет на ценность и сорт конечного продукта вместе со стоимостью его дальнейшей переработки [1]. Контролируемыми параметрами для вакуум-фильтра являются: влажность и крупность осадка, удельная производительность вакуум-фильтра, частота вращения дисков, величина вакуума в зоне набора и в зоне сушки осадка, давление воздуха на отдувку. При этом влажность осадка в большинстве случаев контролируется лабораторным способом, а регулирование влажности осуществляется вручную изменением частоты вращения дисков [2]. Влажность осадка и удельная производительность вакуум-фильтра зависят, в частности, от крупности концентрата в пульпе.

Крупность концентрата, поступающего на фильтрование, определяется технологией обогащения и требованиями к его качеству. Данные требования постоянно повышаются, что

вызывает необходимость в снижении крупности измельчения руды при обогащении, в результате чего увеличивается влажность осадка, а удельная производительность вакуум-фильтра снижается [3]. Данные зависимости показаны на рис.1.

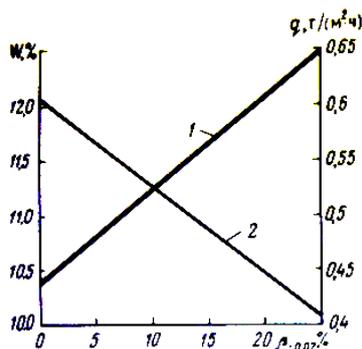


Рис. 1. Зависимости влажности осадка (1) и удельной производительности дисковых вакуум-фильтров (2) от содержания класса менее 0,02мм

Однако зависимость между содержанием готового класса в концентрате и его влажностью не столь однозначна в связи с поступлением на обогатительную фабрику разновидностей руд, неоднородных по составу.

Другим важным фактором, влияющим на влажность осадка и удельную производительность вакуум-фильтра при фильтровании, является величина вакуума в зонах набора и сушки осадка. Его значение на стадии набора осадка определяет производительность вакуум-фильтра и влажность осадка, а на стадии сушки – влажность осадка [3]. Зависимости удельной производительности вакуум-фильтра и влажности осадка от разрежения в зоне набора осадка показаны на рис.2. Зависимость влажности осадка от разрежения в зоне сушки осадка показана на рис.3.

Зависимости на приведённых выше рисунках 1-3 являются усреднёнными. У каждого вакуум-фильтра данные зависимости будут иметь разную форму, так как каждый вакуум-фильтр в связи со спецификой вакуумной системы предприятия имеет свою величину вакуума как в зоне набора осадка, так и в зоне сушки.

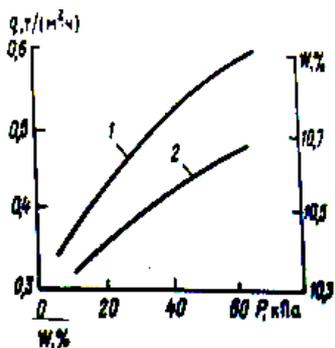


Рис.2. Зависимость удельной производительности (1) и влажности осадка (2) от разрежения в зоне набора осадка

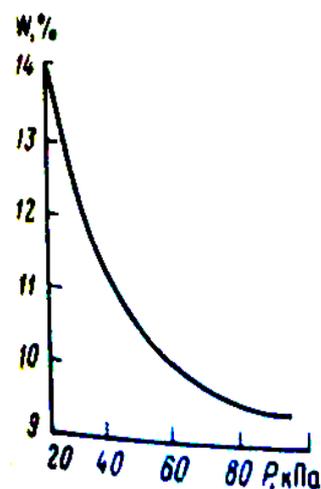


Рис.3. Зависимость влажности осадка от разряжения в зоне сушки осадка

Также с течением времени в пульпе, поступающей в ванну вакуум-фильтра, изменяется крупность концентрата и содержание твёрдого. Одновременно с этим изменяются технические характеристики самого вакуум-фильтра в связи с износом или загрязнением фильтроткани, что делает процесс фильтрации нестационарным.

В связи с вышеперечисленными причинами возникает проблема построения зависимостей технологических параметров вакуум-фильтра, таких как влажность осадка и удельная производительность вакуум-фильтра от величины вакуума в зоне набора и в зоне сушки осадка и давления воздуха на отдувку. Наличие подобных зависимостей сделает возможным построение автоматической системы управления рассматриваемым агрегатом.

В настоящее время лабораторный анализ влажности осадка не позволяет осуществлять её регулирование в режиме реального времени. Поэтому фильтровальщик для поддержания заданного уровня влажности осадка регулирует частоту вращения дисков, оценивая влажность осадка визуально по его цвету. При этом он вынужден поддерживать частоту вращения дисков с запасом для того, чтобы не превысить максимально допустимый порог влажности. Данный запас может быть уменьшен с помощью автоматической системы управления, что может являться способом повышения производительности вакуум-фильтра.

Так как величина вакуума в зонах набора и сушки является главным фактором при обезвоживании, для построения системы автоматического управления целесообразно исследовать зависимости основных технологических параметров вакуум-фильтра, таких как влажность осадка и удельная производительность вакуум-фильтра, от его барометрических характеристик, таких как величина вакуума в зоне набора и в зоне сушки осадка, давление воздуха на отдувку, на основе их спектрального анализа.

В результате может быть разработана методика, позволяющая выполнять построение систем автоматического управления дисковыми вакуум-фильтрами. Внедрение таких систем

управления может являться способом повышения производительности вакуум-фильтра при соблюдении заданной влажности осадка.

### **Список литературы**

1. Воловиков, А.Ю. Экспериментальная установка для исследования процесса обезвоживания железорудного концентрата с использованием вакуумных дисковых фильтров / А.Ю. Воловиков. – Режим доступа: [http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/8/300-303\\_Volovikov2-8-2013.pdf](http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/8/300-303_Volovikov2-8-2013.pdf)

2. Анпилов, А.О., Еременко, Ю.И., Модернизация системы управления вакуум-фильтра обогатительной фабрики. Сборник трудов по материалам научно-практической конференции "Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития". – Тамбов: ООО "ЮКОМ", 2015. – Т.2. – С.18-19.

3. Гольберт, Ю.С., Обезвоживание концентратов черных металлов/ Ю.С. Гольберт, А.А. Гонтаренко. – М.: Недра, 1986. – 182 с.

УДК 004.032.26 + 519.876.2

## **О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

**Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Супруненко В.В.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС»,  
Старый Оскол*

*cx@hotbox.ru*

***Аннотация.** В статье описаны проблемы управления процессом выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи, особенности операторского управления, предложено использование нейронной сети для автоматического определения состояния объекта.*

***Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь, операторский контроль и управление, состояние объекта управления, искусственная нейронная сеть.*

## **ON THE APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGY TO DETECT THE STATE OF ELECTRIC ARC FURNACE**

**Eremenko Y.I., Khalapyan S.Y., Suprunenko V.V.**

[cx@hotbox.ru](mailto:cx@hotbox.ru)

**Abstract.** *The article describes issues of the control of steel production in electric arc furnace, characteristics of the operator's control, proposed the use of neural network to automatically detect the state of the control object.*

**Keywords:** *arc steel furnace, operator's control and monitoring, the state of the control object, an artificial neural network.*

Автоматизированные системы управления современными сложными технологическими объектами (ТОУ) строятся в большинстве своем по иерархическому принципу. Задачи верхнего уровня управления в таких системах традиционно решаются с участием оперативного персонала. При этом степень вовлеченности оператора в процесс управления определяется в первую очередь сложностью технологического объекта, невозможностью создания его математической модели, с помощью которой в режиме реального времени может осуществляться расчет оптимальных заданий для локальных контуров регулирования [1].

Другой причиной активного участия оператора в управлении является несовершенство используемой измерительной подсистемы АСУ ТП. В ряде случаев имеющихся датчиков недостаточно для корректного определения состояния ТОУ с целью раннего обнаружения его выхода за пределы безопасного и наиболее эффективного режима функционирования. В этом случае одним из источников информации об объекте может стать сам оператор.

Примером такой системы является АСУ ТП выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи (ДСП). Одним из важнейших условий своевременного выявления нарушений в работе объекта и поддержания на высоком уровне его производительности и энергоэффективности является операторский контроль за ходом технологического процесса. При этом значительную роль в осуществлении такого контроля играет непосредственное визуальное наблюдение за объектом, которое оператор (сталевар) осуществляет через смотровое окно, а также восприятие им звуковых (шумовых) характеристик ТОУ – гула дуговой печи.

В результате качество операторского контроля и управления, правильность и своевременность принимаемых решений, а, следовательно, надежность и эффективность

функционирования ДСП находятся в непосредственной зависимости от опыта оператора, его внимательности, состояния здоровья и т.п. [2]. Значительный объем поступающей информации, высокая степень ответственности оператора за принимаемые решения приводят порой к ошибкам, которые традиционно объясняются так называемым человеческим фактором.

Таким образом, с одной стороны, оператор безусловно необходим для обеспечения адекватного функционирования ДСП, с другой – высокая степень вовлеченности человека в процесс управления снижает показатели безопасности и эффективности технологического объекта.

Выходом из сложившейся ситуации является, по мнению авторов, дополнение комплекса технических средств АСУ ТП средствами ввода аудиовизуальной информации. Однако, сама по себе установка видеокамеры и микрофона, разумеется, не решит проблемы. Необходимо «научить» систему управления подобно опытному сталевару в монотонном гуле печи различать отдельные спектральные составляющие, соответствующие различным нарушениям технологии, в постоянно меняющемся изображении определять смены состояния ТООУ и стадии процесса выплавки стали.

В настоящее время одним из наиболее практически применимых способов обучения технической системы является использование технологии искусственных нейронных сетей (ИНС) [3]. Задачи распознавания образов, подобные рассматриваемой в настоящей статье, успешно решаются с помощью ИНС.

Для реализации интеллектуальной системы управления либо, по крайней мере, подсистемы определения состояния ДСП предлагается, в первую очередь, организовать сбор ретроспективной информации о работе ТООУ (обучающей выборки), которая должна включать аудиовизуальную информацию об объекте и комментарии сталевара обо всех изменениях состояния печи и/или его действия, соответствующие таким изменениям, протоколируемые системой визуализации технологического процесса.

### **Список литературы**

1. Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю., Невзоров А.А. О проблемах решения задачи автоматизированного управления шахтной печью на основе создания тренажера оператора. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2014. № 3 (305). С. 38-44.

2. Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю., Невзоров А.А. О построении нейросетевой поведенческой модели оператора, управляющего тепловыми агрегатами. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2014. № 2. С. 20-25.
3. Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Ярмуратий Д.Ю. Пути повышения эффективности операторского управления на основе нейросетевых технологий.// Молодой вчений. 2015. №2 (17). С. 45-47

УДК 53.072;53:681.3

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАДИАЦИОННОГО ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ГЕРМАНИИ, ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ**

**Ефимов А.К.<sup>1</sup>, Купчишин А.И.<sup>2</sup>, Купчишин А.А.<sup>2</sup>, Шмыгалев Е.В.<sup>2</sup>, Ходарина Н.Н.<sup>2</sup>,  
Шмыгалева Т.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *СТИ НИТУ «МИСиС», Россия, Старый Оскол,*

<sup>2</sup> *Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Казахстан, Алматы*

<sup>3</sup> *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы*

[shmyg1953@mail.ru](mailto:shmyg1953@mail.ru)

***Аннотация.** Работа проведена в рамках каскадно-вероятностного метода. В работе произведен подбор аппроксимационных коэффициентов для выражений, описывающих сечения взаимодействия, рассчитаны каскадно-вероятностные функции для ионов в германии, концентрации радиационных дефектов при энергиях налетающей частицы 100, 200, 500, 800, 1000 КэВ. В качестве мишени взят германий. Выявлены закономерности нахождения области результата каскадно-вероятностных функций, концентрации радиационных дефектов при ионном облучении.*

***Ключевые слова:** вещество; радиационные дефекты; германий; алюминий; кислород; аппроксимация; зависимость; концентрация.*

## **COMPUTER MODELING FOR RADIATION DEFECT FORMATION PROCESSES IN GERMANIUM, IRRADIATED WITH IONS**

**Efimov A.K.<sup>1</sup>, Kupchishin A.I.<sup>2</sup>, Kupchishin A.A.<sup>2</sup>, Shmygalev E.V.<sup>2</sup>, Hodarina N.N.<sup>2</sup>,  
Shmygaleva T.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Stary Oskol Technological Institute (branch) NUST "MISIS", Stary Oskol*

<sup>2</sup> *Abay Kazakh National pedagogical university, Kazakhstan, Almaty*

<sup>3</sup> *al-Farabi Kazakh National university, Kazakhstan, Almaty*

**Abstract.** *Work is carried out within a cascade and probabilistic method. In work selection on approximating coefficients is made for the expressions describing interaction sections cascade and probabilistic functions for ions in germanium, concentration on radiation defects are calculated at the energies of the flying particle 100, 200, 500, 800, 1000 KEV. As a target it is taken germanium. Cascade and probabilistic functions area result finding regularities, radiation defects concentration are revealed at ionic radiation.*

**Keywords:** *substance; radiation defects; germanium; aluminum; oxygen; approximation; dependence; concentration.*

Германий чрезвычайно ценный для человека элемент таблицы Менделеева. Его уникальные свойства, как полупроводника, позволили создать диоды, широко используемые в различных измерительных приборах и радиоприемниках. Он нужен для производства линз и оптического волокна. Однако технические успехи это часть достоинств этого элемента. Органические соединения германия обладают редкими терапевтическими свойствами, оказывая широкое биологическое воздействие на здоровье и самочувствие человека, а эта особенность дороже любых драгоценных металлов.

Данная работа проведена в рамках каскадно-вероятностного метода [1]. В работе произведен подбор аппроксимационных коэффициентов для выражений, описывающих сечения взаимодействия, рассчитаны каскадно-вероятностные функции, концентрации радиационных дефектов при энергиях налетающей частицы 100, 200, 500, 800, 1000 КэВ. В таблице 1 выборочно приведены аппроксимационные параметры для фтора в германии.

Таблица 1. Аппроксимационные значения для фтора в германии

$E_0$	$\sigma_0 \cdot 10^8$	a	$E_0'$	k	$\eta$
1000	0,14926	0,093521	1,4431	617,02	0,997
800	0,0059459	0,005307	0,88271	456,51	0,999

500	0,71615	0,42859	0,78355	611,24	0,993
200	0,29104	0,051386	1,1988	2272,2	0,993
100	0,21988	0,58564	0,039182	149,13	0,999

Результаты расчетов каскадно-вероятностных функций (КВФ) [1] от числа взаимодействий и глубины проникновения частиц для азота в германии приведены в таблицах 2,3.

Таблица 2. Зависимость % смещения левой и правой границ области результата от числа взаимодействий для азота в германии: а)  $E_0 = 1000$  кэВ; б)  $E_0 = 800$  кэВ; в)  $E_0 = 500$  кэВ

$h * 10^4$ , см	$B_1, \%$	$B_2, \%$	$N_n$	$B_3, \%$
1	50	55	15	105
4	33,3	12	31	45,3
7	35	-5	40	30
10	39	-18	50	21
13	44,5	-29,5	66	15
16	51,2	-40,5	78	10,7
19	59	-51,5	95	7,5
22	68,4	-63,5	105	4,9
25	81,15	-79	130	2,15

а)

$h * 10^4$ , см	$B_1, \%$	$B_2, \%$	$N_n$	$B_3, \%$
1	46	51	15	97
4	33	8	35	41

7	36	-11	45	25
10	42	-25	65	17
13	49,5	-38,5	76	11
16	59	-52	86	7
19	70,9	-66,6	110	4,3
22	89,64	-88,65	155	0,99

б)

$h * 10^4$ , см	$B_1, \%$	$B_2, \%$	$N_n$	$B_3, \%$
1	34,3	30,4	24	64,7
3	28	5	40	33
5	31,6	-10	57	21,6
7	38	-23	72	15
9	46,4	-36	88	10,4
11	56,6	-48,5	105	8,1
13	70,2	-66,5	129	3,7

в)

Таблица 3. Зависимость процента смещения левой и правой границ области результата от глубины проникновения для углерода в германии: а)  $E_0 = 1000$  кэВ; б)  $E_0 = 500$  кэВ

$h * 10^4$ , см	$h/\lambda$ , см	$C_1, \%$	$C_2, \%$	$N_h$	$C_3, \%$
1	120	45	70	5	115
4	590	12	38	20	50
7	1286	-4,5	38	40	33,5

10	2354	-17	38	65	21
13	4095	-25,2	37	110	11,8
16	7264	-28,5	34	277	5,5
19	14410	-23,26	24,3	1500	1,04

a)

$h \cdot 10^4$ , см	$h/\lambda$ , см	$C_1$ , %	$C_2$ , %	$N_h$	$C_3$ , %
1	253	30,4	50	10	80,4
3	939	4,5	35	25	39,5
5	1992	-10,3	35	50	24,7
7	3729	-22	36	90	14
9	6961	-27,8	34,5	205	6,7
11	14641	-23,75	24,9	1100	1,15

б)

Здесь  $V_1$  - процент смещения левой границы области от  $h/\lambda$ ,  $V_2$  процент смещения правой границы от  $h/\lambda$ ,  $V_3$  процент внутренней области результата,  $C_1$  - процент смещения левой границы области от  $h$ ,  $C_2$  - правой границы,  $C_3$  - процент внутренней области результата.

Выявлены закономерности, возникающие при расчете КВФ, спектров первично-выбитых атомов и концентрации радиационных дефектов для германия, облученного легкими ионами. При расчете КВФ с учетом потерь энергии для ионов и концентрации радиационных дефектов приходится находить реальную область нахождения результата, которая ведет себя по-разному в зависимости от различных факторов. Например, область результата КВФ, рассчитанная в зависимости от числа взаимодействий сужается и смещается влево, от глубины проникновения сужается и смещается вправо. Были найдены реальные области нахождения результата для налетающих легких ионов в германии и выявлены закономерности поведения этой области в зависимости от первоначальной энергии

первичной частицы, глубины проникновения, атомного номера мишени. Отметим некоторые из них.

1. При малом атомном весе налетающей частицы, малых глубинах максимальное значение КВФ достигается примерно при  $h/\lambda$ . С увеличением глубины наблюдения область результата начинает смещаться влево от соответствующего  $h/\lambda$  сужаться, на конце пробега сильно сужается.

2. С уменьшением первоначальной энергии (налетающая частица и мишень одна и та же) при одной и той же глубине область результата значительно сужается и смещается влево.

Закономерности поведения области результата в зависимости от глубины проникновения аналогичные, только область результата смещается вправо.

Результаты расчетов концентрации радиационных дефектов при облучении германия ионами углерода представлены на рисунках 1, 2.

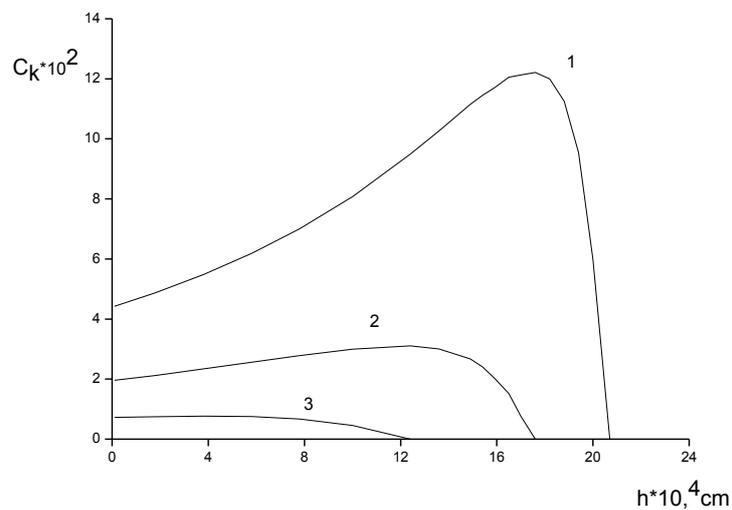


Рис.1. Зависимость концентрации радиационных дефектов от глубины при ионном облучении для углерода в германии при  $E_0=1000$ ,  $E_c=50$  (1), 100 (2), 200 (3) кэВ

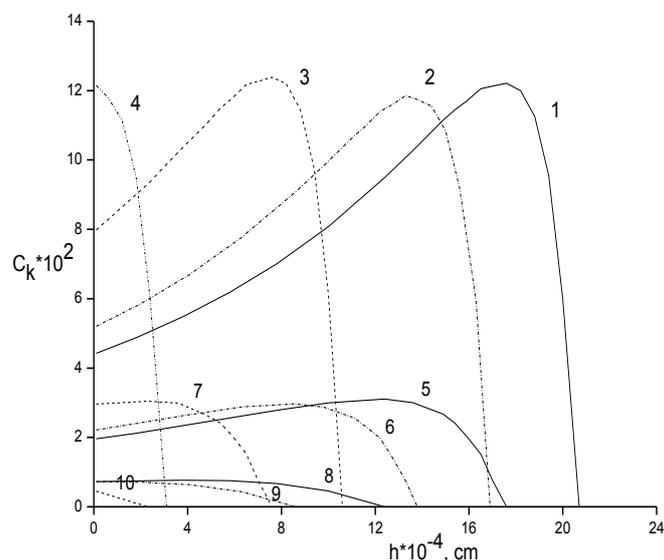


Рисунок 2. Зависимость концентрации радиационных дефектов от глубины при ионном облучении для углерода в германии при  $E_c=50$  кэВ ;  $E_0= 1000, 800, 500, 200$  кэВ (1-4);  $E_c=100$  кэВ при  $E_0= 1000, 800, 500$  кэВ (5-7);  $E_c=200$  кэВ при  $E_0= 1000, 800, 500$  кэВ (8-10)

Нахождение области результата концентрации радиационных дефектов при ионном облучении позволило выявить следующие закономерности:

1. С уменьшением первоначальной энергии первичной частицы интервал области результата смещается вправо, значения концентрации радиационных дефектов возрастают.

2. В зависимости от глубины проникновения начальное и конечное значения числа взаимодействий увеличиваются, интервал области результата ( $n_0n_1$ ) также увеличивается и смещается вправо.

3. С увеличением атомного номера налетающей частицы интервал области результата значительно смещается вправо и увеличивается, значение концентрации в точке максимума и сами значения концентраций сильно увеличиваются.

6. Если атомный вес налетающей частицы намного меньше атомного номера мишени, то концентрация радиационных дефектов обращается в ноль при энергиях значительно больших пороговой энергии. Как правило, обращение в ноль происходит при  $E_1=50, 60$  кэВ для концентрации, рассчитанной при  $E_c=50$  кэВ.

## Список литературы

1. Э.Г. Боос, А.И. Купчишин, А.А. Купчишин, Е.В.Шмыгалев, Т.А.Шмыгалева. Каскадно-вероятностный метод. Решение радиационно-физических задач, уравнений Больцмана. Связь с цепями Маркова.- Алматы, КазНПУ им. Абая, НИИ НХТ и М им. аль-Фараби, ТОО «КАМА», 2015.-388 с.

УДК 53.072;53:681.3

### **ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КАСКАДНО-ВЕРОЯТНОСТНЫХ ФУНКЦИЙ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ЭЛЕКТРОНАМИ, ПРОТОНАМИ, АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ И ИОНАМИ**

**Ефимов А.К.<sup>1</sup>, Купчишин А.И.<sup>2</sup>, Купчишин А.А.<sup>2</sup>, Шмыгалев Е.В.<sup>2</sup>, Ходарина Н.Н.<sup>2</sup>, Шмыгалева Т.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *СТИ НИТУ «МИСиС», Россия, Старый Оскол,*

<sup>2</sup> *Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Казахстан, Алматы*

<sup>3</sup> *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы*

[shmyg1953@mail.ru](mailto:shmyg1953@mail.ru)

*Аннотация.* В работе рассмотрены сложности, возникающие при подборе аппроксимационного выражения, описывающего сечения взаимодействия, при расчете каскадно-вероятностных функций с учетом потерь энергии для электронов, протонов, альфа-частиц и ионов, концентрации радиационных дефектов при электронном, протонном, альфа и ионном облучениях и указаны пути их устранения.

*Ключевые слова:* сечение; радиационные дефекты; электрон; протон; альфа-частица; ион; аппроксимация; зависимость; концентрация; энергия.

### **CASCADE AND PROBABILISTIC FUNCTIONS CALCULATION FEATURES AND RADIATION DEFECTS CONCENTRATION AT SOLID BODY ELECTRONS, PROTONS, ALPHA PARTICLES AND IONS RADIATION**

**Efimov A.K.<sup>1</sup>, Kupchishin A.I.<sup>2</sup>, Kupchishin A.A.<sup>2</sup>, Shmygalev E.V.<sup>2</sup>, Hodarina N.N.<sup>2</sup>, Shmygaleva T.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Sary Oskol Technological Institute (branch) NUST "MISIS", Sary Oskol*

<sup>2</sup> *Abay Kazakh National pedagogical university, Kazakhstan, Almaty*

<sup>3</sup> *al-Farabi Kazakh National university, Kazakhstan, Almaty*

**Abstract.** *In work the difficulties arising at selection the approximating expression describing interaction sections at calculation cascade and probabilistic functions taking into account energy losses for electrons, protons, alpha particles and ions, radiation concentration defects at electronic, proton, an alpha and ionic radiations are considered, their elimination ways are specified.*

**Keywords:** *section; radiation defects; electron; proton; alpha particle; ion; approximation; dependence; concentration; energy.*

При расчете каскадно-вероятностных функций и подборе аппроксимационных кривых появляются различные особенности в поведении этих функций. Отметим некоторые из них.

Для электронов практически для всех элементов (в особенности для тяжелых) кривые, рассчитанные по формуле Мак-Кинли-Фешбаха, имеют незначительно выраженный максимум, в то время как наша аппроксимационная кривая имеет вид убывающей зависимости. Для того, чтобы исходные кривые достаточно хорошо приближались к аппроксимационным, необходимо:

во-первых, задать начальные данные  $\sigma_0$ ,  $c$ ,  $b$  наилучшим образом, а это не всегда просто, приходится учитывать особенности каждой кривой;

во-вторых, если количество точек для первоначальных кривых мало, приходится увеличить их число с помощью расчета по формулам (5.22) и (5.24) из [1], но уже с меньшим шагом. С увеличением первоначальной энергии частицы для электронов значение функции в максимуме увеличивается (и появляется даже для легких элементов), следовательно, усложняется подбор аппроксимационных кривых.

Для электронов при энергии ниже пороговой в рамках наших предположений не происходит процесс дефектообразования, поэтому при аппроксимации это тоже необходимо учитывать. Кроме того, при малых значениях первоначальной энергии необходимо иметь нужное количество точек, достаточных для использования метода наименьших квадратов.

При расчете на ЭВМ КВ-функций с учетом потерь энергии для электронов возникают также трудности, связанные с особенностями этих функций. Так, например, для больших значений числа столкновений  $n$ , отдельные члены КВ-функций дают переполнение и производить вычисление непосредственно по формулам (5.16) и (5.17) из [1] невозможно. В таких случаях используются специальные формулы (5.26) – (5.29) из [1], позволяющие рассчитывать эти функции.

Еще одной важной особенностью является то, что расчеты простейших КВФ и КВ-функций с учетом потерь энергии необходимо производить с двойной точностью, так как использование обычной точности дает переполнение на ЭВМ.

При расчетах спектров ПВА, применяемых далее для вычисления концентрации дефектов при электронном облучении, формулу (5.34) непосредственно применять нельзя, так как нижний предел интегрирования равен 0, потому что возникающие при электронном облучении низкоэнергетические ПВА (средняя энергия  $\sim 100$  эв) не способны пройти большую глубину. Вероятность таких процессов практически равна нулю. Только ПВА, образованные на небольших расстояниях от глубины регистрации частиц, могут достичь  $h$ , в связи с чем в формуле (5.34) необходимо выбрать реальную область интегрирования.

Она, очевидно, должна иметь размер, сравнимый с длиной пробега ПВА. В первом приближении поэтому нижний предел интегрирования нужно взять не 0, а  $h_{min}=h-k\lambda_2$ , где  $k \gg 1$ .

При подборе аппроксимационных кривых для протонов и  $\alpha$ -частиц по формуле (6.1) возникают трудности, заключающиеся в конкретном анализе каждой кривой. Выбор оптимальных значений зависит от начальных данных, причем задавать здесь начальные данные значительно сложнее, чем для электронов, так как для протонов и  $\alpha$ -частиц имеем 4 аппроксимационных параметра. В дополнение к вышесказанному возникают ситуации, когда шаг по  $h$  сильно колеблется, он то мал, то велик, тогда аппроксимационные коэффициенты подобрать еще сложнее. В данном случае необходимо использовать приемы, позволяющие устранить возникающие особенности. В области малых значений первоначальной энергии частицы для протонов и  $\alpha$ -частиц процесс подбора аппроксимационных коэффициентов усложняется еще и тем, что шаг по  $h$  и сами значения глубин малы, тогда как значения сечений очень велики (особенно для  $\alpha$ -частиц). По сравнению с легкими, для тяжелых элементов, например для Мо, аппроксимационная кривая подбирается несколько легче. С

увеличением первоначальной энергии для протонов и  $\alpha$ -частиц подбор кривых осуществляется лучше.

При расчете на ЭВМ КВФ с учетом потерь энергии для протонов и альфа-частиц возникают аналогичные трудности, как и для электронов.

В отличие от электронов, протонов и  $\alpha$ -частиц процесс взаимодействия ионов с веществом и их прохождение через вещество является задачей еще более сложной как при создании физической, так и математической моделей [1]. Прежде всего это объясняется катастрофическим увеличением сечения взаимодействия с электронами и атомами среды. При этом глубина проникновения ионов в материалы с увеличением массы налетающих частиц резко уменьшается. При расчетах каскадно-вероятностных функций в этом случае надо применять специальные методы и приемы. Набор типов налетающих частиц и мишеней представляет собой огромное количество элементов. При этом можно рассматривать различные ситуации, когда массовое число налетающих ионов  $A_1$  меньше массового числа мишени  $A_2$ , т.е.  $A_1 < A_2$ , случай, когда  $A_1$  становится соизмеримым с  $A_2$ , и наконец, совсем уникальные процессы, при  $A_1 > A_2$ . Как показывает предварительный анализ, все эти случаи необходимо учитывать - в каждом из них проявляются свои закономерности.

Кроме этого, с помощью определенного сорта налетающих частиц в конкретном материале можно формировать наперед заданную структуру и химические соединения довольно устойчивые в широком интервале температур. Естественно, что при этом и физико-химические свойства таких веществ будут отличаться от исходных.

При подборе аппроксимационных кривых возникают некоторые особенности и сложности. Отметим их.

1. Основная сложность заключается в подборе коэффициентов аналитического выражения, описывающего рассчитанные сечения взаимодействий.

2. После выбора аппроксимационной формулы в левой части выражения имеем значения сечений, порядки которых возрастают пропорционально атомному весу от  $10^7$  до  $10^{11}$ , а в правой части имеются очень малые значения глубин от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$  см., причем с увеличением сечения взаимодействия глубины уменьшаются еще сильнее. Эта сложность реализуется следующим образом: обе части подобранного аппроксимационного выражения делим на коэффициент  $10^n$ , где  $n$  - порядок масштабирования. Например, для азота, титана, кремния, меди, серебра, золота в титане  $n=7$ ; для золота в титане, кремнии, серебре, меди

$n=10$ , для золота в золоте  $n=11$ . Значение  $n$  зависит от атомного веса налетающей частицы, но не зависит от атомного номера мишени. Необходимо выбрать  $n$  таким образом, чтобы аппроксимационная формула наилучшим образом описывала рассчитанные значения сечений, т.е. чтобы было как можно выше теоретическое корреляционное отношение.

3. Поскольку шаг по глубине неравномерен, необходимо достаточно хорошо задать начальные данные  $\sigma_0, a, E_0, k$ . Процесс подбора аппроксимационной кривой может состоять из нескольких этапов, включающих в себя последовательное улучшение коэффициентов аппроксимации, пока теоретическое корреляционное отношение не будет достаточно высоко.

Для того, чтобы рассчитать каскадно-вероятностную функцию с учетом потерь энергии для ионов в зависимости от числа взаимодействий и глубины проникновения, необходимо найти область нахождения результата и выявить закономерности поведения этой области. Также необходимо найти шаг для расчета КВФ и определить закономерности его поведения.

Для расчета концентрации радиационных дефектов при ионном облучении также необходимо найти реальную область нахождения результата и получить закономерности поведения этой области.

### Список литературы

1. Э.Г. Боос, А.И. Купчишин, А.А. Купчишин, Е.В.Шмыгалев, Т.А.Шмыгалева. Каскадно-вероятностный метод. Решение радиационно-физических задач, уравнений Больцмана. Связь с цепями Маркова.- Алматы, КазНПУ им. Абая, НИИ НХТ и М им. аль-Фараби, ТОО «КАМА», 2015.-388 с.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ И КОНТРОЛЯ ДОПУСКА НА ОСНОВЕ RFID-ТЕХНОЛОГИИ

**Козырь О.Ф., Кривоносов В.А.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) Национального  
исследовательского технологического университета "МИСиС", Старый Оскол, Россия*

*kozyr\_o@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы разработки варианта автоматизированной системы учета рабочего времени и контроля доступа на основе технологии радиочастотной идентификации.

**Ключевые слова:** учет отработанного времени, автоматизированная система учета рабочего времени, технология радиочастотной идентификации (RFID).

## AUTOMATED SYSTEM FOR TIME ATTENDANCE AND ACCESS CONTROL BASED ON RFID TECHNOLOGY

**Kozyr' O.F., Krivonosov V.A.**

*Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) of National University of Science  
And Technology "MISiS", Stary Oskol, Russia*

*kozyr\_o@mail.ru*

**Abstract.** The article discusses an option of automated system of time attendance and access control based on RFID technology.

**Keywords:** accounting of worked time, automated system of accounting of working time, the technology of radio frequency identification (RFID).

### **Введение**

Автоматизированная система любого предприятия должна включать систему учета рабочего времени и контроля доступа (СУРВ), которая решает ряд важных для предприятия задач. К ним относятся: укрепление трудовой дисциплины, предоставление руководству оперативной информации о местонахождении каждого сотрудника и количестве отработанного им времени для объективной оценки его вклада в бизнес компании, рост уровня мотивации персонала, упрощение процедур планирования и формирования отчетности, обеспечение защиты материальной и информационной собственности компании,

контроля проникновения сотрудников и посторонних лиц на территорию предприятия или в его специальные помещения и другие.

Предприятие может интегрировать в свою автоматизированную информационную систему уже готовое решение СУРВ, заказать ее разработку сторонним фирмам, специализирующихся на разработке и эксплуатации подобных систем, или при наличии квалифицированного ИТ-персонала создать СУРВ собственными силами [1].

Однако использование системы контроля рабочего времени и организации доступа наряду с неоспоримыми преимуществами имеет и неприятную сторону. Так, например, некоторые сотрудники испытывают дискомфорт от ощущения закрытого пространства или ограничения свободы их перемещения, что негативно сказывается на психологическом климате предприятия.

Поэтому к внедрению СУРВ на предприятии следует относиться со всей ответственностью и учитывать не только финансовые возможности, но и специфику предприятия. В случае, если бизнес-процессы не требуют от сотрудников жесткого регламента работы или строжайшего обеспечения безопасности и секретности информации, то для реализации системы учета рабочего времени может быть рассмотрен и предлагаемый в данной статье вариант.

### **Особенности функционирования СУРВ на основе технологии радиочастотной идентификации**

За последние годы СУРВ на базе технологии радиочастотной идентификации (RFID) получили широкое распространение, поскольку при минимальных затратах позволяют практически полностью автоматизировать контроль доступа сотрудников на территорию предприятия [2]. Учет фактического отработанного времени и мониторинг перемещения каждого сотрудника производится за счет фиксации абсолютно всех его приходо-выходов, для чего применяются современные системы идентификации. Установленные рядом со входом на ограниченную территорию считывающие устройства на основе идентификации носителей информации (меток) разрешают или запрещают проникновение на эту территорию, а также регистрируют моменты пересечения ее границы. Технология RFID позволяет осуществлять распознавание объектов на расстоянии до 150 метров без участия человека, идентифицировать движущиеся объекты, одновременно считывать информацию с

нескольких меток, не требует прямого контакта метки со считывателем и прямой ее видимости [2].

В качестве идентификатора (идентификационной метки) в основном используются бесконтактные (Proximity, RFID) карты доступа (электронные пропуска с уникальным цифровым кодом), которые включают в себя антенну и микросхему. Микросхема содержит приёмно-передающее устройство, память и криптографический процессор. Антенна необходима для приёма и передачи высокочастотной электромагнитной энергии от метки к считывающему устройству. Карты срабатывают на расстоянии, не требуют точного позиционирования, обладают невосприимчивостью к внешним воздействиям, длительным сроком эксплуатации, возможностью перезаписывания и высокой степенью защиты от подделки [3]. Карты доступа могут быть также выполнены в виде бейджиков, браслетов или брелоков. Они выдаются всем сотрудникам и содержат необходимую информацию о владельце, в том числе и его уникальный (идентификационный) номер. Как только сотрудник, имеющий при себе RFID-метку, проходит мимо считывателя, тот переносит информацию с метки в базу данных, хранимую на сервере, где также автоматически фиксируется соответствующее время. На основе полученных со считывающего устройства данных производится расчет фактически отработанного времени за определенные дату или период конкретным сотрудником с учетом его графика работы. На основании результатов расчета и предоставленных работником документов (заявления, больничного листа, справки и др.) формируются табель и различные отчетные документы, в том числе и отчет о переработанном или недоработанном времени, а также производится анализ причин нарушения трудовой дисциплины. Технологическая схема СУРВ представлена на рисунке 1.

### **Аппаратная реализация СУРВ, основанной на RFID-технологии**

Надежность работы системы и её функциональность во многом определяются используемым в ней оборудованием. Для аппаратной реализации системы необходимы следующие технические средства:

- рабочие места (компьютеры, оснащенные соответствующим программным обеспечением), которые должны быть соединены с сервером;
- считыватель (для считывания идентификационного номера с RFID меток);
- конвертер (при необходимости);
- блок питания;
- антенны для считывателя;

- идентификационные метки.

Наиболее предпочтительны считыватели, работающие на ультравысоких частотах (UHF- считыватели), которые обладают рядом преимуществ, например, антиколлизией. К тому же они не имеют четких границ считываемого поля, что затрудняет передачу идентификаторов среди сотрудников. В настоящее время на рынке представлено множество UHF-считывателей, различающихся или обладающих примерно равными возможностями: Motorola XR480-RD11410-16118121ER, IMPINJ Speedway Revolution R420 и Alien ALR-9680.

Использование двух дополнительных антенн на вход и на выход для считывателя позволит автоматически определять тип события (вход или выход) и направление по порядку чтения метки антеннами. Это происходит следующим образом. В момент появления метки в зоне ее действия антенна, до этого находясь в режиме ожидания, передает сигнал считывающему устройству. Если первой зафиксировала данные антенна №1, и ее сигнал подтверждается сигналом антенны №2, то формируется событие «Вход», которое вместе с идентификационным номером воспринимаются считывателем и записываются в его внутреннюю память. Там они хранятся до запроса на выгрузку. Алгоритм считывания данных представлен на рисунке 2.

Передачу считанного идентификационного номера на сервер, где находится база данных, считыватель осуществляет по USB, соединяющего порты UHF-считывателя и компьютера. Если считыватель не имеет USB-интерфейса, то для преобразования передаваемых считывателем данных необходим конвертер.

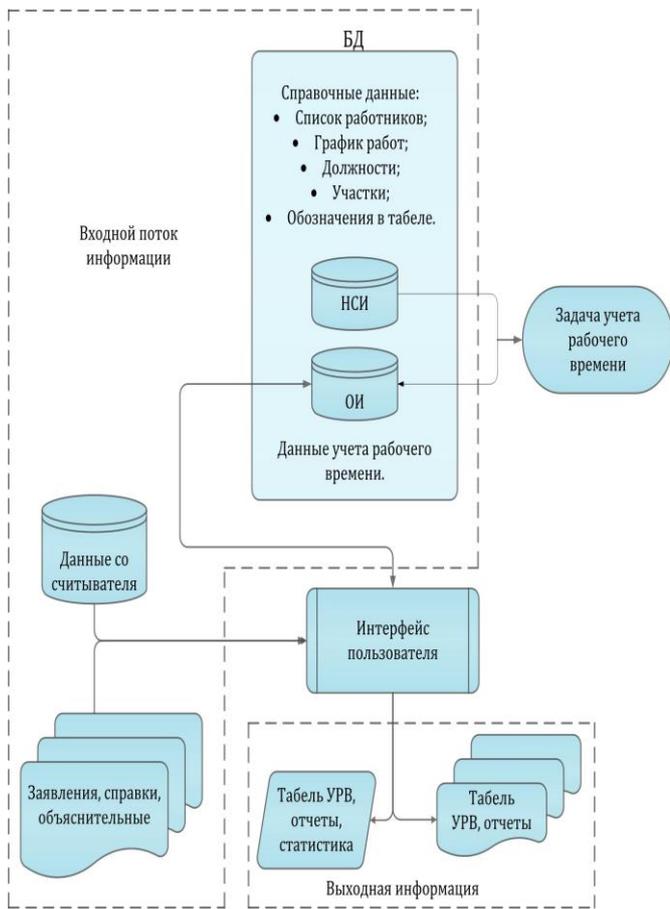


Рисунок 1 – Технологическая схема СУРВ

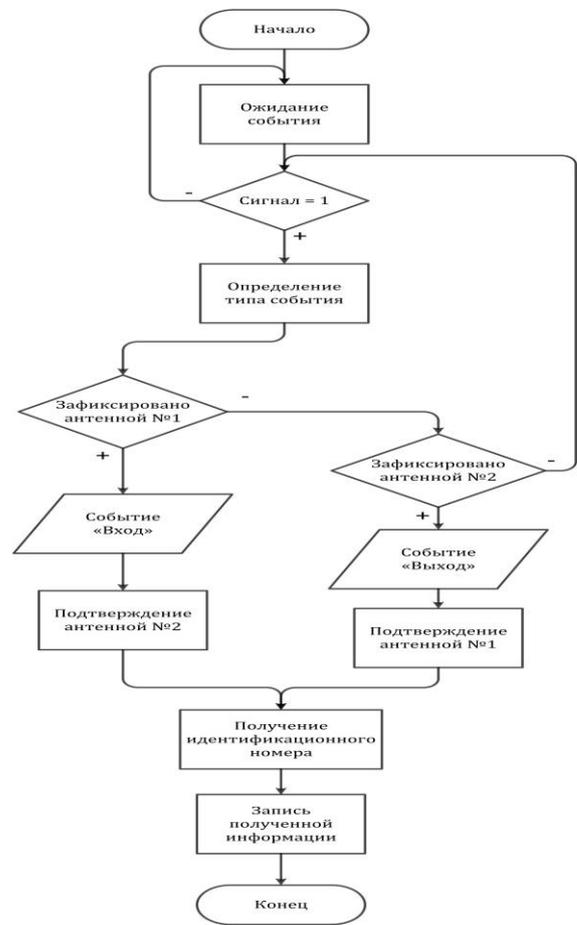


Рисунок 2 - Алгоритм считывания данных

На рисунке 3 представлен один из вариантов размещения оборудования СУРВ.

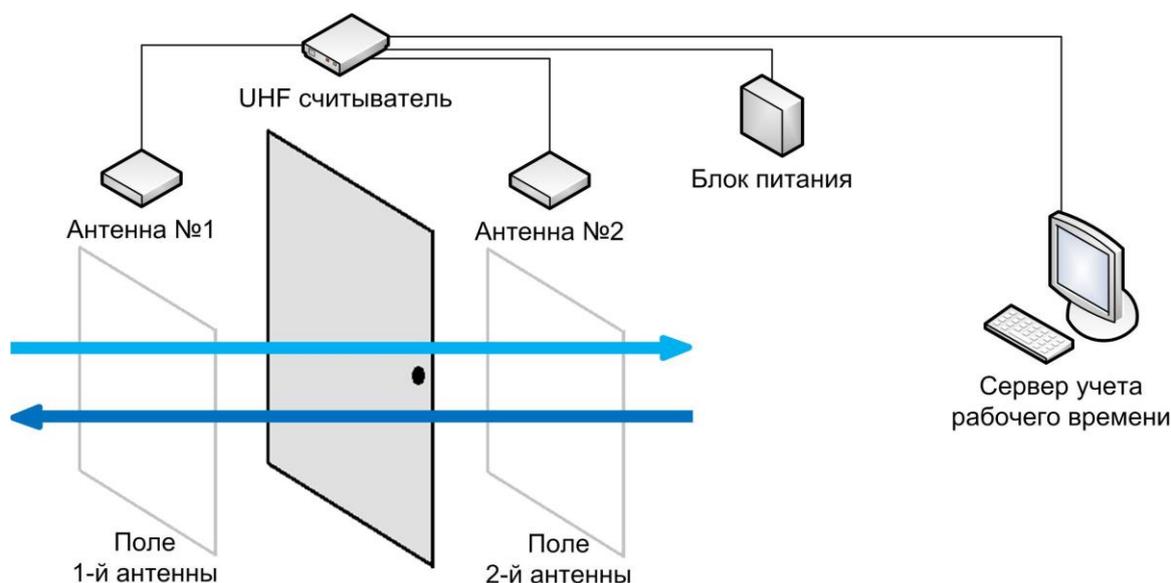


Рисунок 3 - Схема установки оборудования СУРВ

Блок питания обеспечивает резервированное питание считывателя, что позволяет ему работать в автономном режиме некоторое количество времени. Блок питания может быть встроенным в считыватель или внешним по отношению к нему устройством.

### **Программное обеспечение СУРВ (ПО СУРВ)**

Именно специализированное ПО делает СУРВ тем, чем она является. Оно отвечает за выполнение всех функций системы и решение всех ее задач: за фиксацию и хранение данных, их обработку, формирование отчетности, накопление статистики, проведение анализа. Оно может быть приобретено у сторонних фирм-разработчиков или создано силами ИТ-сотрудников предприятия.

Так как в большинстве случаев тиражируемые СУРВ представляют собой открытые модульные системы, то практически всегда возможна программная интеграция устанавливаемой системы учета времени с существующей на предприятии ERP-системой или хотя бы с программой расчета зарплаты, а также совершенствование ее функциональности.

## **Заключение**

Разумно организованная система, основанная на активном RFID, позволяет вести учёт рабочего времени быстро и точно, сделать условия труда сотрудников компании более комфортными, обеспечить сохранность собственности предприятия и решить еще множество задач, способствующих успеху бизнеса.

## **Список литературы**

1. Евдокимов Д. Е. ОБЗОР: Системы учета рабочего времени [Электронный ресурс]/ Д. Е. Евдокимов – Режим доступа: <http://www.aktivsb.ru/info377.html>
2. Системы контроля доступа, перемещения товаров и другие сферы применения RFID технологии [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://gigabaza.ru/doc/120501.html>
3. Алешин А.П. Техническое обеспечение безопасности бизнеса./ А.П. Алешин - М.: Дашков и К, 2010. – 136 с.

УДК 519.711.3

## **ВЫБОР КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

**Кривоносов В.А., Козырь О.Ф.**

*Старооскольский технологический институт имени А.А. Угарова (филиал)  
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Россия,  
Старый Оскол*

[kozyrj-o@yandex.ru](mailto:kozyrj-o@yandex.ru)

***Аннотация.** Рассматриваются критерии качества функционирования систем автоматического регулирования (САР) технологических параметров. Показано, что при выборе критерия необходимо учитывать режимы работы САР, характер возмущения, требования к поведению регулируемой величины и управляющего воздействия.*

***Ключевые слова:** Система автоматического регулирования; критерий качества; тестовый сигнал; настройка регулятора.*

# CHOOSING QUALITY CRITERIA FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS

Krivososov V.A., Kozyr O.F.

Ygarov Stary Oskol technological institute (branch) National research technological university «MISIS», Russia, Stary Oskol

[kozyrj-o@yandex.ru](mailto:kozyrj-o@yandex.ru)

**Abstract.** The technological parameters quality criteria for automatic control system functioning (ACS) are considered. It is established that it's essential to take into consideration ACS work modes, the nature of disturbance, controlled value and control input behaviour requirements, when choosing the criterion.

**Keywords:** Automation control system; quality criterion; test signal; setup of regulator.

Системы автоматического регулирования (САР) технологическими параметрами являются одними из важнейших элементов современных АСУ ТП. Успешная работа контуров регулирования основных технологических параметров во многом определяет эффективность функционирования автоматизированной системы и производства в целом. Структура типового контура регулирования может быть представлена схемой, приведенной на рисунке 1, где  $y^*(t)$ ,  $y(t)$  - желаемое и текущее значения регулируемой величины;  $u(t)$ ,  $f(t)$  - управляющее и возмущающее воздействия;

$\eta(t)$  - погрешность измерения выхода;  $\varepsilon(t)$  - сигнал рассогласования.

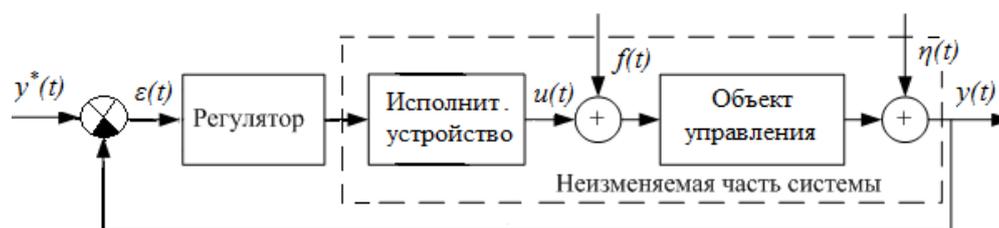


Рис.1 – Структура типового контура автоматического регулирования

При решении задач анализа и синтеза САР исследование свойств системы осуществляется по трем основным направлениям:

1. Устойчивость режимов или системы в целом;
2. Точность в установившихся режимах;
3. Качество САР в переходных режимах при обработке задающего воздействия и подавлении возмущения ;

#### 4. Грубость (робастность) системы.

Устойчивость и грубость линейных САР обеспечивается расположением корней характеристического уравнения в левой полуплоскости комплексной плоскости на достаточном удалении от мнимой оси. Так, например, в САР, синтезированных в рамках модального управления [1, 2], гарантируется желаемое расположение корней. Точность системы в установившихся режимах достигается правильным выбором структуры регулятора.

Обоснованный выбор исследуемых переходных режимов и тестовых входных сигналов  $y^*(t)$  и  $f(t)$ , в общем случае, является далеко не тривиальной задачей. При ее решении необходимо учитывать наиболее распространенный и наиболее сложный для отработки вид задающего воздействия  $y^*(t)$ , возможный характер возмущения  $f(t)$ , требования к поведению САР по выходу  $y(t)$  или по ошибке  $\varepsilon(t)$  регулирования, а также ограничения на управляющее воздействие  $u(t)$ .

Чаще всего в качестве тестового задающего воздействия  $y^*(t)$  принимают ступенчатый или линейно нарастающий сигналы, которые, с одной стороны, широко распространены в практике управления, а с другой – являются достаточно сложными в отработке.

Выбор тестовых сигналов по каналу значительно сложнее, так как априорная информация о характере возмущений, действующих на реальные технологические процессы, как правило, весьма ограничена. Кроме того, возмущения очень часто являются нестационарными, и их вряд ли можно адекватно описать случайными процессами с устойчивыми вероятностными характеристиками [3]. В то же время, САР, настроенная на какое-то конкретное возмущение, может достаточно посредственно подавлять воздействия  $f(t)$  другого вида [3-5]. Поэтому проектировщики САР обычно предпочитают избегать “жесткой” настройки системы на какой-то один сигнал, а пытаются разрабатывать регуляторы, обеспечивающие высокое качество управления для широкого класса возмущающих воздействий [1-6].

Возмущения, являющиеся непрерывными или кусочно-непрерывными функциями достаточно широкого класса, могут быть аппроксимированы суммой членов ряда Фурье:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kt + b_k \sin kt). \quad (1)$$

Для линейных САР реакция системы на линейную комбинацию воздействий совпадает с такой же комбинацией реакций на каждое из воздействий (принцип

суперпозиции). Реакция на гармонические воздействия описывается частотными характеристиками. Амплитудная частотная характеристика (АЧХ)  $A(\omega)$  по каналу  $f(t) - y(t)$  или  $\dots$  показывает способность САР подавлять возмущения различного характера. Так, если для двух альтернативных систем

$$A_1(\omega) \leq A_2(\omega), \quad 0 \leq \omega \leq \omega_{\max}, \quad (2)$$

где  $\omega_{\max}$  - верхний предел полосы пропускания, то, очевидно, следует признать, что первая из систем лучше справится с любыми возмущениями. Если же, например,

$$A_1(\omega) \leq A_2(\omega), \quad 0 \leq \omega \leq \omega_1; \quad A_1(\omega) > A_2(\omega), \quad \omega_1 < \omega \leq \omega_{\max}, \quad (3)$$

то система 1 лучше подавляет низкочастотные, медленно меняющиеся возмущения, а система 2 высокочастотные.

Сторонники так называемой теории “ $H^\infty$  оптимизации” [4] считают, что хороший регулятор должен обеспечивать слабую зависимость АЧХ САР от частоты в полосе пропускания системы и предлагают оптимизировать настройки именно таких регуляторов.

В [5] предлагается находить возмущения  $\dots$ , наиболее неблагоприятные для данной САР, и настраивать регулятор на их эффективное подавление.

В настоящее время для анализа и синтеза САР все чаще применяются численные методы с использованием процедур имитационного моделирования системы [2, 3, 6]. При этом в качестве критерия эффективности функционирования САР может быть использован функционал вида

$$F = \sum_{i=0}^N \rho_i [A(i \times \Delta\omega)]^2, \quad N = \frac{\omega_{\max}}{\Delta\omega}, \quad (4)$$

где  $\Delta\omega$  - шаг вариации частоты;  $\rho_i$  - весовые коэффициенты.

Использование в функционале (4) квадрата АЧХ обеспечивает “повышенное внимание” к наиболее опасным для данной системы частотам. Весовые коэффициенты  $\rho_i$  позволяют учесть имеющуюся априорную информацию о спектральном составе возмущений  $f(t)$  для конкретных производственных условий. Значения  $\rho_i$  выбираются пропорционально величине амплитуды в спектре предполагаемого возмущения  $f(t)$ . При отсутствии такой информации все  $\rho_i$  принимаются равными 1. Оптимизация САР по такому критерию позволяет, с одной стороны, эффективно бороться с наиболее опасными возмущениями, а с другой – избежать жесткой настройки системы только на

одну конкретную частоту воздействия  $f(t)$ . Критерий  $F$  был использован авторами [3,6] в качестве оптимизирующего функционала для настройки параметров ПИД-регулятора, а также регулятора состояния динамической системы с наблюдателем. Результаты имитационного моделирования в среде Matlab показали, что настроенные таким образом регуляторы достаточно эффективно подавляют возмущающие воздействия с различным спектральным составом.

#### Список литературы

1. Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Робастное модальное управление динамическими системами // Автоматика и телемеханика.- 2002.- №5.- С. 41-55
2. Кривоносов В.А., Бабенков В.А. Система управления технологическими параметрами процесса производства экстракционной фосфорной кислоты // Информационные системы и технологии. – 2015. - №2. – С. 73-80
3. Еременко И.Ф., Кривоносов В.А. Система управления с наблюдателем координат состояния и неопределенного возмущения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2005. - № 7.- С.10-13
4. Барабанов А.Е. Синтез адаптивных  $H^\infty$ - оптимальных регуляторов // Автоматика и телемеханика. - 1999.- № 3.- С. 55-70
5. Петров Ю.П. Новые главы теории управления и компьютерных вычислений.- СПб.: БХВ-Петербург.- 2004.- 192 с.
6. Кривоносов В.А., Тараненко М.Е. Управление процессом измельчения руды на основе регулятора состояния с наблюдателем Луенбергера // Вестник Воронежского государственного технического университета. -2008.- Т.4.- №8.- С.132-135.

УДК 519.711.3

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ И РЕГУЛЯТОРА СОСТОЯНИЯ

**Кривоносов В.А., Криушин Д.В., Остряков Д.С.**

*Старооскольский технологический институт имени А.А. Угарова (филиал)  
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Россия,  
Старый Оскол*

[krivonosov\\_v\\_a@mail.ru](mailto:krivonosov_v_a@mail.ru)

*Аннотация.* Рассмотрена система управления динамическим объектом, построенная на основе регулятора состояния. Оценка координат состояния и

низкочастотной составляющей возмущающего воздействия осуществляется с использованием наблюдателя состояния. Проведено сравнение качества управления в различных режимах разработанной системы с альтернативной системой на основе ПИД-регулятора.

**Ключевые слова:** координаты состояния; регулятор состояния; наблюдатель состояния; ПИД-регулятор; качество управления.

## **AUTOMATIC CONTROL SYSTEM BASED ON THE OBSERVER AND THE REGULATOR OF THE STATE**

**Krivososov V.A., Kriushin D.V., Ostryakov D.S.**

*Stary Oskol technological institute (branch) National research technological university  
«MISIS», Stary Oskol*

[krivososov\\_v\\_a@mail.ru](mailto:krivososov_v_a@mail.ru)

**Abstract.** *The control system of dynamic object constructed on the basis of the state regulator is considered. The assessment of coordinates of a state and a low-frequency component of the disturbance input carried out using the observer of a state. The comparison of control quality in various modes of the developed system with alternative system on the basis of the PID-regulator is carried out.*

**Keywords:** *state coordinates; state regulator; observer of a state; PID-regulator; control quality.*

**Введение.** В настоящее время около 90 % регуляторов, используемых в практике автоматизации технологических объектов горно-металлургического комплекса, используют ПИД или ПИ алгоритмы управления. Такая высокая популярность обусловлена тем, что, с одной стороны, ПИД-регуляторы обеспечивают приемлемое качество управления для достаточно широкого класса промышленных объектов, а с другой – они сравнительно просты в технической реализации и настройке. В современных ПИД-регуляторах, реализованных на микропроцессорных контроллерах, используется автоматическая настройка параметров, адаптивные алгоритмы, основанные на классических подходах или методах искусственного интеллекта [1].

Несмотря на все привлекательные свойства, ПИД-регуляторы имеют ряд недостатков. Это известные проблемы насыщения интегральной части, существенного

ухудшения качества управления для объектов, динамика которых описывается уравнениями выше второго порядка, а также при наличии транспортного запаздывания и нелинейностей в объекте. Кроме того, даже для линейных объектов второго порядка ПИД-регулятор, настроенный на отработку задания, может достаточно плохо подавлять возмущения и наоборот. Поэтому в последние годы ведется интенсивная работа по поиску новых алгоритмов регулирования, обеспечивающих более высокое качество управления в различных режимах функционирования систем. К таким алгоритмам относятся, в частности, регуляторы состояния [2-4], использующие в своей работе наблюдатели состояния динамических объектов.

В данной работе рассматривается система автоматического управления (САУ), построенная на основе регулятора и наблюдателя состояния. Проводится сравнительный анализ качества переходных процессов в различных режимах функционирования системы с показателями альтернативной САУ на основе ПИД-регулятора.

**Разработка системы управления.** Структурная схема рассматриваемой системы управления приведена на рисунке 1.

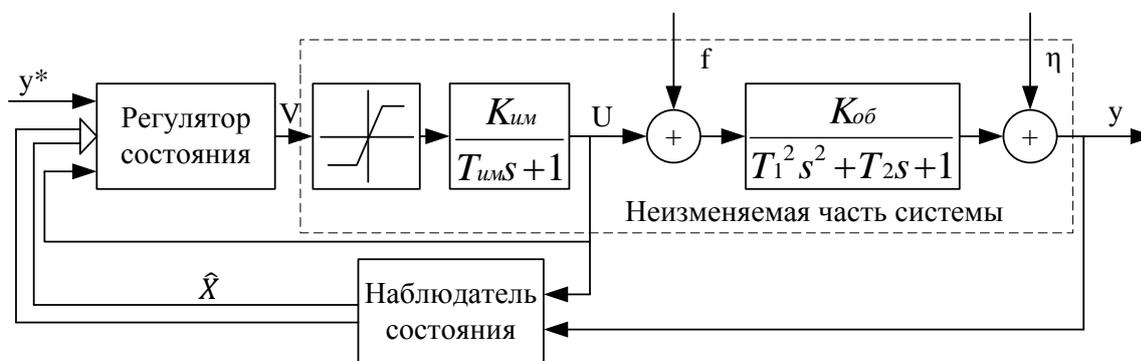


Рис.1 – Структурная схема САУ с наблюдателем и регулятором состояния

Неизменяемая часть системы включает объект управления, который для примера описывается передаточной функцией 2-го порядка, исполнительный механизм, представленный на схеме апериодическим звеном 1-го порядка и нелинейное звено, ограничивающее управляющее воздействие. Наблюдатель оценивает две координаты состояния объекта ( $x_1(t)$ ;  $x_2(t)$ ) и  $x_3(t)$  - низкочастотную составляющую возмущения  $f(t)$ .

Дифференциальное уравнение, описывающее поведение объекта, имеет вид

$$T_1^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_{\text{ОБ}}(u(t) + f(t)).$$

(1)

Для описания объекта 2-го порядка в пространстве состояний [5] введем 2 координаты

$$x_1(t) = y(t); \quad x_2(t) = \frac{dx_1(t)}{dt} = \frac{dy(t)}{dt}.$$

Дополнительная координата  $x_3(t)$  представляет собой оценку низкочастотной составляющей возмущающего воздействия  $f(t)$ . Интерес к низкочастотной составляющей обусловлен тем, что именно эту составляющую возмущения должен подавлять регулятор системы автоматического управления. Высокочастотные составляющие подавляются инерционными свойствами самого объекта и мало сказываются на его поведении.

Тогда модель объекта управления в пространстве состояний принимает вид

$$\begin{cases} x_1' = x_2; \\ x_2' = -\frac{1}{T_1^2} x_1 - \frac{T_2}{T_1^2} x_2 + \frac{K_{\text{ОБ}}}{T_1^2} x_3 + \frac{K_{\text{ОБ}}}{T_1^2} u; \\ x_3' = 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$y = x_1. \quad (3)$$

Символом « ' » в (2) и (3) показана производная по времени, аргумент  $t$  опущен. Скорость изменения координаты  $x_3$  в (2) полагаем равной нулю, так как модель учитывает только низкочастотную составляющую возмущения  $f(t)$ .

В матричном виде модель (2), (3) может быть представлена следующим образом:

$$\begin{cases} X' = A \cdot X + B \cdot u; \\ y = C \cdot X, \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{где } X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{1}{T_1^2} & -\frac{T_2}{T_1^2} & \frac{K_{\text{ОБ}}}{T_1^2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_{\text{ОБ}}}{T_1^2} \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \quad 0 \quad 0].$$

Уравнения наблюдателя состояния имеют вид

$$\begin{cases} \hat{X}' = A \cdot \hat{X} + B \cdot u + K(y - \hat{y}); \\ \hat{y} = C \cdot \hat{X}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $K = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix}$  – матрица коррекции, выбор которой определяет скорость сходимости

процесса наблюдения и чувствительность оценок к погрешностям измерения выхода  $\eta$ . Необходимым условием сходимости процедуры наблюдения является отрицательность действительных частей всех собственных чисел матрицы  $[A - K \cdot C]$ .

Регулятор состояния должен вывести сигнал  $y(t)$  на заданный уровень  $y^*$  в условиях действия возмущения  $f(t)$ . Определим желаемые значения  $x_i^*$  всех координат состояния, а также управляющего воздействия  $u^*$  в режиме статики, когда

$$y(t) = \text{const} = y^*: \quad x_1^* = y^*; x_2^* = 0; x_3^* = f; u^* = \frac{y^*}{K_{\text{ОБ}}} - f.$$

Управляющий сигнал  $V$  регулятора состояния вычисляется по следующей формуле:

$$V = v_{\text{СТ}} + v_1 + v_2 + v_u, \quad (6)$$

где  $v_{\text{СТ}} = \frac{y^*}{K_{\text{ИМ}} \cdot K_{\text{ОБ}}} - \frac{x_3}{K_{\text{ИМ}}}$  – составляющая управляющего сигнала поддерживающая режим статики, когда  $y(t) = \text{const} = y^*$ ;

$v_1 = r_1 \cdot (y^* - x_1)$ ;  $v_2 = r_2 \cdot (0 - x_2)$ ;  $v_u = r_3 \cdot (\frac{y^*}{K_{\text{ОБ}}} - f - u)$  – реакции регулятора состояния на отклонения координат состояния  $x_1, x_2$  объекта, а также управляющего воздействия  $u$  от желаемых значений в режиме статики;

$r_1, r_2, r_3$  – коэффициенты настройки регулятора.

**Пример.** Для примера рассмотрена САУ со следующими параметрами неизменяемой части:  $K_{\text{ОБ}} = 2$ ;  $T_1^2 = 10$ ;  $T_2 = 7$ ;  $K_{\text{ИМ}} = 2$ ;  $T_{\text{ИМ}} = 1$ . Управляющий сигнал  $V$  регулятора ограничен пределами  $(-2; +2)$ , помеха измерения  $\eta$  представляет собой некоррелированную последовательность случайных чисел, равномерно распределенных в диапазоне  $(-0,01; +0,01)$ . Матрица  $K$  коррекции наблюдателя выбрана так, что все корни характеристического уравнения равны  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = -2$ . При этом  $k_1 = 5,3$ ;  $k_2 = 7,99$ ;  $k_3 = 40$ .

Эффективность работы САУ с регулятором и наблюдателем состояния сравнивалась с САУ, построенной на основе ПИД-регулятора, передаточная функция которого имеет вид  $W_{\text{ПИД}}(S) = K_{\text{П}} + \frac{K_{\text{И}}}{S} + \frac{K_{\text{Д}} \cdot S}{T_{\text{Д}} \cdot S + 1}$ .

Коэффициенты  $r_i$  регулятора состояния и коэффициенты  $K_P, K_I, K_D, T_D$  альтернативного ПИД-регулятора настраивались на режим отработки ступенчатого изменения задания  $y^* = 1(t)$  из нулевых начальных условий (возмущение  $f$  в режиме настройки не подавалось). При этом стремились получить монотонную переходную функцию с минимальным временем регулирования. Настройка осуществлялась с использованием модуля Signal Constraint среды Simulink Matlab. В результате получены следующие параметры регуляторов:

$$r_1 = 4,66; r_2 = 5,6; r_3 = 0,56; K_P = 1,518; K_I = 0,109; K_D = 2,313; T_D = 0,1.$$

**Заключение.** Сравнение САУ с регулятором состояния (РС) и с ПИД-регулятором выполнялось в различных режимах, отличающихся значениями заданий  $y^*(t)$  и возмущений  $f(t)$ . Полученные результаты приведены ниже в таблице. Анализ данных таблицы показывает существенное преимущество САУ с РС в сравнении с альтернативной САУ с ПИД-регулятором во всех контрольных режимах. Это хорошо иллюстрируют графики переходных процессов в САУ при  $y^*=1(t)$ ,  $f(t) = 1(t)$ , приведенные на рисунке 2.

Показатели качества функционирования САУ в различных режимах

Характеристики режима		Время регулирования, мин		Перерегулирование, $\sigma$ , %		Максимальное отклонение $u_{max}$	
$y^*(t)$	$f(t)$	РС	ПИД	РС	ПИД	РС	ПИД
1(t)	0	4,02	4,71	0	0	-	-
0	1(t)	6,7	40,12	0	0	0,27	0,3
1(t)	1(t)	6,4	41	15	28	0,15	0,28
1(t)	- 1(t)	6,4	39,25	0	0	-	-
0	Sin(0,3t)	-	-	-	-	$\pm 0,16$	$\pm 0,33$

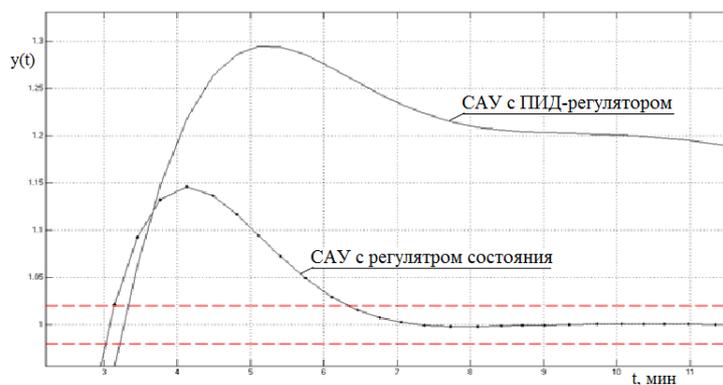


Рис.2 – Переходные процессы в рассматриваемых САУ при  $y^*=1(t)$ ,  $f(t) = 1(t)$

### Список литературы

1. Денисенко В.В. Непараметрическая модель объекта управления в ПИД регуляторах с автоматической настройкой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2009. - №6. - С. 9-13
2. Еременко И.Ф., Кривонос В.А. Система управления с наблюдателем координат состояния и неопределенного возмущения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2005. - №7. - С. 10-13
3. Кривонос В.А., Тараненко М.Е. Управление процессом измельчения руды на основе регулятора состояния с наблюдателем Луенбергера // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008.- Т.4.- № 8.- С. 132-135
4. Кривонос В.А., Бабенков В.А. Система управления технологическими параметрами процесса производства экстракционной фосфорной кислоты // Информационные системы и технологии. – 2015. - №2. – С. 73-80
5. Кривонос В.А., Бабенков В.А. Непрерывно дискретный наблюдатель состояния химико-технологического процесса // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2014. - № 1. – С. 128 - 135.

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НИТРИФИКАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Кузнецов В.Н.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) НИТУ "МИСиС",*

*Старый Оскол*

[vnk1937@mail.ru](mailto:vnk1937@mail.ru)

***Аннотация.** В работе рассмотрены математические модели, описывающие процесс нитрификации сточных вод при их доочистке в проточном аэротенке с иммобилизованными клетками активного ила. В работе сделана попытка по экспериментальным данным получить зависимость удельной скорости нитрификации от текущей концентрации аммонийного азота, содержания кислорода, температуры и кислотности субстрата для построения системы управления процессом нитрификации.*

***Ключевые слова:** нитрификация, сточные воды, аэротенок, ил.*

**DEVELOP A MODEL FOR THE NITRIFICATION OF WASTE WATER FROM  
INDUSTRIAL ENTERPRISES**

**Kuznetsov V. N.**

*Sary Oskol technological Institute named after A. A. Ugarov (branch) of NUST "MISIS",*

*Sary Oskol*

[vnk1937@mail.ru](mailto:vnk1937@mail.ru)

***Abstract.** In this work mathematical model describing the nitrification process of wastewater during tertiary treatment flow in the aeration tank with immobilized activated sludge cells. In the work an attempt was made on experimental data to obtain the dependence of the specific nitrification rate from the current ammonia nitrogen concentration, oxygen concentration, temperature and pH of the substrate to build a system for process control of nitrification.*

***Keywords:** nitrification, wastewater, aerotank, Il.*

**Введение**

В последние годы для очистки производственных и бытовых сточных вод широкое распространение получил биологический метод очистки. Главная задача заключается в поддержании на оптимальном уровне ряда факторов, обеспечивающих жизнедеятельность бактерий-окислителей в условиях, когда подвержены колебаниям содержание органических веществ и растворенного кислорода в сточной воде и активном иле, концентрация самого активного ила, активность реакции и другие факторы.

Данные процессы характеризуются значительными затратами энергоресурсов. Оптимизация указанных процессов и внедрение современных энергосберегающих технологий позволит уменьшить потребление электроэнергии и получить значительный экономический эффект.

Важнейшей задачей остается дальнейшее изучение аэротенка как объекта автоматического управления. Необходимо строго определить входные и выходные параметры, а также возмущающие воздействия на процесс в аэротенке, выявить, какие из них являются зависимыми и независимыми переменными, взаимосвязь зависимых переменных и пределы их изменения при различных режимах технологического процесса. На основе этих данных может быть построена с необходимой точностью математическая модель процесса в аэротенке как объекте автоматического управления.

Главными параметрами, от которых в большей степени зависит качество биологической очистки сточных вод, являются: температура в аэротенке, рН, расход поступающей воды, процент регенерации активного ила, возраст активного ила, БПК, концентрация растворенного кислорода во входном потоке.

Проведенный анализ входной и выходной информации о работе установки биохимической очистки воды с целью исследования возможностей контроля входных параметров и управления выходными параметрами, выявил следующие основные показатели. Входными параметрами являются: Расход поступающей жидкости; БПК во входном потоке; Температура жидкости; РН поступающей жидкости; Концентрация растворенного кислорода во входном потоке; Концентрация активного ила в аэротенке. Выходными параметрами являются: Концентрация растворенного кислорода в выходном потоке; БПК в выходном потоке; Концентрация активного ила в выходном потоке.

Внедрение информационных автоматизированных систем в технологический процесс очистки сточных вод даст возможность более полного учета различных аспектов развития антропогенно нагруженных экосистем, в частности гидросистем, что позволит

повысить экологическую безопасность очистки и сброса сточных вод в природные водоемы.

Для построения системы управления процессом нитрификации необходимо описать математическую модель объекта управления.

Анализ классических математических моделей кинетики процесса потребления и преобразования субстрата активным илом показал, что процесс преобразования соединений азота следует рассматривать с точки зрения моделей ферментативных реакций, описываемых уравнениями Моно [1].

В соответствии с этой моделью скорость изменения концентрации субстрата (в нашем случае, потребляемого аммонийного азота) пропорциональна объему биомассы и удельной скорости роста биомассы  $\mu$ . В условиях лимитирования процесса роста биомассы параметр  $\mu$  зависит от концентрации потребляемого вещества в субстрате. Как правило, график такой зависимости имеет вид плавно возрастающей кривой с некоторым предельным уровнем насыщения, как представлено на рис. 1.

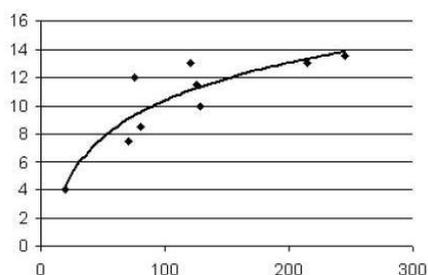


Рис.1 Типичный график зависимость  $\mu$  в зависимости от концентрации субстрата

Подобную зависимость можно представить по-разному. Например, аппроксимировать ее логарифмической кривой или полиномиальной. Но в практике моделирования биохимических процессов принято пользоваться [2] гиперболической аппроксимацией в соответствии с моделью Моно.

$$\mu = \mu_{\max} / (1 + K_s/S), \quad (1)$$

где  $\mu_{\max}$  максимальная удельная скорость, соответствующая предельному уровню насыщения кривой,  $K_s$  - константа полунасыщения, равная концентрации субстрата, при которой скорость процесса равна  $\mu_{\max} / 2$ ,  $S$  - концентрации субстрата. Использование такой аппроксимации связано с теоретическими основами моделирования ферментативных реакций в соответствии с моделью Михаэлиса-Ментен [3].

В некоторых случаях график зависимости скорости от концентрации субстрата имеет характер кривой с максимумом и с характерным уменьшением значений скорости при больших значениях концентрации. Такие зависимости принято моделировать формулой динамики ферментативной реакции с учетом субстратного угнетения.

$$\mu = \mu_{\max} / (1 + K_s/S + \gamma S), \quad (2)$$

где  $\gamma$  - некоторый коэффициент, определяемый по экспериментальным данным.

Влияние параметров температуры на ход биохимических реакций обычно описывается формулой Стриттера [4], дающей некоторый мультипликативный коэффициент, учитывающий поправку по отношению к  $T=20^\circ\text{C}$ :

$$K = 1.047^{T-20}, \quad (3)$$

Известно, что наиболее существенно влияющими на скорость процессов нитрификации являются следующие основные факторы: концентрация аммонийного азота, рН, температура, концентрация растворенного кислорода. Среди важных факторов можно назвать также следующие: концентрация азота нитритов и нитратов, свободного аммиака и свободной азотистой кислоты, окислительно-восстановительные свойства жидкости, характеризующиеся величиной редокс потенциала ( $rH_2$ ), возраст активного ила, ингибирующее действие токсических веществ и продуктов метаболизма.

Основываясь на общепринятых в этой области математических моделях, был проведен анализ экспериментальных данных с целью получения зависимости скорости нитрификации от концентрации аммонийного азота, содержания кислорода, температуры и рН субстрата.

По экспериментальным данным были получены графики зависимости удельной скорости нитрификации от концентрации аммонийного азота, содержания кислорода, рН и температуры. Рис.2.

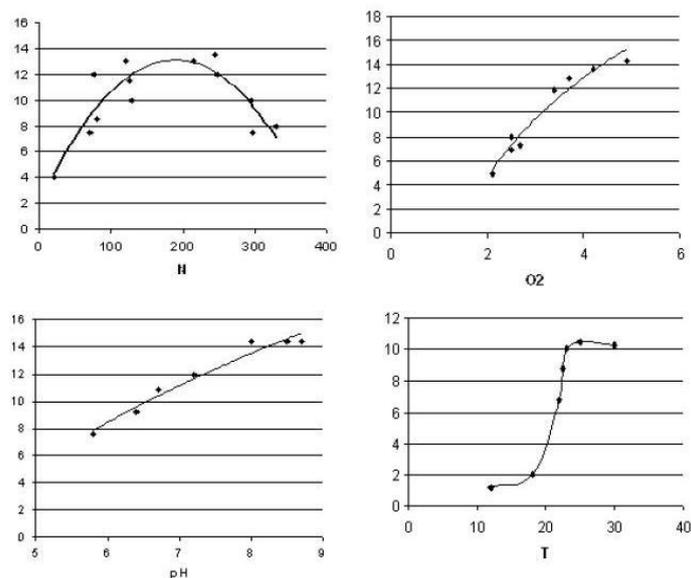


Рис2. Графики зависимости удельной скорости нитрификации

от концентрации аммонийного азота, содержания кислорода, рН и температуры

Эти зависимости можно было бы аппроксимировать, например, полиномиальной зависимостью. Учет того, что данные относятся к области биохимических процессов, т.е. могут изменяться от эксперимента к эксперименту даже при одинаковых значениях факторов за счет неучтенных факторов, позволил отказаться от заманчивого желания строить "точные" модели без учета известных [1-3] биохимических моделей.

Вид графика зависимости удельной скорости нитрификации от содержания азота аммония позволяет в простейшем случае идентифицировать эту зависимость в соответствии с выражением (1). При этом  $\mu_{\max} = 16$ ,  $K_s = 60$ .

Если использовать модель (2), то

$$\mu_{\max} = 15, K_s = 40, \gamma = 0.0005$$

При этом первый вариант точнее работает в области концентраций, где отсутствует субстратное угнетение. Построим общую модель влияния всех выше перечисленных факторов на скорость нитрификации как произведение зависимости от концентрации аммонийного азота (1) на поправочные коэффициенты, определяемые значениями соответствующих факторов.

$$\mu = \mu_{\max} / (1 + K_s/S) * K1([O2]) * K2(pH) * K3(T), (3)$$

где  $K_1([O_2]), K_2(pH), K_3(T)$  коэффициенты, зависящие соответственно от концентрации растворенного кислорода, pH и температуры.

Каждый из коэффициентов должен обращаться в 1 при оптимальном значении соответствующего параметра, что соответствует выбранной схеме проведения экспериментов по варьированию одного из факторов при фиксированных оптимальных остальных.

Зависимость  $K_1([O_2])$  в соответствии с видом графика также будем аппроксимировать гиперболической кривой в соответствии с моделью Моно. Расчеты показывают, что она может быть задана следующим образом

$$K_1([O_2]) = 1.8 / (1 + 4.2 / [O_2]). \quad (4)$$

Зависимость  $K_2(pH)$  и более очевидно -  $K_3(T)$  имеет явно выраженный "сигмоидальный" характер графика кривой, что заставляет отказаться от модели аппроксимации в виде (1). Обычно для таких случаев используют следующий вид аппроксимирующей функции

$$K(x) = 1 / (1 + \exp(-\beta \cdot (x - \alpha))), \quad (5)$$

где  $\alpha$ -значение параметра, соответствующего значению  $K=0.5$ ,

$\beta$ - коэффициент, определяющий характер возрастания основного участка кривой.

Расчеты по экспериментальным данным дают следующие зависимости

$$K_2(pH) = 1 / (1 + \exp(-(pH - 5.5))), \quad (6)$$

$$K_3(T) = 1 / (1 + \exp(-0.93 \cdot (T - 20))), \quad (7)$$

Подставляя формулы (4), (6), (7) в (3) получим

$$\mu = \frac{16}{1 + \frac{60}{S}} \cdot \frac{1.8}{1 + \frac{4.2}{[O_2]}} \cdot \frac{1}{1 + \exp(-(pH - 5.5))} \cdot \frac{1}{1 + \exp(-0.93 \cdot (T - 20))} \quad (8)$$

Полученная формула была проверена на массиве экспериментальных данных, в которых значения основных факторов комбинировались произвольным образом. Проверка показала удовлетворительное статистическое совпадение экспериментальных данных и теоретической гипотезы.

## **О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

**Малахов Д.С., Глущенко А.И.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
НИТУ «МИСиС», Старый Оскол*

*demonchez@mail.ru*

***Аннотация.** В данной работе рассмотрена проблема применения линейных регуляторов для управления нелинейными объектами управления. Описаны недостатки такого подхода. Приведены классические методы настройки ПИ- и ПИД-регуляторов и их недостатки. Интеллектуальные методы определены как перспективный подход к решению рассматриваемой проблемы. Предложена разработка нейросетевого оптимизатора коэффициентов линейных регуляторов на основе методов экспертных систем и нейронных сетей.*

***Ключевые слова:** адаптивное управление, ПИ-регулятор, методы настройки, нейронная сеть, нейросетевой оптимизатор.*

## **ON NEURAL NETWORKS APPLICATION TO PI-CONTROLLER PARAMETERS ADJUSTMENT DURING HEATING PLANTS CONTROL**

**Malakhov D., Glushchenko A.I.**

*Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ygarov (branch) NUST "MISIS", Stary Oskol*

*[demonchez@mail.ru](mailto:demonchez@mail.ru)*

***Abstract.** A problem of linear controller application to nonlinear plant control is considered. Drawbacks of such solution are described. Classic methods of adjusting PI- and PID-controller parameters and their drawbacks are analyzed. Intelligent techniques of considered problem solving are supposed to be perspective. A neural tuner is suggested to on-line adjustment of PI- and PID-controller parameters. It is based on both neural networks and expert systems.*

***Keywords:** adaptive control, PI-controller, controller adjustment methods, neural network, neural tuner.*

В настоящее время стремительно развивается металлургическая промышленность. Увеличивается количество добываемого сырья, объемы и качество выпускаемой продукции, снижается выброс вредоносных продуктов в окружающую среду. Множество заводов и фабрик заинтересованы исследованием частных и общих проблем производства и поиском их решений, потому что разработка новых методов, систем управления или модернизация технологии позволит повысить конкурентоспособность производимого товара, повысить спрос и увеличить прибыль.

На протяжении всего процесса получения металла он подвергается термической обработке, то есть подвергается процессу нагрева до определенных температур в печах, управляемых в подавляющем большинстве случаев посредством ПИ- и ПИД-регуляторов. Поскольку возможны различные значения уставок, количество загружаемого металла и другие внешние возмущения, возможно сделать вывод о том, что печь работает в нескольких режимах. Их количество достаточно велико, в связи с чем можно считать, что нет оптимальных значений параметров регулятора для всех случаев, а для каждого из них должен быть найден конкретный, оптимальный набор таких значений. На данный момент многие предприятия не занимаются перенастройкой коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  в процессе работы технологического объекта, что ведет к снижению качества переходных процессов. Это приводит к излишним затратам используемого печью топлива.

Решением данной проблемы является построение адаптивной системы, настраивающей параметры регулятора в режиме реального времени. Для этого могут быть применены классические методы настройки ПИД-регуляторов, которые позволяют получить значения параметров  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  аналитически на основе модели объекта управления. К ним относятся:

- 1) метод Циглера–Никольса [1];
- 2) метод Шубладзе [2];
- 3) метод настройки Куна двух видов: быстрый и нормальный [3];
- 4) метод Шеделя [4];
- 5) метод CHR [5];
- 6) метод конечно-частотной адаптации Александрова [6].

Для расчета и оптимизации параметров ПИД-регулятора используются тестовые сигналы ступенчатого [1-5] или полигармонического [6] вида, необходимые для построения модели первого порядка. Таким образом, рассмотренные методы основаны на

использовании модели объекта управления, построение которой в реалиях производства является весьма нетривиальной задачей. Поэтому актуальной является проблема разработки интеллектуальных методов настройки параметров линейных регуляторов, позволяющих обходиться без модели объекта управления.

В частности, такими методами могут являться: 1) экспертные системы [7], способные принимать решение (выдавать сигнал управления), основанное на определенной базе правил, отражающей знания эксперта, и 2) нейронные сети [8] обладающие нелинейными свойствами и способностью к обучению, что позволяет им адаптироваться под поведение нелинейного динамического объекта управления. Однако оба этих подхода по отдельности не нашли широкого применения в промышленности.

Предлагаемым решением описанной проблемы является разработка нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для различных режимов, имеющего две основные составляющие. Первой является нейронная сеть, которая способна к оперативному обучению методом обратного распространения ошибки. Выходом данной сети будут значения коэффициентов регулятора для заданного режима. Вторая часть нейросетевого оптимизатора – база правил, оценивающая состояние объекта управления и определяющая скорость обучения отдельных нейронов сети.

Использование нейросетевого оптимизатора для настройки параметров ПИ-регулятора позволит улучшить качество готовой продукции, а также сократить затраты на электроэнергию на ведение технологического процесса на 3-5%. Учитывая мощность нагревательных печей, можно сделать вывод, что даже небольшая экономия в процентном соотношении позволит добиться существенной выгоды в денежном эквиваленте.

### Список литературы

1. Ziegler J., Nichols N. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. – 1942. – №65. – P.759–768.
2. Шубладзе А.М. Оптимальные автоматически настраивающиеся общепромышленные регуляторы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2002. – № 10. – С. 30–33.
3. Kuhn U. A practice oriented setting rule for pid-controllers: The t-sum-rule // Automatisierungstechnische Praxis. – 1995. – Vol. 37. – №5. – P.10-16.
4. Schaedel H.M. A new method of direct PID controller design based on the principle of cascaded damping ratios. European Control Conference (ECC). – IEEE, 1997. – P. 1265-1271.

5. K.L. Chien, I.A. Hrones and J.B. Reswick On the automatic control of generalized passive systems // Trans on ASME. – 1952. – Vol. 74. –P.633 -640.
6. Alexandrov A.G., Palenov M.V Self-tuning PID-I controller. Proc. 18th IFAC World Congress. – Italy: Milano, 2011. – P. 3635–3640.
7. ANDERSON K.L., BLANKENSHIP G.I., LEBOW L.G. A rule-based adaptive PID controller // Proc. 27th IEEE Conf. Decision. Control, 1988. – P. 564–569.
8. OMATU S., KHALID M., YUSOF R. Neuro-Control and its Applications. – London: Springer, 1995. – 255 p.

УДК 519.688

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ (СММ)**

**Мельникова И. В.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ*

*«МИСиС», Старый Оскол*

[i-melnikova@mail.ru](mailto:i-melnikova@mail.ru)

***Аннотация.** Скрытые Марковские модели широко используются в системах биоинформатики и распознавания речи и образов. Обычно для оценки параметров СММ используются Алгоритм Баума-Вэлша или градиентные методы. Однако они могут попадать в локальные экстремумы. В данной работе используются методы систем искусственного интеллекта (ИИС) и генетические алгоритмы (ГА) для оценки параметров СММ. Они являются методами глобальной оптимизации на базе алгоритмов биологических систем.*

***Ключевые слова:** Искусственные иммунные системы, генетические алгоритмы, алгоритм клональной селекции, скрытые Марковские процессы (СММ), алгоритм Баума-Вэлша.*

## **APPLICATION OF METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE SOLUTION OF THE HIDDEN MARKOV MODELS (SMM)**

**Melnikova I.V.**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Stary Oskol*

[i-melnikova@mail.ru](mailto:i-melnikova@mail.ru)

**Abstract.** *Hidden Markov Models are widely used in speech recognition and bioinformatics systems. Conventional methods are usually used in the parameter estimation process of Hidden Markov Models (HMM). These methods are based on iterative procedure, like Baum-Welch method, or gradient based methods. However, these methods can yield to local optimum parameter values. In this work, we use artificial techniques such as Artificial Immune Systems (AIS) and Genetic Algorithms (GA) to estimate HMM parameters. These techniques are global search optimization techniques inspired from biological systems.*

**Keywords:** *Artificial Immune Systems; Genetic Algorithm; Clonal Selection Algorithm, Hidden Markov Models(HMM); Baum-Welch(BW).*

Необходимость предсказания будущих состояний некоторых систем или процессов, очевидна. В случае сложных производственных или экономических систем на помощь приходит математический аппарат, называемый цепями Маркова.

Процесс, все возможные состояния которого являются известными, а вероятности перехода от одного к другому состоянию зависят только от текущего, называется явным Марковским. Цепь всех возможных состояний, связанных вероятностными переходами, называется цепью Маркова. Рис.1.

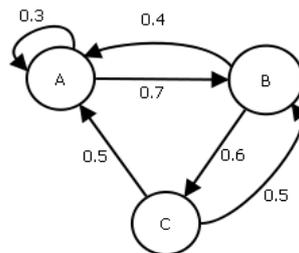


Рис 1. Пример графа, изображающий явную цепь Маркова

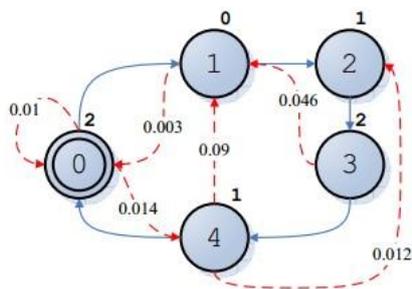
При решении некоторых классов задач нет возможности обзирать все существующие состояния интересующей нас системы, поэтому задача из прогнозирования будущих состояний системы преобразуется в задачу выявления скрытых состояний.

Как правило, ненаблюдаемое состояние имеет опосредованное влияние на некоторую величину, которую можно наблюдать. Вывод о скрытом состоянии делается именно на основе таких наблюдаемых величин.

Отличной иллюстрацией могут служить игры, в том числе и азартные, со скрытыми состояниями. В 60-ые годы прошлого века для решения всего класса таких

задач было предложено использование скрытых моделей Маркова. СММ имеют множество применений в области обработки сигналов, распознавание образов и прочем.

Скрытые модели Маркова описываются тремя компонентами: Матрицей вероятностных переходов  $A$ ; Матрицей вероятности наблюдения событий  $B$ , которые зависят от состояния системы; Вектором вероятности начальных состояний  $\pi$ .



$$\lambda=(A,B, \pi) \quad (1)$$

Пример графа, изображающего СММ, приведён на рисунке 2.

Множество возможных состояний:  $\{0;1;2;3;4\}$ , наблюдаемые воздействия

состояний:  $\{0;1;2\}$ , некоторые состояния имеют

Рис. 2 Граф скрытой модели Маркова

одинаковые воздействия. С помощью математического аппарата изображенная СММ описывается следующим образом:

$$A = \begin{pmatrix} 0.01 & 0.976 & 0 & 0 & 0.014 \\ 0.003 & 0 & 0.097 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.046 & 0 & 0 & 0.954 \\ 0.908 & 0.09 & 0.012 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \pi = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

В математике аппарат СММ широко применяется для решения следующих задач: определение вероятности появления заданной последовательности, определение цепочки состояний по известным наблюдаемым величинам, подбор параметров  $\lambda=(A,B,\pi)$  таким образом, чтобы максимизировать вероятность  $P(O|\lambda)$ .

Классическими задачами СММ являются следующие: определение вероятности появления заданной последовательности, определение цепочки состояний системы по известному выходу, подбор параметров автомата так, чтобы увеличить вероятность наблюдаемого состояния. Для решения этих задач обычно применяются следующие методы: алгоритм прямого-обратного хода, алгоритм Витерби, алгоритм Баума-Вэлша. Решение задачи с помощью классических методов может быть затруднительно, по этому предлагается использовать методы искусственного интеллекта (ИИ).

В данной публикации приводится сравнение, применительно к решению задачи СММ методов ИИ: клональной селекции и генетического алгоритма. Обобщённый вид ГА и АКС, приведенный на рис.3 имеет схожие черты: начальная популяция формируется случайным образом, алгоритмы повторяются итеративно до достижения условия остановки, на каждом шаге цикла по определённым правилам производится новая популяция, агенты на новый виток вычислений выбираются из прежней и новой популяции по оценке из полезности для системы.

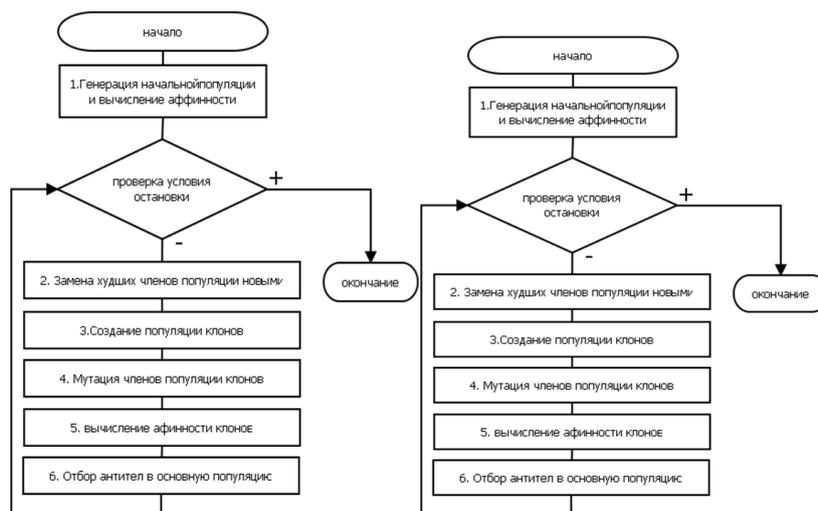


Рис.3. Общий вид клонального (CLONALG) и генетического алгоритмов

Основываясь на теории клональной селекции, формально алгоритм иммунной сети можно представить следующим образом:

*Описание антигена*  $Ag = \langle O, K, m \rangle$ , где  $O$  – множество известных символов  $\{O_1, O_2, \dots, O_M\}$ ;  $m$  – количество пропущенных литер;  $N$  – индексы пропусков;

*Описание антитела*  $At = \langle D, inf, t, p \rangle$ , где  $D$  – степень сродства антитела с антигеном (аффинность);  $inf$  – множество символов, предлагаемых на места пропущенных литер.  $t$  – возраст антитела;  $p$  – индекс родителя антитела в основной популяции.

Значение аффинности для каждого антитела вычисляется как вероятность, что каждый предлагаемый символ поставлен верно.

$M_p = \{At\}$  – основная популяция антител. Количество всех возможных решений зависит от величины алфавита и количества пропущенных литер. Основная популяция антител насчитывает 4% от всех возможных вариантов.

В классической теории клональной селекции для контроля размера популяции антигенов предлагается использовать прямо пропорциональную зависимость количества появляющихся клонов от значения аффинности. Наклон прямой рассчитывается таким образом, что бы элемент с наибольшей аффинностью давал количество клонов,

равное 5% от общей популяции.

Количество применяемых мутаций к тому или иному антителу определяется её местом в популяции (все антитела отсортированы по убыванию аффинности) и количеством пропущенных литер. Так, вся популяция делится на  $t+1$  часть, где  $t$  – количество пропущенных букв в интересующем слове. Клоны первой части не подвергаются мутации вообще, клоны последней части популяции мутируют полностью.

#### Формализация генетического алгоритма

Описание особи и  $Ind = \langle F, Chr \rangle$ , где  $F$  – величина функции приспособленности;

$Chr$  – единственная хромосома особи, набор литер генов  $\{b_1, b_2, \dots, b_K\}$ . Длина хромосомы зависит только от количества пропусков в заданном слове, из-за этого скрещивание выполняется многоточечным методом: первому потомку достаются нечетные гены от первого родителя, а четные – от второго. В случае второго потомка четные гены достаются ему от первого.  $Mr = \{Ind\}$  – основная популяция особей, рассчитывается аналогично популяции антител.

Метод генетического алгоритма оптимально подходит для решения поставленной задачи: селекция методом колеса рулетки, операция многоточечного скрещивания и отбор наиболее приспособленных особей может обеспечить эффективное решение задачи поиска оптимума.

Эксперимент проводился над словами русского алфавита, в которых было пропущено по 3 литеры в различных местах. Места пропуска выбирались таким образом, чтобы попытаться выяснить какие буквы и при каких соседствующих символах можно восстановить с максимальной точностью.

**Таблица 1. Результат эксперимента**

слово	пропущенные буквы	ГА			КС		
		время	циклы	P	время	циклы	P
умывальник	2;4;6	15:16	95	1,13E-06	5:53	8	1,13E-06
	3;5;7	14:38	97	1,70E-06	3:52	5	1,70E-06
обыденно	2;4;6	14:44	98	9,45E-07	6:24	4	1,77E-06
	3;5;7	14:14	100	1,20E-06	3:12	4	1,20E-06
подзатыльник	3;6;8	14:14	100	2,59E-08	4:58	4	6,55E-08
	2;5;11	14:52	96	1,35E-06	4:05	4	2,30E-06
счастье	2;4;6	14:06	98	1,54E-06	8:08	7	2,54E-06
	2;4;5	14:04	99	1,08E-06	3:08	4	2,26E-06
прозрачно	3;5;8	15:14	100	7,48E-06	8:32	6	7,48E-06
	3;5;6	14:00	100	3,52E-07	8:50	7	3,52E-07

Из таблицы результатов видно, что при совершенно одинаковых результатах алгоритм клональной селекции выигрывает по времени у генетического в различных тестах от 5 до 11 минут. Количество необходимых циклов для схождения ГА и АКС отличаются больше чем в десяток раз. Из этого очевидно преимущество использования

для задач оптимизации алгоритма клональной селекции перед генетическими алгоритмами.

Очевидно, что наряду с вероятнейшими переходами в словах русского алфавита существуют наименее вероятные, но встречающиеся. По этому построение модели наибольшей вероятности не всегда может правильно восстановить пропущенные литеры. Однозначно правильно восстанавливаются звонкие согласные, находящиеся между гласными и между

Данный метод может быть использован в качестве вспомогательного в системах идентификации и распознавания на базе иммунных алгоритмов.

### Список литературы

1. Блюм В.С., Заболотский В.П. Иммунная система и иммунокомпьютинг. Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. (том 6 выпуск 4 007). зарегистрировано 29.01.2008 под номером 0420700004/0039.

2. Mohamed Korayem, Amr Badr, Ibrahim Farag, Optimizing Hidden Markov Models using Genetic Algorithms and Artificial Immune Systems, Computing and Information Systems 01/2007;

3. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы.-М.: Физматлит. 2006, 250 с.

4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика.-М.: Высшее образование, 2005, 290 с.

5. Искусственные иммунные системы и их применение / Под ред. Д. Дасгупты.

УДК 621.7.019.7

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ПРОКАТА

**Мещерякова А.О.<sup>1</sup>, Галкин А.В.<sup>1</sup>, Пименов В.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк*

<sup>2</sup>*ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», Россия, г. Липецк*

*mao11077@rambler.ru, avgalkin82@mail.ru, pimenov\_va@nlmk.ru*

**Аннотация.** В работе предложена математическая модель, позволяющая отследить трансформацию поверхностных дефектов типа «раковина» на любой стадии

деформации процесса холодной прокатки. Модель представлена в форме уравнения среднего контактного напряжения и критерия интенсивности сглаживания дефектов. Экспериментальным путем получена зависимость параметров модели выкатываемости дефектов, позволяющая найти величину оптимального обжатия полосы до минимального значения относительной глубины дефекта. Результаты работы могут быть применены в металлургической области с целью повышения качества поверхности холоднокатаных полос.

**Ключевые слова:** пластическая деформация; холодная прокатка полос; напряжения; дефекты.

## **SIMULATION AND STUDY OF THE PROCESSES OF DEFORMATION OF SURFACE DEFECTS RENTAL**

**Mescheryakova A.O.<sup>1</sup>, Galkin A.V.<sup>1</sup>, Pimenov V.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk*

<sup>2</sup> *NLMK, Russia, Lipetsk*

*mao11077@rambler.ru, avgalkin82@mail.ru, pimenov\_va@nlmk.ru*

**Abstract.** *The mathematical model offered in this work allows tracking the transformation of hole defects at any deformation stage of the cold rolling process. The model is presented as an equation of the average contact pressure and the criterion of defect smoothing intensity. A correlation between model parameters was discovered experimentally, allowing the calculation of optimal compression value which is aimed to minimize the relative defect depth. Work results can be applied in metallurgical engineering to improve the surface quality of cold rolled steel.*

**Keywords:** *plastic deformation; cold rolled strip; stresses; defects.*

В настоящее время этап развития прокатного производства характеризуется постоянным ростом требований к качеству металлопроката. Несмотря на внушительные капитальные вложения в модернизацию агрегатов и сооружение новых цехов, продукция, выпускаемая на хорошем оборудовании по правильной технологии, может содержать различные дефекты. Для определения качества прокатной продукции используется большое количество характеристик, таких как: химический состав, механические и химические свойства металла. Одним из наиболее значимых видов

дефектов являются поверхностные дефекты, своевременное определение которых исключают попадание брака на последующие этапы обработки.

Таким образом, целью работы является исследование механизма трансформации дефектов поверхности подката и полосы в процессе холодной прокатки, а также влияния технологических факторов процесса на трансформацию дефектов поверхности. На поверхности холоднокатаных полос часто можно встретить дефекты, обусловленные недостаточно качественным удалением окалины с поверхности подката – горячекатаных полос.

Обычно эти дефекты классифицируют на два типа:

- вытравленная окалина (образуется при выпадении или вытравливании вкатанной окалины);
- рябизна (мелкие углубления после удаления окалины).

В качестве математической модели трансформации поверхностного дефекта предложено рассматривать уравнение среднего контактного напряжения и критерий интенсивности сглаживания дефектов.

Для вывода модели среднего контактного напряжения использовались основные уравнения плоской деформации, а также некоторые параметры очага деформации полосы и уравнение равновесия Кармана [1, 2]. Пренебрегая влиянием упругих деформаций валков и полосы, получаем [3]:

$$P_{cp} = 1.15\sigma_{\phi} \left(1 + \frac{\mu l}{2h_{cp}}\right), \quad (1)$$

где  $h_{cp} = \frac{h_0 + h_1}{2}$  – средняя толщина полосы;  $\sigma_{\phi} = \sigma_{исх} + a\varepsilon^b$  – сопротивление металла пластичной деформации;  $\sigma_{исх}$ ,  $a$ ,  $b$  – экспериментально определяемые коэффициенты, характеризующие марку или группу марок сталей и сплавов).

Для описания процесса прокатки полосы с дефектом был принят критерий интенсивности сглаживания дефекта [4]:

$$\zeta_{\delta} = 0.19(1 - e^{-0.9n_{\sigma}^3}) \left[1 + \left(\frac{h_0^2}{b_{\delta}^2} + \frac{9h_0^2}{l_{\delta}^2}\right) + (0.04 + 0.004R_a^B)\right], \quad (2)$$

где  $n_\sigma$  – коэффициент напряженного состояния;  $b_\delta, l_\delta$  – ширина и длина поверхностного дефекта;  $R_a^B$  – шероховатость поверхности рабочих валков.

Коэффициент напряженного состояния полосы можно выразить через определенные ранее величины [5]:

$$n_\sigma = \frac{P_{cp}}{\beta \sigma_\phi}, \quad (3)$$

где  $\beta$  – постоянная Лодэ.

Зависимость шероховатости поверхности валков от коэффициента трения выражается в виде [6]:

$$\mu = 0.015 \cdot [1 + (1.5 + 0.05\varepsilon \sqrt{R_a^B})], \quad (4)$$

где  $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100\%$  – относительное обжатие полосы.

Относительная глубина дефекта на  $i$ -ой стадии деформации определяется как:

$$\frac{b_i}{h_i} = \frac{b_0}{h_0} - \zeta_\delta \ln\left(\frac{h_0}{h_i}\right), \quad (5)$$

где  $b_i, h_i$  – глубина дефекта и толщина полосы на  $i$ -ой стадии деформации.

На рисунке 1 можно увидеть, как изменяется относительная глубина дефекта в процессе обжатия полосы. Сплошными линиями представлены изменения относительных глубин дефекта при коэффициенте трения  $\mu = 0.03$ , пунктирными линиями соответственно при коэффициенте трения  $\mu = 0.07$ . Можно сделать вывод, что дефекты небольшой глубины выкатываются интенсивнее нежели дефекты с большей начальной относительной глубиной, но при высоких суммарных обжатиях есть риск повторного образования дефекта.

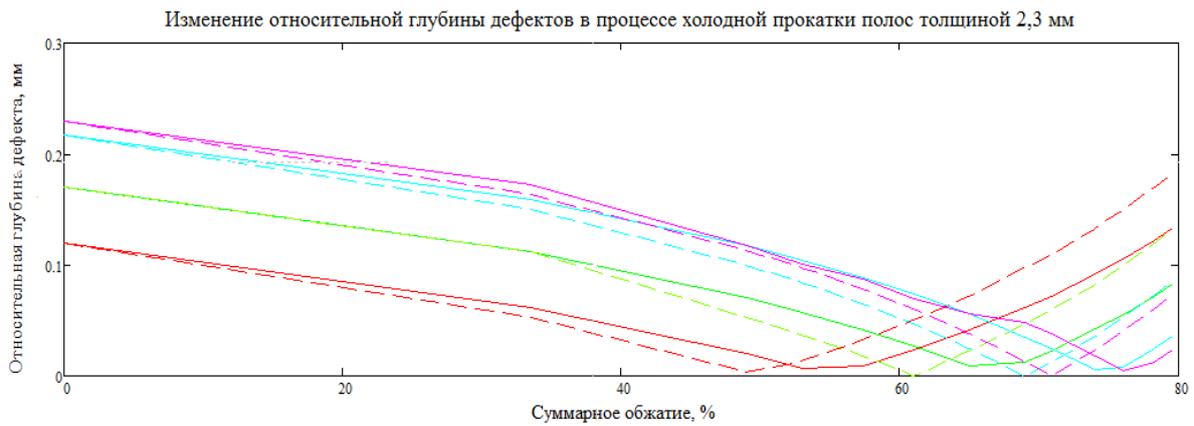


Рисунок 1. График исследования зависимости относительных глубин дефектов от различных значений величин коэффициентов трения

Изменение длины дефекта оказывает незначительно влияние на его трансформацию (рис.2). При слишком больших величинах суммарного обжатия длина дефекта замедляет процесс его повторного образования. Ширина дефекта также оказывает незначительное влияние на трансформацию.

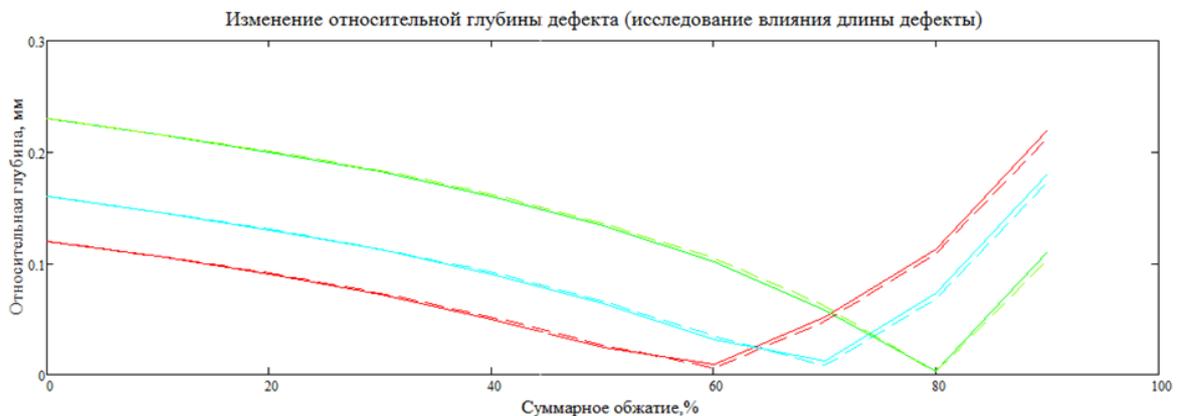


Рисунок 2. График исследования зависимости относительных глубин дефектов от различных значений длины дефектов

Исходя из результатов исследования, получаем, что на трансформацию поверхностных дефектов типа раковина значительное влияние имеют такие параметры как суммарно обжатие, относительная глубина и коэффициент трения.

Для повышения качества прокатываемых полос путем устранения поверхностных дефектов типа «вытравленная окалина» и «рябизна» предложено осуществлять прокатку со степенью суммарной относительной деформации, определяемой из выражения [7]:

$$\varepsilon_{\Sigma(onm)} = 0.366 - 1.255\mu + 1.749 \frac{\delta_0}{h_0}. \quad (6)$$

Таблица 1. Пример определения оптимальных суммарных обжатий

$\frac{\delta_0}{h_0} = 0.15$				$\frac{\delta_0}{h_0} = 0.25$			
$\mu = 0.05$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.55$	$\varepsilon_{\Sigma(onm)} = 0.566$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.60$	$\mu = 0.07$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.70$	$\varepsilon_{\Sigma(onm)} = 0.715$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.73$
$\frac{\delta}{h}$	0.01	0.0003403	0.012	$\frac{\delta}{h}$	0.013	0.000145	0.01
$\mu = 0.04$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.55$	$\varepsilon_{\Sigma(onm)} = 0.578$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.61$	$\mu = 0.06$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.70$	$\varepsilon_{\Sigma(onm)} = 0.728$	$\varepsilon_{\Sigma} = 0.75$
$\frac{\delta}{h}$	0.016	0.0004105	0.011	$\frac{\delta}{h}$	0.021	0.0000563	0.017

Зная значение коэффициента трения, с которым проводится прокатка полосы, и величину начальной относительной глубины дефекта, с помощью выражения (6) можно определить оптимальную величину суммарных обжатий, при которой относительная глубина дефекта будет иметь очень малое значение.

### Выводы:

Предложена математическая модель, позволяющая отследить трансформацию поверхностных дефектов типа «вытравленная окалина» и «рябизна» на любой стадии деформации процесса холодной прокатки. Модель представлена в форме уравнения среднего контактного напряжения и критерия интенсивности сглаживания дефектов. Проведен анализ моделируемой ситуации; исследование результатов расчета и построение графиков позволили определить параметры, оказывающие сильное влияние на трансформацию поверхностного дефекта типа раковина. Экспериментальным путем получена зависимость параметров модели трансформации дефектов, позволяющая найти величину оптимального обжатия полосы до минимального значения глубины дефекта.

### Список литературы

1. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.
2. Грудев А.П. Теория прокатки. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 240 с.

3. Клименко П.Л., Данченко В.Н. Контактные напряжения при прокатке. Днепропетровск: Пороги, 2007. 297 с.

4. Николаев В.А. Теория прокатки: Монография. М.: Metallurgy, 2007. 228 с.

4. Бармин Г.Ю. Регламентация качества поверхности подката, режимов холодной прокатки и дрессировки при производстве тонкой и тончайшей жести: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М., 1990.

5. Николаев В.А. Теория прокатки: монография. М.: Metallurgy, 2007. 228 с.

6. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металла давлением. М.: Metallurgy, 1982. 312 с.

7. Пинчук С.И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем: учеб. пособие. Днепропетровск: ООО Независимая издательская организация «Дива», 2008. 246 с.

УДК 538.935

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР $\text{In}_2\text{Te}_3/\text{InAs}$ и $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)} (\text{x} \sim 0.65) \text{Te}_3/\text{InAs}$

Михайлюк Е. А.<sup>1</sup>, Проколова Т. В.<sup>2</sup>, Котов Г. И.<sup>3</sup>, Безрядин Н. Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ  
«МИСиС», Старый Оскол

<sup>2</sup> Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина,  
Воронеж

<sup>3</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж  
gazon1978@yandex.ru

**Аннотация.** Комплексное применение электрофизических методов для оценки параметров центров локализации заряда в запрещённой зоне материала слоя  $\text{In}_2\text{Te}_3$  с учётом результатов решения уравнения электронейтральности позволяет интерпретировать механизмы токопрохождения в гетероструктуре  $\text{Al}/\text{In}_2\text{Te}_3/\text{InAs}$  ( $n$

---

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10030)

- типа) с участием двух типов глубоких уровней ( $E_d = 0.5\text{эВ}$  и  $E_t = 0.36\text{эВ}$ ) в интервале температур от (77 до 400) К. Установлен факт отсутствия влияния генерационно-рекомбинационных процессов на изолирующие свойства слоев теллуридов индия, что доказывает возможность использования их в качестве подзатворных в полевых гетероструктурах.

**Ключевые слова:** теллурид индия; арсенид индия; подвижность электронов и дырок; дифференциальная проводимость и емкость.

## ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR

### HETEROSTRUCTURES $\text{In}_2\text{Te}_3/\text{InAs}$ AND $\text{In}_{2x}\text{Ga}_{2(1-x)}$ ( $x \sim 0.65$ ) $\text{Te}_3/\text{InAs}$

Mikhailyuk E. A.<sup>1</sup>, Prokopova T. V.<sup>2</sup>, Kotov G. I.<sup>3</sup>, Bezryadin N. N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Sary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Sary Oskol*

<sup>2</sup> *Military educational scientific center air force "Air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin", Voronezh*

<sup>3</sup> *Voronezh state University of engineering technologies, Voronezh*

*gazon1978@yandex.ru*

**Abstract.** *Complex application of physical methods to estimate the parameters of the centers of charge localization in the bandgap of the material  $\text{In}_2\text{Te}_3$  layer based on the results of solving the equation of electroneutrality allows to interpret the mechanisms of the current flows in the heterostructure  $\text{Al}/\text{In}_2\text{Te}_3/\text{InAs}$  ( $n$  - type) with two types of deep levels ( $E_d = 0.5\text{eV}$  and  $E_t = 0.36\text{eV}$ ) in the temperature range of (77 to 400) K. the fact of the absence of the influence of generation-recombination processes on insulating the layer properties of the tellurides of indium, which proves the possibility of their use as gate in field heterostructures.*

**Keywords:** indium telluride; indium arsenide; the mobility of electrons and holes; the conductivity and differential capacitance.

Применение полупроводниковых соединений группы  $A^{III}B^V$  для создания оптоэлектронных и микроэлектронных приборов актуально, так как позволяет значительно расширить их функциональные возможности [1,2]. Большой интерес

вызывает арсенид индия ( $InAs$ ) в виду высокой подвижности носителей заряда, что делает его перспективным для изготовления полевых приборов СВЧ электроники ( $\mu \approx 22600 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$ ,  $E_g = 0.356 \text{ эВ}$ ). Однако, для таких бинарных соединений при реализации технических решений существует проблема формирования диэлектрических слоев, обеспечивающих низкую плотность центров локализации заряда (ЦЛЗ) на границе раздела (ГР) диэлектрик - полупроводник (ДП). В 1974 году в работах Б. И. Сысоева и В. Ф. Сынорова [3] была предложена концепция, в рамках которой в качестве диэлектрического слоя использовались широкозонные полупроводниковые материалы (П') со стехиометрическими вакансиями типа  $A_2^{III}B_3^{VI}$  из классов материалов типа  $A^{II}B_2^V$ . В работах Безрядина Н. Н. [4,5] эта идея развита до возможности получения таких гетероструктур методом напыления в квазизамкнутом объеме (КЗО) из независимых источников элементарных компонентов. В работе для формирования гетероструктур на основе  $InAs$  использовался теллурид индия  $In_2Te_3$ , типичный представитель полупроводниковых соединений  $A_2^{III}B_3^{VI}$  [ $\mu \approx 340 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$ ,  $E_g = 0.356 \text{ эВ}$ , концентрация основных носителей заряда ( $10^{14} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$ )]. Электрические характеристики таких соединений нечувствительны к примесям и радиационным воздействиям из-за большой концентрации стехиометрических вакансий ( $10^{21} \text{ см}^{-3}$ ) [6,7]. В связи с этим в данной работе проведено комплексное исследование полупроводниковых соединений группы  $A^{III}_2B^{VI}_3$  ограниченной толщины для использования в качестве слоев П' в гетероструктурах типа МП'П.

С одной стороны, гетероструктура типа  $A^{III}_2B^{VI}_3/InAs$  хорошо удовлетворяет требованиям МДП – структур с идеальным диэлектриком в рамках концепции Сынорова-Сысоева, с другой стороны, отвечает требованиям структурного соответствия на границе раздела в гетеропереходах типа  $A_2^{III}B_3^{VI} - InAs$ . Так как теллурид индия относится к классу соединений со стехиометрическими вакансиями с кристаллической структурой типа сфалерита, а хорошее соответствие постоянных кристаллических решеток  $In_2Te_3$  ( $a_0 \sim 0.616 \text{ нм}$ ) и  $InAs$  ( $a_0 \sim 0.606 \text{ нм}$ ) предопределяет возможность формирования границы раздела между этими материалами с низкой плотностью поверхностных состояний. Методами электронографии показано, что слои теллурида индия полученные по технологии гетеровалентного замещения (ГВЗ) и методом напыления в КЗО из независимых источников имеют монокристаллическую структуру отвечающую фазе  $\alpha - In_2Te_3$  с упорядоченными вакансиями [6]. Анализ ВАХ [8] позволяет определить механизм токопрохождения в гетероструктурах: при отрицательном прикладываемом напряжении он соответствует модели

токопрохождения, ограниченного пространственным зарядом; при положительном напряжении – механизму Пула-Френкеля. Анализ температурных зависимостей дифференциальной проводимости позволяет оценить параметры глубоких центров локализации зарядов в слоях полупроводников  $A_2^{III}B_3^{VI}$ , энергия активации которого ( $E_c$ )  $\sim 0.5$  эВ для  $In_2Te_3$  и  $\sim 0.62$  эВ для  $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$  ( $x \sim 0.65$ ). В пределах используемой методики, это значение отвечает ровно  $\frac{1}{2}\Delta E_g$  соединений со стехиометрическими вакансиями типа  $In_2Te_3$  и обусловлено активацией свободных носителей заряда в слое  $In_2Te_3$  [9]. Важно отметить, что наклон зависимостей тока от температуры позволяет зарегистрировать диапазон температуры  $T \sim (250 - 300)$  Кв котором наблюдается перехода к собственной проводимости. В слоях, полученных по технологии ГВЗ, наблюдается участок с пониженным наклоном, из которого получены значения энергии активации глубокого уровня  $\sim (0.3 \div 0.35)$  эВ, что не может быть связано с поведением центра с энергией 0.5 эВ. Для гетероструктур, полученных по технологии ГВЗ и механизм токопрохождения в которых соответствует модели ТОПЗ без захвата на ловушки, всегда имеется участок с величиной наклона более  $\frac{1}{2}\Delta E_g$ , оценка которого позволяет получить значение энергии активации порядка  $\sim 0.7$  эВ. Возможно, это связано с различием подвижностей электронов и дырок в исследуемых слоях. Таким образом, можно сделать вывод, что при создании такого рода гетероструктур наряду с технологическими трудностями получения идеальной границы раздела, существует еще и задача метрологического характера. Связанная, в первую очередь, с отсутствием возможности однозначной идентификации центров в исследуемых слоях теллурида индия. Анализ представленных зависимостей показывает, что классические методы исследования (ВАХ, I(T)) не обладают необходимой чувствительностью к глубоким уровням, обусловленным макронеоднородностями. Поэтому при обработке результатов не учитывается влияние примесей с глубокими или мелкими уровнями на электронные процессы, происходящие на ГР ПП.

Для решения обозначенных задач в работе предлагается использовать метод адмиттанса (Николлиан-Гоетцбергер, Прайер) и метод эквивалентных схем (Леговек-Слободской) [10]. В результате такого комплексного решения измеренные значения дифференциальной проводимости ( $G_m$ ), ёмкости ( $C_m$ ) можно пересчитать в

нормированную проводимость гетероструктуры  $\frac{G_p(\omega)}{\omega}$ . Результаты таких преобразований представлены в работе [11] и позволяют не только зафиксировать присутствие ЦЛЗ в запрещенной зоне исследуемых теллуридов, но и убедиться в различии частотных факторов, обуславливающих эти уровни. Показано, что характерное постоянное значение концентрации донорного уровня ( $N_d \sim 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) с энергией  $\sim 0.5$  эВ в пленках, полученных различными способами, не зависит от структурного совершенства слоя, и поэтому позволяет утверждать, что его присутствие связано с объемными свойствами теллурида. Для ловушечного центра ( $N_t$ ) минимальное значение концентрации центра ( $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ) фиксируется в слоях, полученных по технологии ГВЗ. В плёнках, полученных методами напыления, концентрация центра по мере удаления от границы раздела с подложкой *InAs* убывает от  $10^{15} \text{ см}^{-3}$  до  $10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Таким образом, поведение центра с энергией активации  $\sim 0.36$  эВ связано с высокой плотностью макродефектов в пленке на границах зерен в приграничной с подложкой *InAs* области [11,12].

В работе [13] приведены результаты моделирования процессов токопрохождения в слоях типа  $A_2^{III}B_3^{VI}$  гетероструктур на основе арсенида индия, полученные в ходе решения уравнения электронейтральности с учетом двух типов глубоких уровней в запрещенной зоне материала слоя. При температуре ниже 250 К электропроводность образца обусловлена электронами с участием уровней в верхней половине запрещенной зоны материала. При последующем увеличении температуры образца в интервале  $\sim (250 - 300)$  К происходит изменение типа носителей, обеспечивающих преобладающий вклад в процесс токопереноса. Тогда особенность температурной зависимости тока  $I(T)$  гетероструктуры *Al/In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/InAs*(*n*-типа), представленная в работе [8], обусловлена не истощением на глубоком центре с энергией  $\sim 0.5$  эВ в *In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>*, а изменением степени заполнения глубокого уровня с энергией  $\sim 0.36$  эВ в процессе увеличения температуры образца. В работе [13, 14] для гетероструктур *Al/In<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/InAs*(*n*-типа) получена зависимость подвижности электронов и дырок от температуры образца. Анализ, который доказал, что во всем исследованном интервале температур подвижность дырок в теллуриде индия выше подвижности электронов, что совпадает с выводами работы [15]. Другой особенностью этих зависимостей является отсутствие участков, отвечающих за рассеяние на ионизированных примесях. Тогда можно утверждать, что основной вклад в рассеяние носителей заряда в плёнках теллуридов индия вносят дефекты кристаллической

решётки  $In_2Te_3$ , а так же фононные колебания [16]. Контроль дебаевской длины экранирования по значениям концентрации носителей заряда показывает, что во всем исследованном интервале температур строго выполняется условие  $d < L_d$  для слоя теллурида индия [3,4].

Таким образом, предложенные в работе методы позволяют оценивать параметры ЦЛЗ в запрещённой зоне материала слоя  $In_2Te_3$ . А использование приемов компьютерного моделирования позволяет интерпретировать электронные процессы с участием двух глубоких уровней и сделать вывод о возможности применения слоев  $In_2Te_3$  в качестве подзатворного слоя в структурах типа МДП на основе арсенида индия.

### Список литературы

1. Алферов, Ж. И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур / Ж.И. Алферов // ФТП. – 1998. – Т. 32. – № 1. – С. 3 – 18.
2. Боднар, И. В. Выращивание, структура и свойства монокристаллов  $In_2S_3$  / И. В. Боднар, В. Ф. Гременок // Неорганические материалы. – 2008. – Т. 44. – № 4.
3. Сыдоров, В. Ф. Вопросы использования широкозонных полупроводников с низкой концентрацией примесных центров в приборах диэлектрической электроники / В. Ф. Сыдоров, Б. И. Сысоев // Проблемы диэлектрической электроники: сб. статей под ред. С. А. Азимова. – Ташкент: Изд-во ФАН, 1974. – С. 292 – 302.
4. Сыдоров В. Ф., Безрядин Н. Н., Сысоев Б. И., Мартынова Н. А. Влияние локализованных состояний в полупроводниковом слое критической толщины на электрофизические свойства тонкопленочных структур МП'ДП / В. Ф. Сыдоров, Н. Н. Безрядин, Б. И. Сысоев, Н. А. Мартынова // Изв. Вуз. Физика. – 1981. – №1. – С. 82 – 87.
5. Получение пленок полупроводниковых соединений в квазизамкнутом объеме / Н. Н. Безрядин Ю. В. Сыдоров, А. М. Самойлов и тд. // Вестник ВГТУ серия «Материаловедение» выпуск 1.11, Воронеж (2002). – С. 47 – 52.
6. Атрощенко, Л.В. Свойство химической инертности примесей металлов в полупроводниках со стехиометрическими вакансиями / Л. В. Атрощенко, В. П. Жузе, В. М. Кошкин и др. // № 245, Бюлл. изобр. и отк. СССР, 1981. – №41.
7. Кошкин, В.М. Материалы и устройства с гигантским радиационным ресурсом / Кошкин В.М., Воловичев И.Н., Гуревич Ю.Г., Гальчинецкий Л.П., Раренко И.М. // В сб.: Материалы сцинтилляционной техники / Ин-т монокристаллов. 2006. – С. 5–61.

8. Электрофизические свойства  $In_2Te_3$  и  $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3$  в гетероструктурах на основе  $InAs$  / Безрядин Н. Н., Михайлюк Е. А., Буданов А. В., Прокопова Т. В. // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2014. – Т.10. – № 4. – С. 69 – 73.
9. Current – voltage characteristics of MIS structures with semiconducting gate layers / Sysoev V. I., Rovinskii A. P., Synorov V. F., Bezryadin N. N. // Microelectronics, 1978. – V. 7, – № 2. – P. 163.
10. Бормонтов, Е. Н. Исследования поверхностных состояний в МДП – структурах с учетом флуктуационных и туннельных эффектов / Е. Н. Бормонтов, С. В. Лукин: тез. докл. III Российской конференции по физике полупроводников "Полупроводники – 97". – Москва, 1997. – С. 318.
11. Михайлюк, Е. А. Построение эквивалентных схем для оценки параметров поверхностных состояний на границе раздела гетероструктур со слоями теллуридов индия / Михайлюк Е. А., Прокопова Т. В., Татохин Е. А. // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) //– Ч. 5, – № 6, 2014. – С. 7 – 12.
12. Проводимость плёнок  $In_2Te_3$  в гетероструктурах на основе арсенида индия // Вестник Воронежского государственного университета / Михайлюк Е. А., Прокопова Т. В., Татохин Е. А., Безрядин Н. Н. //–Т.10, – № 4, 2014. – С. 37 – 44.
13. Моделирование процессов токопрохождения плёнок  $A^{III}_2B^{VI}_3$  в гетероструктурах на основе арсенида индия / Михайлюк Е.А., Безрядин Н.Н., Прокопова Т.В. // Конденсированные среды и межфазные границы, 2015. –Т.17. – № 2.– С. 181 – 191.
14. Глубокие центры на границе раздела в гетероструктуре  $In_{2x}Ga_{2(1-x)}Te_3/InAs$  и  $In_2Te_3/InAs$ / Домашевская Э.П., Михайлюк Е.А., Безрядин Н.Н., Прокопова Т.В. // ФТП, 2016. – № 3.– С. 111 – 121.
15. Технология тонких пленок. Справочник / ред. Майссела Л., Глэнга Р.; пер. с англ. Т. 1. Москва: Сов.радио, 1977. – С. 664.
16. Шалимова, К. В. Физика полупроводников: учебное пособие / К. В. Шалимова. – Москва: Изд – во Энергия, 1976. – С. 416.

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**Основина О.Н., Боева Л.М.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Старый  
Оскол*

[osnovin72@mail.ru;boeva@inbox.ru](mailto:osnovin72@mail.ru;boeva@inbox.ru)

**Аннотация.** *Рассматривается взаимосвязь между показателями экономической эффективности и показателями безотказности и ремонтпригодности автоматизированных систем управления. Предлагается методика расчета дополнительного экономического эффекта от повышения эксплуатационной надежности всей системы и необходимые для этого затраты.*

**Ключевые слова:** *автоматизированные системы управления (АСУ); эксплуатационная надежность АСУ; экономическая эффективность АСУ; критерий оптимизации надежности; годовой экономический эффект; срок службы автоматизированной системы.*

## ON APPROACH OF ECONOMICAL FEASIBILITY LEVEL ASSESSMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS RELIABILITY

**Osnovina O.N., Boeva L.M.**

*Sary Oskol Technological Institute branch of the National Research Technological Institute  
«Moscow Institute of Steel and Alloys», Sary Oskol*

[osnovin72@mail.ru;boeva@inbox.ru](mailto:osnovin72@mail.ru;boeva@inbox.ru)

**Abstract.** *The relationship between economic performance and indicators of automated control systems reliability and maintainability is examined. The method of additional economic impact calculation achieved by the increasing of operational reliability of the entire system is offered. Necessary costs are also estimated.*

***Keywords:** the automated control systems (management information system); operational reliability of the automatic control system; the economic efficiency of the ACS; the optimization criterion of reliability; annual economic effect; service life of the automated system.*

## **Введение**

Основной экономический эффект от применения АСУ определяется повышением эффективности автоматизируемого производства, повышением качества и надежности управления, сопровождаемым снижением потерь, повышением производительности и ритмичности производства и т.п.

В соответствии с [1] эффективность АСУ определяют сопоставлением результатов от функционирования АСУ и затрат всех видов ресурсов, необходимых для ее создания и развития. Критерий эффективности АСУ определяют на множестве показателей, каждый из которых описывает одну из сторон рассматриваемой системы.

При разработке АСУ можно рассматривать два аспекта эффективности: эффективность автоматизации (при автоматизации существующих систем управления) и эффективность работы АСУ.

При определении результатов от функционирования АСУ в соответствии с [1] задают универсальную систему обобщенных показателей, таких, как оперативность, устойчивость, качество управления и др. Используемые показатели должны быть развернуты применительно к характеристикам конкретной АСУ. В частности, устойчивость АСУ определяется показателями ее эксплуатационной надежности.

Таким образом, задача обеспечения и повышения эксплуатационной надежности АСУ является частью более общей задачи – повышения эффективности функционирования системы управления. Одним из основных вопросов, возникающих при этом, является исследование взаимосвязи между надежностью и эффективностью АСУ. Эта связь неоднозначна даже на первый взгляд.

Так, с одной стороны, повышение надежности АСУ снижает количество простоев технологического оборудования; уменьшает временные и материальные потери ресурсов, связанные с его отказами; ведет к повышению эффективности производства [2].

С другой же стороны, повышение надежности АСУ связано с увеличением расходов. В частности, совершенствование элементной базы, введение структурного и временного резервирования, информационной, функциональной и алгоритмической

избыточности АСУ ведут к повышению одновременных затрат на ее содержание. Частое и более тщательное обслуживание компонентов и функций АСУ требует больших текущих затрат на ее содержание и обслуживание.

### **Оценка дополнительного экономического эффекта от функционирования АСУ**

Поскольку экономическая эффективность АСУ определяется уровнем ее надежности, то экономически целесообразный уровень надежности выбирается сравнением схожих по структуре и функциям вариантов (критерий оптимизации надежности) [3].

Под экономически целесообразным уровнем надежности понимается наилучший вариант по максимуму эффективности, измеряемой годовым дополнительным экономическим эффектом:

$$\mathcal{E}_H = (\Delta C_{\Pi} - E_H \Delta k) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $\Delta C_{\Pi}$  - годовая экономия от снижения себестоимости изготовления продукции при внедрении проектируемой системы;  $E_H$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;  $E_H \Delta k$  - нормативная экономия от использования дополнительных капиталовложений.

В качестве критерия оптимизации надежности предлагается использовать величину дополнительного эффекта за срок службы автоматизированной системы  $T_C$

$$\mathcal{E}_T = (\Delta C_{\mathcal{D}} T_{\mathcal{D}} - \Delta k) \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $\Delta C_{\mathcal{D}} T_{\mathcal{D}}$  - экономия за счет снижения себестоимости  $\Delta C_{\mathcal{D}}$  (без учета амортизационных отчислений);  $\Delta k$  - дополнительные капитальные затраты, от которых получена экономия;  $T_{\mathcal{D}}$  - эквивалентный срок службы, определяемый по формуле:

$$T_{\mathcal{D}} = (1 - e^{-E_H T_C}) / E_H.$$

Надежность АСУ будет оптимальной, если каждый элемент системы будет иметь оптимальную интенсивность отказов  $\lambda_{i_{opt}}$  [4].

Оптимальная интенсивность отказов всей системы определяется по формуле:

$$\lambda_{сopt} = \sum_{i=1}^N \lambda_{i_{opt}}, \quad (3)$$

где  $N$  – количество элементов в системе.

Дополнительный экономический эффект при этом будет наибольшим за счет снижения среднего числа отказов.

Пусть  $\lambda_{СИ}$  - интенсивность отказов исходной системы, а  $\lambda_{СП}$  - интенсивность отказов проектируемой системы, причем  $\lambda_{СИ} > \lambda_{СП}$ .

Годовая экономия на расходах по эксплуатации при использовании проектируемой системы вместо исходной будет:

$$\Delta C_{ДЭ} = C_{ВИ} \lambda_{СИ} - C_{ВП} \lambda_{СП}, \quad (4)$$

где  $C_B$  – средняя стоимость восстановления системы после отказа.

Если отказы обусловлены только отказами  $i$ -ого элемента системы, то годовая экономия на расходах по эксплуатации, обусловленная повышением надежности элемента от  $\lambda_{СИ}$  до  $\lambda_{СП}$ , вычисляется по формуле:

$$\Delta C_{ДЭ} = \Delta C_{ДЭi} = C_{Vi} (\lambda_{СИ} - \lambda_{СП}) = C_{Vi} (\lambda_{Иi} - \lambda_{Пi}), \quad (5)$$

где  $C_{Vi}$  – средняя стоимость восстановления  $i$ -ого элемента (примерно одинаковая для обеих систем).

Потери от простоев

$$П = (BT_B + H) \lambda, \quad (6)$$

где  $B$  – условно-постоянные расходы в единицу времени;  $H$  – средний ущерб от одного отказа системы;  $T_B$  – среднее время восстановления после каждого отказа.

Годовая экономия от сокращения потерь, вызванных простоями системы, определяется разностью потерь от простоев исходной  $П_{ИИ}$  проектируемой  $П_{П}$  систем:

$$\Delta C_{ДП} = П_{И} - П_{П} = B(T_{ВИ} \lambda - T_{ВП} \lambda) + H(\lambda_{И} - \lambda_{П}). \quad (7)$$

Если отказы системы обусловлены только отказами  $i$ -ого элемента со средним временем восстановления  $T_{Vi}$ , то:

$$\Delta C_{ДП} = \Delta C_{ДПi} = (BT_{Vi} + H_i) (\lambda_{Иi} - \lambda_{Пi}).$$

$$\Delta C_{Дi} = \Delta C_{ДПi} + C_{ДЭi} = (BT_{Vi} + H_i + C_{Vi}) (\lambda_{Иi} - \lambda_{Пi}) = R_i (\lambda_{Иi} - \lambda_{Пi}),$$

где  $R_i = (BT_{Vi} + H_i + C_{Vi})$ .

Приращение стоимости элемента определяется:

$$\Delta k'_i = S'_i \ln \frac{\lambda_{Иi}}{\lambda_{Пi}}, \quad (8)$$

где  $S'_i$  – постоянная затрат на повышение надежности элемента, численно равная приращению стоимости элемента при снижении интенсивности отказов в  $e \approx 2,7$  раза.

Подставим значения  $\Delta k'_i$  и  $\Delta C_{дi}$  в формулу 2, получим:

$$\mathcal{E}_{Ti} = (\lambda_{Иi} - \lambda_{Пi}) R_i T_{\mathcal{E}} - S'_i \ln \frac{\lambda_{Иi}}{\lambda_{Пi}}. \quad (9)$$

Если эквивалентные сроки службы  $T_{\mathcal{E}i}$  элемента и системы не совпадают, то

$$\mathcal{E}_{Ti} = (\lambda_{Иi} - \lambda_{Пi}) R_i T_{\mathcal{E}} - S_i \ln \frac{\lambda_{Иi}}{\lambda_{Пi}},$$

где  $S_i = S'_i \frac{T_{\mathcal{E}}}{T_{\mathcal{E}i}}$ .

Из формулы 9 следует, что при повышении надежности элемента эффект сначала возрастает, а затем снижается, т.е. существует максимум  $\mathcal{E}_{Ti \max}$ . Это объясняется тем, что при высоком уровне надежности элемента затраты на дальнейшее ее повышение превышают получаемую при этом экономию на потерях, которая при высоком уровне надежности невелика.

Для определения оптимальной интенсивности отказов  $\lambda_{i \text{opt}}$  необходимо продифференцировать по  $\lambda_{Пi}$  выражение для  $\mathcal{E}_{Ti}$  и приравнять производную к нулю:

$$\frac{d\mathcal{E}_{Ti}}{d\lambda_{Пi}} = -R_i T_{\mathcal{E}} + \frac{S_i}{\lambda_{Пi}} = 0,$$

откуда  $\lambda_{Пi \text{opt}} = \frac{S_i}{R_i T_{\mathcal{E}}}$ .

Тогда можно определить

$$\mathcal{E}_{Ti \max} = (\lambda_{Иi} - \lambda_{Пi}) R_i T_{\mathcal{E}} - S_i \ln \frac{\lambda_{Иi}}{\lambda_{Пi \text{opt}}}, \quad (10)$$

и 
$$\Delta k'_{i \text{opt}} = S'_i \ln \frac{\lambda_{Иi}}{\lambda_{Пi \text{opt}}}.$$

Зная  $\lambda_{Пi \text{opt}}$  можно определить оптимальную интенсивность всей системы  $\lambda_{\text{Copt}}$ .

Экономический эффект от повышения надежности всей системы и необходимые для этого затраты равны:

$$\mathcal{E}_{TC \max} = \sum_{i=1}^N \mathcal{E}_{Ti \max} \quad \text{и} \quad \Delta k_{\text{Copt}} = \sum_{i=1}^N \Delta k'_{i \text{opt}}.$$

## Список литературы

1. ГОСТ 24.702-85. Эффективность автоматизированных систем управления. Основные положения. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.rgost.ru/>.
2. Острейковский В. А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
3. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. – Донецк: Юго-Восток, 2007. – 379 с.
4. Можаяев А. С., Нозик А. А. Методические основы автоматизированного моделирования и расчета надежности и безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами. СПб.: ОАО «СПИК СЗМА», 2002. Internet, сайт: [http://safety.fromru.com/soll/PK\\_ASM/aticle/mozhaev.htm](http://safety.fromru.com/soll/PK_ASM/aticle/mozhaev.htm).

УДК 004.89+65.011.56

## О ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Полезченко Д.А., Цыганков Ю.А.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ  
«МИСиС», Старый Оскол*

*TsY-18@yandex.ru*

*Аннотация.* В ходе проведенного анализа литературных источников было выявлено, что на сегодняшний день отсутствуют надежные методики контроля степени загрузки шаровой мельницы. Для решения данной задачи авторами предлагается метод нейросетевого анализа спектра сигнала виброускорения ее цапфы. Предлагается использовать конкурентную нейронную сеть для определения предзавального состояния мельницы.

*Ключевые слова:* нейронная сеть, адаптивно-резонансная теория (АРТ), шаровая мельница, анализ спектра.

## ABOUT POSSIBILITY OF BALL MILL STATE CONTROL USING NEURAL NETWORK

Poleshchenko D.A., Tsygankov Y.A.

**Abstract.** *Having analysed the actual scientific papers, the conclusion could be made that there are no reliable methods of ball mill load control. A method of acceleration signal spectrum analysis by the means of neural networks is proposed to solve that problem. It is proposed to use a competitive neural network to determine the overload state of the mill.*

**Keywords:** *neural networks, adaptive resonance theory (ART), a ball mill, spectrum analysis.*

При нынешнем уровне развития техники и внедрении систем автоматизации в технологические процессы производства, дальнейшие усовершенствования, способные оправдать себя, возможны только при применении высоких технологий. Поэтому все чаще встает проблема не столько технических усовершенствований, сколько усовершенствований в области алгоритмического обеспечения систем управления. Особенно актуально это стало в последний годы, когда происходит постоянный рост цен на энергоносители. Одной из подобных проблем горно-обогатительных предприятий является проблема управления степенью загрузки шаровой мельницы.

Шаровая мельница является объектом, осуществляющим помол рудного материала, поступающего из корпуса дробления.

Проблема заключается в том, что наиболее энергоэффективный режим работы объекта состоит в загрузке барабана мельницы рудным материалом, близкой к состоянию, когда она начнет перегружаться. При подаче излишнего объема руды мельница переходит в состояние перегруза, которое сопровождается выносом из мельницы неизмельченной руды, шаров и приводит к необходимости аварийной остановки объекта. Как следствие, простой мельницы до устранения последствий перегруза ведет к существенным экономическим потерям предприятия. Чтобы избежать подобного негативного явления оператор мельницы вынужден работать в режиме недогруза, который может составлять 5 - 15% . При большой энергоемкости привода мельницы (4 МВт) повышение производительности даже на 1% может принести существенную экономическую прибыль предприятию.

Вопрос контроля степени загрузки шаровой мельницы является значимым уже довольно продолжительное время, однако в последние годы, с ростом объема производств и увеличением числа используемых шаровых мельниц, он становится еще более актуален. И это касается не только горнодобывающей промышленности. Данный тип мельниц широко распространен и применяется в цементной и прочих отраслях.

Даже опытный оператор, способный лишь приблизительно определять момент предзавала, не сможет это сделать удаленно, контролируя за пультом управления сразу несколько агрегатов. А стандартные методы измерения и управления оказываются неэффективны в условиях большой инерционности процесса помола.

Известен способ измерения степени загрузки мельницы на основе анализа сигнала активной мощности, потребляемой синхронным двигателем мельницы [1]. На практике этот способ дает весьма противоречивые результаты. После наступления ситуации завала сигнал активной мощности двигателя продолжает незначительно расти, а только затем наступает момент начала его снижения, что приводит к запаздыванию в регулировании и не позволяет однозначно оценивать степень загрузки на основе только этого сигнала.

Другая идея анализа заключается в измерении давления смазки в гидроподпоре подшипников мельницы. Существуют системы релейного и непрерывного типа, которые основываясь на показаниях датчиков давления, регулируют подачу руды в мельницу [2]. Однако данный вид систем не зарекомендовал себя в промышленности, поскольку он обладает относительно невысокой чувствительностью (небольшое изменение рудной загрузки практически не отражается на показаниях давления). К тому же для обеспечения работоспособности данной системы предъявляются очень высокие требования к качеству смазочного материала, требуется обеспечение необходимого температурного режима, который влияет на вязкость, а, соответственно, и на показания давления, недопустимо наличие утечек и подтеков в системе. Все это требует приложения усилий в плане технического контроля и не всегда выполнимо в условиях производства.

В последнее время на рынке решений данной проблемы появился метод анализа на основе зависимости температуры материала при его разрушении от твердости самого материала [3]. Данная методика была применена ООО «СКАТ» при разработке автоматизированной системы «Измерение», которая прошла промышленные испытания. Однако данных об ее использовании в производстве на постоянной основе на данный момент не имеется.

Одним из наиболее действенных и распространенных методов анализа является применение излучения радиоизотопных материалов. На основе этого решения был создан прибор РИЗМ (радиоизотопный анализатор загрузки мельницы), который применяется на некоторых предприятиях[4]. Но его недостатками являются невысокая точность, релейный режим работы, конструктивные особенности установки для обеспечения достоверности показаний, невыполнение которых может привести к получению неверных измерений из-за некоторых особенностей работы в водопадном режиме работы мельницы, и наличие вредного ионизирующего излучения, которое оказывает воздействие на здоровье всего обслуживающего персонала. Вследствие чего горнодобывающие предприятия вынуждены отказываться от его применения.

Наиболее перспективным направлением в решении данной проблемы авторами считается метод анализа сигнала вибрации, измеряемого непосредственно на самой мельнице, что существенно уменьшает помехи, накладываемые от соседних агрегатов.

Данная идея не нова, на базе этого решения предприятием ОАО «Союзцветметавтоматика» создан прибор «УРК-3», который при помощи датчика вибрации, устанавливаемого на головном подшипнике мельницы, анализирует степень загрузки шаровой мельницы[4].

Дальнейшим развитием идей электроакустического и вибрационного анализов стало их совмещение в виде программно-аппаратного комплекса отечественного производства «ВАЗМ-1». Данный прибор показал работоспособность не только в лабораторных, но и в производственных условиях [4]. Однако при его долговременном использовании значительно уменьшается точность измерений. При изменении внешних условий работы, а именно подаче материала другой твердости, износе футеровки барабана мельницы и прочих узлов агрегата, показания прибора «плывут», поскольку при изменении внешних условий требуется корректировка и перенастройка комплекса, чего не может сделать оператор мельницы.

Актуальность этой идеи доказывается тем, что подобное направление развивается и зарубежными исследователями. Работы Карла Гугеля совместно с Digital Control Lab привели к созданию комплекса под названием MillSlicer, который при помощи датчиков вибрации, устанавливаемых на загрузочной, разгрузочной цапфах мельницы и ее барабане, снимает сигнал вибрации [5]. Затем ведется обработка сигнала. Главным новшеством является то, что обработка происходит при помощи одного из методов искусственного интеллекта – нейронных сетей (НС).

Данное направление исследований проблемы было выбрано авторами в качестве приоритетного. Было проведено множество экспериментов, которые показали работоспособность идеи анализа спектра виброускорения при помощи нейронной сети [6].

Для анализа предзавального состояния мельницы предлагается использовать самоорганизующуюся конкурентную нейронную сеть. Самоорганизующиеся нейронные сети обучаются без учителя. Они способны адаптироваться к входным данным, используя содержащиеся в этих данных зависимости, а также произвести выделение признаков, характеризующих состояние исследуемого процесса.

Структура сети состоит из 2х слоев. Первый слой является распределительным. Информативное число нейронов в нем соответствует полосе пропускания спектра виброускорения с определенным шагом дискретизации частоты. Нейроны второго слоя функционируют по формуле:

$$y_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i = |w^j| |x| \cos \alpha \quad (1)$$

При обучении нейронной сети при подаче каждого входного вектора определяется нейрон-победитель, для которого значение (1) максимально. Для этого нейрона синаптические связи усиливаются по формуле:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \beta(x_i - w_{ij}(t)) \quad (2)$$

где  $\beta$  – скорость обучения.

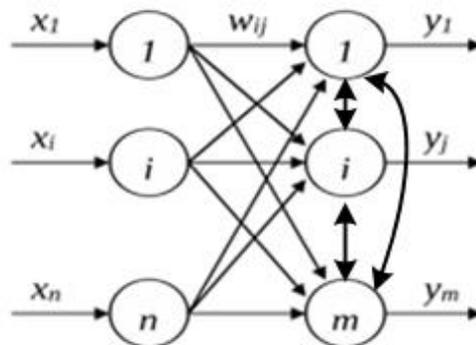


Рис. 1. Самоорганизующаяся конкурентная нейронная сеть

При проведении исследований, было выявлено, что данная нейронная сеть обладает способностью разделять степени загрузки шаровой мельницы. На основании этого было сделано предположение, что нейронная сеть сможет выделять предперегрузочное состояние.

Дальнейшим перспективным направлением исследований авторы считают применение для анализа предзавального состояния мельницы нейронных сетей адаптивно-резонансной теории (АРТ), в частности сетей АРТ-2 и АРТ-3, главным преимуществом которых является то, что они имеют способность к оперативному самообучению. Данное свойство, предположительно, значительно упростит процесс адаптации системы к новым, неизвестным до этого, состояниям объекта.

### Список литературы

1. А.с. 874186 СССР. Способ контроля загрузки шаровой мельницы/ А. А. Смирнов, В. Н. Воронин, В. Г. Дюмин, О. Н. Тихонов // Бюл. -1980. - № 2. – С.25.
2. Сибирцева Н.Б., Потапенко А.Н., Семилетов Н.А. Методы измерения уровня загрузки мельницы, основанные на физических процессах современных централизованных систем смазки// Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.12. – 2010. - №4(3). – с.694 - 697
3. Леонов А.С., Татьянин А.И., Чаков В.Н., Бояров И.Ф. Оптимизация процесса измельчения на обогатительной фабрике Стойленского ГОКа // Горный журнал. – 2011. - №6. – с. 86-88.
4. ОАО «Союзцветметавтоматика» [Офиц. сайт]. URL: <http://scma.ru/> (дата обращения: 10.10.2015).
5. Gugel K., Palacios G., Ramirez J., Parra M. Improving ball mill control with modern tools based on digital signal processing (DSP) technology // Cement Industry Technical Conference. IEEE-IAS/PCA. – Dallas, 2003. – p. 311 – 318.
6. Пожарский Ю. М., Полещенко Д.А., Подковыров И. Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий. Горный журнал. - 2013. - №2 - с.115-118.

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ НА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Полещенко Д.А., Якунин С.В.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)*

*Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»*

*Россия, 309516, Белгородская обл., Старый Оскол, м-н Макаренко, 42*

[po-dima@yandex.ru](mailto:po-dima@yandex.ru), [yakunin\\_sergy@mail.ru](mailto:yakunin_sergy@mail.ru)

**Аннотация.** В работе производится анализ различных литературных способов определения степени заполнения шаровой мельницы. Выделены их положительные и отрицательные аспекты. В результате, авторы подходят к выводу о разработке нового метода контроля пред перегрузочного состояния мельницы. Данный подход интегрирует в себя положительные аспекты и современные методы обработки информации базирующиеся на нейронных сетях.

**Ключевые слова:** степень заполнения мельницы; акселерометр, спектральный анализ; виброакустический анализ; спектр звуковых сигналов; оптимальная загрузка рудой; виброускорение; нейронная сеть; обучение нейронных сетей.

## METHODS FOR DETERMINING THE FILLING DEGREE OF BALL MILLS FOR MINERAL PROCESSING PLANTS

*Poleshchenko D.A., Yakunin S.V.*

*Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (a branch of the)*

*National Research Technological University "MISiS"*

*Russia, 309516, Belgorod region, Stary Oskol, m-n Makarenko, 42*

[po-dima@yandex.ru](mailto:po-dima@yandex.ru), [yakunin\\_sergy@mail.ru](mailto:yakunin_sergy@mail.ru)

**Abstract.** The work includes the analysis of various literary ways of determining the degree of filling of a ball mill. Their positive and negative aspects are allocated. As a result, the authors come to the conclusion about the development of a new method of control before the

*overload condition of the mill. This approach integrates the positive aspects and modern methods of information processing based on neural networks.*

***Keywords:** the degree of filling of the mill; accelerometer; spectral analysis; vibro-acoustic analysis; spectrum of audio signals; the optimal loading of ore; vibration acceleration; neural network; training of neural networks.*

## **Введение**

Процесс измельчения сырья в шаровых мельницах, который широко используется в различных отраслях промышленности, характеризуется высокой ресурсоемкостью и во многом определяет качество дальнейшей переработки сырья. Материал, подлежащий измельчению, поступает через полую цапфу во внутреннюю полость барабана, где измельчается тяжелыми стальными шарами, предварительно загруженными в мельницу. При вращении барабана шары поднимаются, будучи прижатыми к внутренней поверхности футеровки центробежной силой, и падают вниз, производя дробление материала. Материал измельчается не только от ударов шаров, но и частично от взаимного трения частиц материала между собой и шарами. Измельченный материал растекается, продвигается вдоль барабана к заднему днищу и через отверстие поллой цапфы выходит наружу. Однако существующий уровень автоматизации процессов измельчения не обеспечивает стабильного и оптимального по параметрам процесса измельчения. Важнейшими технологическими факторами, влияющими на работу мельницы являются: ее объемная загрузка, характеристики материала, степень износа футеровки. Эффективность работы мельницы с точки зрения экономии электроэнергии существенно повышается при ее объемной загрузке лежащей в диапазоне 44 – 50 %. Проблема заключается в том, что объем материала может перейти в состояние перегруза, которое сопровождается выносом из мельницы крупной не измельченной породы, шаров и приводит к необходимости аварийной остановки объекта. Как следствие, простой мельницы до устранения последствий перегруза ведет к существенным экономическим потерям предприятия. Чтобы избежать подобного явления оператор мельницы вынужден работать в режиме недогруза. Утверждается, что недогруз составляет 5-7%. При большой энергоемкости привода мельницы (3-4 МВт) даже 5% недогруза выливается в значительные суммы неэффективно использованных энергоресурсов. В свою очередь повышение производительности даже на 1% может принести существенную экономическую прибыль предприятию [1].

На сегодняшний день существует метод определения степени заполнения барабана мельницы на базе анализа сигналов звука, исходящего от вращающегося барабана и вибрации ее цапф. Данный метод, в основе работы которого лежит анализ спектра получаемых сигналов, реализован в промышленном комплексе ВАЗМ-1 [2]. Однако для управления загрузкой данное устройство не используется, так как его показания не обеспечивают требуемую точность, необходимую для целей управления, а показывают лишь направление изменения объема рудной массы в барабане мельницы. Это происходит вследствие того, что процесс измельчения руды достаточно сложен и является многофакторным. На состояние спектра оказывают влияние твердость руды, объем и степень износа шаровой загрузки, механические составляющие зубчатых соединений узлов вращения барабана, состояние брони мельницы и т.д. Вследствие указанных причин спектр звука и вибрации процесса измельчения изменяется, что требует перенастройки параметров комплекса ВАЗМ. Настройка данного устройства является достаточно трудоемким процессом, можно даже сказать «научно-исследовательским», так как необходимо определить наиболее информативные диапазоны частот по полученным спектрограммам и для этих диапазонов подобрать коэффициенты масштабирования, которые бы обеспечивали агрегированный выходной сигнал, характеризующий загрузку барабана. В реалиях производства подбором оптимальных параметров устройства не занимаются и работают на исходных настройках.

Аналогичный способ обработки информации предлагается в работе [3] с той лишь разницей, что анализируется только сигнал виброускорения барабана мельницы. Однако, как отмечают сами авторы, данный подход не способен установить нелинейную связь между гармониками спектра сигнала виброускорения и характеристиками мельницы.

В работе [4] предлагается радиоизотопный индикатор заполнения мельниц мокрого самоизмельчения руд (РИЗМ). Анализ статических характеристик РИЗМа показывает, что одному и тому же показателю приемника могут соответствовать разные значения фактической степени загрузки мельницы рудой. Кроме того, РИЗМ не удалось применить для автоматического контроля загрузки рудой шаровых мельниц из-за особенности их работы в водопадном режиме. Эти недостатки не позволяют применять РИЗМ для надежного определения загрузки рудой мельниц мокрого самоизмельчения и шаровых мельниц.

Авторами работы [5] предлагается контролировать шаровую загрузку мельницы по активной мощности приводного двигателя мельницы. В качестве измерителя активной

мощности можно применять стандартные приборы. Это является достоинством предлагаемого способа. Недостатком его является то, что активная мощность является функцией веса рудно-шарового тела в мельнице и угла отклонения центра тяжести рудно-шарового тела от вертикальной оси симметрии мельницы. Угол отклонения центра тяжести определяется силами внутреннего трения в мельнице, которые зависят от физико-механических свойств исходной руды, плотности пульпы в мельнице, профиля и степени износа футеровки и другими факторами.

Положительным аспектом в работе [6] предлагается применение беспроводных технологий. Однако, существуют недостатки, большое энергопотребление системы и малая ширина пропускания анализируемого сигнала виброускорения, которая составляет 1 - 50 Гц.

Предлагается разработать способ, включающий в себя положительные аспекты заимствованные из существующих методов, интегрированные с современными технологиями обработки информации, такими как нейронные сети. Установка встроенного шкафа, на барабане мельницы, позволит считывать более чистый, информативный сигнал виброускорения на поверхности мельницы. Передача сигнала виброускорения будет осуществляться с помощью беспроводной технологии Bluetooth. Для этого будет использован Bluetooth модуль HC-07 в качестве приемника и передатчика, радиус которого составляет 10м, с частотой 2.4-2.48ГГц по протоколу Bluetooth 2.0, энергопотребление данного модуля составляет 40мА. Установка двух аккумуляторов напряжением 12 В и ёмкостью 17 Ач, позволит решить проблему энергопотребления встроенного шкафа. Данной емкости аккумуляторов будет достаточно более чем 20 дней бесперебойной работы, что согласуется с режимом проведения плановых остановок объекта на техническое обслуживание. Использование микроконтроллерной техники, а именно микроконтроллера STM32F407VGT6, предоставит все необходимые операции для съема сигнала виброускорения при помощи установленного на барабане мельницы датчика вибрации, и передачи сигнала по беспроводной сети Bluetooth на рабочее место инженера. Полученный сигнал будет поступать в персональный компьютер, при помощи пакетов LabView и Matlab данный сигнал будет обрабатываться, при помощи конкурентной нейронной сети, которая способна классифицировать сигналы соответствующие различным уровнем загрузки барабана мельницы.

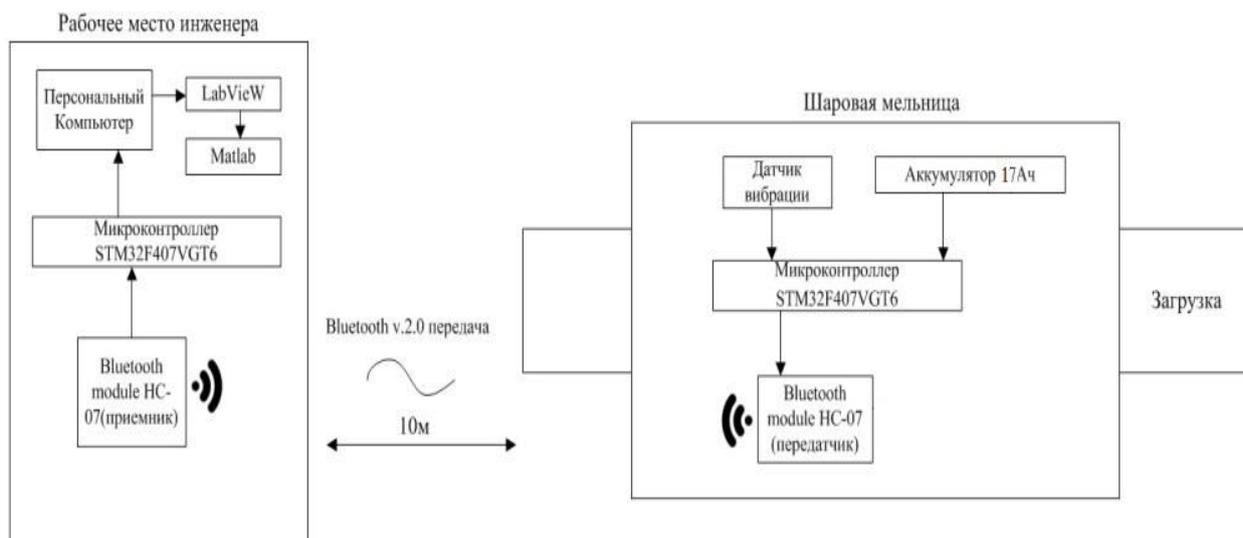


Рис 1. Схема системы контроля внутримельничного заполнения

Предлагаемое техническое решение в плане съема сигнала и обработки информации позволит более точно определять состояние мельницы, чем методы, рассмотренные в данной работе. Дальнейшее направление деятельности будет заключаться в проверке адекватности предложенных в статье решений.

### Список литературы

1. Еременко Ю. И., Полещенко Д.А., Глущенко А. И. Разработка и исследование метода нейросетевого анализа спектра сигнала виброускорения цапфы шаровой мельницы // Труды X Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO Москва 2015 г.
2. Улитенко К.Я., Маркин Р.П., Соколов И.В. Виброакустический анализ процессов дробления и измельчения на горно-обогатительных предприятиях // Горный журнал. 2009. № 10. С. 72-76.
3. Jian Tang, Tianyou Chaia, Lijie Zhaoa, Wen Yuc, Heng Yue. Soft sensor for parameters of mill load based on multi-spectral segments PLS sub-models and on-line adaptive weighted fusion algorithm // Neurocomputing. 2012. No. 78. P. 38-47.
4. Гейзенблазен Б.Е. Разработка и исследования радиоизотопного измерителя заполнения мельниц мокрого самоизмельчения / Б.Е. Гейзенблазен, Л.Т. Лорман, М.Н. Левченко // Обогащения руд. – 1978. – №2. – С.38-41.

5. Alekseyev, M. A.; Alkhori, Faris Sameer Rasmi Automated control of ore filling degree of tumbling mills //Scientific Bulletin of National Mining University . 2014, Issue 4, p13-19. 7p.

6. Пожарский Ю. М., Полещенко Д.А., Подковыров И. Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий // Горный журнал. 2013. № 2. С. 115-118.

УДК 621.31

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНЫМ ПЕРЕПЛАВОМ С САМОПОДСТРОЙКОЙ**

**Положенцев К.А.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ  
«МИСиС», Старый Оскол*

[\*kirill.polozhentsev@gmail.com\*](mailto:kirill.polozhentsev@gmail.com)

**Аннотация.** Приведена автоматизированная система управления вакуумным дуговым переплавом с использованием алгоритмов самоподстройки управления в процессе переплава.

**Ключевые слова:** скорость переплава, двухкомпонентное управление, программный шаг, вакуумный дуговой переплав, межэлектродный промежуток, ионизация.

## **AUTOMATION CONTROL SYSTEM OF VAR WITH SELF-TUNE**

**Polozhentsev K.A.**

*Sary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Sary Oskol*

[\*kirill.polozhentsev@gmail.com\*](mailto:kirill.polozhentsev@gmail.com)

**Abstract.** Showstheautomatedcontrolsystemofvacuumarcremeltingusingalgorithmsself-tunecontrolduringremelting.

**Keywords:** remelting speed, bicomponent control, program step, vacuum arc remelting, the electrode gap, ionization.

Система управления вакуумным дуговым переплавом с использованием алгоритмов самоподстройки строится на базе двухкомпонентного управления, определения скорости переплава с помощью лазерного дальномера и определения отклонений вакуумного дугового переплава по видеоизображению.

Вакуумная дуговая печь (ВД печь) – электрическая печь для переплавления металлов в вакууме энергией электрической дуги. С другой стороны ВД печь — газоразрядная система, где электрическая дуга существует на поверхностях переплавляемого металла и на поверхности получаемого слитка 3. Переплавляемый электрической дугой металл называют электродом 5. Он крепится к подвижному механическому штоку 2. Для вертикального перемещения штока с зажатым электродом печь имеет электродвигатель постоянного тока (ДПТ) 1. При подаче постоянного тока между электродом (катод) и кристаллизатором (анод) возникает электрическая дуга. Выделяющееся тепло расплавляет электрод, жидкий металл стекает в кристаллизатор 4, образуя слиток. Схема ВД печи, приведена на рисунке 1.

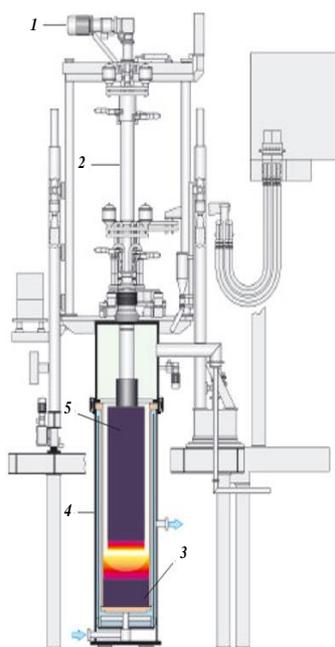


Рисунок 1 – Схема ВД печи

Автоматическое управление вакуумной дуговой печью представляет собой сложную систему, которая зависит от ряда параметров снимаемых с печи, таких как скорость переплава, вес слитка, межэлектродное расстояние и т.д.

Процесс управления вакуумным дуговым переплавом строится за счет поддержания заданного межэлектродного промежутка и желаемой скорости плавления расходуемого электрода. Программный шаг – управление перемещением расходуемого электрода, вычисляемое теоретически по геометрическим параметрам электрода и кристаллизатора и свойств сплава, из которого сделан электрод, без учета обратных связей. Программный шаг рассчитывается по идеальному электроду, что позволяет получить малое по величине и медленно изменяющееся отклонение регулируемой величины от желаемого значения. В этом случае отклонения легко уменьшаются с помощью регулятора печи.

Метод базируется на установке на смотровые окна ВД печи двух лазерных дальномеров (ЛД), измеряющих расстояние сначала до дна кристаллизатора, а затем до верхней части наплавляемого слитка. Сигнал с ЛД поступает на блок сбора и обработки сигналов, а затем в контроллер ВД печи. Снимая показания с двух ЛД и находя среднее значение расстояния, определяем текущее положение наплавляемого слитка с точностью до 1 мм. Опытный сталевар по видеоизображению, получаемому с видеокамер, может определить, что происходит с процессом переплава в данный момент внутри печи. Следовательно, в видеоизображении содержится необходимая информация, для того, чтобы производить переплав в вакуумных дуговых печах. Способ построен на определении яркости получаемого изображения. Как известно, каждое изображение состоит из пикселей разного цвета. Пиксель по своей структуре представляет совокупность трех цветов: красного, синего и зеленого, а так же значение яркости, итого – четыре переменные. С другой стороны пиксель является вектором-строкой, состоящей из четырех чисел, следовательно, сумма четырех чисел дает большое значение, которое и определяет пиксель. Цветовой диапазон строится следующим образом: пиксель черного цвета имеет наименьшую сумму четырех чисел, которая стремится к нулю и наоборот сумма чисел будет максимальной, если пиксель имеет белый цвет.

Используя предложенные методы можно построить автоматизированную систему вакуумного дугового переплава, которая будет позволять успешно переплавлять вакуумные дуговые слитки.

## Список литературы

1. Положенцев К.А., Ливаткин П.А., Александров А.Г. Построение модели процесса управления напряжением вакуумной дуговой печи. Сообщение 1// Известия вузов: Черная металлургия. 2015. №3. С. 203 – 206.
2. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1990, 304 с.
3. Сидорчик Е.В. Повышение производительности работы станков с числовым программным управлением и точности обработки деталей. //Интернет-журнал Науковедение. 2013. №4 (17). С. 1 – 5.
4. Махитько В.П., Сироткина И.Б. Адаптация в интегрированные информационно-коммуникационные системы технологического оборудования с числовым программным управлением. //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. №4-2, том 12. С. 411 – 418.
5. Щербань И.В., Иванов С.В. Методика синтеза кусочно программного управления маневром уклонения с учетом терминальных ограничений. //Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2009. №5. С. 30 – 33.
6. Сосуров Г.О., Чернышов Е.А. Оптимизация режимов выдержки слитков из жаропрочных сплавов в вакуумно-дуговой печи на базе предприятия ОАО «РУСПОЛИМЕТ». //Успехи современного естествознания. 2012. №6. С. 54.
7. Белинская Ю.С., Четвериков В.Н., Ткачев С.Б. Автоматический синтез программного движения вертолета вдоль горизонтальной прямой. // НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ: ЭЛЕКТРОННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ. 2013. № 10. С. 285 – 298.
8. Нагучев Д.Ш., Сахаров В.Л., Старченко И.Б. Программное управление параметрическим гидролокатором. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. №6 (143). С. 127 – 132.
9. Угрюмов С.А., Боровский А.Б. Реализация программного управления на базе персонального компьютера. //Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2005. № 1, том 45. С. 146 – 148.

УДК 621.31

**ДВУХКОМПОНЕНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВАКУУМНЫМ ДУГОВЫМ  
ПЕРЕПЛАВОМ  
Положенцев К.А.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ  
«МИСиС», Старый Оскол*

[kirill.polozhentsev@gmail.com](mailto:kirill.polozhentsev@gmail.com)

**Аннотация.** *Приведена система двухкомпонентного управления вакуумным дуговым переплавом для поддержания желаемого межэлектродного промежутка.*

**Ключевые слова:** *двухкомпонентное управление, программный шаг, вакуумный дуговой переплав, межэлектродный промежуток.*

**THEBICOMPONENTCONTROLINAVACUUMARCREMELTING**

**Polozhentsev K.A.**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Stary Oskol*  
[kirill.polozhentsev@gmail.com](mailto:kirill.polozhentsev@gmail.com)

**Abstract.**

Showsthebicomponentsystemofvacuumarcremeltingcontroltomaintainadesiredelectrodegap.

**Keywords:** bicomponentcontrol,program step, vacuum arc remelting, the electrodegap.

При использовании регулятора вакуумной дуговой печи был выявлен следующий недостаток: появление статической ошибки достаточно большой величины. Это связано с необходимостью регулятором поддерживать задание напряжения печи (до 25В). Использование программного шага снижает статическую ошибку на порядок.

Программный шаг – управление перемещением расходуемого электрода, вычисляемый теоретически по геометрическим параметрам электрода и кристаллизатора и свойств сплава, из которого сделан электрод, без учета обратных связей. Программный шаг рассчитывается по идеальному электроду, что позволяет получить малое по величине и медленно изменяющееся отклонение регулируемой величины от желаемого значения. В этом случае отклонения легко уменьшается с помощью регулятора печи.

Расчет программного шага для идеального электрода в форме цилиндра. Скорость переплава электрода  $v_{пер}$  опишем в виде уравнения:

$$v_{пер} = \dot{m}_{сл}(t) \quad (1)$$

Расстояние от электрода до слитка будем считать  $l$ , полагая  $r_3$  постоянной:

$$l = S_0 + S(t) - \frac{m_{сл}(t)}{\pi \cdot \rho} \left( \frac{1}{R^2} - \frac{1}{r_3^2} \right), r_3 = const. \quad (2)$$

Тогда  $\dot{S}$  будет иметь следующий вид:

$$\dot{S} = \frac{v_{пер}}{\pi \cdot \rho} \left( \frac{1}{R^2} - \frac{1}{r_3^2} \right). \quad (3)$$

Напряжение, подаваемое на обмотки якоря выпрямителем в установившемся режиме:

$$u_{я} = k_{в} \cdot u_{\phi}, \quad (4)$$

где  $u_{\phi}$  – фильтрованный сигнал задания напряжения с контроллера на выпрямитель двигателя постоянного тока, В.

Напряжение печи программного шага запишем в следующем виде:

$$u_{ппрог} = u_{з} - \varepsilon = u_{з} - \left[ \left( -\frac{r_3 \cdot M_{в}}{k_m} + \frac{k_{\varepsilon} \cdot v_{перем}}{K_p \cdot \pi \cdot \rho} \left( \frac{1}{R^2} - \frac{1}{r_3^2} \right) \right) / K_{пер} \cdot k_{в} \right], \quad (5)$$

где  $u_{ппрог}$  – напряжение печи согласно программному шагу, В;  $v_{перем}$  – скорость перемещения электрода, м\*с.

При использовании программного шага в установившемся режиме ( $l(t) = l_0$ ,  $u_{з} = u_{п}$ ) путь штока  $S(t)$  должен компенсировать изменение длины электрода и слитка:

$$L_{пп} - L(t) - L_{сл}(t) + l_{прим}(t) + S(t) = 0. \quad (6)$$

Рассмотрим программный шаг для неидеального электрода:

$$S(t) = \frac{v_{пер}(t)}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{\rho_1 \cdot R^2} - \frac{1}{\rho_2 \cdot r_3^2} \right) \cdot t + l_{прим}(t), \quad (7)$$

где  $\rho_1$  – плотность слитка, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_2$  – плотность электрода, кг/м<sup>3</sup>.

Действительная скорость переплава:

$$v_{пер}(t) = v^* + \Delta v(t), \quad (8)$$

где  $v^*$  – заданная скорость переплава электрода, которую задают технологи, кг/мин;  $\Delta v(t)$  – неизвестное отклонение скорости переплава, которое будем уточнять, кг/мин.

Получаем:

$$S(t) = S^*(t) + \Delta S(t), \quad (9)$$

где  $S^*(t)$  – рассчитанное значение положения электрода, м;  $\Delta S(t)$  – изменение положения электрода, зависящее от неизвестного отклонения скорости переплава  $\Delta v(t)$ , м.

Текущий радиус неидеального электрода находится с помощью аппроксимации электрода на сумму идеальных цилиндров, из которых состоит электрод. Промоделируем напряжение печи и межэлектродный промежуток для неидеального электрода (реальный электрод формы усеченного конуса, поверхностные и внутренние дефекты, содержание алюминия 5%). Данные для исследования взяты экспериментально с АО «Металлургический завод «Электросталь».

График желаемого (красный) и действительного напряжения печи с помощью управления по программному шагу по экспериментальным данным приведены в соответствии с рисунком 1

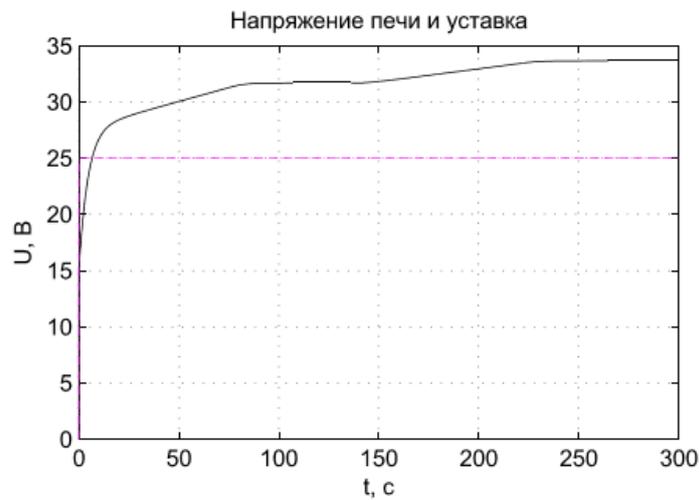


Рисунок 1 – График желаемого и действительного напряжения печи (экспериментальные данные)

График поддержания межэлектродного промежутка с помощью управления по программному шагу по экспериментальным данным приведен в соответствии с рисунком 2.

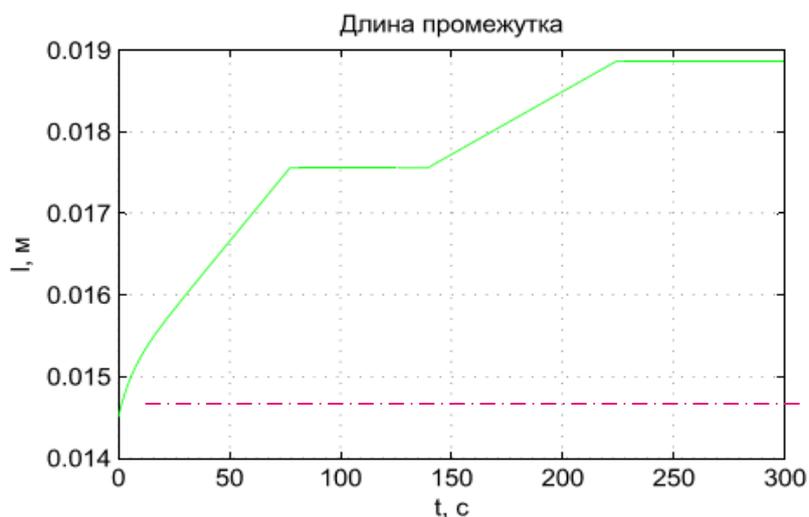


Рисунок 2 – График межэлектродного промежутка (экспериментальные данные)

Графики на рисунках 1 и 2 видно, что управление по программному шагу без обратной связи на реальном электроде не справляется с поставленными задачами в поддержании напряжения печи и межэлектродного промежутка.

Воспользуемся двухкомпонентным управлением переплавом расходуемого электрода в ВД печах. Двухкомпонентное управление включает в себя программный шаг и обратную связь по напряжению. График текущего и желаемого (красный) напряжения ВД печи при двухкомпонентном управлении приведен в соответствии с рисунком 3. График длины межэлектродного промежутка исследуемой ВД печи с двухкомпонентным управлением приведен в соответствии с рисунком 4.

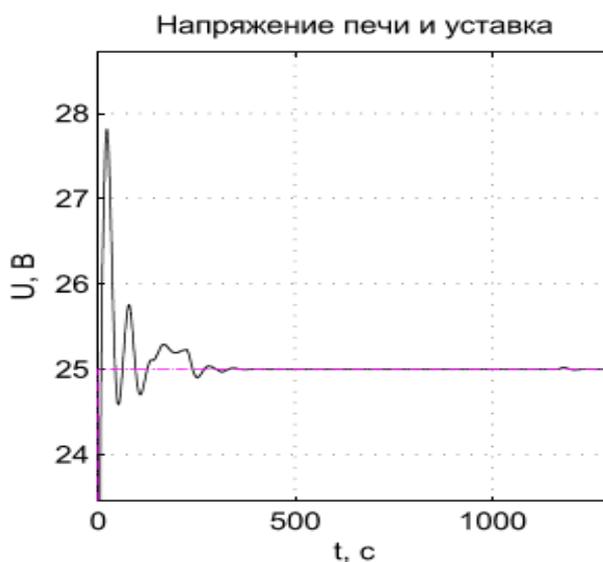


Рисунок 3 – График желаемого и действительного напряжения печи с помощью двухкомпонентного управления

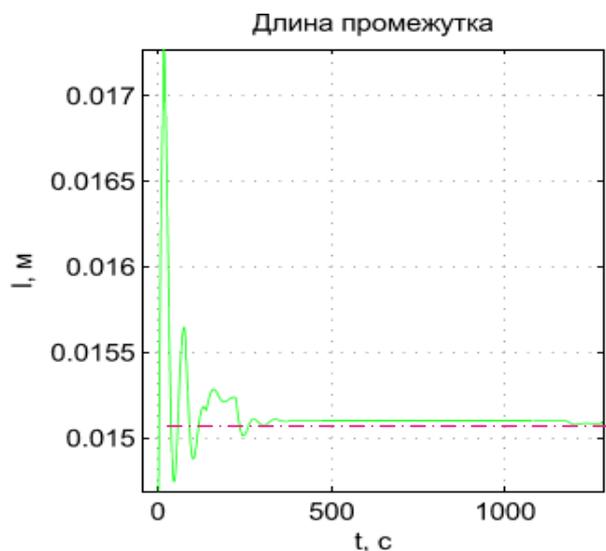


Рисунок 4 – График межэлектродного промежутка с помощью двухкомпонентного управления

Двухкомпонентное управление устанавливает длину межэлектродного промежутка для электрода в форме усеченного конуса примерно равной 0,01515м в соответствии с рисунком 4, что удовлетворяет заданной длине межэлектродного промежутка  $0,015 \pm 0,00075$ м. Напряжение печи становится равным 25В при двухкомпонентном программном управлении.

Использование двухкомпонентного программного управления позволяет скомпенсировать нарастающую статическую ошибку регулятора и добиться минимальных отклонений в напряжении печи и в длине межэлектродного промежутка.

### Список литературы

1. Положенцев К.А., Ливаткин П.А., Александров А.Г. Построение модели процесса управления напряжением вакуумной дуговой печи. Сообщение 1// Известия вузов: Черная металлургия. 2015. №3. С. 203 – 206.
2. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1990, 304 с.
3. Сидорчик Е.В. Повышение производительности работы станков с числовым программным управлением и точности обработки деталей. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. №4 (17). С. 1 – 5.
4. Махитько В.П., Сироткина И.Б. Адаптация в интегрированные информационно-коммуникационные системы технологического оборудования с числовым программным управлением. // Известия Самарского научного центра Российской

академии наук. 2010. №4-2, том 12. С. 411 – 418.

5. Щербань И.В., Иванов С.В. Методика синтеза кусочно программного управления маневром уклонения с учетом терминальных ограничений. // Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. 2009. №5. С. 30 – 33.

6. Сосуров Г.О., Чернышов Е.А. Оптимизация режимов выдержки слитков из жаропрочных сплавов в вакуумно-дуговой печи на базе предприятия ОАО «РУСПОЛИМЕТ». // Успехи современного естествознания. 2012. №6. С. 54.

7. Белинская Ю.С., Четвериков В.Н., Ткачев С.Б. Автоматический синтез программного движения вертолета вдоль горизонтальной прямой. // НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ: ЭЛЕКТРОННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ. 2013. № 10. С. 285 – 298.

8. Нагучев Д.Ш., Сахаров В.Л., Старченко И.Б. Программное управление параметрическим гидролокатором. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. №6 (143). С. 127 – 132.

9. Угрюмов С.А., Боровский А.Б. Реализация программного управления на базе персонального компьютера. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2005. № 1, том 45. С. 146 – 148.

669.02/.09:658.58

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТОВ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**Попов А.В., Серегин С.Н., Метелкин М.Н.**

*ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат" (Липецк, Россия)*

***Аннотация.** В ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат" реализован проект "Мобильное Техническое Обслуживание" ("Мобильное ТО"). Пилотным объектом стал агрегат непрерывного горячего цинкования производства холодного проката и покрытий. В настоящее время идет подготовка к тиражированию на другие агрегаты производства. С внедрением мобильного подхода и, в результате проведенной структуризации работ, агрегат постоянно находится под надзором. Автоматизация планирования загрузки персонала позволяет видеть свободные резервы, своевременно перераспределять людей по "узким местам".*

***Ключевые слова:** "Мобильное Техническое Обслуживание", агрегат непрерывного*

горячего цинкования, простой оборудования.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF REPAIRS AND MAINTENANCE

**Popov A.V., Seregin S.N., Metelkin M.N.**

*Novolipetsk Steel Company (Russia, Lipetsk)*

**Abstract.** *Novolipetsk Steel Company has successfully implemented the project «Mobile maintenance». This complex was introduced for the first time into continuous galvanizing line #3 (CGL #3) in cold-rolled steel and coating steel production. At present day NLMK organizing cleanup activities for introduction «Mobile maintenance» into the other units. The advantages of automation of maintenance processes and equipment repair introduced at NLMK are optimization of maintenance personnel, trusted data acquisition about real-time equipment condition.*

**Key words:** *mobile maintenance, continuous galvanizing line, downtime.*

В последнее время все большее развитие получает RFID система, так как сигнал RF избавляет от необходимости оптической прямой видимости, и передает относительно большое количество информации с расстояния от нескольких десятков метров в режиме реального времени. Свое распространение RFID находит и в металлургической промышленности, так в ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» реализован проект «Мобильное Техническое Обслуживание», направленный на автоматизацию учета и планирования ремонтов, снижение издержек на ремонтные работы и техническое обслуживание металлургического оборудования.

Главной задачей проекта «Мобильное ТО» является постепенный переход от планово-предупредительного ремонта к ремонту оборудования по состоянию. Проект призван повысить контроль за дежурным персоналом, дать четкое представление о текущем состоянии оборудования, а также не допустить возникновения аварий и простоев. Для внедрения был выбран пилотный агрегат непрерывного горячего цинкования №3 Производства холодного проката и покрытий (АНГЦ-3 ПХПП). Производство холодного проката и покрытий является наиболее стратегически важным объектом в цепочке производства конечного продукта. Численность агрегатов данного производства составляет 20 машин, не считая кранового оборудования.

Сбор нормативно-справочной информации (НСИ) по проекту «Мобильное ТО» начался с сентября 2011 г. Была создана рабочая группа, в состав которой вошли

специалисты ремонтных цехов ЦТОиР и специалисты группы НСИ ЦТОиР. Были собраны графики осмотров оборудования, графики инструментального контроля, созданы типовые каталоги дефектов и мероприятий, полностью был структурирован участок АНГЦ-3 ПХПП. По собранной информации были составлены стандартные шаблоны для загрузки в систему SAPERP. В декабре 2011 года прошло первое тестирование системы. В ходе тестирования пилотного проекта «Мобильное ТО» было выявлено большое число замечаний, как по необходимости дополнений и корректировок НСИ, так и по организации внедрения проекта и выработки методологии. В марте 2012 г. от фирмы «Астерос Консалтинг» было получено оборудование необходимое для реализации пилотного проекта в ПХПП. В течение месяца производилась наладка программного обеспечения, подготавливались RFID-метки, по результатам тестирования составлялись списки с замечаниями и предложениями по улучшению работы системы. Общая численность задействованного персонала составила 30 человек.

Первого мая 2012г. на пилотном объекте АНГЦ-3 ПХПП состоялся запуск проекта «Мобильное ТО». Проект позволил жестко контролировать дисциплину, осмотры оборудования проводятся ежедневно и даже ежесменно, что видно из системы SAP. В процессе эксплуатации, система сократила фальсификацию данных по текущим неисправностям и состоянию оборудования. Все данные по инструментальному контролю вводятся оперативно и своевременно, пропала необходимость создания ежемесячного отчета по инструментальному контролю для Отдела диагностики ЦТОиР. Сотрудники Отдела диагностики могут у себя на рабочем месте проанализировать всю поступающую информацию из системы SAP, выдать рекомендации или произвести более детальное обследование оборудования для уточнения наличия и степени развития дефекта. Как показала аналитика за период 2012г.-2013г. количество простоев после внедрения проекта снизилось более чем на 40%. Время простоев агрегата за период до внедрения (16 месяцев) составляло 8472 мин, после внедрения (16 месяцев) составило 5913 мин.



Статистика по простоям АНГЦ-3



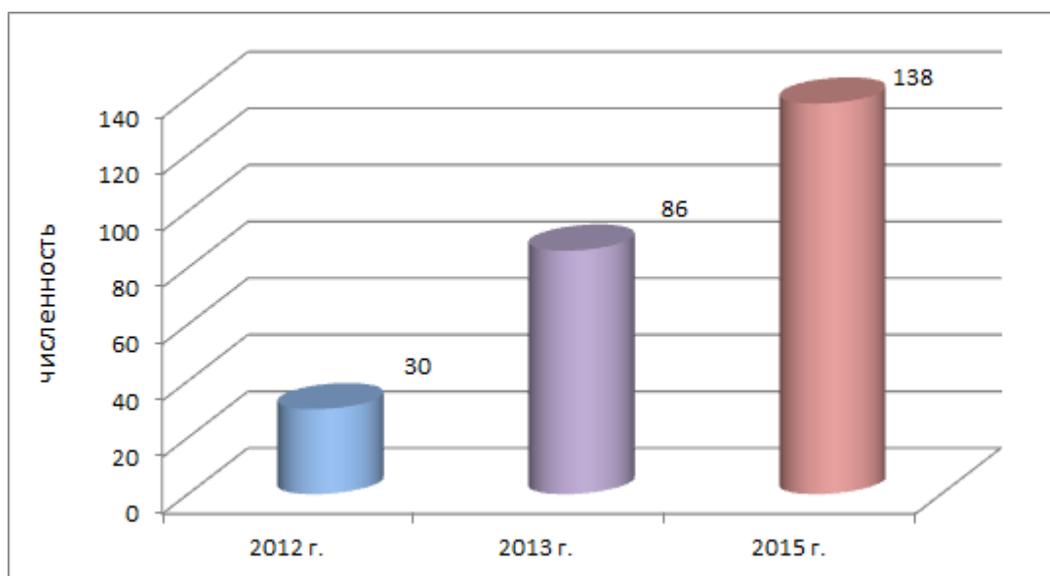
Статистика по простоям АНГЦ-3

Проанализировав полученные эффекты от внедрения пилотного проекта на АНГЦ-3 и убедившись в его жизнеспособности, в сентябре 2013 г. было принято решение о тиражировании проекта «Мобильное ТО» на АНГЦ-1. Предварительно была собрана НСИ, касающаяся данного оборудования и загружена в SAP. Численность персонала, задействованного в проекте, составила более 80 человек.

В ходе эксплуатации ИТ - системы был выявлен ряд недостатков, не позволяющих оперативно управлять персоналом, и работать с мобильными устройствами. Стало очевидным, что существующий проект требует технических доработок мобильного приложения. В 2014г. НЛМК начинает сотрудничество с НЛМК- ИТ, благодаря которому у компании появляется собственный программный продукт, позволяющий полностью заменить ранее используемую программу фирмы «Астерос Консалтинг». Программисты

НЛМК-ИТ оптимизировали интерфейс мобильного приложения для более удобной и оперативной авторизации пользователя. В новом приложении идентификация пользователя происходит по фамилии и фотографии работника. В ходе доработок появилось дополнительное приложение, позволяющее вести учет персонала внутри бригад, т.е. учитывать перемещение персонала среди бригад для последующего планирования их загрузки. Одним из преимуществ нового приложения стала разработка возможности моментального фото дефекта с привязкой его к оборудованию, на котором оно было выявлено. Также на мобильном устройстве стало доступно закрытие данного дефекта, путем привязки мероприятий по его устранению, что раньше не было возможно на старом приложении, в связи с чем данную работу выполнял мастер. Сейчас это стало доступным для выполнения на месте слесарем после устранения самой неисправности оборудования. Без внимания не осталась одна из главных составляющих работоспособности оборудования, это инструментальный контроль параметров оборудования, здесь был облегчен ввод серий замеров, а также для удобства проведения инструментального контроля были загружены схематические изображения мест измерений для каждого типа оборудования. Учитывая различные возможности и потребности динамично развивающихся ИТ-систем, на девайсе стало возможно чтение QR-кодов.

Вскоре после разработки нового мобильного приложения, с февраля 2015г., началась подготовка к дальнейшему тиражированию данного проекта на металлургические агрегаты ПХПП, такие как агрегат непрерывно отжига, дрессировочный станы, стан 2030 и крановое оборудование ПХПП, в частности происходит загрузка в SAP НСИ, обучение персонала владению мобильному приложению обслуживающему эти агрегаты. Запуск проекта на данных агрегатах планируется произвести к концу 2015 г. На данный момент число персонала, вовлеченного в данные проект, составляет более 130 человек.



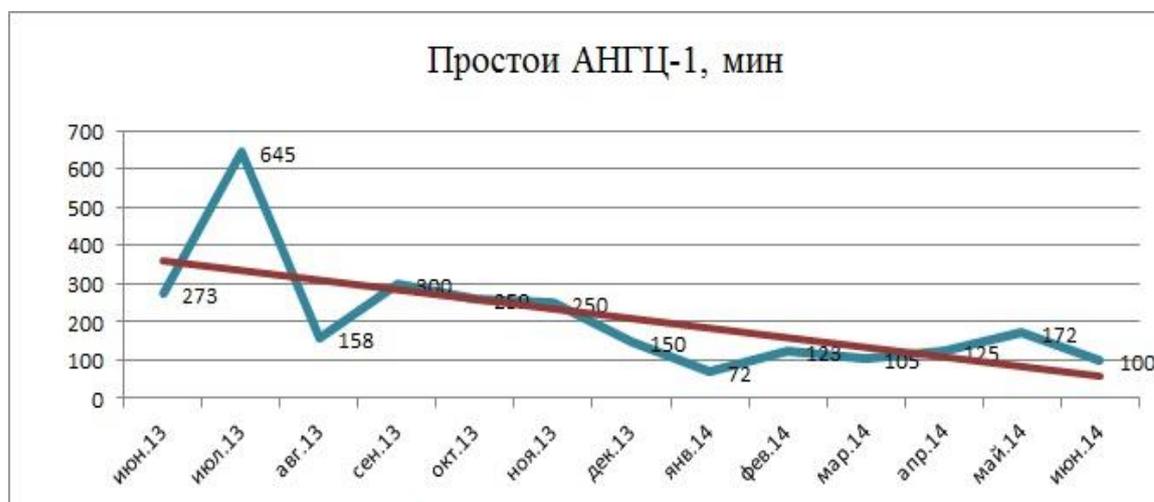
Статистика по численности персонала вовлеченного в данный проект

На сегодняшний день проект «Мобильное ТО» является эффективным инструментом для контроля над персоналом, который позволяет автоматизировать процессы сбора и хранения информации о состоянии оборудования, а также своевременное и обязательное ТО позволяет выявлять неисправности в оборудовании на ранних этапах развития, что является основой бесперебойной работы оборудования и сокращения времени простоев. Анализ простоев АНГЦ-3 за 2014-2015г. показывает линейную функцию снижения времени простоев, где сокращение времени простоев составляет порядка 36%.



Статистика простоев АНГЦ-3 за период 2014-2015г.

Внедрение проекта на агрегате АНГЦ-1 также показывает неплохие показатели эффективности, в частности сокращение времени простоев составило 36,6%.



Статистика простоев АНГЦ-1 за период 2013-2014 г.

Дальнейшие перспективы этого проекта видятся в следующем: тиражировать проект на остальные металлургические агрегаты ПХПП; выработать аналитический сервис удобный и понятный в обращении, способный дать четкое представление по текущему состоянию оборудования, дать рекомендации по устранению неисправностей и, возможно, спрогнозировать состояние оборудования в ближайшем будущем.

### Data for study

This project is a modern hardware and software complex including the next facilities: mobile application for system SAP, communicator (mobile device), RFID system consisting of reading device (scanner) and transponder for the recording and storing data. Organization of process equipment examination is a difficult succession. Duty personnel before beginning a shift authorized personalization in mobile application «Mobile maintenance». After data synchronization mobile wireless communication device receive tasks for equipment examination. Workman goes to the place of equipment examination and identifies the equipment by industrial reader portable. This device receives information from RFID tag and *transmits information to communicator by providing Bluetooth wireless technology. The end results of shift target and list of controlled activities entered into mobile device. If some equipment is*

*broken the system will enter information about defect choosing from standard catalogue required position. This system works even broken equipment doesn't indicated in the shift target.*

### **Resume**

On the basis of the obtained materials of this project provides a possibility of discovering requirements in realization of maintenance in time. This project excludes the possibilities of unscheduled outage and equipment stoppage. Main advantages of this project are reduction production losses and increased equipment reliability. Mandatory examination of equipment enables personnel to monitor real-time analysis of quality equipment. This option creates favourable conditions for quality control of previous repair work. Modern methods of maintenance simplify control methods of personnel discharging their duties also replace deprecated methods of document maintenance and make work more mobile and systematic.

УДК 622.7

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОГО В ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ПУЛЬПОЙ ТРУБЕ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА**

**Рамонова К.С., Рутковский А.Л.**

*СКГМИ(ГТУ), г.Владикавказ, Россия*

***Аннотация.** В статье описывается разработка методов контроля содержания твердого в трубах большого диаметра, частично заполненных пульпой на Норильской обогатительной фабрике. Выполненные расчеты включали в себя влияние расхода пульпы, плотности пульпы, уровень незаполненного пространства в трубе и плотность твердого продукта на расход твердого, выносимого с пульпой. Анализируя полученные результаты основным параметром, который должен измеряться при автоматическом контроле расхода твердого в пульпе является плотность пульпы. Кроме того необходимо контролировать расход пульпы.*

***Ключевые слова:** хвостохранилище, хвосты, пульпопровод, частично заполненные трубопровод, расход твердого продукта, масса отвальных хвостов, расход пульпы, плотность пульпы.*

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF CONTROL METHODS SOLIDS CONTENT IN THE PULP PARTIALLY FILLED TUBING OF LARGE DIAMETER

Ramonova K.S., Rutkowski A.L.

NCMMI (GUT) Vladikavkaz, Russia

***Abstract.** The paper describes the development of methods for monitoring the content of solids in pipes of large diameter, partially filled with slurry on the Norilsk concentrator. In the calculations included the effect of mass pull of tailings, flow rate of the pulp, the level of unfilled space in the pipe and the density of the solid on the consumption of solid, exported with the pulp. Analyzing the results the basic parameter that must be measured with automatic control flow of solids in the pulp is a pulp density. Furthermore necessary to control the pulp flow.*

***Key words:** tailing pit (tailing dump), tailing, sludge line, partially filled tubing, flow rate of the solid product, mass pull of tailings, flow rate of the pulp.*

Необходимость разработки методов контроля содержания твердого в трубах большого диаметра, частично заполненных пульпой, возникла на обогатительных фабриках, металлургических заводах, везде, где в результате технологического процесса получают жидкие отходы- «хвосты», которые либо перерабатываются, либо складываются в хвостохранилищах с целью их дальнейшего использования.

Исследование метода контроля содержания твердого на данный момент проводится на устаревших датчиках, с учетом полностью заполненной трубы [1]. Следовательно данная разработка будет актуальна для многих фабрик, сбрасывающих «хвосты».

Среда пульпопровода представляет собой сложную, условно трехфазную систему (твердое, жидкое, газообразное), характеристики каждой из которых и объемные соотношения между собой постоянно меняются. В настоящее время, отсутствует корректная система и технические средства контроля параметров хвостовой пульпы. Масса отвальных хвостов от обогащения всех типов сырья определяется расчетным методом по разнице объемов рудной массы и полученного концентрата. Такой метод позволяет получить только интегральные оценки количества хвостов за длительный период времени – декада, месяц, квартал и т.д. Точность расчета при этом определяется точностью используемых инструментальных средств контроля количеств рудной массы и концентрата, учета влажности руды и полученного концентрата за период измерения и др. факторов, таких как время запаздывания, текущие запасы промпродуктов в буферных

емкостях и др. Следовательно, используемая методика расчета принципиально не позволяет получить текущие оценки количества хвостов, поступающих в магистральный пульпопровод. Точная информация может быть получена только путем установки на магистральных пульпопроводах, выходящих с фабрики, систем контроля расхода твердого в пульпе.

Измеряемыми параметрами являются расход пульпы, плотность пульпы, уровень незаполненного пространства в трубе и плотность твердого продукта в пульпе. Конечным параметром измерения является комплексный показатель - расход твердого продукта, выносимого с пульпой, полученный косвенным измерением.

Для составления точного материально баланса флотации, используемого при разработке систем управления данным процессом, необходимо знать расход твердого в пульпе ( $G_m$ )

$$G_m = k \cdot Q \cdot (\rho_n - \rho_{жс}) \quad (1)$$

где  $k = \frac{\rho_{жс}}{\rho_{жс} - \rho_m}$ ,

$Q$  – объемный расход пульпы,  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости,  $\rho_t$  – плотность твердого.

Следовательно, для выбора и обоснования методики определения массы хвостов необходимо исследовать влияние этих параметров на точность измерения расхода твердого.

Исследование влияния плотности пульпы на расход твердого.

$d_p=1.22$  - плотность пульпы, т/м<sup>3</sup>

$d_t=3.3$  - плотность твердого, т/м<sup>3</sup>

$d_g=1$  - плотность жидкости, т/м<sup>3</sup>

Формулу (1) представим в более удобном для расчетов виде

$$g = \frac{d_p - d_g}{d_t - d_g} dt \quad (2)$$

Тогда  $g=0.316$  - содержание твердого в пульпе, т/м<sup>3</sup>

$G_p=3200$  м<sup>3</sup>/ч расход пульпы.

Зависимость расхода твердого от плотности пульпы.

При прочих равных условиях изменение плотности пульпы в рабочем диапазоне приводит к изменению расхода твердого в пульпе.

$$D = \left( \frac{Gt_{25} - Gt_0}{Gt_{25}} \right) 100 \text{ и } D=62.5$$

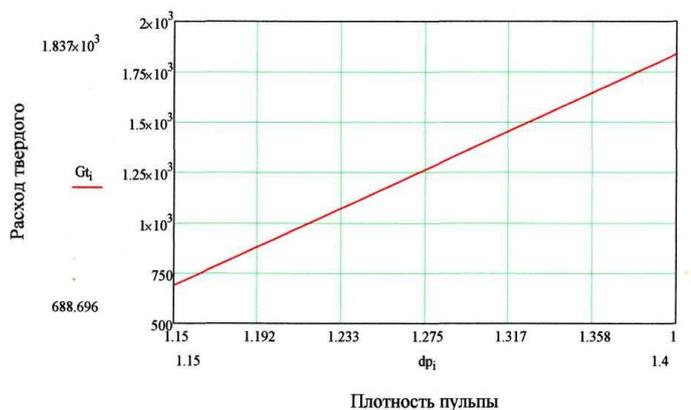


Рис.1. Влияние плотности пульпы на расход твердого

Исследование влияния плотности твердого на расход твердого. В соответствии с формулой (2) найдена зависимость расхода твердого от плотности твердого

$dt_0 = 3.2$ ,  $i = 0..25$ ,  $dt_{i+1} = dt_i + 0.01$  (плотность изменяем через 0.01), тогда

$$g_i = \frac{dp - dg}{dt_i - dg} dt_i$$

и расход твердого  $Gt_i = Gp \cdot g_i$  т/ч.

Результаты расчета представлены на рис.2. Из графика следует, что при прочих равных условиях изменение плотности твердого в рабочем диапазоне приводит к изменению расхода твердого в пульпе на  $D = \left( \frac{Gt_0 - Gt_{25}}{Gt_0} \right) 100$  и  $D=3.189\%$ .

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что наиболее сильное влияние на расход твердого, выносимого с пульпой, оказывает изменение плотности пульпы (т.е. содержание твердого в пульпе). Это влияние практически в 20 раз сильнее, чем изменение плотности твердого.



Рис.2. Влияние плотности твердого на расход твердого

Следовательно, основным параметром, который должен измеряться при автоматическом контроле расхода твердого в пульпе является плотность пульпы. Кроме того необходимо контролировать расход пульпы.

Плотность твердого можно считать постоянной величиной и учитывать в процессе автоматизированного контроля путем периодического ручного ввода по данным лабораторного анализа.

Измерения технологических параметров пульпы в самотечном частично заполненном пульпой хвостопроводу (трубопроводе) осуществляется с применением измерительных систем.

Рекомендуемые структурные схемы измерительных систем с применением различных средств измерений (СИ) приведены на рисунках 3 — 4.

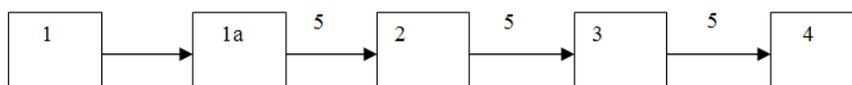


Рис.3. Структурная схема измерительной системы плотности пульпы бесконтактным радиоизотопным измерителем, 1 — излучатель; 1a — первичный измерительный преобразователь плотности; 2 — вторичный измерительный прибор плотности пульпы; 3 — микроконтроллер; 4 — ИИС; 5 — линия связи.

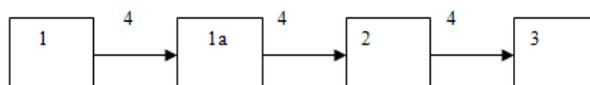


Рис. 4. Структурная схема измерительной системы расхода пульпы, 1 — бесконтактный первичный измерительный преобразователь расхода; 1а вторичный измерительный прибор расхода пульпы; 2 – микроконтроллер; 3 – ИИС; 4 – линии связи.

Измерительная система уровня пульпы в трубопроводе выполнена аналогично (рис.4.).

Плотность твердого в пульпе определяется периодически лабораторным анализом с погрешностью , не превышающей 1%.

Процедура обработки и вычисления результатов измерений состоит из вычисления действительного значения текущего расхода твердого в пульпе, его среднесуточного расхода и количества (массы) твердого за сутки и месяц.

На основании всех вычисления мы разработали алгоритм расчета расхода твердого в пульпе хвостов НОФ (рис.5).

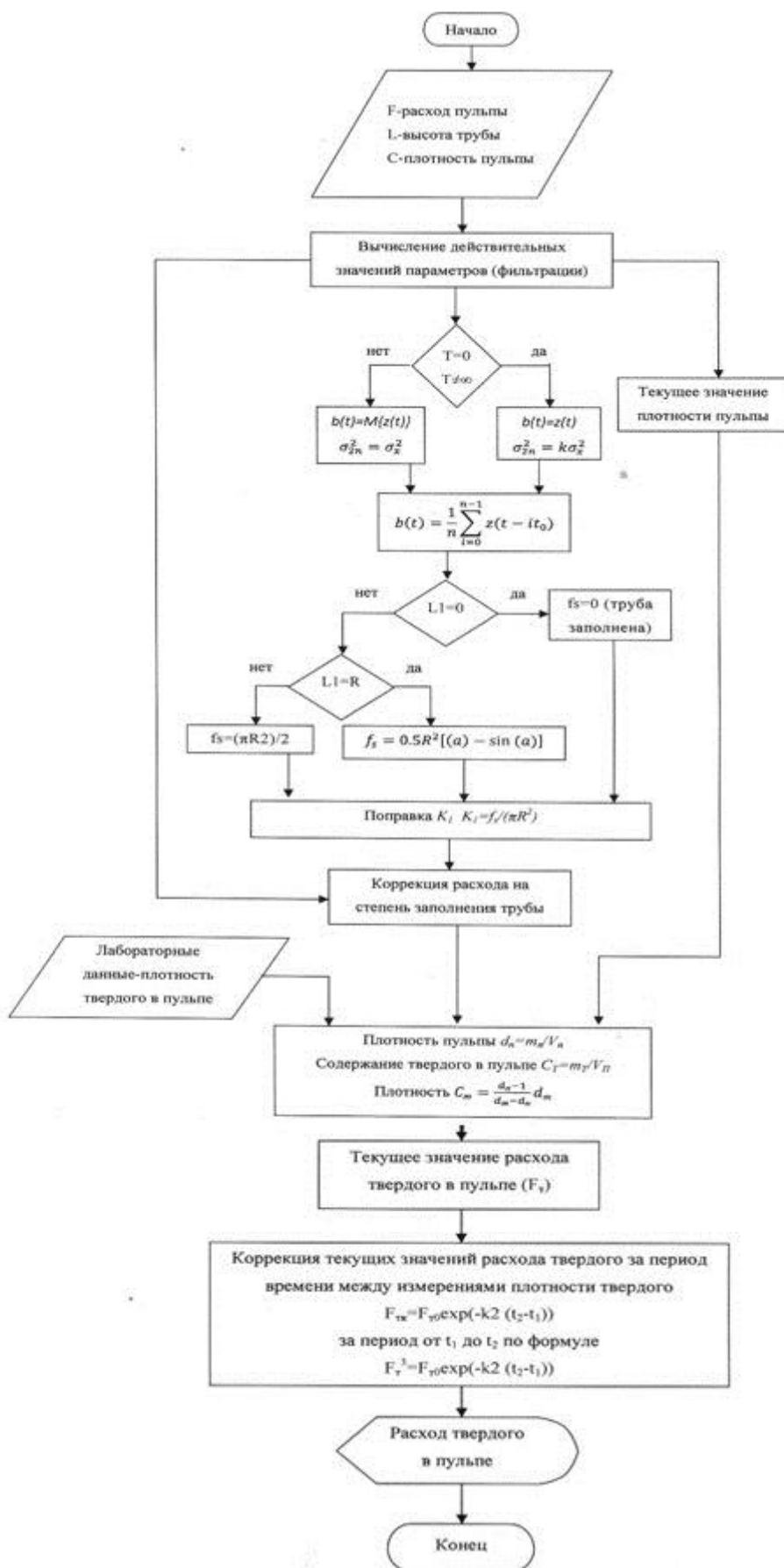


Рис.5 Блок-схема расчета расхода твердого в пульпе хвостов НОФ.

## АППРОКСИМАЦИЯ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Рукавицын К.О., Молодых А.В.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Старый  
Оскол*

*kirill\_rukavitsyn@mail.ru; young\_al@mail.ru*

***Аннотация.** Рассмотрен пример аппроксимации степенным полиномом кривой намагничивания двигателя постоянного тока. Определена оптимальная степень полинома, описывающего кривую намагничивания.*

***Ключевые слова:** Двигатель постоянного тока; кривая намагничивания; магнитный поток.*

## APPROXIMATION OF DC MOTORS MAGNETIZATION CURVE

**Rukavitsyn K.O., Molodykh A. V.**

*Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and  
Technology "MISiS", Sary Oskol*

*kirill\_rukavitsyn@mail.ru; young\_al@mail.ru*

***Abstract.** Example of polynomial approximation of DC motors magnetization curve is considered. Optimal order of the polynomial describing the magnetization curve determined.*

***Keywords:** DC motor; magnetization curve; magnetic flux.*

Двигатели постоянного тока (ДПТ) в настоящее время весьма широко используются в промышленном производстве. Так, если необходим значительный диапазон регулирования и высокая точность поддержания частоты вращения автоматизированного электропривода, то он реализуется на базе ДПТ. Также данные электрические машины применяются как в транспорте (метро, троллейбусы, трамваи), так и в подъёмных устройствах. В ряде случаев необходимо регулирование скорости

двигателя постоянного тока во второй зоне, когда скорость привода должна быть выше, чем при номинальном режиме работы. Данный способ регулирования реализуется уменьшением тока в обмотке возбуждения, следовательно, уменьшается и магнитный поток.

Так как зависимость магнитного потока двигателя  $\Phi$  от тока в обмотке возбуждения (рис.1) [1] не является линейной, то для решения задач расчета и моделирования ДПТ НВ, ее желательно аппроксимировать «гладкой» аналитической зависимостью. В качестве аппроксимирующей функции можно использовать степенной полином вида

$$\Phi = k_i \cdot I_{ov}^i + k_{i-1} \cdot I_{ov}^{i-1} + \dots + k_1 \cdot I_{ov} + k_0, \quad (1)$$

где:  $\Phi$  – магнитный поток;

$I_{ov}$  – ток обмотки возбуждения;

$i = 0, 1, 2, \dots, n.$

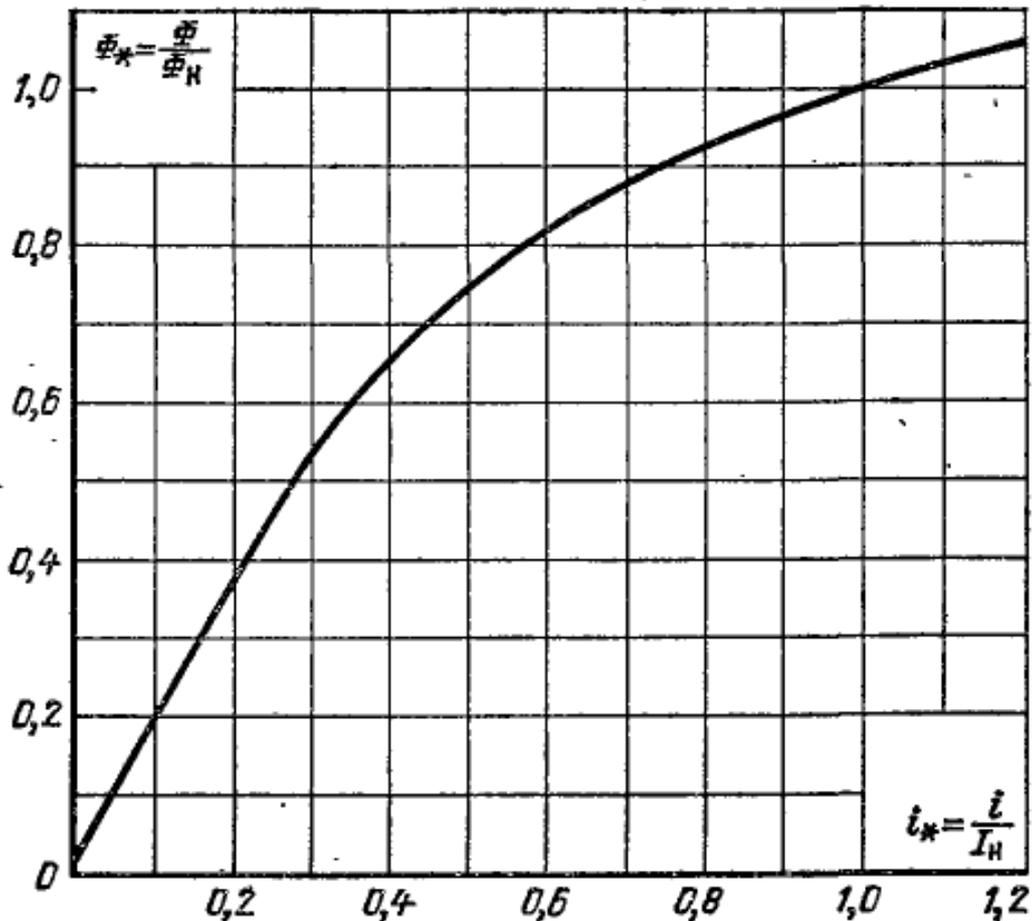


Рис. 1. Универсальная кривая намагничивания двигателей постоянного тока серий  
МП, ДП, Д, ПН и П

Для определения коэффициентов  $k_i$  воспользуемся методом наименьших квадратов [2].

Согласно этому методу наилучшие оценки величин  $k_i$  будут получены тогда, когда сумма квадратов невязок (остаточных погрешностей) будет минимальна:

$$S\Phi = \sum_{j=1}^m (\Delta\Phi_j)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Запишем систему уравнений, составленных по выражению (1) для  $m$  значений магнитного потока в следующем виде:

$$\Phi_j = \sum k_i \cdot I_{осj}^i \quad (j = 1, 2, \dots, m), \quad (3)$$

где:  $\Phi_j$  – значения магнитного потока;

$k_i$  – искомые коэффициенты ( $i = 0, 1, 2, \dots, n$ );

$I_{осj}^i$  – известные значения тока возбуждения, возведенные в степень  $i$ .

Так как при вычислении  $\Phi$  по формуле (1) будет присутствовать ошибка, то можно записать выражение для вычисления каждой  $j$ -й погрешности.

$$\Delta\Phi_j = \Phi_j - \sum_{i=1}^n k_i \cdot I_{осj}^i. \quad (4)$$

С учетом (2) и (4), будем иметь:

$$S\Phi = \sum_{j=1}^m (\Delta\Phi_j)^2 = \sum_{j=1}^m \left( \Phi_j - \sum_{i=1}^n k_i \cdot I_{осj}^i \right)^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Для определения коэффициентов  $k_i$ , удовлетворяющих условию (5), определим производные функции  $S\Phi$  по  $k_i$ , и приравняем их нулю.

$$\frac{dS\Phi}{dk_i} = -2 \cdot \sum_{j=1}^m \left( \Phi_j - \sum_{i=1}^n k_i \cdot I_{осj}^i \right) \cdot I_{осj}^i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (6)$$

или

$$\sum_{j=1}^m (\Phi_j - \sum_{i=1}^n k_i \cdot I_{o\phi j}^i) \cdot I_{o\phi j}^i = 0. \quad (7)$$

Система (7) – система нормальных уравнений. Она является линейной относительно искомых величин  $k_0, k_1, k_2, \dots, k_i$ . Число уравнений равно числу неизвестных величин  $k_i$ .

Перепишем систему (7) следующим образом:

$$\begin{cases} [I_{o\phi 1} I_{o\phi 1}] \cdot k_1 + [I_{o\phi 1} I_{o\phi 2}] \cdot k_2 + \dots + [I_{o\phi 1} I_{o\phi n}] \cdot k_n = [I_{o\phi 1} \Phi], \\ [I_{o\phi 2} I_{o\phi 1}] \cdot k_1 + [I_{o\phi 2} I_{o\phi 2}] \cdot k_2 + \dots + [I_{o\phi 2} I_{o\phi n}] \cdot k_n = [I_{o\phi 2} \Phi], \\ \dots \\ [I_{o\phi n} I_{o\phi 1}] \cdot k_1 + [I_{o\phi n} I_{o\phi 2}] \cdot k_2 + \dots + [I_{o\phi n} I_{o\phi n}] \cdot k_n = [I_{o\phi n} \Phi]. \end{cases} \quad (8)$$

В системе (8) приняты следующие обозначения:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m (I_{o\phi j}^i)^2 = [I_{o\phi i} I_{o\phi i}], \\ \sum_{j=1}^m I_{o\phi j}^i I_{o\phi l}^i = [I_{o\phi i} I_{o\phi l}] \quad (l = 1, 2, \dots, n), \\ \sum I_{o\phi j}^i \cdot \Phi_j = [I_{o\phi i} \Phi]. \end{cases} \quad (9)$$

Решение системы найдем с помощью матриц. В матричной форме система (8) будет иметь вид:

$$\mathbf{I}_{o\phi} \cdot \mathbf{K} = \mathbf{\Phi}, \quad (10)$$

где  $\mathbf{K}$  – вектор-столбец искомых коэффициентов  $k_0, k_1, k_2, \dots, k_i$ ;

$\mathbf{I}_{o\phi}$  – матрица, состоящая из элементов первой и второй строк системы (9);

$\mathbf{\Phi}$  – вектор-столбец, составленный из элементов третьей строки системы (9).

Для нахождения искомых коэффициентов  $k_0, k_1, k_2, \dots, k_i$ , найдем значение матрицы  $\mathbf{K}$ .

$$\mathbf{K} = \mathbf{I}_{o\phi}^{-1} \cdot \mathbf{\Phi}. \quad (11)$$

Мерой расхождения аппроксимирующей функции с аппроксимируемой зависимостью является оценка среднеквадратичного отклонения (СКО), определяемая по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\Phi_j - \sum_{i=1}^n k_i \cdot I_{ovj}^i)^2}{m-n}}. \quad (12)$$

Для определения коэффициентов полиномов возьмем значения тока возбуждения и магнитного потока, определённые по рис. 1 и представленные в табл. 1.

Таблица 1. Токи возбуждения и соответствующие им значения магнитных потоков

$I_{ov}$ , о.е.	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
$\Phi$ , о.е.	0	0,2	0,37	0,533	0,655	0,745	0,825	0,877	0,93	0,963	1	1,033	1,057

Пользуясь формулами (9) и (11), получим значения искоемых коэффициентов при максимальных степенях уравнения  $\Phi = f(I_{ov})$  равных 3, 4, 5 и 6. Полученные значения приведены в табл. 2.

Таблица 2. Коэффициенты перед аргументами полиномов и СКО

Степень $I_{ov}$ Степень полинома	0	1	2	3	4	5	6	СКО
$i = 3$	$7,237 \cdot 10^{-4}$	2,243	-1,785	0,542	–	–	–	$6,601 \cdot 10^{-3}$
$i = 4$	$3,605 \cdot 10^{-4}$	2,189	-1,516	0,158	0,166	–	–	$6,328 \cdot 10^{-3}$
$i = 5$	$3,262 \cdot 10^{-5}$	2,029	-0,289	-2,838	3,085	-0,986	–	$4,213 \cdot 10^{-3}$
$i = 6$	$5,387 \cdot 10^{-5}$	2,006	-0,042	-3,743	4,558	-2,086	0,307	$4,524 \cdot 10^{-3}$

Графики невязок для полиномов различных степеней приведены на рис. 2.

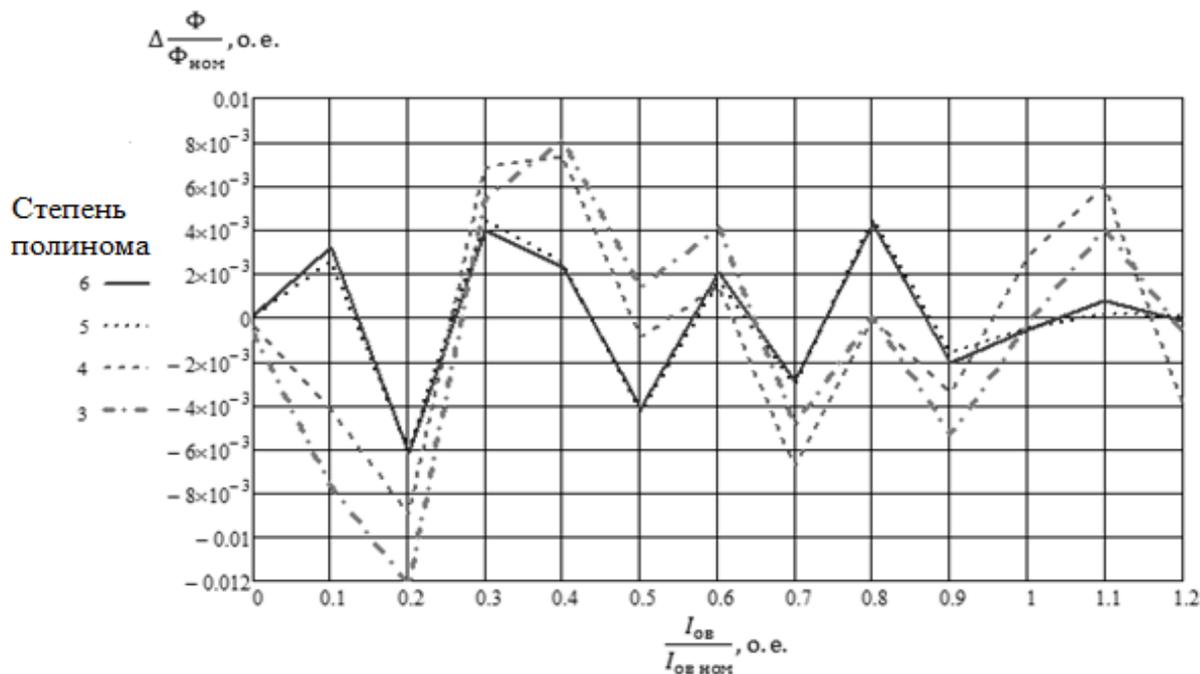


Рис. 2. Зависимость невязки от тока возбуждения для полиномов различных степеней

Из графика видно, что для полинома пятой степени расхождение между значениями магнитного потока, рассчитанными по аналитическому выражению и определёнными по кривой намагничивания, не превышает 1 %.

### Вывод

В данной статье рассматривалась аппроксимация универсальной кривой линии намагничивания ДПТ степенными полиномами. Полученные результаты показали, что описание зависимости  $\Phi = f(I_{ов})$  будет оптимальным при максимальной степени полинома, равной 5.

### Список литературы

1. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное. М.: Энергия, 1977. – 432 с.: ил.

2. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической обработки наблюдений. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1958.

УДК 004.75

## ИНТЕРВАЛИЗАЦИЯ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ И АНАЛИЗЕ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ СЛЯБОВ

Сараев П.В.

*Липецкий государственный технический университет, Россия, г. Липецк*

[psaraev@yandex.ru](mailto:psaraev@yandex.ru)

***Аннотация.** В работе рассматривается задача анализа качества литых слэбов на основе комплекса технологических параметров разлива стали и параметров внепечной обработки. Исследуется подход, состоящий в предварительной интервализации значений параметров. В качестве аппарата анализа используется теория грубых множеств Павлака, примененная к интервально-значным информационным системам.*

***Ключевые слова:** качество литых слэбов, теория грубых множеств, классификация, интервализация.*

## INTERVALIZATION IN CLASSIFICATION PROBLEMS AND IN ANALYSIS OF CAST SLABS QUALITY

Saraev P.V.

*Lipetsk State Technical University, Russia, Lipetsk*

[psaraev@yandex.ru](mailto:psaraev@yandex.ru)

***Abstract.** Problem of analysis of cast slabs quality based on set of technological parameters of casting and external steel treatment parameters is described in the article. Approach based on prior intervalization of parameters values is investigated. Methodology base of analysis is the theory of rough sets proposed by Pawlak, which is applied to interval-valued information systems.*

***Keywords:** quality of cast slabs, rough set theory, classification, intervalization.*

Рассматривается задача прогнозирования качества литых слэбов, получаемых на машинах непрерывного литья заготовок конвертерного цеха металлургического производства. В качестве факторов, влияющих на качество продукции, рассматриваются

параметры разливки стали, а также параметры внепечной обработки. В качестве отклика рассматривается наличие дефекта горячекатаной продукции, получаемой из данных слябов, видов «раскатанная трещина» и «плена». Предполагается, что дефект горячего проката определяется поверхностными или внутренними дефектами соответствующих слябов. Целью является прогнозирование возможности появления дефекта на основе комплекса технологически параметров.

Данная задача исследовалась в работах [1, 2]. В качестве математического аппарата прогнозирования дефектов использовалось нейроструктурное моделирование, которое является развитием и обобщением моделирования на основе нейронных сетей прямого распространения [3]. Для прогнозирования дефектов использовались данные объемом 16628 строк. После предварительного анализа факторов, состоящего в корреляционном анализе и факторном анализе, использовались 38 факторов. Для описания выходной величины использовалось значение 0 для проката без дефектов и 1 для проката с дефектами. Нейроструктурная модель позволила прогнозировать наличие или отсутствие дефекта с точностью 86%.

Целесообразность исследования другого математического аппарата для анализа качества литых слябов определяется тем, что

- 1) имеются высокие требования к временным ресурсам при построении нейроструктурных моделей оптимальной структуры (в работах [1, 2] на построение модели уходило около суток);
- 2) ранее применялось прогнозирование не для сляба целиком, а для каждого его сегмента, что в конечном итоге является лишь промежуточным этапом.

Цель исследования состоит в том, что провести анализ максимально эффективно. В данном исследовании рассматривается расширенный набор данных, содержащий 60967 строк (после удаления строк с пропущенными значениями) и 62 параметра. Факторный анализ к факторам не применялся. Количество сегментов в слябах изменяется от 11 до 26, а среднее количество равно 20,43. Это означает к тому, что свертка данных, т.е. переход от действительных к интервально-значным параметрам, приводит к значительному уменьшению объема данных для анализа. При этом следует иметь в виду, что реальный физический объем таблицы данных будет в 2 раза больше, так как на кодирование одного параметра уходит не одно, а два вещественных числа.

Интервализация это переход от действительных значений параметров  $x_{ij}, i = 1, K, k, j = 1, K, m$  к интервальным  $[x_{ij}] = [l_{ij}, u_{ij}], i = 1, K, p, j = 1, K, m$ . Для решаемой задачи  $k = 60967, m = 62, p = 2985$ . Интервал – упорядоченная пара чисел, где  $l_{ij}$  –

нижняя граница, а  $u_{ij}$  – верхняя граница [4]. Здесь  $l_{ij}$  получается как минимальное значение параметра  $j$  по всем сегментам сляба, а  $u_{ij}$  - максимальное значение параметра  $j$ . В других задачах интервализация, рассматриваемая как метод снижения объема множества данных, может являться результатом кластеризации исходных данных.

Значение дефекта будет являться неинтервальной величиной. Если хотя бы один из сегментов был дефектным, весь сляб считается дефектным. Для проведения исследований будем использовать язык для статистических расчетов и анализа данных R.

Описательная статистика интервально-значных данных по исходному и выделенным из него обучающему (80% от исходного) и тестовому (20% от исходного) множеству представлена в табл. 1.

Таблица 1. Статистика по интервально-значным множествам данных

Показатель	Исходное множество	Обучающее множество	Тестовое множество
Количество слябов	2985	2388	597
Количество слябов с дефектами	1091	866	225
Процент слябов с дефектами	36,5	36,3	37,7
Количество интервально-значных параметров в слябах (мин. / средне / макс.)	29/34/45	29/34/45	29/34/40

Для построения классификационных правил может применяться теория грубых множеств, предложенная Павлаком в 1982 году [5]. Эта теория использует только таблицу данных  $\{U, A\}$ , где  $U$  – непустое конечное множество классов, где  $A$  – непустое конечное множество атрибутов, называемую информационной системой. Дополнительных предположений не требуется. Данная теория может быть применена и в том случае, когда значения в информационных системах являются интервально-значными [6].

Для получения требуемой информационной системы требуется определить интервалы изменения параметров по каждому классу:  $[x_j^d] = [l_j^d, u_j^d]$ ,  $j = 1, K$ ,  $m, d = 0, 1$ . Для решаемой задачи информационная система будет состоять из двух строк, при этом

$$l_j^d = \min_{x_i^d} l_{ij},$$

$$u_j^d = \max_{x_i^d} u_{ij},$$

где  $x_j^d$  – объекты (слябы), относящиеся к классу  $d$ .

Для анализа строятся отношения  $A_k, k = 1, K, m$ , на множестве классов по каждому атрибуту, элементы которых  $\alpha_{ij}^k$  показывают вероятность отнесения объектов класса  $i$  к классу  $j$  по атрибуту  $k$ . Эти элементы определяются следующим образом [6]:

$$\alpha_{ij}^k = \begin{cases} 0, & \text{если } [l_i^k, u_i^k] \cap [l_j^k, u_j^k] = \emptyset; \\ \min \left\{ \frac{\min \{u_i^k - l_j^k, u_j^k - l_i^k\}}{u_i^k - l_i^k}, 1 \right\}, & \text{если } [l_i^k, u_i^k] \cap [l_j^k, u_j^k] \neq \emptyset. \end{cases}$$

Из матриц  $A_k$  формируется обобщенная матрица

$$A = \min_{k=1}^m A_k, k = 1, K, m,$$

элементы которой показывают вероятность того, что элементы из класса  $i$  могут быть неверно отнесены к классу  $j$ , если учитывается информация по всем атрибутам. Матрицы  $A_k$  и  $A$  в общем случае не будут симметричными, но будут рефлексивными.

Для решаемой задачи получается матрица

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0,79 \\ 0,41 & 1 \end{bmatrix}.$$

Как видно из этой матрицы, вероятность того, что сляб без дефекта будет признан дефектным, равна 0,79. Вероятность того, что сляб с дефектом будет неверно отнесен к бездефектному слябу, составляет 0,41. Чем ближе значение элемента матрицы к нулю, тем более точно может быть произведена классификация объектов по данному признаку. В нашей задаче величины ошибок велики, что не позволяет достоверно использовать интервальные параметры в существующем виде для классификации.

Матрицы  $A_k$  позволяют также определить те параметры, по которым разделение объектов по классам невозможно в принципе – это матрицы, элементы которых равны единице. Также можно найти те параметры, по которым классификация будет производиться наилучшим образом.

Тем не менее, специфика задачи анализа качества слябов позволяет получить некоторые конкретные правила для решения задачи. В интервально-значной информационной системе выявляются те параметры, по которым сегмент, а значит, и весь сляб в целом, могут быть отнесены к дефектному классу. Для этого из  $\{U, A\}$  выделяются

те параметры, по которым  $l_j^0 > l_j^1$ . Тогда при наличии сегмента в исходной таблице данных со значением параметра  $j$ , который меньше  $l_j^0$ , весь соответствующий сляб будет считаться дефектным. Аналогично определяются параметры  $j$ , для которых  $u_j^0 < u_j^1$ . Если в исходной таблице есть сегмент со значением параметра  $j$ , который больше  $u_j^0$ , соответствующий сляб будет также считаться дефектным.

Подобным образом можно найти параметры для определения бездефектных слябов. Для параметра  $j$ , по которому  $l_j^0 < l_j^1$ , нужно сравнивать в интервально-значной системе верхнюю границу  $u_{ij}$  параметра по слябу. Если для сляба  $i$   $u_{ij} < l_j^1$ , то его следует признать бездефектным. Для параметра  $j$ , по которому  $u_j^0 > u_j^1$ , нужно сравнивать в интервально-значной системе нижнюю границу  $l_{ij}$  параметра по слябу. Если для сляба  $i$   $l_{ij} > u_j^1$ , то такой сляб также будет бездефектным.

Представленный анализ на основе интервализации не решает полностью прогнозирования наличия дефекта на слябах. Однако он позволяет снизить объем данных для дальнейшего анализа другими методами, а также провести некоторый анализ параметров, влияющих на конечный результат.

Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках перечня научно-исследовательских работ базовой части государственного задания, проект № 970.

### Список литературы

1. Сараев П.В., Галкин А.В. Нейроструктурное прогнозирование дефектов горячекатаной продукции // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. наука и производство: материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.- *Старый Оскол*: СТИМИСиС, 2014.- С. 321-326.
2. Pogodaev A., Saraev P. [\*Neurostructuralmodellingandpredictionofhot-rolledproductiondefectsbycastingparameters\*](#) // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2015.- Vol. 60.- Iss. 6.- С. 321-326.
3. Погодаев А.К., Блюмин С.Л., Сараев П.В. Нейроструктурное моделирование: некоторые результаты и направления развития // *Вести ВУЗов Черноземья*, 2012.– №4(30).– С.30-37.

4. Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. Прикладной интервальный анализ.– М.–Ижевск: Изд-во «РХД», 2005.– 468 с.

5. Pawlak Z. Rough sets // International Journal of Parallel Programming, 1982.- N 11 (5).- P. 341–356.

6. [Leung Y.](#), [Fischer M.M.](#), [Wu W.-Z.](#), [Mi J.-S.](#) A rough set approach for the discovery of classification rules in interval-valued information systems // [International Journal of Approximate Reasoning](#), 2008.- Vol. 47, Iss. 2.- P. 233–246.

УДК 65.011.56

## АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Сидоров Д.В., Гаврина О.А.**

*ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Россия, Владикавказ*

[raen3@yandex.ru](mailto:raen3@yandex.ru), [Gavrina-Oksana@yandex.ru](mailto:Gavrina-Oksana@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье произведен анализ методологических аспектов математического моделирования. Рассмотрены различные подходы к моделированию сложных технологических объектов. Рассмотрены методы построения передаточных матриц.

**Ключевые слова:** Моделирование; анализ методологических аспектов; математические модели; технологические объекты.

## THE ANALYSIS OF METHODOLOGICAL ASPECTS OF MATHEMATICAL MODELLING OF DYNAMICS OF COMPLEX TECHNOLOGICAL OBJECTS

**Sidorov D.V., Gavrina O.A.**

*The North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),  
department of industrial power supply, Russia, Vladikavkaz*

[raen3@yandex.ru](mailto:raen3@yandex.ru), [Gavrina-Oksana@yandex.ru](mailto:Gavrina-Oksana@yandex.ru)

***Abstract.** In the article the analysis of methodological aspects of mathematical modelling. Hosts considered approaches to modeling of complex technological objects. The methods of constructing the transfer matrices.*

***Keywords:** Modeling; the analysis of methodological aspects; mathematical models; technological objects.*

Математическое описание объекта управления является необходимым начальным этапам автоматизированного проектирования. Оно выполняется на основании физических и химических законов, которым подчиняются управляемые процессы.

Под моделированием какого-либо объекта (явления, системы, устройства) обычно понимается воспроизведение и исследование другого объекта, подобного оригиналу в форме, удобной для исследования, и перенос полученных сведений на моделируемый объект [1, 2]

На основе анализа различных методов моделирования в соответствии с требованиями, предъявляемыми к «инструментам САПР», в состав САПР СУ вводятся моделирование на ЭВМ и полунатурное моделирование. С помощью средств САПР осуществляется не только воспроизведение и исследование объекта, но и управление процессами моделирования. При математическом моделировании, моделировании на ЭВМ, в качестве объекта моделирования, оригинала, выступают исходные уравнения, представляющие математическую модель объекта, в качестве модели – процессы, протекающие в соответствии с этими уравнениями и воспроизводимые на ЭВМ в виде машинных решений.

В целом метод математического моделирования позволяет разрабатывать математические модели технологических объектов (ТО) и СУ ТО в виде некоторого функционального оператора, осуществляющего в общем случае нелинейные преобразования.

Математические модели ТО подразделяются на символические и иконографические [3].

*Символические математические модели* представляют собой совокупность математических отношений в виде формул, уравнений, операторов, логических условий или неравенств, которые определяют характеристики состояния ТС в зависимости от параметров элементов системы и параметров входных технологических потоков системы.

*Иконографические математические модели* - это большая группа моделей, представляющих собой графические отображения либо качественных свойств топологии ТС, либо функциональных соотношений между параметрами и переменных ТС, либо логико-информационных связей между уравнениями и информационными переменными символической математической модели ТС.

Перечисленные типы математических моделей используются на различных этапах проектирования ТО и СУ ТО. Ниже приводится анализ некоторых особенностей построения символических математических моделей динамики.

Математическое моделирование ТО основано на блочном принципе моделирования. При этом ТО рассматривается как совокупность образующих её элементов (блоков), а математическая модель ТО - это совокупность моделей элементов и уравнений связей между ними.

Принципиально различают два способа построения моделей динамики: путем ***идентификации и аналитически.***

***Первый способ*** предполагает составление гипотезы о виде математической модели, выражающий динамическую характеристику связи между входными и выходными переменными объекта и идентификацию параметров этой модели, на основе экспериментально полученных данных. Последние могут быть получены как путем пассивных наблюдений за объектом (пассивная идентификация), так и с помощью соответствующих активных воздействий. Причем, в силу сложности соблюдения ряда ограничивающих условий применения метода пассивной идентификации, предпочтение обычно отдается активному эксперименту [4].

При построении математического описания, используемого в контуре управления металлургическими процессами, возникает необходимость учета неконтролируемого изменения свойств объекта управления во времени. Это связано как с воздействием неконтролируемых возмущений, которые не могут быть непосредственно (с помощью датчиков) измерены на объекте управления, так и с изменением внутренних свойств и параметров объекта.

Следовательно, динамические свойства сложного объекта управления НТП в общем случае могут быть описаны уравнением вида

$$\sum_{r=1}^R A_r(t) V_r(t) = V_0(t), t \in I = [0, \infty], \quad (1)$$

где  $A_r(t) = [a_{rij}(t), i \in [1, m], j \in [1, n]] = [a_{rij}(t)]_n^m - [m \times n]$ -мерные матрицы нестационарных параметров объекта  $a_{rij}(t), V_r(t) = [v_{rij}(t)]_m^n - (n \times m)$ - мерные матрицы, а  $V_0(t) = [v_{0ij}(t)]_m^m - (m \times m)$  - мерная матрица обобщенных координат объекта, функционально зависящих от векторов входных  $\bar{x}(t)$ , выходных  $\bar{y}(t)$  сигналов объекта и производных этих векторов до  $P$ -той и  $Q$ -той включительно, а также от некоторой вектор-функции  $\bar{g}(t)$ , т.е.

$$\bar{y}_0^{(Q)}(t) + \sum_{q=0}^{Q-1} A_q(t) \bar{y}^{(q)}(t) = \sum_{p=0}^P A_{(Q+p)}(t) \bar{x}^{(p)}(x). \quad (2)$$

Такими обобщенными уравнениями описываются многие процессы [5, 6], относящиеся к многомерным динамическим объектам следующего вида:

$$\dot{y}(t) + A(t)y(t) = B(t)x(t). \quad (3)$$

Матричное уравнение (1) представляет собой систему  $m^2$  скалярных алгебраических уравнений относительно  $m \cdot n \cdot R$  параметров  $a_{rij}(t)$ , каждое из которых характеризуется совокупностью  $(nR+1)$  обобщенных координат объекта.

Будем считать, что параметры принадлежат классу  $l$ -раздифференцируемых функций, то есть  $a_{rij}(t) \in C_l(I)$ , структура объекта (1-2) известна, координаты  $v_{rij}(t) \in C(I)$  измеряются с погрешностями  $\delta v_{rij}(t) \in C(I)$ , причем совокупности  $n \times R$  обобщенных координат, стоящих в левой части каждого скалярного уравнения алгебраической системы (1), образуют систему линейно независимых функций на любом конечном подинтервале интервала  $I$ , за исключением отдельных конечных подинтервалов  $\Delta I_k \subset I$ .

При указанных условиях необходимо выполнить текущую (в реальном времени в темпе с процессом) идентификацию нестационарных параметров  $a_{rij}(t)$  в режиме нормального функционирования объекта.

Матричное уравнение, содержащее  $m \cdot n \cdot R$  неизвестных, может быть разделено на  $m$  независимых алгебраических систем  $S_i, i \in [1, m]$ , каждая из которых состоит из  $m$

уравнений относительно  $nR$  своих неизвестных параметров  $a_{rij}(t)$ . Если  $m \geq nR$ , то алгебраические системы  $S_i$  являются определенными или переопределенными. Наиболее неблагоприятным с точки зрения идентификации является случай неопределенной алгебраической системы  $S_i$ , когда  $m < nR$ . При  $m=1$  имеет место случай идентификации одномерного объекта, что является предельным вариантом данного случая.

Отсюда следует, что в математическом плане в основе решения задачи параметрической идентификации многомерного объекта лежит решение аналогичной задачи для одномерного объекта, динамические свойства которого описываются уравнением вида

$$\sum_{j=1}^n a_j(t)u_j(t) = u_0(t), \bar{u}^T \bar{a}(t) = u_0(t), t \in I = [0, \infty], \quad (4)$$

где  $\bar{a}(t) = [a_j(t)]_1^n$  - вектор нестационарных параметров  $a_j(t) \in C_l(I)$ ,  $\bar{u}(t) = [u_j(t)]_1^n$  - вектор обобщенных координат объекта  $u_j(t) \in C(I)$ , причем обобщенные координаты объекта зависят от входного  $x(t)$  и выходного  $y(t)$  сигналов объекта и их производных до  $p$ -ой и  $q$ -ой включительно, а также  $N$  функций времени  $g_\nu(t)$  -

$$u_i(t) = u_j \left[ x^{(p)}(t), p \in [0, P]; y^{(q)}(t), q \in [0, Q]; g_\nu(t), \nu \in [1, N] \right] \quad (5)$$

К уравнениям типа (1.3) относятся линейные и нелинейные дифференциальные уравнения, в которые искомые параметры входят линейным образом, например, следующее уравнение:

$$y^{(p)}(t) + \sum_{j=0}^{p-1} a_{j+1} y^{(j)}(t) = \sum_{j=p+1}^n a_j(t) x^{(j-p-1)}. \quad (6)$$

Можно отметить, что в промышленности имеется большое число различного рода объектов, которые с достаточной степенью точности описываются как уравнениями общего типа (1), (6), так и уравнениями частного типа (2), (3).

Предположим, что структура объекта (величины  $n, P, Q$ , функции  $g_\nu, \nu \in [1, N]$  и функциональные зависимости (1.4) известны априори), а обобщенные координаты  $u_j(t)$ ,  $j \in [0, n]$  доступны измерению с погрешностями  $\delta u_j(t)$ ,  $j \in [1, n]$ , причем совокупность  $n$  обобщенных координат  $u_j(t)$ ,  $j \in [1, n]$  образует систему линейно независимых функций

времени на любом конечном подинтервале  $I$ , исключая отдельные конечные подинтервалы  $\Delta I \subset I$ . При сформулированных условиях ставится задача текущей идентификации нестационарных параметров  $a_j(t)$  в режиме нормального функционирования объекта, т.е. задача построения алгоритма определения в темпе с процессом в режиме нормального функционирования объекта оценок значений искомых параметров  $a_j(t)$ ,  $j \in [1, n]$ , в каждый текущий момент времени  $t$  по измеряемым с погрешностями обобщенным координатам объекта

$$u_{j*}(t) = u_j(t) + \delta u_j(t), \quad j \in [0, n]. \quad (7)$$

В этом случае идентификация осуществляется на основании наблюдений векторов  $x(t)$  и  $y(t)$ , связанных с ненаблюдаемыми координатами процесса.

Помимо изложенных выше общих соображений в процессе решения поставленной задачи всегда имеется возможность допустить наличие некоторой вспомогательной приближенной информации как об обобщенных координатах объекта, так и об идентифицируемых параметрах.

Такая информация может быть получена на этапе теоретического и предварительного экспериментального исследования управляемого процесса или некоторых однотипных объектов. Очевидно, что данная информация может оказаться весьма грубой и приближенной, однако при необходимости она может уточняться в процессе функционирования системы идентификации. Поэтому в дальнейшем будем предполагать наличие следующей приближенной априорной информации:

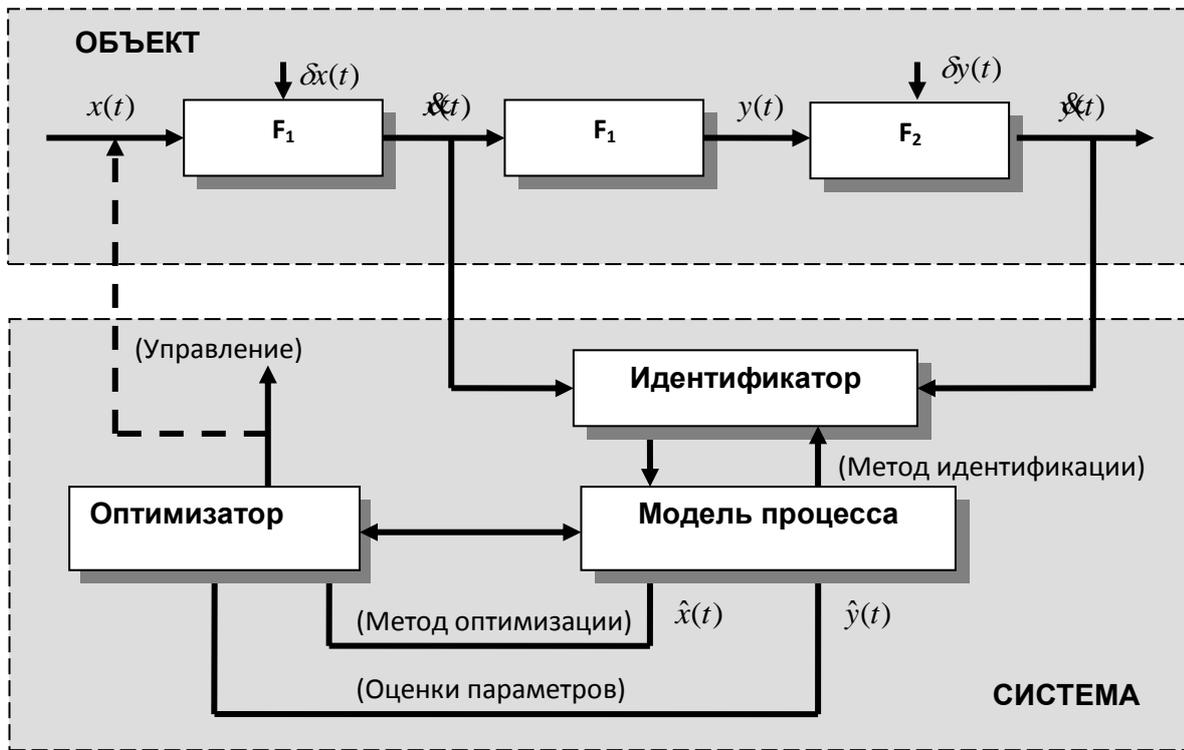


Рис. 1 Схема системы идентификации и управления

❖ эффективные полосы частотных спектров искомых параметров  $a_j(t)$ ,  $j \in [1, n]$  располагаются в диапазоне частот  $[0, \Omega_a]$ ; эффективные полосы частотных спектров обобщенных координат объекта  $u_j(t)$ ,  $j \in [1, n]$  располагаются в диапазоне частот  $[0, \Omega_u]$ ;

❖ вследствие погрешностей измерения  $\delta u_j(t)$  могут быть измерены лишь сигналы  $u_j^*(t)$ . Поэтому при решении задачи идентификации приходится рассматривать уравнение, записанное относительно оценок  $a_{j*}(t)$  искомых параметров  $a_j(t)$ .

Не останавливаясь на методах идентификации, достаточно полно освещенных, например в работах [7, 4], отметим такие недостатки этого пути построения моделей как: невозможность распространения результатов исследования на однотипные объекты; необходимость проведения большого количества экспериментальных работ; как правило, узкий диапазон адекватности получаемых моделей; невозможность анализа чувствительности разрабатываемых систем регулирования к изменениям тех или иных параметров объекта регулирования; невозможность применения для проектируемых объектов.

Изложенных недостатков лишен *аналитический способ построения математических моделей*, основанный на теоретическом анализе физико-химических

явлений, происходящих в объекте, и составлении дифференциальных и конечных уравнений сохранения вещества и энергии.

Основополагающим принципом математического моделирования является системный анализ объекта [8]. При этом важным этапом является составление структурной схемы объекта: разделение его на ряд звеньев, представляющих собой повторяющиеся элементы конструкции аппарата или отличающихся от других звеньев типом лимитирующего процесса, или же конструктивно представляющих самостоятельные части. С проблемой рационального расчленения объекта на звенья связана задача принятия системы допущений, позволяющих избежать излишнего усложнения модели.

Математическое описание динамики технологических объектов приводит обычно к нелинейным дифференциальным уравнениям в обыкновенных или частных производных, решение которых осуществляется путем численного интегрирования с применением конечно-разностных схем.

Начальные условия систем уравнений динамики определяются решениями соответствующих стационарных (статических) моделей. При этом некоторая сложность возникает при решении стационарных моделей противоточных систем. Стационарная модель такого объекта решается при краевых условиях, заданных на различных границах. Один из способов решения подобных задач заключается в подборе краевых условий на одной границе с целью обеспечения условий на другой (метод пристрелки). Однако подбор краевых условий, связанный с большим числом решений, не всегда эффективен. Более рациональным для решения рассматриваемого типа задач является способ перехода к нестационарной задаче, описанный в работе [9].

Рассмотрим методы построения матриц передаточных функций ТО - операторной формы её линеаризованной математической модели, используемой при синтезе и анализе АСР.

Возможны два пути получения передаточных матриц: численный и аналитический. Аналитический путь получения МПФ объекта с сосредоточенными параметрами предполагает линеаризацию нелинейных членов математического описания и его представления в форме:

$$F(D)X = B(D)U, \quad (8)$$

где  $F(D)$  и  $B(D)$  - полиномиальные матрицы от  $D = d/dt$ ,  $U$ ,  $X$ - векторы входных и выходных переменных управляемого объекта, соответственно.

Для математического описания вида 8) МПФ объекта в предположении нулевых условий определяется выражением

$$G(S) = F^{-1}(S)B(S) \quad (9)$$

При размерности системы уже более трех использование выражения (8) связано с математическими операциями над полиномиальными матрицами, что вызывает вычислительные сложности как при ручном, так и при машинном счете.

С большими проблемами связано получение МПФ объектов с распределенными параметрами. Основной путь решения задачи в этом случае лежит через переход от системы уравнений в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными в операторной форме и последующим их аналитическим решением. Однако, получаемые таким путем передаточные функции оказываются сложными и имеют трансцендентный вид.

Принципиально передаточные матрицы сложных объектов могут быть получены путем формального применения методов идентификации к математическим моделям. С этой целью следует осуществить «активный эксперимент» на математической модели объекта, т.е. численное интегрирование уравнений модели на ЭВМ при ступенчатых «возмущениях» её входов и далее аппроксимацию полученных переходных процессов решениями линейных дифференциальных уравнений выбранной структуры, операторные формы записи которых и представляют собой собственно элементы МПФ. Аппроксимация может осуществляться постановкой вариационной задачи или применения известных расчетных методов [10]. Этот способ получения МПФ характеризуется простотой реализации, однако, в то же время, не всегда обеспечивает удовлетворительную точность.

С точки зрения повышения точности последующего синтеза системы управления, является желательным получение и аппроксимация непосредственно частотных характеристик [4]. Расчет последних может быть осуществлен по выражению (8) при  $S = i\omega$  для выбранной дискретной совокупности частот. Этот путь достаточно эффективен для объектов с сосредоточенными параметрами. Однако в случае получения МПФ распределенных объектов возникают сложности сведения их математических моделей к форме (8).

Другой путь получения частотных характеристик, основанный на расчете на моделях на ЭВМ переходных процессов при синусоидальных возмущениях различной частоты, может быть использован для объектов любого типа, однако, требует сравнительно больших затрат машинного времени.

Вопросы аппроксимации частотных характеристик анализируются в работах [11, 12, 13]. В работе [11] отмечается, что решение этой задачи оказывается сложным, так как приходится осуществлять одновременное приближение вещественных и мнимых или амплитудных и фазовых характеристик. В основном методы приближения частотных характеристик основываются на сведении задачи к оптимизационной. В работе [12] представляется метод решения, основанный на переходе к методу наименьших квадратов и использующий дробно-рациональные функции в общем виде. Однако проведенный анализ этого алгоритма показал, что получаемые системы линейных алгебраических уравнений оказываются однородными, чем значительно затрудняется нахождение их нетривиальных решений.

При этом вычисления проводятся в частотной области, а элементы МПФ определяются аппроксимацией передаточных функций вычисленных амплитудно-фазовых характеристик.

### Список литературы

1. Алексанкин А.Я., Бржозовский А.Э., Жданов В.А. и др. Автоматизированное проектирование систем автоматического управления / под ред. Солодовникова В.В. – М.: Машиностроение, 1990. – 332 с.
2. Сольницев Р.И. Автоматизация проектирования систем автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1991. – 335 с.
3. Кафаров В.В., Перов В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. – М.: Химия, 1974. – 344с.
4. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. – М.: Энергия, 1973. – 440с.
5. Сейдж Э.П., Мелса Д.Л. Идентификация систем управления. -М.: Наука, 1974.
6. Рутковский А.Л., Данилин Л.А., Иванов В.А. Автоматическая система управления технологическим процессом прокалики кокса с использованием вычислительной техники. -М.: Цветметинформация, 1978.
7. Салихов З.Г., Арунянц Г.Г., Рутковский А.Л. Системы оптимального управления сложными технологическими объектами. – М.: Теплоэнергетик, 2004. – 496 с.

8. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии: (Технологический принцип формализации). –М.: Наука, 1979. – 394с.
9. Слинько М.Г. Моделирование химических реакторов. – Новосибирск.: наука, 1968. – 98с.
10. Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами. – М.: наука, 1979. – 224с.
11. Морозовский В.Т. Многосвязные системы автоматического регулирования. – М.: Энергия, 1970. – 298с.
12. Bottiger F., Engell S. Entwurf von Zweigrossensystemen mit dem Mehrgrosen – Nyquist – Verfahren. «Regelungstechnik», 1979, 27, №5, p/ 143-150.
13. Арунянц Г.Г., Рутковский А.Л., Алборов Э.К., Сидоров Д.В., Диденко А.А. Оценка и корректировка параметров математических моделей при адаптивном управлении нестационарными технологическими процессами. – Известия высших учебных заведений (математическое моделирование и компьютерные технологии). Спец. Выпуск, 2004, с. 47-51

УДК 330.131.7:517

## **МЕХАНИЗМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РИСКА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Сидорова Е.А., Порядина В.Л.**

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, Воронеж*

[kireewa.e.a@yandex.ru](mailto:kireewa.e.a@yandex.ru), [poryadina08@mail.ru](mailto:poryadina08@mail.ru)

***Аннотация.** В настоящее время изменилась роль и значение отдельных элементов управленческого процесса, следовательно, меняются методы и подходы к их анализу, оценке и управлению на предприятии. Целью работы является разработка методологических положений по совершенствованию механизма управления производственными рисками на предприятиях металлургической промышленности.*

***Ключевые слова:** риск; уровень безопасности; страхование; страховой взнос.*

## **FINANCING MECHANISMS FOR RISK REDUCTION IN STEEL PRODUCTION**

**Sidorova E.A., Poryadina V.L.**

**Abstract.** At the present time has changed the role and importance of individual elements of the management process, thus changing the methods and approaches to their analysis, assessment and management in the enterprise. The aim is to develop methodological guidelines for improving risk management of production in the metallurgical industry.

**Keywords:** risk; security; insurance; the insurance premium.

**Введение.** В рыночной экономике эффективность функционирования предприятия определяется получаемой им *прибылью*. Если считать, что вся выпущенная предприятием продукция реализуется, то прибыль  $i$ -го предприятия можно записать в виде

$$f_i = c_i u_i - z_i(u_i) - v_i, (1)$$

где  $u_i \geq 0$  – объем продукции, выпускаемой на  $i$ -м предприятии;

$c_i \geq 0$  – цена продукции, выпускаемой на  $i$ -м предприятии;

$v_i \geq 0$  – затраты предприятия на предупредительные мероприятия;

$z_i(u_i)$  – затраты предприятия на выпуск продукции в объеме  $u_i$ .

В действительности предприятие заинтересовано не в увеличении прибыли как таковой, а лишь в той части прибыли, которая остается в его распоряжении, так как именно из прибыли предприятие осуществляет различные обязательные выплаты, такие как: налоги, всевозможные платежи, и, возможно, штрафы.

Размер обязательных выплат и показатели, от которых эти выплаты зависят, определяются действующим экономическим механизмом. Обозначим через  $y_i$ , *уровень безопасности*  $i$ -го предприятия. Параметры *экономического механизма* настраиваются в соответствии с наблюдаемым или измеряемым уровнем безопасности. Например, если  $\chi_i$  – размер штрафов за недостижение требуемого уровня безопасности  $x_i$  то прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия, может быть записана в виде

$$f_i = c_i u_i - z_i(u_i) - \chi_i(x_i, y_i), \text{ где}$$

$$\chi_i(x_i, y_i) = \begin{cases} \chi_i(y_i), & \text{если } y_i < x_i, \\ 0, & \text{если } y_i \geq x_i. \end{cases}$$

В случае, когда применяется экономический механизм платы за риск, то  $\chi_i(x_i, y_i) = \lambda_i(x_i - y_i)$ ,  $y_i \leq x_i$ , где  $\lambda_i$  - цена риска для  $i$ -го предприятия.

Если для управления уровнем риска используется механизм централизованного финансирования мероприятий по снижению уровня риска, то при этом в первую очередь должны быть решены вопросы, связанные с формированием централизованных фондов и, соответственно, определены процедуры распределения средств из этих фондов. Кроме того, должны быть известны мероприятия по снижению уровня риска, финансирование которых осуществляется из выделяемых средств.

**1. Механизмы финансирования мероприятий по снижению уровня риска** основываются на распределении средств централизованного фонда. Предположим, из центра предприятию выделено  $V$  единиц средств на снижение уровня риска, и на предприятии действует механизм сильных штрафов, тогда легко показать, что при максимизации своей прибыли предприятие уменьшает размер собственных средств на снижение уровня риска на величину  $V$ . Действительно, пусть  $u'$  и  $v'$  - решение задачи

$$\begin{cases} c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{\omega \theta'}{\omega \theta}, \\ \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v)} - x = 0. \end{cases} \quad (2)$$

то есть  $u'$  - оптимальный объем выпуска,  $av'$  - оптимальный объем средств, направляемый предприятием на снижение уровня риска. Если предприятие получило  $V$  единиц средств на снижение уровня риска, то для максимизации своей прибыли оно будет решать задачу

$$\begin{cases} c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{\omega'(u)\theta(v+V)}{\omega(u)\theta'(v+V)} = 0, \\ \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(v+V)} - x = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Обозначим  $\tilde{v} = v + V$ , тогда (3) можно представить в виде

$$\begin{cases} c - \frac{dz(u)}{du} - \frac{\omega'(u)\theta(v)}{\omega(u)\theta'(\tilde{v})} = 0, \\ \frac{\omega(u)}{\omega(u) + \theta(\tilde{v})} - x = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Пусть  $u''$  и  $v''$ - решение этой задачи. Сравнивая систему (2) и (4), легко видеть, что  $u''=u'$  и  $v''=v'$ , но  $\tilde{v}'' = v'' + V$ , поэтому  $v''=v'-V$ . То есть, объем средств, направляемых предприятием на снижение риска, уменьшился на величину  $V$ .

В случае, когда центр не выделяет предприятию средства на снижение уровня риска  $V$ , предприятие вынуждено самостоятельно искать способы снижения риска. И одним из таких методов является страхование - система мероприятий по созданию денежного (страхового) фонда за счет взносов его участников, из средств которого возмещается ущерб, а также выплачиваются иные денежные суммы в связи с наступлением определенных событий».

**2. Механизмом смешанного финансирования** называется правило определения взносов каждого из «инвесторов» на основании имеющейся (и, зачастую, сообщаемой самими инвесторами) информации. Это правило должно быть гибким, так как при фиксации доли каждого из инвесторов может сложиться ситуация, в которой либо желающих вложить собственные средства будет слишком мало и/или эффективность использования средств центра будет низка. В [2] описан гибкий механизм смешанного финансирования, который обладает свойством привлечения инвестиций в приоритетные проекты.

Используем идею смешанного финансирования в металлургическом страховании следующим образом - рассмотрим модель страхования, в которой возможно привлечение ресурсов центра [2]. Задача заключается в определении *механизма смешанного страхования* (то есть принципа взаимодействия участников, использующего как ресурсы страхователей - предприятий, так и ресурсы страховщика - центра), который обладал бы определенными свойствами, такими как, например, *неманипулируемость* (свойство, заключающееся в выгоды для участников системы сообщения достоверной информации), и приводил к эффективному (в смысле управления агрегированным риском) распределению собираемых страховых взносов и выплачиваемых возмещений.

Пусть имеются  $n$  страхователей (предприятий) с целевыми функциями

$$Ef_i = \tilde{g}_i - K_i + p_i[V_i - W_i], i \in Q,$$

где  $\tilde{g}_i$ - прибыль от хозяйственной деятельности страхователя,  $K_i$ - страховой взнос,  $V_i$ - страховое возмещение,  $p_i$  - вероятность наступления страхового случая,  $W_i$ - потери (ущерб) при наступлении страхового случая,  $Q = \{1, 2, \dots, n\}$  - множество предприятий

(страхователей). Для простоты ограничимся описанием взаимодействия страхователей в течение одного промежутка времени, на протяжении которого однократно производится сбор взносов и компенсация ущербов. При этом будем считать, что остатки резервов (разность между собранными взносами и произведенными выплатами) если они положительны, используются в качестве резерва в следующем периоде времени (учет альтернативных способов использования остатков, например, инвестиция их в те или иные проекты, может быть «автоматически» учтен в рамках описываемой ниже модели, поэтому акцентов на задачах управления инвестициями не делается).

Предположим, что вероятности  $\{p_i\}$  наступления страховых случаев не известны центру и страхователи сообщают ему оценки  $\{s_i\}$  этих вероятностей.

Пусть у центра (страховщика) имеется страховой фонд  $R_0$  и возмещение  $i$ -го страхователя  $V_i(s)$ , где  $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$  - вектор сообщений страхователей о соответствующих вероятностях наступления страховых случаев, определяется как часть  $\alpha_0(s)$  его потерь  $W_i$ , которая может быть покрыта суммой страхового фонда центра и собранными взносами страхователей, то есть:

$$V_i(s) = \alpha_0(s)W_i, i \in Q,$$

$$\alpha_0(s) = (W_i(s) + R_0) / W, W(s) = \sum_{i \in Q} s_i W_i, W = \sum_{i \in Q} p_i W_i.$$

Подставляя это выражение в целевую функцию страхователя и вычисляя производную по его сообщению, получаем, что

$$\frac{\partial E f_i}{\partial s_i} \approx \frac{p_i W_i}{W} - 1 \leq 0, i \in Q,$$

то есть такой механизм смешанного страхования оказывается манипулируемым. Содержательно, страхователи полностью используют фонд центра, сообщая, тем не менее, минимальные оценки вероятности наступления страхового случая.

Выходом может служить установление зависимости между долей фонда центра, получаемой страхователем (в том или ином виде), и сообщениями последнего. Поэтому рассмотрим другой механизм, в котором центр из своего фонда компенсирует страхователям часть их страховых взносов, причем компенсируемая доля зависит от сообщений страхователей о вероятностях наступления страхового случая.

Компенсируемая центром часть страхового взноса может интерпретироваться как установленная им скидка.

Пусть центр из своего страхового фонда  $R_0$  компенсирует  $i$ -му страхователю часть  $V_i(s)$  его страхового взноса  $s_i W_i$ , то есть

$$k_i(s) = s_i W_i - V_i(s), i \in Q, \quad (5)$$

где размер компенсации определяется на основании принципа прямых приоритетов, то есть

$$V_i(s) = \frac{s_i W_i}{W(s)} R_0, i \in Q, \quad (6)$$

Легко видеть, что если  $V_i(s) = W(s) W_i / W_i, i \in Q$ , то балансовые условия имеют вид :

$$\forall s \sum_{i \in Q} V_i(s) = R_0, k(s) = W(s), \sum_{i \in Q} p_i V_i(s) = k(s). \quad (7)$$

Ожидаемое значение целевой функции  $i$ -го страхователя имеет вид:

$$Ef_i(s) = \tilde{g}_i - s_i W_i + \frac{s_i W_i}{W(s)} R_0 + p_i Q_i [W(s)/W - 1], i \in Q, \quad (8)$$

Найдем равновесие Нэша\* игры страхователей. Для этого, обозначив

$$\beta'_i = 1 - \frac{p_i W_i}{W}, \quad (9)$$

определим из условий  $\frac{\partial Ef_i}{\partial s_i} = 0, i = Q$ , сообщения, доставляющие максимумы

ожидаемым

полезностям страхователей. Для этого рассмотрим систему уравнений:

$$R_0 \frac{W(s) - s_i W_i}{W^2(s)} = \beta'_i, i \in Q. \quad (10)$$

Складывая  $n$  уравнений, получим  $W(s) = (n-1)R_0 / \beta'$ , где  $\beta' = \sum_{i \in Q} \beta'_i$ .

Подставляя (9), имеем:

$$W(s) = R_0.$$

(11)

Подставляя (11) в (10), получаем:

$$s_i^* = p_i R_0 / W, i \in Q. \quad (12)$$

Итак, выражение (12) описывает равновесие Нэша. Более того, оно является допустимым равновесием, так как все равновесные сообщения страхователей неотрицательны и обеспечивают страхователям не меньшее значение ожидаемой полезности, чем при неучастии в смешанном страховании (последнее утверждение легко проверяется сравнением

$s_i W_i - \frac{s_i W_i}{W(s)} R_0 - p_i W_i [W(s)/W - 1]$  и  $p_i W_i$ . Подставляя (12) в (5) и (6), получаем:

$$k_i(s^*) = 0, i \in Q, \quad (13)$$

$$V_i(s^*) = \frac{p_i W_i}{W} R_0, i \in Q, \quad (14)$$

Механизм скидок обладает следующими свойствами:

- а) суммарный страховой взнос равен страховому фонду центра;
- б) компенсация осуществляется пропорционально истинным ожидаемым потерям страхователей;
- в) при страховом фонде центра, равном суммарным ожидаемым потерям страхователей, равновесие Нэша соответствует сообщению достоверной информации;
- г) для любого механизма скидок существует эквивалентный прямой (неманипулируемый) механизм.

Если задан некоторый непрямо́й механизм планирования, в котором равновесные сообщения агентов зависят от их типов, то механизм, в котором агенты сообщают свои типы, а центр определяет планы, подставляя сообщения в равновесие непрямого механизма, называется соответствующим исходному прямому механизму [3]. Соответствующий прямой механизм, который *неманипулируем* (то есть является

механизмом, в котором сообщение достоверной информации является доминантной стратегией каждого агента), называется эквивалентным прямым механизмом.

В соответствии с приведенными определениями исходным является механизм (6), а соответствующий ему прямой механизм  $V(\sigma')$ , где  $\sigma' = (\sigma'_1, \sigma'_2, \dots, \sigma'_n)$  - вектор сообщений страхователей о вероятностях наступления страхового случая, определяется подстановкой (12) в (6), то есть:

$$s_i^*(\sigma') = \frac{\sigma'_i R_0}{\sum_{j=Q} \sigma'_j W_j}, i \in Q,$$

$$x_i^*(\sigma') = \frac{s_i^*(\sigma') W_i}{\sum_{j=Q} s_j^*(\sigma') W_j} R_0 = \frac{\sigma'_i W_i}{\sum_{i \in Q} \sigma'_i W_i} R_0, i \in Q,$$

причем  $\forall \sigma' \quad W(s^*(\sigma')) = \sum_{i \in Q} s_i^*(\sigma') W_i = R_0.$

Подставляя последнее выражение в (8), получаем следующую зависимость ожидаемого выигрыша  $i$ -го страхователя от сообщений страхователей в прямом механизме:  $\forall \sigma' \quad Ef_i(\sigma) = \tilde{g}_i + p_i W_i [R_0 / W - 1], i \in Q.$

Отсюда следует, что ожидаемые выигрыши страхователей в соответствующем механизму (6) прямом механизме  $V(\sigma')$  не зависят от их сообщений, следовательно, прямой механизм является неманипулируемым.

**Выводы.** В заключение остановимся на содержательной интерпретации свойств механизма скидок.

Так как суммарный страховой взнос в точности равен страховому фонду центра (13), то, конечно, нельзя сказать, что механизм скидок обладает свойством привлечения средств страхователей. Тем не менее, механизм скидок обладает следующими привлекательными свойствами:

- он сбалансирован (7) и (11);
- обеспечивает «справедливое» возмещение для страхователей (14);
- для него существует эквивалентный прямой механизм, в котором все страхователи сообщают центру достоверную информацию;

- в соответствии с (12), для любого размера страхового фонда центра, отношение равновесного сообщения страхователя к истинному значению вероятности наступления страхового случая одинаково для всех страхователей, что позволяет использовать механизмы косвенного оценивания этих параметров;

- так как ожидаемые взносы страхователей равны нулю, то центр имеет возможность распоряжаться ресурсом  $R_0$  по своему усмотрению до конца рассматриваемого периода, и т.д.

### Список литературы

1. Грачева М.В. Риск-анализ инвестиционного проекта. -М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001.- 351с.

2. Баркалов С.А., Новиков Д.А., Новосельцев В.И., Половинкина А.И., Шипилов В.Н. Модели управления конфликтами и рисками [Текст]: монография/С.А.Баркалов [и др.]; под ред.Д.А.Новикова. – Воронеж: Научная книга, 2008.-495с.

3. Домащенко Д. В. , Финогенова Ю. Ю. Управление рисками в условиях финансовой нестабильности / Издательство: «МАГИСТР», 2010 - с.240

4. Васин С.М., Шутов В.С. Управление рисками на предприятии/ изд-во «Конус», 2010. – 304с.

УДК 004.7+004.8

### **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЧИСТКИ СИГНАЛОВ ОТ ШУМОВ**

**Соловьев А.Ю., Родионов Н.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый  
Оскол*

*solovyov.anton@gmail.com*

*Аннотация. В статье предлагается метод сингулярно-спектрального анализа для очистки сигналов от шумов как альтернатива существующим методам. Приводятся примеры на простых функциях*

**Ключевые слова:** сингулярно-спектральный анализ, сигналы, шумовые компоненты.

## ON POSSIBILITY OF USING SINGULAR-SPECTRAL ANALYSIS OF SIGNALS FROM NOISE CLEANING

*Solovyov A.J., Rodionov N.*

*Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISiS", Sary Oskol*

*solovyov.anton@gmail.com*

**Abstract.** *The paper proposes a method for singular spectral analysis to clean the signals from the noise as an alternative to existing methods. The examples on simple functions.*

**Keywords:** *singular-spectrum analysis, signal, noise components.*

### **Введение**

Анализ сигналов и временных рядов на сегодняшний день является одной из важнейших и актуальных задач. Любая человеческая деятельность в той или иной мере связана с анализом и обработкой сигналов или временных рядов. Например: финансовые рынки, продажи, курсы валют, интернет-трафик [2] и т.д. Важнейшие задачи, связанные с очисткой от шумовых компонент и выявления скрытых и явных составляющих сигнала возникают в медицине при обработке электрических биогенных сигналов, таких как электрическая активность мозга, исследование кардиограммы сердца и т.д. Анализ сигналов в климатологии, сейсмологии также является важной задачей.

В статье исследуется метод сингулярно-спектрального анализа, известный также как метод «Гусеница» для очистки сигналов от шумов. В частности для исследования были выбраны некоторые простые функции с добавлением различных шумов, и после этого происходила очистка методом сингулярно-спектрального анализа.

### **1. Общая характеристика метода «Гусеница»**

Метод сингулярно-спектрального анализа (в дальнейшем метод «Гусеница») основан на преобразовании искомого временного ряда или сигнала в многомерный ряд с последующим применением к нему метода главных компонент.

Фактически происходит отбор ведущих и важных, по мнению эксперта компонент временного ряда с отбрасыванием остальных (шумовых) компонент и последующее восстановление очищенного временного ряда или сигнала.

Метод «Гусеница» состоит из двух последовательных этапов. Первый этап называется «Разложение». На данном этапе первоначально происходит преобразование одномерного временного ряда в многомерный, который, по сути, представляет «нарезку» исходного ряда или сигнала в матрицу, состоящую из фрагментов исходного ряда, полученных с некоторым сдвигом. Данный сдвиг называется «окном» и напоминает движение гусеницы при формировании многомерного ряда, отсюда и пошло название метода «Гусеницы». После получения матрицы, происходит ее сингулярное разложение, где выделяются левые и правые собственные вектора и корни собственных чисел матрицы. Перемножение этих компонент дает некоторый временной ряд, который называют собственной тройкой временного ряда.

Следующий этап это группировка и восстановление ряда. Из полученных собственных троек выбираются те компоненты, которые оказывают наибольшее влияние на временной ряд, остальные отбрасываются. Далее происходит процедура диагонального усреднения, и полученные временные ряды в ходе усреднения суммируются. На выходе получается восстановленный и очищенный временной ряд.

Более подробное описание метода приведено в [1].

## 2. Проведение эксперимента

Для проведения эксперимента мы рассматривали различные сигналы, сформированные преимущественно из синусоид с добавлением различных шумов. Приведем некоторые примеры и полученные результаты.

На рисунке 1 представлена стандартная синусоида с добавлением малого уровня шума.



Рис. 1. Синусоида с добавлением малого уровня шума

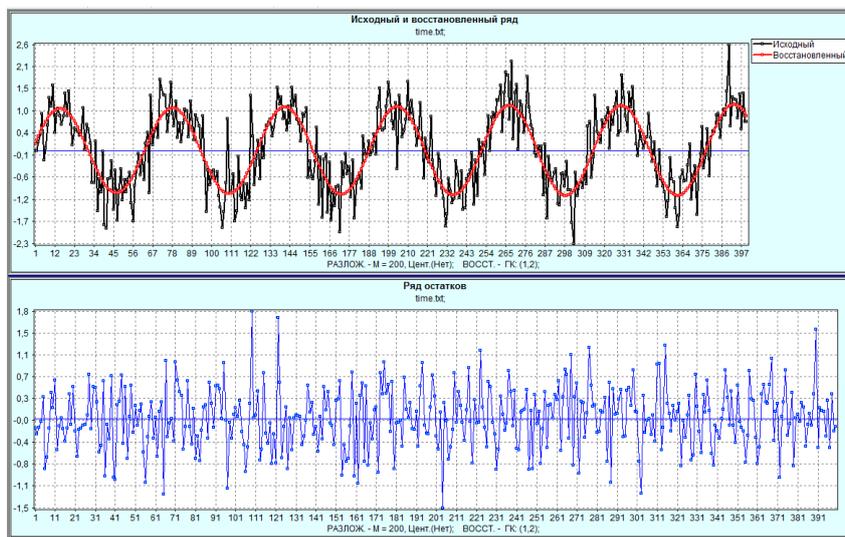


Рис. 2. Очищенная синусоида и шум

После применения очистки методом «Гусеница» был получен ряд, представленный на рисунке 2. Как видим, метод хорошо очистил искомый сигнал от шума.

Далее задача была усложнена, добавлением к синусоиде больше шумовых компонент, график которого представлен на рисунке 3. После этого опять был применен метод «Гусеница», очищенный ряд представлен на рисунке 4



Рис. 3. Синусоида с добавлением большого уровня шума

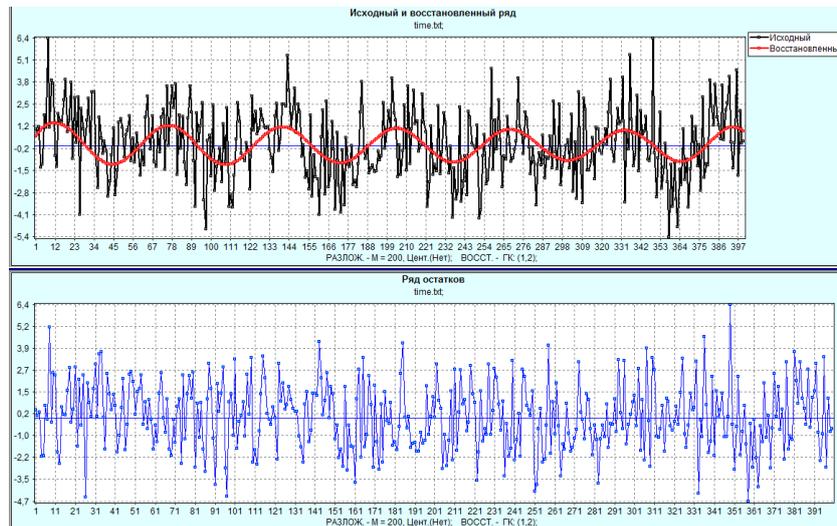


Рис. 4. Очищенная синусоида и шум

Как видим, метод также достаточно хорошо произвел очистку исходного ряда. Далее помимо стандартных синусоид, косинусоид, их сумм, а так же сдвигов по периоду, были сформированы сложные периодические временные ряды как, например ряд, представленный на рисунке 5. Как видим из рисунка 5, ряд обладает сложным поведением. На рисунке 6 представлен очищенный ряд, естественно методу не удалось очистить ряд до исходной структуры, но метод Фурье и вейвлет-преобразования не достигли даже такого уровня в очистке.

Отметим, что в данной статье мы касались только периодических функций, но метод «Гусеница» подходит для анализа любых сигналов, как и с явным и не явным трендом, так и сигналов со сложными периодами.

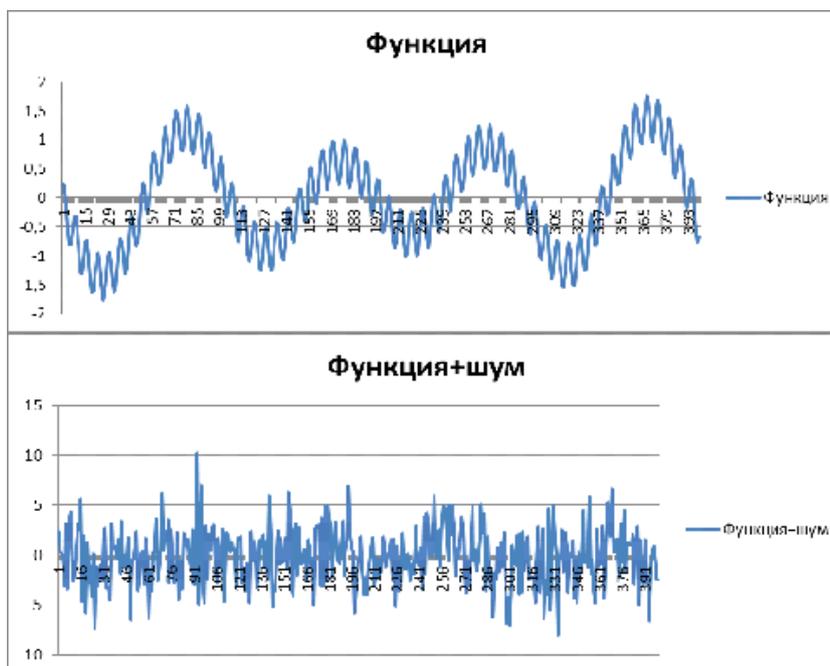


Рис. 5. Усложненный сигнал

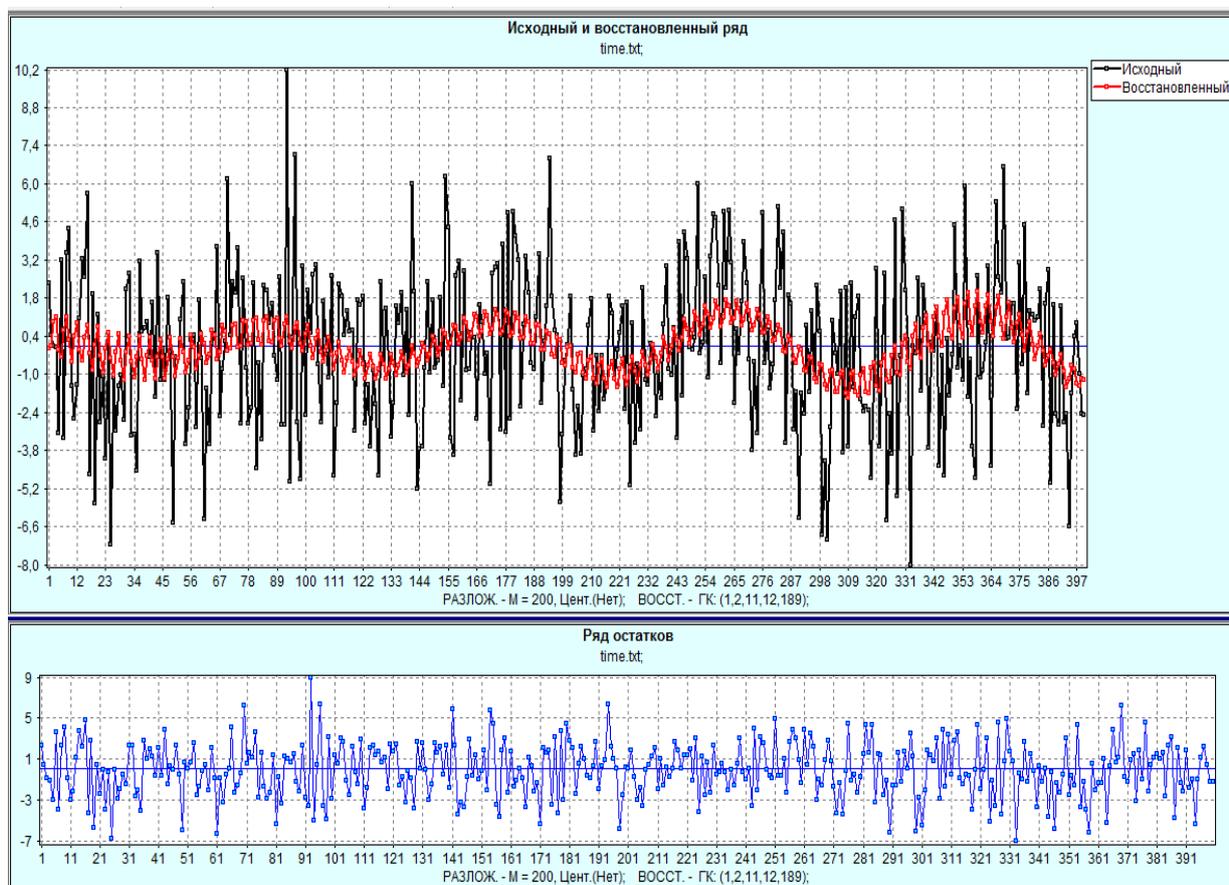


Рис. 6. Очистка усложненного сигнала

### Заключение

В работе показано, что метод сингулярно-спектрального анализа позволяет качественно очистить ряд от шумовых компонент. Преимущество метода «Гусеницы», заключается в возможности управления процессом фильтрации на этапах разложения и восстановления сигнала по интерпретируемым компонентам. Что, соответственно дает возможность к более глубокому анализу различных сигналов.

### Список литературы

1. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. –76 с.
2. Соловьев А.Ю. Выявление аномалий в поведении сетевого трафика методом сингулярно-спектрального анализа / А.Ю.Соловьев // Управление большими системами. Материалы IX Всероссийской школы-конференции молодых ученых Тамбов-Липецк: изд-во Першина Р.В., 2012.– т.2. – С.71-74.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ

**Соловьев А.Ю.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый  
Оскол*

*solovyov.anton@gmail.com*

**Аннотация.** *Рассматривается проблема современных сетей передачи данных. Так же рассматривается один из способов построения сетей передачи данных в виде программно-конфигурируемых сетей. Предлагается мультиагентный подход в качестве организации и построения программно-конфигурируемых сетей.*

**Ключевые слова:** *проблемы сетей передачи данных, программно-конфигурируемые сети, мультиагентные технологии.*

## THE POSSIBILITY OF USING MULTIAGENT APPROACH IN CONSTRUCTING CONFIGURABLE NETWORKS SOFTWARE

**Solovyov A.J.**

*Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and  
Technology "MISiS", Stary Oskol*

*solovyov.anton@gmail.com*

**Abstract.** *The problem of modern data networks. Just consider one of the ways to build data networks in the form of software-defined network. It proposed multiagent approach as an organization and build software-defined network.*

**Keywords:** *the problem of data networks, software-defined network, multi-agent technology.*

### **Введение**

На сегодняшний день сети передачи данных, несмотря на повсеместное использование и бурное развитие, ограничены рядом факторов, а именно:

- Традиционные сети проприетарны, закрыты для исследований и практически любых изменений;
- Оборудование разных производителей часто между собой плохо «стыкуется», несмотря на универсальность сетевых протоколов;

- Рост трафика, что приводит к перегрузке сетевых устройств;
- Большое количество протоколов и их стеков;
- Устаревшие протоколы, особенно протоколы транспортного и сетевого уровней;
- Ручная настройка всех сетевых устройств;
- Переучивание под каждого производителя системных администраторов, настраивающих сетевое оборудование[1].

Как видим, большое количество проблемных факторов ведет к усложнению сетевого оборудования и структуры самих сетей передачи данных. И как следствие удорожанию сетевого оборудования

## **1. Программно-конфигурируемые сети**

### **1.1. Определение SDN-сетей**

Для полного или частичного устранения вышеизложенных проблем, рядом исследователей предлагается сменить парадигму построения и организации сетей передачи данных. Новый вид сетей получил названия программно-конфигурируемых сетей.

Программно-конфигурируемые сети (SDN от англ. Software-defined Network) – новый вид сетей передачи данных, предложенный университетами Беркли и Стэнфорда в 2005 год.

Суть SDN-сетей заключается в том, что уровень управления и прочие интеллектуальные функции сетевых устройств, например коммутаторов и маршрутизаторов выносятся на отдельные устройства, которые называют контроллеры. Данные контроллеры, используя наиболее популярный на сегодняшний день протокол OpenFlow, анализируют весь трафик, проходящий через сеть, оказывают управляющее воздействие на сетевые устройства. На основе полученной информации от контроллеров, сетевые устройства пересылают данные по тем или иным маршрутам, фильтруют их и т.д[1-3].

Как видим, вся вычислительная нагрузка в подобных сетях, сосредоточена на так называемых контроллерах, тем самым разгружая все остальные сетевые устройства, оставляя им только функцию пересылки трафика и тем самым существенно ускоряя их работу.

### **1.2. Проблемы организации и построения SDN-сетей**

Несмотря на очевидные преимущества SDN-сетей по сравнению с традиционными сетями в плане скорости работы, простоты структуры сети, универсальности и т.д., остается ряд проблем возникающих при переходе с традиционных сетей к SDN-сетям, а именно:

1. Интеграция в существующие сети;
2. Эффективное управление потоками трафика;
3. Построение маршрутов движения потоков;
4. Обеспечение должного уровня безопасности;
5. Корректная реконфигурация сети.[1,2]

Все выше перечисленные проблемы внедрения SDN-сетей, несомненно, требуют дальнейших и тщательных исследований. Каждая из проблем требует детального рассмотрения и анализа методов ее решения.

## 2. Применение мультиагентного аппарата для организации SDN-сетей

Несмотря на то, что традиционные сети стремятся уйти от централизации и по сути являются децентрализованными, SDN-сети опять приходят к идеи централизованного контроля. В то же время существующая парадигма SDN-сетей может быть рассмотрена с позиции мультиагентного подхода.

Рассмотрим типичную структуру SDN-сети, представленную на рисунке 1. Как видим, на схеме присутствуют обычные коммутаторы. Следует, отметить, что в понятии SDN-сетей, коммутаторами являются устройства, занимающиеся пересылкой трафика. При этом пересылка пакетов может осуществляться по различным признакам, будь это MAC-адрес, ip-адрес, номер виртуальной локальной сети, метка и т.д. То есть, если придерживаться традиционной терминологии и модели организации сетевой передачи, то в понятии SDN-сетей коммутатор это не устройство канального уровня, а устройство позволяющее работать и на сетевом и на канальном уровне.

В тоже время SDN-контроллеры отвечают за управляющее воздействие на коммутаторы. Именно SDN-контроллеры посредством протокола OpenFlow заполняют таблицу правил коммутаторов по тем или иным признакам, на основе которых они занимаются пересылкой трафика.

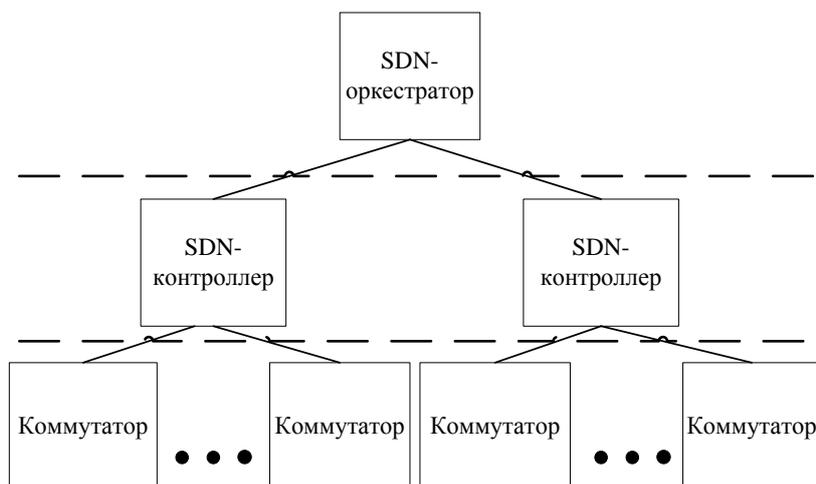


Рис. 1. Структура SDN-сети

Работу SDN-контроллеров организует SDN-оркестратор, по сути это либо отдельное аппаратное устройство или программное обеспечение, которое отслеживает корректность работы SDN-контроллеров.

В ходе анализа и исследований было предложено использовать мультиагентный подход для организации SDN-сетей. На рисунке 2 приведена модифицированная схема SDN-сети. Как видим из рисунка, роль агентов нижнего уровня выполняют коммутаторы, из схемы видно, что их функции остаются такими же и заключаются в пересылке трафика.

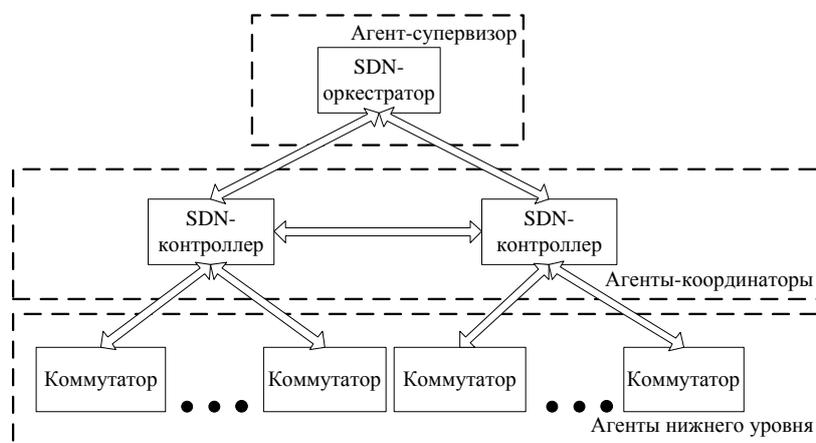


Рис.2. Структура SDN-сети с мультиагентным подходом

Роль агентов-координаторов и агентов-мониторов выполняют SDN-контроллеры, при этом вносится модификация в схему, заключающаяся в том, что агенты-координаторы могут взаимодействовать между собой. Роль агента-супервизора выполняет SDN-оркестратор, который координирует работу SDN-контроллеров.

### Заключение

В статье была рассмотрена возможность переноса мультиагентного подхода на структуру SDN-сетей. Предложена схема организации SDN-сети с мультиагентным подходом. Несомненно, это схема носит первичный характер и необходимы дальнейшие исследования для более тщательной проработки возможности объединения SDN-сетей и мультиагентных технологий.

### Список литературы

1. Красотин А. А. , Алексеев И. В. Программно-конфигурируемые сети как этап эволюции сетевых технологий // Моделирование и анализ информационных систем.– 2013. – № 20:4. – С. 110–124
2. Захаров В. А., Чемерицкий Е. В., О некоторых задачах реконфигурирования программно-конфигурируемых сетей // Моделирование и анализ информационных систем.– 2014.– том 21.–№ 6.– С.57–70

3. Casado M., Koponen T., Shenker S., Tootoonchian A. Fabric: a retrospective on evolving SDN // HotSDN '12: Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks, 2012

УДК 681.5

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРА ЦИРКУЛЯЦИИ №1  
УЧАСТКА ВОДОПОДГОТОВКИ СПЦ-1 ОАО «ОЭМК»**

**Уварова Л. В.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО*

*«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Старый  
Оскол*

*uva1865@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассматривается автоматизированная система управления первого контура циркуляции участка водоподготовки, для поддержания температуры на выходе бассейна охлажденной воды. Разработанная функциональная схема и алгоритм работы позволяют контролировать и отслеживать весь процесс охлаждения и очистки воды, это позволит бесперебойно обеспечить СПЦ-1 оборотной водой требуемого качества, что увеличит надежность технологического оборудования и значительно повысит производительность цеха.*

***Ключевые слова:** контур циркуляции; температура; система управления.*

**MODERNIZATION OF THE CONTROL SYSTEM CIRCUIT № 1 OF THE WATER  
TREATMENT UNIT SOC-1 JSC "OEMK"**

**Uvarova L.V.**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarova (branch)*

*National University of Science and Technology "MISiS", Stary Oskol*

*uva1865@mail.ru*

***Abstract.** The article considers the automated control system of the first circulation loop of the water treatment unit, to maintain the temperature at the outlet of the basin cooling water. Developed functional diagram and algorithm allow you to control and track the entire process of*

*cooling and purifying water, this will enable continuous SOC-1 circulating water of the required quality, which will increase the reliability of process equipment and will greatly enhance the productivity of the shop.*

**Keywords:** *circuit; temperature; managementsystem.*

Основной задачей участка водоподготовки СПЦ-1 является бесперебойное обеспечение нужд цеха оборотной водой установленного качества. Эта вода требуется для охлаждения технологического оборудования, оборудования печей, гидравлического и электротехнического оборудования. Помимо охлаждения участок водоподготовки производит очистку оборотной воды от примесей: масла и окалины.

Оборудование водоподготовки разделено на три контура циркуляции, согласно различным требованиям по качеству, температуре и давлению охлаждающей воды для различных потребителей сортопрокатного цеха:

- Контур циркуляции №1 - для охлаждения технологического оборудования;
- Контур циркуляции №2 - для охлаждения оборудования печей;
- Контур циркуляции №3 - для охлаждения электротехнического оборудования и оборудования гидравлики.

Вода первого контура циркуляции (КЦ) производит охлаждение технологического оборудования прокатного стана и проката. При этом она нагревается до температуры 35°C и загрязняется окалиной и маслом. Вода собирается в ямах окалины и насосами подается на водоподготовку по четырем трубопроводам на один сборный трубопровод, который ведет к трем гидроциклонам, где происходит отделение окалины и масла. Осветленная вода поступает в бассейн осветленной воды самотеком от трех гидроциклонов. Для охлаждения воды установлена одна трехсекционная вентиляторная градирня, каждая секция которой оснащена вентилятором, через который выходит поток воздуха.

В зимнее время на градирне может образоваться лед, который необходимо регулярно устранять. С целью недопущения охлаждения оборотной воды ниже 20°C предусмотрена байпасная (обводная) линия, которая дает возможность подавать в частичном или полном объеме нагретую воду на всасывающий трубопровод насосов, минуя градирню.

При минимальном уровне 2,5 м и максимальном уровне 4,5 м в бассейне охлажденной воды подается аварийный звуковой и световой сигнал. Насосы охлажденной воды подают очищенную и охлажденную воду к потребителям на стане. Установлено

четыре центробежных насоса ( 2 рабочих, 2 резервных). Управление насосами выполняется в ручном режиме. При отключении одного из насосов по неисправности производится включение резервного насоса. Охлажденная вода поступает на стан в объеме 2000м<sup>3</sup>/час. Такой же объем воды поступает на участок водоподготовки для охлаждения. В связи с тем, что охлаждение такого объема воды не осуществимо только одними вентиляторами существует байпасная линия. Она производит деление общего потока воды на два. Один поток, меньший, идет через вентиляторную градирню, и охлаждается ею до температуры ниже требуемой. Второй поток, больший, идет через байпасную линию и смешивается с более холодной водой в бассейне охлажденной воды до нужной температуры. Объем воды идущий через обе линии зависит от положения задвижки. Чем сильнее она открыта, тем сильнее через неё идет поток воды и наоборот.

### **Описание существующего уровня автоматизации объекта**

В настоящее время на участке водоподготовки КЦ №1 управление основным параметрам (охлаждения воды) осуществляется с пульта управления в ручном режиме. Существующая система занимается сбором регистрацией и контролем технологических параметров.

Информация с датчиков через контроллер поступает на систему визуализации. Эту информацию получает работник операторской станции. Исходя из данных, оператор своевременно реагирует на изменения в технологическом процессе.

Ручное управление исполнительными механизмами происходит на местном уровне. В качестве исполнительных механизмов выступают задвижка байпасной линии, циркуляционные насосы для осветлённой, шламовой и охлажденной воды, и вентиляторы трехсекционной вентиляторной градирни.

В связи с тем, что функция регулирования охлаждением воды осуществляется с пульта управления вручную, очень часто процесс охлаждения происходит с нарушением технологических режимов.

### **Постановка задачи на модернизацию системы автоматизации**

Задачей модернизации является автоматизация функций охлаждения воды, предназначенной для охлаждения технологического оборудования сортопрокатного цеха.

Перечень функций подлежащих автоматизации:

- функция переключения вентиляторов по заданным технологическим уставкам.
- функция управления задвижкой байпасной линии.

### Система управления

Для реализации поставленной задачи была разработана функциональная схема системы управления поддержания температуры в резервуаре смешивания [1,2]. Исполнительным механизмом является задвижка байпасной линии, объектом регулирования - резервуар смешивания, а регулирующее воздействие – расход горячей воды (рис. 1). Схема описывает процесс регулирования температурой воды с помощью задвижки байпасной линии. Суть этого процесса заключается в следующем. Вода заданного качества по температуре и примесям получается в результате смешивания охлажденной воды из градирни и не охлажденной воды идущей через байпасную линию. Задвижка байпасной линии регулирует объемы поступления горячей воды. Датчик измерения температуры находится в резервуаре смешивания. Если температура в резервуаре меньше заданной, то происходит открытие задвижки, тем самым увеличивается поток горячей воды. Если температура в резервуаре больше заданной, то происходит закрытие задвижки, и уменьшение потока горячей воды.

Функциональная схема поддержания температуры в резервуаре смешивания представлена на рис 1.

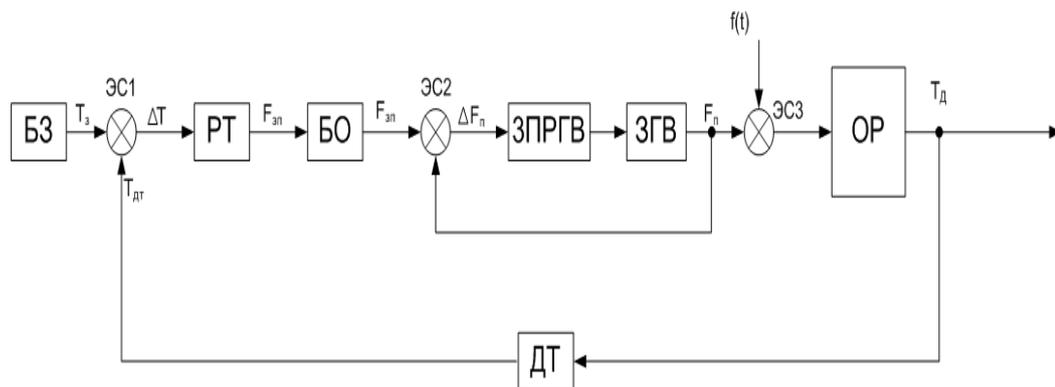


Рис 1. Функциональная схема поддержания температуры в резервуаре смешивания где БЗ – блок задания формирующий заданное значение температуры;

РТ– регулятор температуры воды;

ЭС1, ЭС2, ЭС3 – элементы сравнения;

БО – блок ограничения;

ЗПРРГВ – 3-х позиционный регулятор расхода горячей воды;

ЗГВ – заслонка регулирования расхода воды;

ОР – объект регулирования температуры;

ДТ – датчик температуры.

### **Заключение**

Разработанная система управления повысит безопасность и надежность работы технологического оборудования, уменьшит вероятность возникновения аварийных ситуаций и повысит производительность цеха в целом.

### **Список литературы**

1. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств [Текст]: учебное пособие/ А, А. Иванов — М.: Форум, 2011.-224 с.
2. Попкович Г.С. Основы автоматики и автоматизации водопроводно-канализационных сооружений [Текст] / Г.С.Попкович, Изд. 2-е перераб. – М., Высшая школа, 2005.

УДК 681.5

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДА РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ №5 ЭСПЦ ОАО "ОЭМК"**

**Уварова Л.В.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО*

*«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Старый*

*Оскол*

*iva1865@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассматривается автоматизированная система управления процессом разогрева сталеплавильных ковшей на стенде разогрева №5*

*электросталеплавильного цеха «ОЭМК». Разработанный алгоритм работы позволяет обеспечить точность и равномерность проведения процесса разогрева в соответствии с параметрами заданными в технологических картах разогрева, усовершенствует труд рабочего персонала и сократит количество расходуемых при этом энергоносителей.*

**Ключевые слова:** *стенд разогрева; температура; система управления.*

## **MODERNIZATION OF MANAGEMENT SYSTEMS STAND HEATING LADLES №5 OF EAF "OEMK"**

**Uvarova L.V.**

*StaryOskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarova (branch)*

*National University of Science and Technology "MISiS", StaryOskol*

*uva1865@mail.ru*

**Abstract.** *The article deals with the automated control system of process of heating of steel casting ladles on the stand warming up of No. 5 EAF workshop "OEMK". The developed algorithm allows to ensure the accuracy and uniformity of carrying out the heating process in accordance with the parameters specified in technological maps of heating, improving the work of labor personnel and reduce the quantity of energy.*

**Keywords:** *standheat; temperature; management system.*

### **Введение**

В состав электросталеплавильного цеха (ЭСЦ) ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (ОЭМК) входят четыре дуговые сталеплавильные печи (ДСП), две установки продувки аргоном (УПА), три установки циркуляционного вакуумирования стали (УЦВС), два агрегата комплексной обработки стали (АКОС), пять машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), пять стендов разогрева стальковшей (СРСК) и четыре разливочных крана.

ЭСЦ предназначен для выплавки различных марок стали на шихте из скрапа и металлизированных окатышей, поставляемых цехом металлизации, с применением добавочных и легирующих элементов.

Коллектив электросталеплавильного цеха Оскольского электрометаллургического комбината произвел в 2014 году 3 миллиона 365 тысяч тонн высококачественной стали, что, как отмечают на «ОЭМК», является абсолютным рекордом.

Металлургические процессы, как правило, протекают при высоких температурах, что требует затрат большого количества энергии в виде топлива, электрического и т.д. потребность в затратах энергии особенно возросла в последнее время в связи с интенсификацией производства и увеличением производительности металлургических агрегатов. При этом особое значение имеют меры, направленные на уменьшение тепловых потерь, в частности через футеровку.

На «ОЭМК», для транспортировки жидкой стали от плавильной печи к месту расположения, внепечной обработки стали и последующей разливки, применяются сталеразливочные ковши, футерованные огнеупорным кирпичом. Для того чтобы не нарушать технологический процесс перед подачей под плавку сталеразливочный ковш сначала необходимо нагреть на стенде разогрева.

Стенд разогрева стальной №5 предназначен для подогрева стальной вместимостью 160 т и состоит из вертикальной стены из огнеупорного кирпича, металлических поддерживающих конструкций, вытяжного зонда с дымовой трубой и газовой арматуры с трубопроводами. Процесс разогрева стальной осуществляется согласно технологическому регламенту. Основным регулируемым параметром при управлении режимом разогрева является температура внутренней поверхности футеровки и скорость роста этой температуры. Температура футеровки должна быть не менее 850°С, а скорость роста температуры определяется исходя из инструкции стендов разогрева и устанавливается путём выставления определённого расхода газа-воздуха. Продолжительность разогрева ковша зависит от времени простоя без разогрева.

### **Описание существующего уровня автоматизации объекта**

Управление процессом разогрева осуществляется вручную, оператором стенда с локальных систем автоматизации, на основании показаний измерительных приборов, входящих в состав существующей системы управления.

При анализе существующей системы управления выявлены следующие недостатки:

1. Система автоматизации является системой ручного управления. Она предназначена только для сбора текущих данных о ходе процессов разогрева на стенде: давлении, расхода газа и воздуха.

2. Аппаратная часть системы автоматизации является существенно устаревшей и не подлежит ремонту, восстановлению или модернизации вследствие отсутствия запасных частей или новых блоков, поскольку их производство давно прекращено.

3. На базе существующей системы невозможно реализовать систему автоматизированного управления.

### Постановка задачи на модернизацию системы автоматизации

Для устранения указанных недостатков необходимо создать автоматизированную систему, которая должна решить основные задачи:

- автоматическое регулирование температурного режима разогрева и поддержание режима горения (соотношения газ-воздух);
- контроль технологических параметров, выдача предупреждающих и аварийных сигналов и осуществление действий по аварийному завершению работы оборудования во избежание аварии;
- снижение удельных норм по энергозатратам.

### Моделирование системы

Разрабатываемая математическая модель синтезирована в пакете Matlab и представлена тремя контурами (рис. 1): контуром регулирования температуры, контуром регулирования расхода газа и контуром регулирования расхода воздуха [1, 2, 3]. Основным регулируемым параметром при этом, является температура внутренних стенок стальковша.

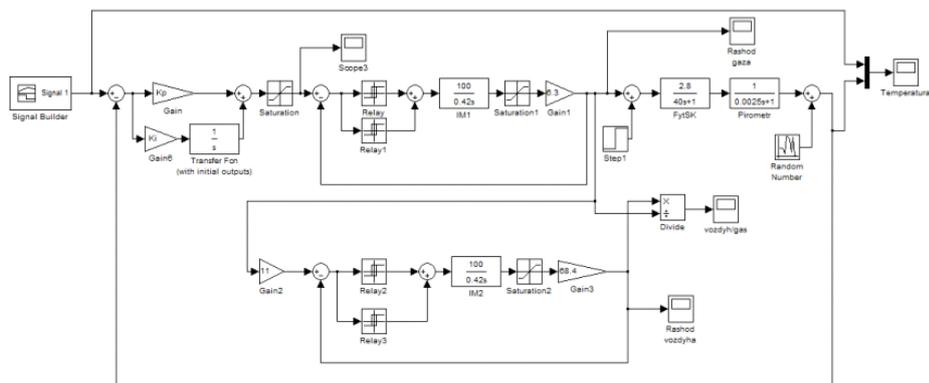


Рис. 1 Структурная схема модели

Результаты моделирования переходного процесса регулирования температуры футеровки стальной ковша показали, что система управления обеспечивает выход на задаваемый температурный режим с перерегулированием 0,5%. Возмущение, подаваемое на 180 минуте, компенсируется ПИ-регулятором за счет снижения расхода газа. При этом, соотношение газ/воздух поддерживается на уровне 1:11. В целом результаты моделирования можно признать удовлетворительными и использовать полученные коэффициенты регулятора при первичной настройке реальной системы.

### **Заключение**

Система автоматизации процесса разогрева сталеразливочных ковшей на стенде разогрева №5 обеспечит точность и равномерность проведения процесса разогрева в соответствии с параметрами, заданными в технологических картах разогрева, улучшить условия труда для обслуживающего персонала и сократит количество расходуемых при этом энергоносителей.

### **Список литературы**

1. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств [Text]: учебное пособие/ А, А. Иванов — М.: Форум, 2011.-224 с.
2. ПИ ЭГ Н-2011. Производственная инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию газового оборудования стендов разогрева сталеразливочных ковшей ЭСПЦ ОАО «ОЭМК». — Старый Оскол: Тр. ОЭМК, 2011.
- 3.ТИ ЭС-123-2010. Технологическая инструкция по подготовки и разогреву сталеразливочных ковшей ЭСПЦ ОАО «ОЭМК». — Старый Оскол: Тр. ОЭМК, 2010.

## МОДЕЛЬ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ "ОБЩЕСТВЕННОЕ ПИТАНИЕ"

**Филатов В.А., Симонова А.Г.**

*Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ "МИСиС, г. Старый Оскол*

***Аннотация.** В статье рассматривается построение модели данных для такой предметной области, как организация общественного питания; в качестве объекта выступают сами данные, их структурные композиции, правила построения.*

***Ключевые слова:** структуры данных; операции над данными; статические и динамические свойства данных; анализ информационных потоков..*

## THE MODEL OF A RELATIONAL DATABASE INFORMATION SYSTEM OF "CATERING"

**Filatov V.A., Simonova A.G.**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST "MISIS", Stary Oskol*

***Abstract.** In the article is considered creation of model of data, for such subject domain, as the organization of public catering; as an object project data, structural compositions, rules of construction.*

***Keywords:** structures of data, data operations, static and dynamic properties of data, analysis of information streams.*

### **Введение**

Развитие теории и практики проектирования и эксплуатации информационных систем сопровождается интенсивным развитием моделей данных. Формализация и построение структур данных для конкретной предметной области не может выполняться произвольным образом. В качестве основных компонентов модели данных рассматривают: структуры данных, операции над данными, ограничения. Основные компоненты модели данных тесно взаимосвязаны между собой и могут быть реализованы различными способами.

### **Анализ предметной области**

Общественное питание – специфическая отрасль экономики, осуществляющая производство, реализацию и организацию потребления продуктов питания. Организация потребления продуктов питания является специфической функцией общественного питания, которая не присуща другим отраслям.

Сочетание функций производства, реализации продуктов питания и организации их потребления, характерное для предприятий общественного питания, усложняет их работу, прежде всего потому, что для обеспечения ритмичной работы предприятия необходима координация деятельности всех его звеньев: торгового зала, раздаточной, вспомогательных служб (складского, тарного, транспортного хозяйства и др.).

При этом предприятия стремятся решить главную задачу, стоящую перед отраслью — наиболее полно удовлетворить потребности населения в продуктах питания в соответствии с требованиями научно обоснованного сбалансированного питания.

### **Формальный подход к построению модели данных**

Модель данных можно определить как множество правил порождения **G** и множество операций **O** над ней. Множество правил порождения определяют допустимые структуры данных – объекты, связи, а также допустимые реализации данных. Определение структур данных реализуется посредством спецификаций, соответствующих категорий, которые должны удовлетворять правилам порождения[2].

Правила **G** обеспечивают порождение множества подсхем **S**, каждая из которых определяет конкретную структуру данных. Под базой данных можно понимать реализацию совокупности данных, удовлетворяющую схеме данных **D**. Правила порождения **G** применяются к спецификациям статических свойств данных и отражают их статические свойства. Динамические свойства выражаются множеством операций **O**, которые соотносятся с языком манипулирования данными (ЯМД). Множество операций определяет допустимые действия над реализацией базы данных  $D_i$  для преобразования ее в другую реализацию  $D_j$ . [2]

Рассмотрим поэтапный процесс проектирования реляционной модели базы данных.

### **Анализ информационных технологий формирования производственной программы**

Планирование организации питания для таких предприятий начинается с подбора блюд для включения их в меню. Как правило, информация о том или ином блюде

хранится в карточке блюда со следующей схемой отношения, представленной в табл.1.

Таблица 1 Технологическая карта блюда

<b>БЛЮДО</b>	Расход продуктов на 1 порцию в гр.	Энергетическая ценность 100 грамм в Ккал.
<b>ВЫХОД:</b>		
* * *	***	***
<b>Технология приготовления</b>	Для приготовления одной порции необходимо ...	

Разработанные планы-меню могут быть объединены в унифицированные комплексы питания. В столовых с постоянным контингентом питающихся такие комплексы могут определяться как нумерованные диетические комплексы. Пример структуры комплекса питания приведен в табл.2.

Таблица 2 Комплекс № 1

Комплекс	Блюдо	цена	калорийность
***	***	***	***
По комплексу №1	ИТОГО		

К рассмотренным выше основным документам должны быть добавлены калькуляционные карточки блюд и список продуктов в формате <наименование, единица измерения, цена, калорийность>.

Расчет количества продуктов для того или иного комплекса питания при заданном количестве порций представляет собой поэтапный процесс формирования таблицы следующей структуры:

Таблица 3 Производственная программа

Комплек с, диета №	К-во пор ций	Время прие ма	Блюдо	Продук т	К-во на 1 порци ю	Цен а	Кал о- рий- ност ь	С-ть ком- поне нты	Сумм а кало- рий	Сумма всего
<b>ИТОГО</b>										

Проанализируем технологию формирования табл.3.

Количество кортежей-строк в отношении «Производственная программа» определяется полным перечислением всех компонент каждого блюда, входящего в комплекс «Диета 1». Например, при 5 компонентах, необходимых для приготовления одного блюда и 4 блюд на завтрак, обед и ужин, размерность табл.3. можно оценить как  $5 \times 4 \times 3 = 60$  строк. Сформированная таким образом таблица будет использоваться как исходный документ (исходная структура) для получения итоговых данных по программе: стоимость одного блюда и комплекса, калорийность блюда и комплекса, количества сырья для приготовления блюд.[1]

Таблицы 1-3 могут рассматриваться как множества подсхем **S**, каждая из которых определяет конкретную структуру данных. Совокупность подсхем – унифицированный формат – модель данных для решения задач моделирования производственной программы в предприятиях общественного питания.

Для манипулирования данными введем основные операции языка манипулирования данными, включающие следующие типы:

**SUM** <имя атрибута> – операция вычисления суммы по заданному атрибуту;

**SELE** <имя атрибута>=<значение атрибута> – операция выборки;

**UPD** <имя атрибута>,<значение> – операция обновления атрибута <имя атрибута> на <значение>.

На логическом уровне итоговые данные производственной программы могут быть получены путем применения операции или последовательности нескольких операций языка манипулирования данными.

Вычисление общей стоимости «Диеты 1» на 30 человек. Описание операции:

**SUM** «Сумма всего».

Определение общего количества продуктов, необходимых для реализации спланированной программы – двуместная операция:

**SELE** <”продукт”>=<”молоко”>;

**SUM** «Количество на порцию».

Аналогично можно построить процедуру вычисления стоимости завтрака в «Диете 1»:

**SELE** <"время приема">=<"завтрак">;

**SUM** «Сумма всего».

Реализовать рассмотренную выше технологию – модель данных и логическую структуру запросов – можно на основе табличных процессоров, например MS Excel или Lotus 1-2-3. Однако рассмотренный выше подход не лишен недостатков. Для поддержания целостности данных при формировании табл.3 возникает необходимость дублирования записей по атрибутам: Комплекс, диета №>; <К-во порций>; <Время приема>; <Блюдо>.

Преодолеть сложную и трудоемкую процедуру формирования итоговой таблицы и автоматизировать весь процесс подготовки и получения итоговых данных можно, используя технологию баз данных. Привлекательность баз данных, а именно реляционной модели данных состоит в использовании развитого математического аппарата манипулирования данными – реляционной алгебры. Ее основные операции, такие как декартово произведение, эквисоединение, можно эффективно использовать при автоматической генерации структуры производственной программы (табл.3.).

### **Разработка информационно-логической модели базы данных**

Основная цель проектирования модели базы данных – это сокращение избыточности хранимых данных, а следовательно, экономия объема используемой памяти, уменьшение затрат на многократные операции обновления избыточных копий и устранение возможности возникновения противоречий в интерпретации данных – нормализация базы данных.

Процесс построения инфологической модели данных состоит из следующих основных этапов: 1) Проведение анализа информационных потоков и решаемых задач, выделение базовых сущностей, 2) Определение типов связей между базовыми сущностями, 3) Формирование независимых сущностей в виде отдельных таблиц базы данных и выбор первичного ключа, 4) Представление каждой связи вида "многие-ко-многим" через промежуточные таблицы. Определение в таблицах внешних ключей и спецификация ограничений, связанных с каждым из них.

Если в процессе нормализации было произведено разделение каких-либо таблиц, то следует модифицировать инфологическую модель базы данных [2].

В результате анализа типов связей между сущностями, с учетом выделенных ключевых атрибутов, может быть представлена схема данных (рис.1).

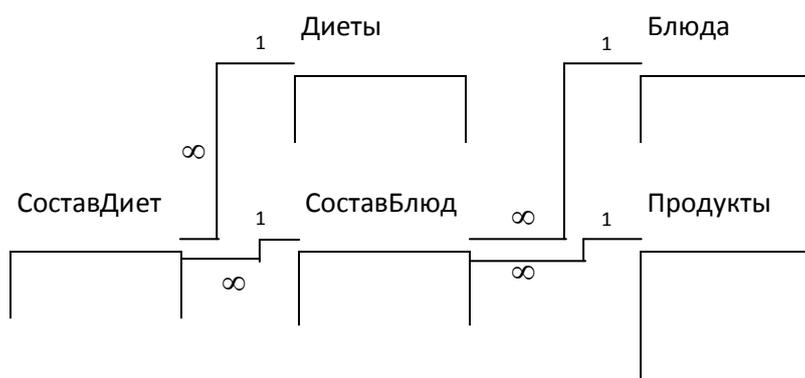


Рис.1. Схема базы данных системы проектирования производственной программы

На следующем этапе расчет всех параметров производственной программы выполняется на основании технологии запросов. Привлекательность подхода к построению информационной системы на основе технологии баз данных и разработанной модели состоит в следующем. В такой комбинации "модель данных"- "запрос" данные оптимально, без дубликатов и повторов хранятся в таблицах, а логическое представление их в удобном для пользователя виде реализуется в виде запросов.

Разработанная модель базы данных и способ их организации могут быть использованы в качестве основы при создании информационной системы "Общественное питание" для моделирования и анализа производственной программы, при этом эксплуатация системы позволит значительно сократить время на формирование исходных данных и оперативно проводить анализ результатов расчетов.

### Список литературы

1. Пятницкая Н.А. Организация общественного питания в гостиничном комплексе. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1984.–256 с.
2. Конноли Т., Бегг К. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика, 2-е изд.: Пер с англ. – М.: «Вильямс», 2000. – 1120с.

## НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ НЕТИПИЧНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СФЕРЕ НОРМИРОВАНИЯ ТРУДА

Цуканов М.А., Ульянова О.П.

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
"Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый  
Оскол*

*tsukanov\_m\_a@mail.ru, ulianov032223@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрен нейросетевой подход как способ анализа информации в задаче нормирования труда. Предложена архитектура нейронной сети, представлены результаты эксперимента.

**Ключевые слова:** нормирование трудовых операций; нетипичное поведение; компьютерное зрение; нейронные сети

## NEURAL NETWORK APPROACH FOR SOLVING PROBLEM OF ABERRANT BEHAVIOR IDENTIFICATION IN THE LABOUR RATING AREA

Tsukanov M.A., Ulianova O.P.

*Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and  
Technology "MISiS", Stary Oskol*

*tsukanov\_m\_a@mail.ru, ulianov032223@mail.ru*

**Abstract.** In the article the discuss a neural network approach as a way to analyze the information in the labour rating problem. The produce architecture of the neural network, experiment results.

**Keywords:** labour rating, computer vision, aberrant behavior, artificial intelligence , neural networks.

Сегодня в сфере нормирования труда существует проблема, пока не нашедшая адекватного решения - выявление непроизводительных затрат рабочего времени (НЗРВ). Особенно актуально это для производств, где используется в том числе и повременная оплата труда. В [1] обозначены существующие подходы и их ключевые недостатки,

которые заставляют задуматься о поиске более эффективного метода выявления НЗРВ, в [2] предложена архитектура системы в общем виде, основанная на методах компьютерного зрения и искусственного интеллекта. Однако во время научно-исследовательской деятельности она была существенно подкорректирована, в частности отказались от использования графовых методов в силу потребности в значительных вычислительных ресурсах и запаздывания работы системы по времени. А система планируется как интеллектуальная надстройка, работающая в режиме реального времени или, что более вероятно, с наименьшим временным запаздыванием.

В основе работы системы лежит принципиальная разница между типами поведения сотрудника. В зависимости от влияния на НЗРВ действия предлагается классифицировать как типичные (нет отрицательного влияния на НЗРВ) и нетипичные (увеличение НЗРВ). В данном случае основная задача системы – распознать нетипичное поведение работника. Для этого были записаны 22 образца типичного и нетипичного поведения с расширением \*.MTS продолжительностью 30 секунд. В них входили такие образцы нетипичного поведения на рабочем месте в рабочее время как: курение, распитие спиртных напитков, сон, разгадывание кроссворда, кража и т.д. Образцы были записаны с нескольких ракурсов. Среди шаблонов типичного поведения - проведение ремонтных операций на примере нагревательной печи.

Работа системы реализуется в два основных этапа: подготовка видео (предподготовка и выделение контура) и анализ видеoinформации посредством нейронной сети (НС).

Предподготовку осуществляли в SonyVegasPro 13.0. Был выбран шаблон NTSC DV 24p, кодек IntelIYUV и некоторые промежуточные настройки. В результате из высококачественного HD-видеоматериала с большим разрешением (1440x1080 пикселей) были получены avi-файлы разрешения 720x480 и «весом» в 8-9 раз меньше (к примеру, для одного из образцов 495 МБ => 59,4 МБ). Цель данного этапа – снижение требований к вычислительным ресурсам.

Выделение контура осуществлялось в MatlabR2012b с помощью функции ComputerVision «Edge Detection», которая является программной реализацией оператора Прюитт. Математическая модель этого метода и результаты работы описаны в [3].

Заключительным этапом работы системы является анализ нейронной сетью. Этап реализован в MatlabR2012b, т.к. этот пакет хорошо зарекомендовал себя в моделировании искусственных НС. Обучение НС проводилось автономно.

1. Характеристика структуры НС (рис.1) в общем виде:

1. Количество нейронов во входном слое N определяется размерностью кадра, умноженной на количество образцов, которому мы хотим обучить НС.
2. Количество нейронов выходного слоя соответствует количеству событий L, на которые должна среагировать НС, выдав результат совпадения.
3. Количество нейронов в скрытом слое является предметом исследования - M.
4. Для обучения выбрана парадигма – с учителем (контролируемое обучение), т.к. мы располагаем сведениями о входной информации и о шаблонах.

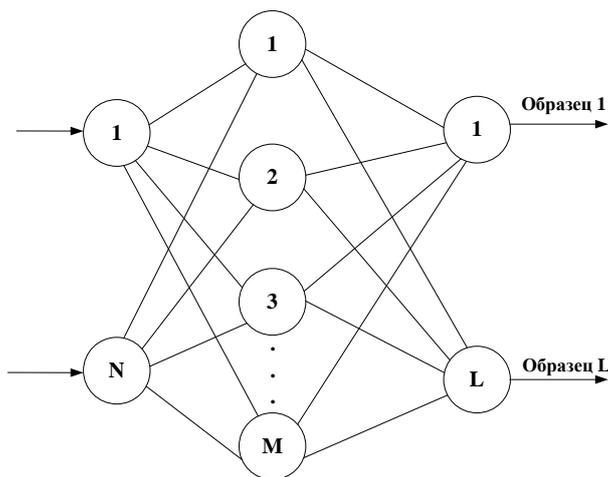


Рис.1. Структура нейронной сети

Фрагмент кода по созданию НС:

```
net3=newff(minmax(selection),[1000 19],{'logsig' 'logsig'},'trainscg');
```

```
net3.trainParam.epochs = 200;
```

```
net3=train(net3,selection,target)
```

Количество нейронов:  $N=240 \times 320 \times 19=1\ 459\ 200$ ;  $M = 1000$ ;  $L = 19$ . Используются: *trainscg* - функция обучения сети, которая модифицирует веса и смещения в соответствии с методом шкалированных связанных градиентов, и *логарифмическая сигмоидная функция активации logsig*. Ошибка обучения составила  $10^{-4}$ , сеть обучилась за 200 итераций.

*Для начала на вход НС был подан образец, входящий в обучающую выборку (разгадывание кроссворда, ракурс - сидя спиной к камере). НС справилась с этой несложной задачей, распознав образец со степенью соответствия 0.9755.*

Затем на вход НС был подан тестовый образец. Следует отметить, что для обучения использовались видеоматериалы продолжительностью 5 секунд. Тестовый образец был «вырезан» из видеофайла, но во временном интервале, на котором не учили НС. НС дала результат, приписав этому образцу степень соответствия 0.4940, остальным образцам была дана степень соответствия гораздо меньшая ( $\max=0,0227$ ). Это можно считать адекватным результатом: НС распознает образцы, похожие на те, которым её обучили.

Третьим экспериментом стала подача на вход НС образца типичного поведения – ремонтная операция. Заметим, что НС не учили на образцах типичного поведения. Это объясняется тем, что нетипичных образцов гораздо меньше. В противном случае пришлось бы заносить в обучающую выборку образцы «завязал шнурки», «почесал ухо», «поправил одежду» и мн.др. Очевидно, что рост числа образцов пропорционален росту требуемой вычислительной мощности. Исходя из этого, выбор в пользу нетипичных образцов обоснован. Результатом эксперимента стало то, что НС не распознала образец, дав степень соответствия ничтожно малую (от 0,0003 до 0,1773), как и ожидалось по смыслу задачи.

Область применения численных результатов работы системы кратко изложена в [3].

Дальнейшая работа связана с проведением дополнительных серий экспериментов, интеграцией этапов работы системы в единый модуль, доработкой базы данных.

Проект получил поддержку Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» на 2014-2016 годы.

### **Список литературы**

1. Цуканов М.А. Компьютерное зрение как основа автоматизации учета рабочего времени на производстве / Цуканов М.А., Ульянова О.П.// Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство» с международным участием. – 2014. – С.360-364.

2. Цуканов М.А. Интеллектуальный подход в решении задач компьютерного зрения / Цуканов М.А., Ульянова О.П. // Сборник трудов 57-ой научно-практической конференции МФТИ с международным участием, посвящённой 120-летию со дня рождения П.Л. Капицы. Секция когнитивных технологий. – 2014. - С.36-37.

3. Цуканов М.А. Цифровая обработка и анализ видеоизображения ремонтных операций с целью выявления непроизводительных затрат рабочего времени / Цуканов М.А., Ульянова О.П. // Наука, образование, общество проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. - 2015. - С. 157-159.

УДК 004.896

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Цуканов М.А.**

*Старооскольский технологический институт им А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Старый Оскол*

*tsukanov\_m\_a@mail.ru*

**Аннотация.** *Рассматривается проблема интеллектуализации корпоративной информационной системы. В качестве решения предлагается использование мультиагентных технологий как основы архитектуры интеллектуальной корпоративной информационной системы.*

**Ключевые слова:** *планирование, интеллектуализация, корпоративная информационная система, моделирование, мультиагентные системы.*

## **ENTERPRISE INFORMATION SYSTEM INTELLECTUALIZATION BASED ON MULTIAGENT TECHNOLOGIES**

**Tsukanov M.A.**

*Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and Technology "MISiS", Sary Oskol*

*tsukanov\_m\_a@mail.ru*

***Abstract.** The article discusses the problem of enterprise information system intellectualization. As a solution, provided the use of multi-agent technology as the basis of the corporate information system intellectual architecture..*

***Keywords:** planning, intellectualization, enterprise information system, multi-agent systems.*

Корпоративная информационная система (КИС) является основой современной комплексной автоматизации предприятия. Как правило, она строится на базе ERP-системы (Enterprise Resource Planning System), которая является наследницей стандарта MRPII (Manufacturing Resource Planning) - "Планирование производственных ресурсов", цель которого - эффективное управление всеми ресурсами предприятия, включая решение задач планирования материальных потребностей, загрузки производственных мощностей, ремонтов и финансов [2].

Современное развитие КИС характеризуется накоплением больших объемов данных, описывающих все стороны производственного процесса предприятия. В таких условиях персоналу, работающему с системой нужны дополнительные инструменты анализа, позволяющие быстро и в срок получить отчеты о текущем состоянии производства. Для поддержки этого процесса в современных КИС предлагается дополнение ERP-системы уровнем OLAP (online analytical processing - аналитическая обработка в реальном времени) и Data Mining (интеллектуальный анализ данных) систем [1]. Однако, данные классы систем являются лишь инструментом отчетности для верхнего уровня управления и не предоставляют механизмов для поддержки принятия решений по регулированию всей корпоративной деятельности.

С целью повышения эффективности всех подсистем предприятия предлагается расширить функционал современных КИС мультиагентной платформой, осуществляющей поддержку принятия решений в рамках отдельных сфер производственного процесса. Данная платформа реализуется как иерархическая мультиагентная система (МАС) осуществляющая мониторинг основных модулей ERP (рис.1).

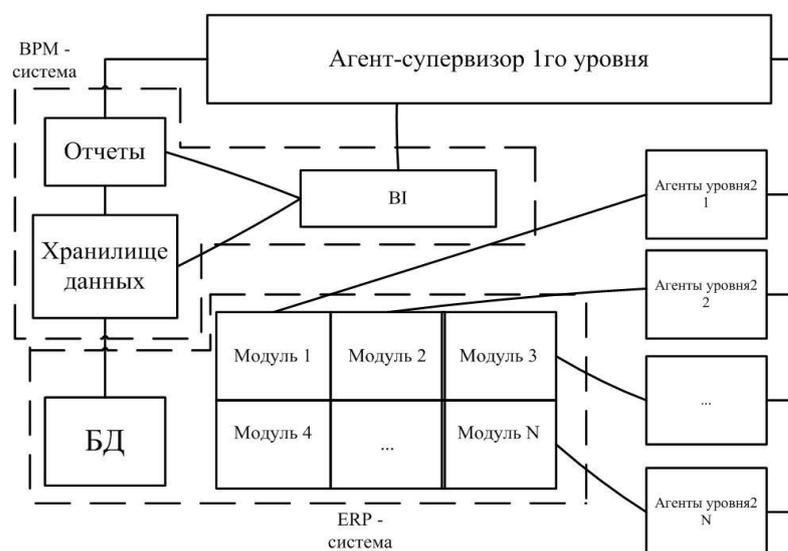


Рис.1. Структура корпоративной МАС

МАТ - направление искусственного интеллекта, основанное на взаимодействии нескольких интеллектуальных агентов в распределенных системах. Каждый агент наделяется конкретным набором свойств в зависимости от целей разработки, решаемых задач, технологии реализации, заданных критериев.

Верхний уровень системы реализуется агентом-супервизором, осуществляющим общий контроль эффективного исполнения всех задач предприятия. Средний уровень реализуется агентами-планировщиками, решающими задачи контроля и поддержки принятия решений для конкретного модуля ERP. Каждый из агентов данного типа является своего рода супервизором МАС нижнего уровня, а структура такой системы зависит от решаемой модулем задачи.

В качестве примера рассмотрим процесс поддержки принятия решения по планированию производства на предприятии. Архитектура системы агентов второго уровня в данном контексте (рис.2) включает агента-(планировщика) супервизора – интерфейсного агента, решающего задачу взаимодействия агентов МАС и связи с пользователем, агента – оптимизатора – гибридного агента, в задачу которого входит построение оптимального плана выпуска продукции на основе правил и ограничений производства, агента-реализатора – гибридного агента, который осуществляет проверку сформированного плана на реализуемость, агентов-исполнителей – партнерских агентов, задачей которых является слежение за работой конкретных технологических агрегатов, входящих в реализуемый производственный цикл[3].

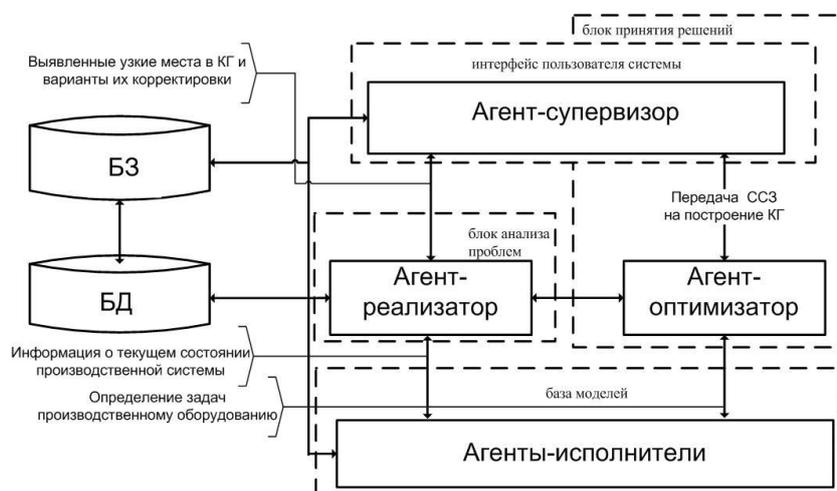


Рис.2 Архитектура системы поддержки принятия решений планирования производства

Координация агентов в системе осуществляется на основе непрямого взаимодействия, которое соответствует распределению функциональных задач МАС. Агент-супервизор формирует технологическое задание по обслуживанию заказов с учетом изменившейся производственной ситуации, которое в виде входного сообщения поступает агенту-оптимизатору, идентифицирующему состояние производства и определяющему группы агентов-исполнителей. Степень готовности агентов-исполнителей принять задание анализируется агентом-реализатором, который формирует и посылает агенту-супервизору сообщение о возможности выполнения заданий каждым из членов рабочей группы. Супервизор на основе информации о готовности агрегатов и их занятости в технологических маршрутах плана корректирует производственную программу и направляет откорректированную агенту-реализатору для проверки возможности его выполнения.

Данное решение позволит учесть на верхнем уровне управления все цеховые данные напрямую, а не косвенно, путем получения отчетов о работе конкретного подразделения. Это позволит повысить эффективность работы предприятия и сократить материальные и временные затраты.

### Список литературы

1. Барсегян А. А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP: учебное пособие //С. Пб.: BHV. – 2007. – Т. 384..
2. О'Лири Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – М. : Вершина, 2004..

3. Цуканов М. А., Боева Л. М. Мультиагентная система поддержки принятия решений по оперативному планированию и технологической координации сложноструктурированных производственных систем //УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ: СБОРНИК ТРУДОВ. – 2012. – Т. 39. – С.254-263.

УДК 004.89

## ОЦЕНКА ПРЕТЕНДЕНТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДРЯДНЫХ ТОРГОВ

**Шафоростова Е.Н., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ*

*«МИСиС», Старый Оскол*

*fait-atp@mail.ru*

**Аннотация.** Автоматизация процесса управления строительными проектами обеспечит более эффективную коммуникацию между участниками бизнес-процессов, поможет решить различные процедурные и организационные вопросы, оптимизирует процессы принятия управленческих решений, позволит эффективно выстраивать отношения между заказчиком – генеральным подрядчиком – субподрядчиком.

**Ключевые слова:** *подрядные торги, оценка претендентов.*

## ASSESSMENT OF CANDIDATES WHEN CONDUCTING TENDERS

**Shaforostova E. N., Lazareva T. I., Kovtun N. I.**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Stary Oskol*

*fait-atp@mail.ru*

**Abstract.** Automating the process of management of construction projects will provide more efficient communication between participants of business processes, will help solve various -WIDE procedural and organizational issues, optimize decision-governed solutions will effectively build relationships between the customer - by the General contractor - subcontractor.

**Keywords:** *contract tendering, applicant assesment.*

Компания ЗАО «БОШЕ» осуществляет работу по трем направлениям, которые непосредственно оказывают влияние на развиваемые проекты:

- Управление девелопментом (общее управление проектами, координация действий участников, как внешних, так и внутренних по развитию проектов, формирование бюджетов проектов и показателей выручки);

- Управление строительством (управление строительной частью проекта в рамках утвержденного бюджета);

- Управление коммерцией (управление коммерческой частью проектов, продажа и сдача внаем (в аренду) недвижимого имущества производственно-технического назначения.

Компания осуществляет работу с проверенными подрядчиками, которые осуществляют качественное и своевременное выполнение подготовки проекта. Углубление рыночных отношений между заказчиками и подрядчиками в строительстве в рыночных условиях связано прежде всего с внедрением практики подрядных торгов (тендеров). Основная цель таких торгов сводится к заключению контракта на строительство или оказание технических работ с партнером, который, по мнению заказчика, является самым надежным и способным наиболее эффективным образом реализовать подрядный проект. В настоящее время имеются серьезные недостатки при заключении договоров.

Прежде всего, заказчиками допускается упрощенный подход к подготовке и проведению торгов, не проводится предварительная квалификация претендентов, что приводит к ошибкам в выборе подрядчика и, как следствие, к срыву договорных обязательств. С другой стороны, крупные подрядные организации проявляют монополизм, все чаще сохраняют стремление диктовать заказчику свои условия и предпочитают получение подряда на правах приоритета местной строительной организации.

Отмеченные выше обстоятельства показывают необходимость разработки эффективных механизмов проведения торгов, позволяющих исключить субъективизм из выбора подрядной строительной организации. Для этого требуется разработка методики оценки возможностей строительных предприятий, претендующих на подряд, с точки зрения эффективности реализации ими конкретного строительного проекта. Это поможет увеличить эффективность и быстроту работы технического отдела, снизить вероятность выбора лучшего варианта проведения работы.

Такая оценка может проводиться без участия и без ведома подрядчика, на основе информации о работе с ним накопленной в организации. В ходе сотрудничества с

подрядчиком у потребителя накапливаются данные о качестве его работы, о несоответствиях, о нарушениях контрактных обязательств, о достижениях подрядчика в области качества, о его производственных возможностях, управленческих процедурах и т.д. Эти данные дают первичную пищу для анализа качества. Такой анализ осуществляется постоянно. Тем не менее, прежде чем приступать к более детальному исследованию и для того, чтобы сделать это исследование максимально результативным, следует собрать и изучить всю накопленную информацию о подрядчике.

Подрядчики оцениваются по 8 постоянным критериям. Для проведения подрядных торгов проведен экспертный опрос 3х работников технического отдела компании ЗАО «БОШЕ»:

- Начальник технического отдела;
- Главный инженер;
- Инженер строитель.

В таблице 1 представлены критерии для оценки подрядчиков, используемые техническим отделом ЗАО «БОШЕ».

Таблица 1. Таблица критериев с постоянными весовыми коэффициентами, градаций оценок в баллах

<b>Наименование критерия</b>	<b>Весовой коэффициент</b>	<b>Градации оценок</b>	<b>Оценка в баллах</b>
Гарантия фиксированной цены	0,196	фиксированная	10
		до половины срока	7
		по договоренности	3
		не фиксированная	1
Наличие положительных рекомендаций	0,169	да	10
		нет	1
Срок бесплатного сервисного обслуживания, месяцев	0,138	6 мес	10
		3 мес	5

		2 мес	1
Наличие материально-технической базы	0,125	полная	10
		частичная	8
		только по профилю	5
		отсутствует	1
Возможность увеличения сроков оплаты (отсрочка), дней	0,114	отсрочка на 42 дня	10
		отсрочка на 28 дня	7
		отсрочка на 14 дня	3
		предоплата	1
Отсутствие задолженности по платежам в бюджет и внебюджетные фонды	0,097	да	10
		нет	1
Опыт работы на рынке в области предмета конкурса, лет	0,086	Больше 5 лет	10
		Меньше 5 лет	7
		От 3-4 лет	3
		Меньше 3 лет	1
Предложения по ускорению выполнения контракта (дней)	0,075	на прямую	10
		через посредника	1

Рейтинг подрядчика рассчитывается по формуле:

$$R_j = \sum_{k=1}^m \lambda_k \cdot K_k, \quad (1)$$

где:  $R_j$  – рейтинг  $j$ -го подрядчика;  $\lambda_k$  – весовой коэффициент критерия,  $K_k$  - оценка  $k$ -го критерия.

Рассчитав рейтинг разных подрядчиков, и сравнив полученные результаты, определяют наилучшего партнера. При таком расчете возможны варианты, когда выгодные с точки зрения цены на работы или срок выполнения подрядчики получают меньше баллов, чем по другим не менее важным критериям и в результате проигрывают в рейтинге. В этом, на первый взгляд, несоответствии, тем не менее, есть своя логика. Долгий срок выполнения работ — все это ведет к перерасходу денежных средств, поэтому акцентирование внимания при выборе подрядчика только на ценах неверно.

На сегодняшний день, у компании ЗАО «БОШЕ» большое количество поставщиков, и специалисты по тендерам часто занимаются длительным поиском необходимого подрядчика, что не только требует времени, но и приводит к увеличению расходов. Используя данную методику, можно сфокусировать свое внимание на надежных подрядчиках.

### Список литературы

1. Асаул, А. Н. Теория и практика организации и проведения подрядных торгов в регионе [Electronic resource] / А.Н. Асаул, В.П. Грахов, В.А. Кошечев, И.Е. Чибисов ; Под ред. д.э.н., проф. А.Н. Асаула. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Гуманистика, 2005.
2. Ручьев, А. П. Организационно-экономические основы деятельности строительных организаций в условиях рыночной экономики [Текст] : учеб.пособие / А. П. Ручьев. - Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010 (Новосибирск). - 192 с. : ил. - Библиогр.: с. 178-179
3. Дорошенко Т.Г., Кокарева А.А. Рекомендации по развитию регулирования бизнеса. Регулирование бизнеса в строительном комплексе России. Страхование как оптимальная из всех регуляторных опций // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). 2012. № 2. URL: <http://eizvestia.isea.ru/reader/article.aspx?id=12266>. (Идентификац. номер статьи в НТЦ «Информрегистр» 0421200101\0085).
4. О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд: федер. закон РФ от 21 июля 2005 г. № 94-ФЗ (в ред. от 20 июля 2012 г.) // СЗ РФ. 2005. № 30. Ст. 3105.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ

**Шафоростова Е.Н., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ  
«МИСиС», Старый Оскол*

*fait-atp@mail.ru*

**Аннотация.** *Динамическая конкурентная среда, новые условия ведения бизнеса предъявляют повышенные требования к организации управления на предприятиях по реализации продукции. Исходя из современных требований, предъявляемых к качеству работы современных предприятий, нельзя не отметить, что эффективная работа его всецело зависит от уровня оснащения компании информационными средствами на базе компьютерных систем автоматизированного учета данных. Основной частью внутримашинного информационного обеспечения является проектирование информационной базы.*

**Ключевые слова:** *информационная система, учет данных.*

### DESIGNING THE ENTERPRISE INFORMATION SYSTEM ON SALES

**ShafarostovaE. N., LazarevaT. I., KovtunN.I.**

*Stary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Stary Oskol*

*fait-atp@mail.ru*

**Abstract.** *Dynamic competitive environment, new business conditions impose high requirements to the organization of management in enterprises for the sale of products. On the basis of modern requirements to the quality of modern enterprise, it should be noted that the effective work it is entirely dependent on the level of race-ing information by means of computer-based systems computer-aided accounting data. The main part vnutribruchinnogo information support is the design of the information base.*

**Keywords:** *information system, data accounting.*

Деятельность предприятий по реализации продукции связана с удовлетворением потребностей клиентов с учетом возможностей производственной сферы, подвержена влиянию множества факторов и охватывает широкий спектр вопросов организационно-

технологического, экономического и финансового характера, требующих повседневного решения. Динамическая конкурентная среда, новые условия ведения бизнеса предъявляют повышенные требования к организации управления на предприятиях по реализации продукции. Исходя из современных требований, предъявляемых к качеству работы современных предприятий, нельзя не отметить, что эффективная работа его всецело зависит от уровня оснащения компании информационными средствами на базе компьютерных систем автоматизированного учета данных. Принцип функционирования предприятия по реализации продукции представлен на контекстной диаграмме (рисунок 1) [1].

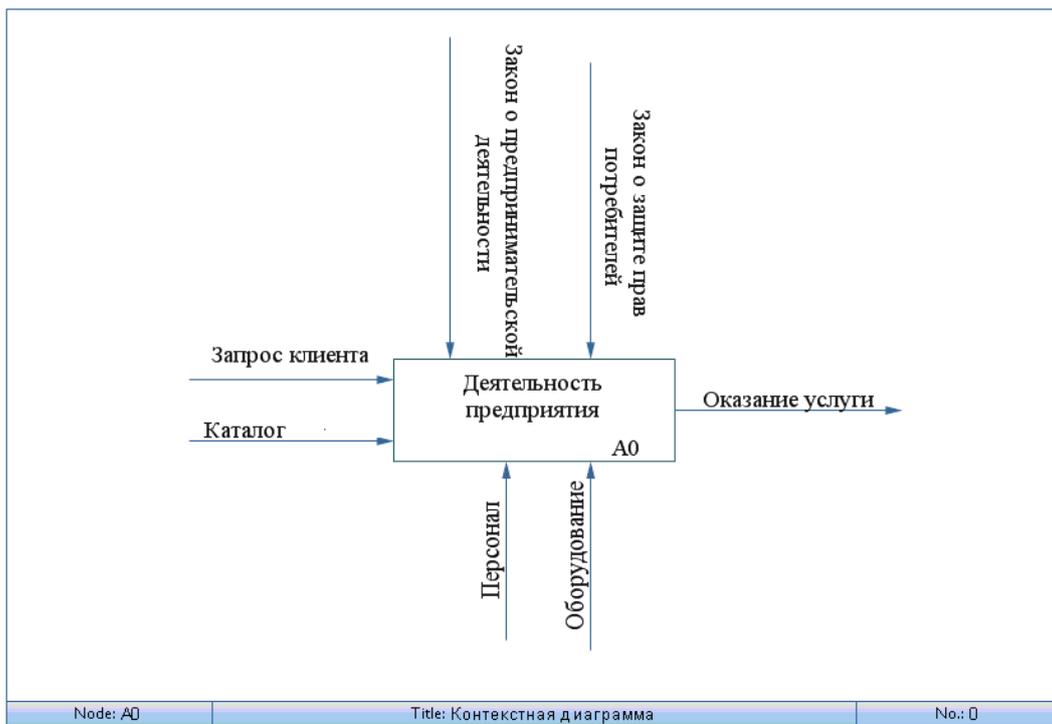


Рис. 1 Контекстная диаграмма

Инфологическая модель проекта представлена на рисунке 2. Основными сущностями являются:

- Сущность «Пользователи» характеризуется атрибутами – Код\_пользователя, Логин, Пароль, Никнейм, Email, Дата\_регистрации. Данная сущность связана с сущностями «Комментарии», «Заказы»;
- Сущность «Заказ» характеризуется атрибутами – Код\_заказа, Код\_пользователя, Код\_администратора, Код\_товара, Количество\_товара. Данная сущность связана с сущностями «Товары», «Пользователи», «Администратор»;

- Сущность «Администратор» характеризуется атрибутами – Код\_администратора, Логин, Пароль, Никнейм, Email, Дата\_регистрации. Данная сущность связана с сущностью «Заказы»;
- Сущность «Товары» характеризуется атрибутами – Код\_товара, Наименование, Стоимость, Описание. Данная сущность связана с сущностями «Категории» и «Заказы»;
- Сущность «Категории» характеризуется атрибутами – Код\_категории, Наименование. Данная сущность связана с сущностью «Товары»;
- Сущность «Комментарии» характеризуется атрибутами – Код\_комментария, Код\_пользователя, Описание, Дата. Данная сущность связана с сущностью «Пользователи»;

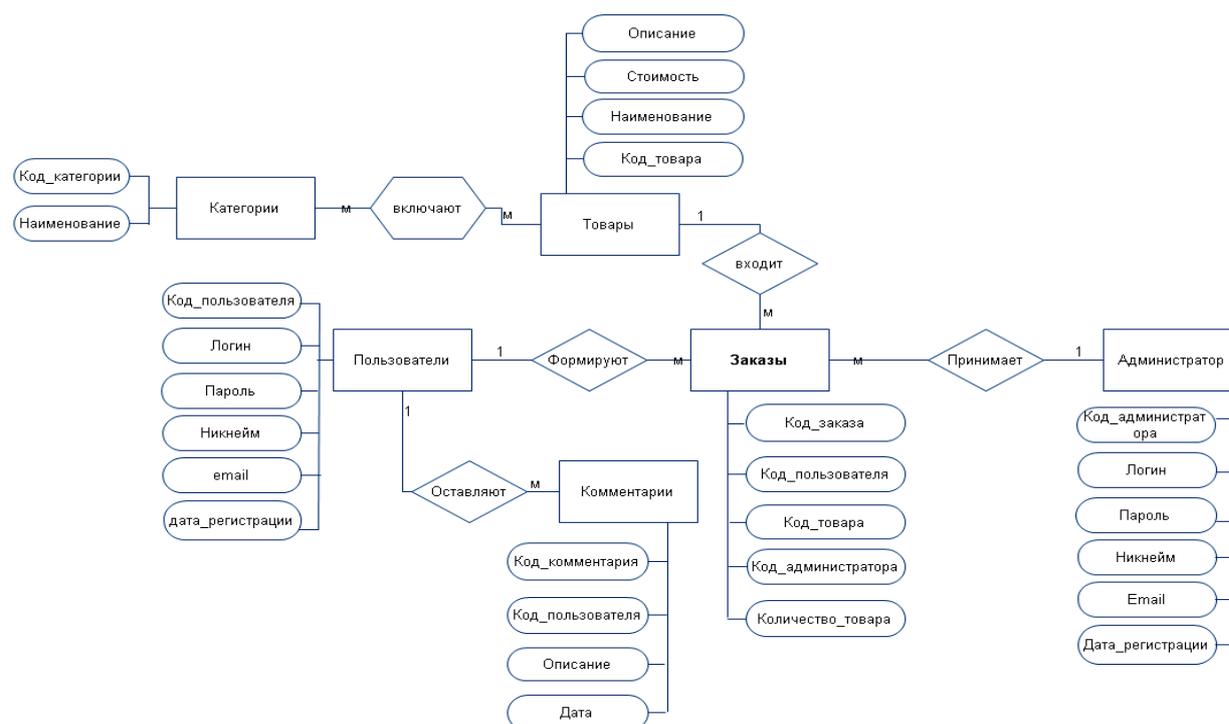


Рис.2. Инфологическая модель данных

Основной частью внутримашинного информационного обеспечения является информационная база – определенным способом организованная совокупность данных, хранимых в памяти вычислительной системы в виде файлов, с помощью которых удовлетворяются информационные потребности управленческих процессов и решаемых задач. Вся информация в системе хранится в одной БД. БД организована в виде реляционной табличной структуры, обслуживаемой специализированным программным обеспечением – СУБД MySQL 5.1. Доступ к информации БД системы производится через web-приложение [2].

Вся информация хранится в 7 таблицах.

- Таблица «Заказ» содержит информацию об определенных товарах, выбранных конкретным пользователем.
- Таблица «Товар» содержит полный перечень товаров и их стоимость.
- Таблица «Категории» содержит список и описание категорий товаров.
- Таблица «Пользователь» служит для хранения информации обо всех зарегистрированных на сайте пользователях.
- Таблица «Комментарии» хранит информацию обо всех оставленных пользователями комментариях к товарам.
- Таблица «Администратор» содержит информацию об администраторе сайта.
- Таблица «Товар-Категория» является связующей для обеспечения связи «многие-ко-многим». Даталогическая модель предприятия по реализации продукции представлена на рисунке 3.

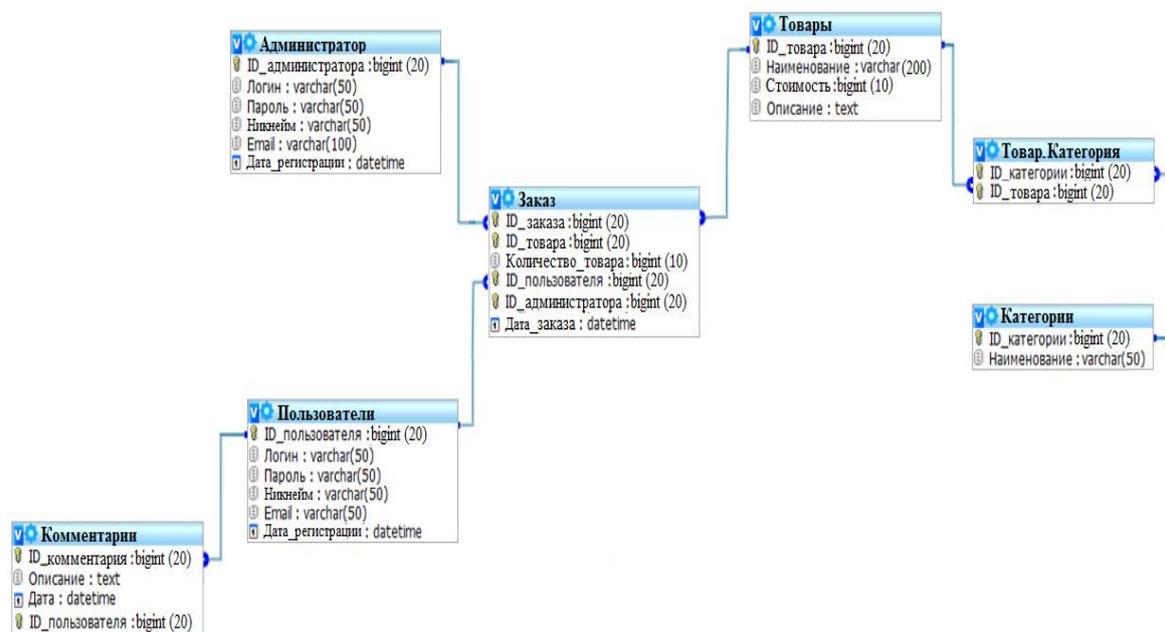


Рис. 3. Даталогическая модель

Таким образом, проектируемая информационная система моделирует работу базы данных предприятия по реализации продукции, позволяет пользователю вносить новые данные, вносить изменения в существующие данные, удалять ненужные заказы, формировать отчёты, производить расчёт прибыли, просматривать и производить поиск необходимых данных.

Создание АИС способствует повышению эффективности работы предприятия по реализации продукции и обеспечивает качество управления.

## Список литературы

1. Венделева, М.А. Информационные технологии в управлении: Учебное пособие для бакалавров / М.А. Венделева, Ю.В. Вертакова. - М.: Юрайт, 2013. - 462 с.12.
2. Гаврилов, Л.П. Информационные технологии в коммерции: Учебное пособие / Л.П. Гаврилов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 238 с.13.

УДК 004.89

### **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА НАЧАЛЬНИКА ЦЕХА НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ РАБОТ**

**Шафоростова Е.Н., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А.Угарова (филиал) НИТУ*

*«МИСиС», Старый Оскол*

*fait-atp@mail.ru*

**Аннотация.** *Современные методы разработки и реализации автоматизированных информационных систем позволяют решить проблемы управления процессом учета проводимых специализированных работ. Информационная система ведения документации на строительно-монтажные работы предусматривает создание единой БД, содержащей информацию о материалах, участках, что позволяет оперативно получать необходимые сведения о проделанных работах каждого участка, быстро и грамотно предоставлять начальнику цеха интересующие его сведения, осуществлять оптимизацию использования материалов на объектах.*

**Ключевые слова:** *информационная система, управление процессом учета, специализированные работы.*

### **DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED WORKPLACE OF THE FOREMAN ON THE EXAMPLE OF COMPLEX SPECIALIZED TASKS**

**Shaforostova E. N., Lazareva T. I., Kovtun N.I.**

*Sary Oskol Technological Institute n. a. A.A.Ugarov (branch) NUST " MIS&S ", Sary Oskol*

*fait-atp@mail.ru*

**Abstract.** *Modern methods of design and implementation of automated information systems can solve problems of the management accounting process carried out specialized work. Information system documentation on construction works provides for the creation of a single database containing information about materials, sites that allows you to quickly obtain the*

*necessary information about the work of each section, quickly and competently to provide the chief of Department for his information, to optimize the use of materials on objects.*

**Keywords:** *information system, accounting process control, specific tasks.*

Грамотное использование активно развивающихся в наше время информационных технологий позволяет значительно повысить эффективность деятельности управленческого персонала в любой сфере, при этом большее внимание будет уделяться организации рабочего места, а не ведению документации.

Возможность использования «коробочных» вариантов зачастую отсутствует из-за отличий в функциональных потребностей ИС.

Технология специализированных работ того или иного объекта предполагает выполнение определенного набора видов работ, необходимых для монтажа на каждом конкретном типе объекта. Например, для фабрики обогащения - это изготовление металлоконструкций, монтаж кабельной трассы, прокладка контрольных кабелей и т.д. Каждый вид работ на объекте выполняется одной бригадой. Для организации работ на объекте составляются графики работ, указывающие в каком порядке и в какие сроки выполняются те или иные работы, а также смета, определяющая какие материалы и в каких количествах необходимы для монтажа объекта. По результатам выполнения работ составляется отчет с указанием сроков выполнения работ и фактических расходов материалов.

Разрабатываемая автоматизированная информационная система служит для эффективной и быстрой работы с информацией по ведению специализированных работ каждым участком. Данная информационная система должна учитывать следующие технологические процессы:

- добавление, редактирование и удаление информации о видах специализированных работ (содержание, обслуживание, новый монтаж);
- добавление, редактирование и удаление информации об объектах (фабрика обогащения, фабрика окомкования, ЦГБЖ-1, ЦГБЖ-2, рудоуправление);
- добавление, редактирование и удаление информации о проведенных специализированных работах каждого участка;
- добавление, редактирование и удаление информации о составах бригад;
- добавление, редактирование и удаление информации о наличии и количестве материалов;
- добавление, редактирование и удаление информации о рабочих;

- просмотр и печать отчетов.

Рассмотрим схему информационных потоков на предприятии (рис.1). Начальник цеха осуществляет общее руководство производственной деятельностью цеха. Ежедневно контролирует ход и выполнение специализированных работ. Подготавливает отчеты о производственной деятельности цеха. Главный инженер обеспечивает своевременную подготовку технической документации (рабочий проект, спецификация объекта), контролирует соблюдение проектной, конструкторской и технологической дисциплины. Производственно-технический отдел планирует и контролирует ход специализированных работ. Зам. начальника цеха по производству устанавливает порядок выполнения работ, организует рабочие места участков. Участки выполняют работы, получают необходимые материалы. Начальники участков ежедневно отчитываются о проделанной работе, о явках и пребывании работников на работе.

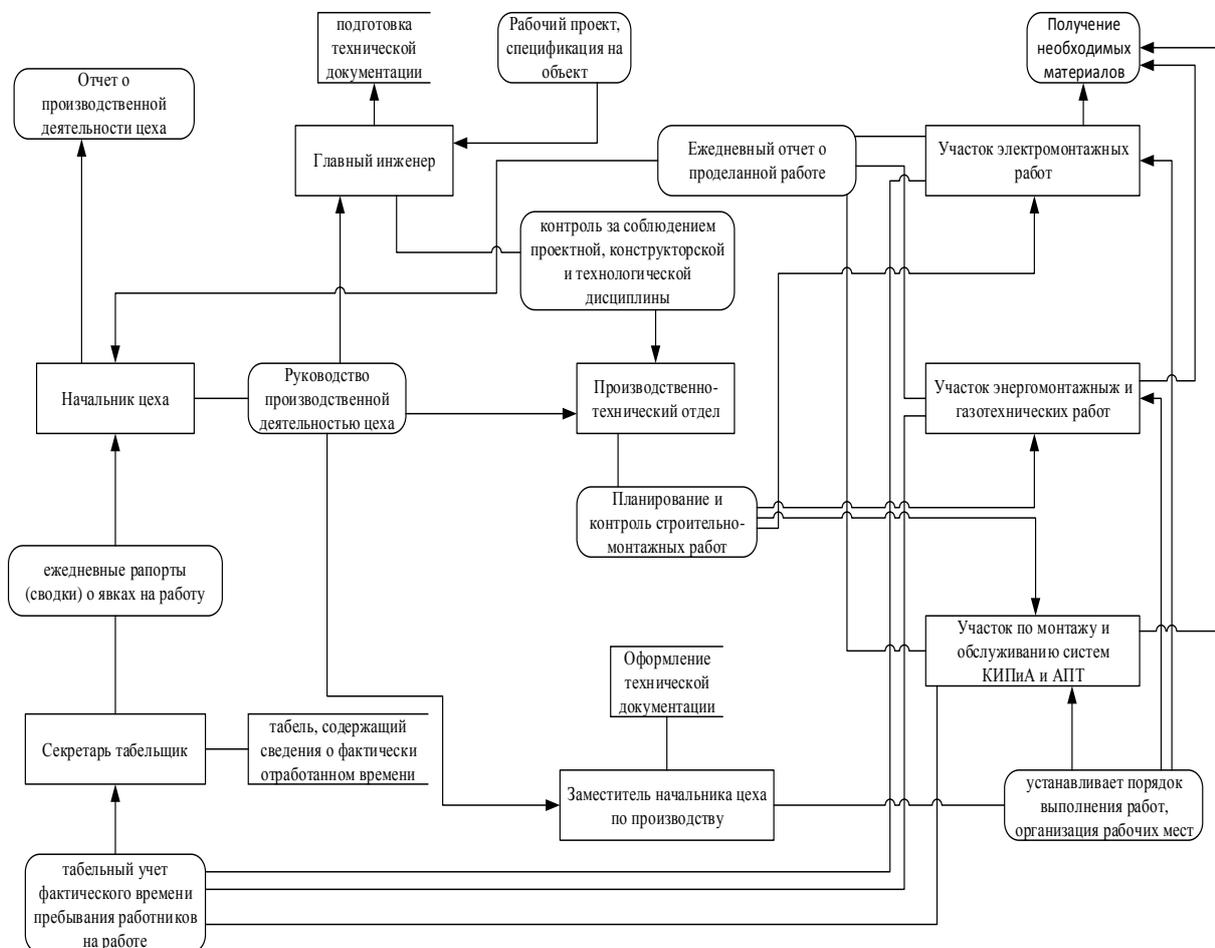


Рис. 1. Схема информационных потоков предприятия

Разработка базы данных включает в себя разработку структуры, пользовательского интерфейса.

Рассмотрим инфологическую модель ИС (рис. 2).

Центральной информационной сущностью БД является сущность «Участок специализированных работ», которая содержит информацию о проведенных работах. Данная сущность содержит следующие атрибуты: [код бригады], [дата], [код объекта], [наименование объекта], [код вида работ], [наименование вида работ], [количество работников], [код материала], [наименование работ], [объем работ].

Сущность «Объект» содержит информацию о объектах на которых работает участок строительно-монтажных работ.

Сущность «Виды работ» содержит информацию о видах работ, которые осуществляет участок строительно-монтажных работ.

Сущность «Материалы» содержит информацию о материалах, которые использует участок строительно-монтажных работ.

Сущность «Состав бригад участка» содержит информацию о составах бригад, которые распределяет участок строительно-монтажных работ.

Сущность «Персонал» содержит информацию о людях, работающих в составах бригад на участке строительно-монтажных работ.

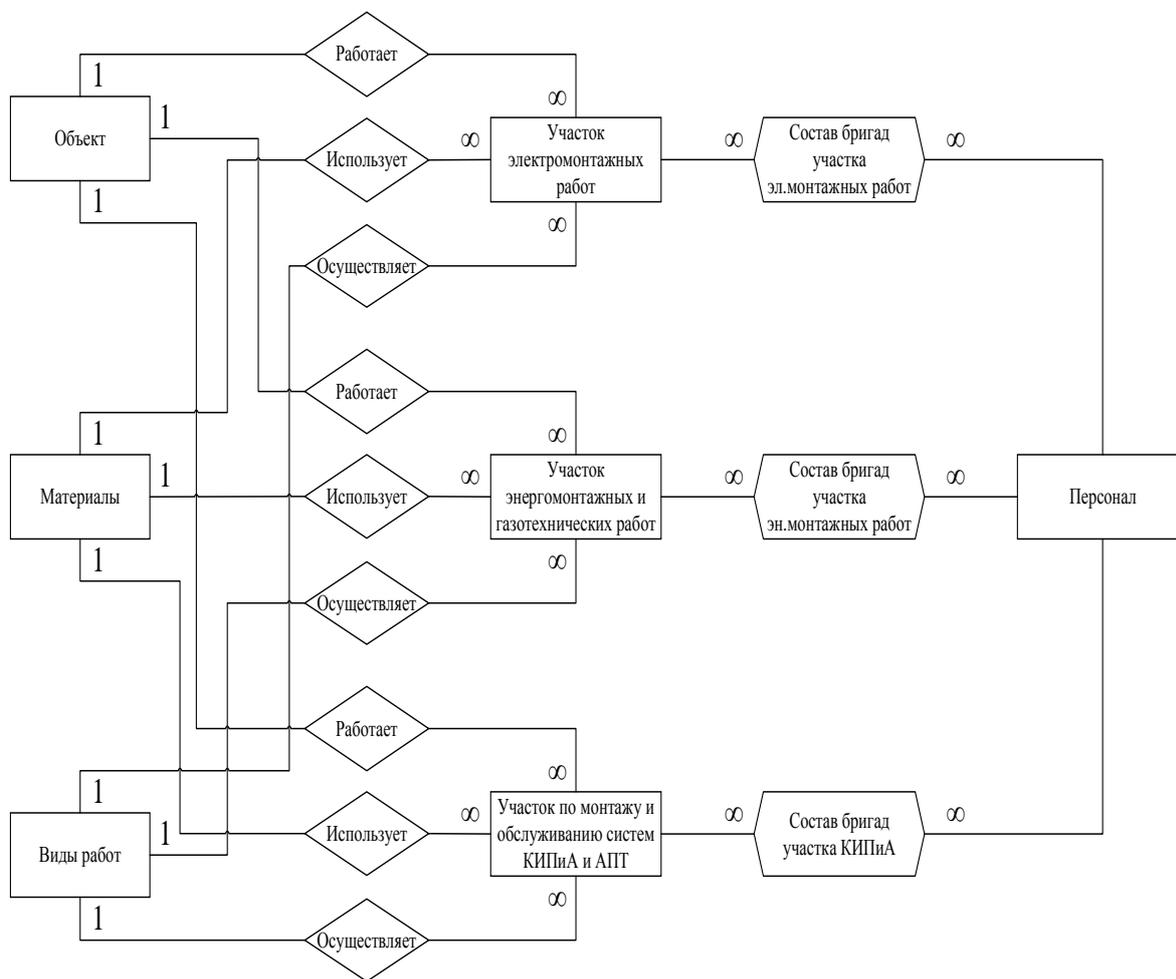


Рис. 2. Инфологическая модель данных

Единая информационная система позволяет повысить качество информации, ее точность, оперативность, а, следовательно, повышается и быстрота принятия управленческих решений.

### Список литературы

1. Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. Вводный курс: Учебное пособие, М.: Гелиос АРВ, 2011. - 368 с.
2. Илющечкин В. М. , Основы использования и проектирования баз данных, М, Издательство Юрайт, 2010 г., 224 стр.

## ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

**Сапрыкина А.Н., Михайлов А.П.**

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВПО  
«Национальный исследовательский технологический институт «МИСиС», Старый  
Оскол*

*ansaprykina@mail.ru*

**Аннотация.** В статье рассмотрена математическая модель тепломассопереноса для непрерывно литой заготовки, предложен приближенный метод решения задачи, построено температурное поле заготовки.

**Ключевые слова:** зона вторичного охлаждения, машина непрерывного литья заготовок, МНЛЗ, ЗВО, тепловое поле.

## PPROXIMATE METHODS FOR SOLVING TRANSIENT HEAT TRANSFER

**Saprykina A.N., Mikhailov A.P.**

*Sary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) National University of Science and  
Technology "MISiS", Sary Oskol*

*ansaprykina@mail.ru*

**Abstract.** In the article the mathematical model of heat and mass transfer for continuously cast billets, proposed an approximate method of solving the problem, built temperature field blank.

**Keywords:** secondary cooling zone, continuous casting machine, ZVO, the thermal field.

### **Введение**

Изучение тепловых процессов, происходящих в непрерывном слитке, - одна из важнейших составляющих развития новых технологий повышения стабильности охлаждающих воздействий. После выхода металла из кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) происходит резкое изменение условий теплообмена. В зоне вторичного охлаждения (ЗВО) МНЛЗ интенсивный отвод тепла

происходит при контакте поверхности слитка и направляющих роликов с водовоздушной смесью из распылителей. Интенсивность охлаждения существенно влияет на распределение температур по сечению слитка. Математическое моделирование является эффективным инструментом исследования тепловых процессов, происходящих в заготовке при кристаллизации.

### Материалы исследования

Для исследования охлаждения непрерывного слитка на криволинейных участках МНЛЗ рассмотрим следующую модель тепломассопереноса [1]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \theta_m \frac{\partial T(\tau, r, \varphi)}{\partial \varphi} = \frac{1}{c\rho} \left( \lambda \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\lambda}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

$$T(0, r, \varphi) = T_0(r, \varphi) \quad (2)$$

Граничные условия на криволинейных участках по внутреннему радиусу

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_m} = \alpha_l (T_{l_m} - T|_{r=r_m}) + C_{l_m} (T_{l_m}^4 - T|_{r=r_m}^4) \quad (3)$$

и по внешнему радиусу

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_m+2l} = \alpha_E (T_{E_m} - T|_{r=r_m+2l}) + C_{E_m} (T_{E_m}^4 - T|_{r=r_m+2l}^4) \quad (4)$$

Дополнительные условия

$$T(\tau, r, \varphi) \Big|_{r=\xi_{i-}(\tau, \varphi)} = T(\tau, r, \varphi) \Big|_{r=\xi_{i+}(\tau, \varphi)} = T_{кр}; i = 1; 2 \quad (5)$$

$$\lambda [T(\tau, r, \varphi)] \Big|_{r=\xi_{i\pm}(\tau, \varphi)} = \mu \rho_{кр} \left( \theta_m \frac{\partial \xi_i}{\partial \varphi} + \frac{\partial \xi_i}{\partial \tau} \right) \quad (6)$$

$$\xi_i(0, \varphi) = \xi_i(\varphi) \quad (7)$$

Здесь:

$\theta_m$  — угловая скорость движения слитка на  $m$ -ом криволинейном участке;

$r = \xi_1(\tau, \varphi)$ ,  $r = \xi_2(\tau, \varphi)$  — границы раздела фаз.

Для нахождения приближенного решения этой задачи выполнена конечно-разностная аппроксимация модели разностной схемой:

$$\begin{aligned} \frac{T[i, j, k + 1] - T[i, j, k]}{\Delta \tau} = & \frac{1}{c * \rho} * (\lambda * \frac{T[i - 1, j, k] - 2 * T[i, j, k] + T[i + 1, j, k]}{(\Delta r)^2} + \\ & + \frac{\lambda}{r^2} * \frac{T[i, j - 1, k] - 2 * T[i, j, k] + T[i, j + 1, k]}{(\Delta \varphi)^2} + \frac{\lambda}{r} * \frac{T[i - 1, j, k] - T[i, j, k]}{\Delta r}) - \\ & - Q_m * \frac{T[i, j - 1, k] - T[i, j, k]}{\Delta \varphi} \end{aligned} \quad (8)$$

Применен недетерминированный метод случайного блуждания для трехмерной модели. Начиная с точки  $T(i, j, k)$ , для которой необходимо найти значение функции, строится случайная траектория. Она состоит из узлов сетки, переход от узла  $(i, j, k)$  к любому из соседних с ним узлов  $(i+1, j, k)$ ,  $(i-1, j, k)$ ,  $(i, j+1, k)$ ,  $(i, j-1, k)$  и т.д. происходит с определенной вероятностью, обрыв траектории возникает при выходе на границу. Вероятности перехода в соседние узлы являются величиной положительной и в сумме дают значение 1. После построения достаточно большого количества траекторий вычисляется математическое ожидание, которое принимается за значение функции.

### **Заключение**

Разработана программа в пакете Wolfram Mathematica 9.0, результатом работы которой является массив значений температуры заготовки в узлах сетки и построенная графическая визуализация. Предложенный подход и результаты исследований можно использовать для определения предполагаемого решения. Производится отладка и верификация построенной модели.

### **Список литературы**

1. Иванова А.А. Управление режимами вторичного охлаждения МНЛЗ // *Металлургические процессы и оборудование* – 2008. - №4(14) – С. 17-21

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ  
НА ПРИМЕРЕ ДЕГИДРАТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

**Заблоцкая Т.Ю.**

*Филиал АНОО ВО «ВЭПИ» в г. Старый Оскол*

[zablotskaja\\_t@mail.ru](mailto:zablotskaja_t@mail.ru)

***Аннотация.** Рассматриваются основные физико-химические процессы, сопровождающие высыхание капли жидкости на плоской подложке методом клиновидной дегидратации, обсуждается их роль и степень влияния на структурный рисунок фации. Анализируется приложение теории перколяции для описания дегидратационного процесса. Рассматривается процесс самоорганизации биожидкости с позиций теории гелеобразования.*

***Ключевые слова:** клиновидная дегидратация, биожидкость, капля, структурирование, гелеобразование.*

**INFORMATIONAL ANALYSIS OF THE COMPOSED SYSTEM BEHAVIOUR  
USING BIOLIQUID DEHYDRATION**

**Zablotskaya T.**

*Voronezh Economics and Law Institute (Stary Oskol branch)*

[zablotskaja\\_t@mail.ru](mailto:zablotskaja_t@mail.ru)

***Abstract.** In the paper, the main physical and chemical factors accompanying the bioliquid drop drying process on the flat base surface by the method of cuneiform dehydration are considered with their contribution and effect on the dry film structure derived discussing. The application of percolation theory to describe the dehydration process is analyzed. Also, bioliquid self-structuring process is considered from a perspective of the theory of gelation.*

***Key words:** cuneiform dehydration, bioliquid, drop, structuring, sol-gel transition.*

Проблема диагностики заболеваний на ранней стадии всегда стоит остро и привлекает внимание исследователей. Метод клиновидной дегидратации [1] на сегодняшний день является перспективным с медицинской точки зрения для выявления различных заболеваний человека на доклинической стадии; также он может использоваться в других научно-технических отраслях, где требуется дифференциальная оценка состава многокомпонентных жидких растворов: для выявления изменений в свойствах химических препаратов при их хранении, для диагностики продуктов пчеловодства, оценки состояния гидросмеси, транспортируемой через трубопровод, при добавлении к ней поверхностно-активных веществ (ПАВ) [2, 3].

По ряду факторов, среди которых высокая чувствительность, нетребовательность к сложному оборудованию, большому объему материала для анализа и т. д., метод клиновидной дегидратации имеет неоспоримые преимущества [4]. К его недостаткам можно отнести то, что процесс распознавания структур дегидратированной пленки (фации) происходит качественно, а не количественно, и зависит от опыта и навыков «прочтения» рисунка у оператора. Эти недостатки могут быть устранены путем применения автоматизированного анализа изображений, что позволит существенно уменьшить время и субъективизм оценки, повысить точность результатов.

Для распознавания структур фаций биожидкостей (БЖ), обладающих сложным, многокомпонентным рисунком, необходимо выбрать такой алгоритм, который бы оптимально выделял важные с диагностической точки зрения характерные особенности. Для этого необходимо проанализировать физико-химические аспекты структурирования капли БЖ при клиновидной дегидратации и выделить основные типы структур, представляющие интерес для задачи распознавания образов.

Капля жидкости на твердой подложке является открытой биологической системой, где происходит постоянный обмен энергии с внешней средой, а внутренние метаболические процессы сопровождаются превращениями одних форм энергии в другие. Высыхание капли происходит в совокупном поле внешних сил, а также с учетом внутреннего взаимодействия компонентов БЖ, таким образом, при кажущейся простоте, процесс клиновидной дегидратации является результатом кооперативного влияния факторов, различных по своей природе. При постоянных начальных данных (диаметр и объем капли) и параметрах окружающей среды (температура, влажность, давление), определяющих кривизну поверхности капли и скорость испарения, структурирование БЖ в процессе дегидратации будет определяться ее свойствами. Пиннинг на границе капля – подложка приводит к

скачкообразному изменению энергии капли и образованию концентрических колец фазии, а также является одним из механизмов, определяющих радиальное движение растворенных в жидкости частиц [5, 6].

При равновесном состоянии самоорганизация в высыхающих каплях белково-солевых растворов начинается с формирования адсорбционных слоев белка на границах раздела фаз. На границе капля – воздух в поверхностном адсорбционном слое наблюдаются структуры, формирующие «каркас» капли сверху [7]. Конденсация нерастворимых компонентов капли стимулирует агрегацию белков и полимеризацию макромолекул, давая начало формированию многоуровневого гелиевого каркаса. На границе раздела трех фаз ободок твердой фазы по периметру капли прикрепляет каплю к подложке, делая ее более плоской, т. е. заставляя удаляться от равновесной формы. Уплотнение купола высыхающей капли вызывает в ней центробежные течения, которые выносят макрочастицы на периферию. Когда энергия поверхности превысит силы адгезии на границе раздела трех фаз, капля скачкообразно уменьшит свой диаметр и вновь примет равновесную форму. При этом на твердой фазе остаются концентрические круги, отмечая бывшие линии прикрепления капли. Таким образом, в начале дегидратации состав капли перестает быть однородным, и одни компоненты (макрочастицы) формируют линию пиннинга по периметру капли, а другие (растворенные соли) участвуют в гелеобразовании, вызванном испарением жидкости.

По мере испарения воды возрастает ионная сила раствора, а объемная доля белковых молекул снижается за счет вынесения на периферию. Силы притяжения между частицами растут, радиус взаимодействия частиц уменьшается, и раствор переходит в метастабильное состояние, за которым следует коагуляция [8]. Коллоидные частицы могут образовывать различные структуры: от коллоидного стекла (при высокой объемной доле коллоида и слабой силе взаимодействия между частицами) до коллоидных гелей (при малой объемной доле коллоида и большой силе притяжения между частицами) [9]. Прежде чем образуется гель, коллоидные частицы формируют фрактальные кластеры, впоследствии объединяющиеся в пространственную решетку – гель. Применительно к процессам в высыхающей капле БЖ, можно предположить, что валик из макромолекул (в частности, белков) по периферии капли представляет собой коллоидное стекло; в центре капли при этом идет построение фрактальных кластеров (ряд структур фазии имеет фрактальный характер), переходящих в гель, при этом любое отклонение от фрактального роста кластеров приводит к нарушению гелеобразования [10].

По мере продвижения фронта жидкой капли к центру масса ее уменьшается, а концентрация солей растёт, жидкость постепенно превращается в гель, и если плотность геля мала, то остатки жидкой фазы не образуют каплю на его поверхности, а процесс «досыхания» происходит внутри геля. На заключительном этапе происходит фазовый переход (кристаллизация) солей, при этом кинетика испарения воды определяется физическими свойствами геля, зависящими от концентрации и состава макромолекул, а также от концентрации низкомолекулярных органических компонентов раствора [11]. Таким образом, кинетика фазового перехода солей связана с соотношением между временем высыхания и временем гелеобразования в капле, которое напрямую зависит от свойств жидкости, содержит и несет интегральную информацию о составе и качестве жидкости в целом.

Если рассматривать БЖ как коллоидную систему, то сближение частиц в геле может привести к образованию в нем пространственного каркаса, что может послужить базой для формирования структуры фации. Такое структурообразование напрямую зависит от сил взаимодействия между частицами, которые определяются свойствами жидкости. Диффузия малых молекул в геле мало отличается от диффузии в жидкости, в то время как у больших молекул способность диффундировать резко снижается. Если предположить, что конвекционные потоки в гелях отсутствуют, то реакции осаждения будут иметь характерные особенности, зависящие от состава жидкости.

Конечная структура фации во многом определяются структурой и природой агрегированных частиц, образующихся в результате золь-гель процесса и обладающих самоподобной или фрактальной структурой. Такие агрегаты, формирующиеся в свободном пространстве, можно рассматривать как перколяционную структуру.

Перколяционная модель предлагает образование случайных связей между отдельными элементами системы, оканчивающимися появлением протяженной пространственной сетки. Процесс перехода золя в гель представляет собой перколяционный переход, когда между отдельными изолированными частицами (кластерами) или агрегатами частиц происходит образование мостиков и формирование бесконечного агрегата (кластера). Переход золь-гель может быть описан в рамках смешанной задачи перколяции, а с учетом анизотропии частиц (растворенного белка) – перколяционной задачей «иголок» [11]. Тогда порог перколяции может быть определен по формуле:

$$p_c(a) = C \left( 1 - \gamma \left( \frac{a-1}{a} \right)^2 \right) \quad (1)$$

где  $a$  – длина «иголки» (в данном случае макромолекулы),  $C$  и  $\gamma = 0,31 \pm 0,01$  – константы.

Процесс гелеобразования описывается тремя факторами: концентрацией молекул, вероятностью образования связей между молекулами и температурой, которая оказывает непосредственное влияние на второй параметр. Согласно работе [12], время гелеобразования  $t_g$ , влияющее на характер рисунка фазии, зависит от ионной силы раствора  $I$  и в случае малого значения  $I$  может превышать время испарения  $t_d$ :

$$t_d = R_0 / \omega, \quad (2)$$

где  $R_0$  – радиус основания капли,  $\omega = -S^{-1} \cdot dV/dt$  – средний поток воды, который испаряется с единицы площади капли за единицу времени и не зависит от времени и ионной силы раствора, пока выполняется условие  $\Delta V/V \leq 30\%$ .

В открытой системе, которую представляет собой высыхающая капля, есть два геометрических параметра, которые задают начальные условия дегидратации – высота капли  $h_0$  в начальный момент времени и радиус основания капли  $R_0$ . Основные временные параметры, которые определяют характер структурирования, – время испарения капли

$$t_e = h_0 / v_0, \quad (3)$$

где  $v_0$  – скорость изменения высоты капли, и время диффузионных процессов (время релаксации)  $t_d$ .

Если пренебречь распределением растворенных веществ по высоте капли, то время релаксации можно определить как

$$t_d = R_0^2 / D, \quad (4)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии.

С учетом этих допущений и согласно [13], уравнение, описывающее пространственную и временную динамику изменения концентрации растворенного вещества, имеет вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \left( \frac{x}{4(1-\tau)} + \lambda \frac{2x}{1-x^2} \right) \frac{\partial c}{\partial x} = \lambda \frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} \left( x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{c}{2(1-\tau)(1-x^2)} \quad (5)$$

где  $\tau = t v_0 / h_0$  – безразмерное время,  $x = r / R$  – безразмерная координата,  $\lambda$  – безразмерный параметр, определяющий, какой из процессов будет доминировать в ходе структурирования капли – испарение или диффузия:

$$\lambda = \frac{t_\varepsilon}{t_d} = \frac{h_0 D}{v_0 R^2} \quad (6)$$

**Выводы.** Проанализированы физико-химические процессы, сопровождающие высыхание капли биожидкости при клиновидной дегидратации. Выделены основные этапы фазовых переходов в ходе дегидратации, являющиеся ключевыми для формирования структур фазии. Рассмотрены возможные механизмы дегидратации с позиций теорий перколяции и гелеобразования.

### Список литературы

1. Шабалин В. Н. Структурная форма информации в биологических жидкостях / В. Н. Шабалин, С. Н. Шатохина // Актуальные проблемы геронтологии. – М., 1999. – С. 139-143.
2. Л.М. Белова, Ю.П. Потехина. Исследование конформационных изменений молекулы альбумина в различных условиях методом клиновидной дегидратации (сообщение I). Нижегородский медицинский журнал. – 2003.– №3-4. С. 8-12.
3. Бондаренко О.Б., Дюбко Т.С., Марченко В.С. Изучение клиновидной дегидратации препарата АСД-2 с применением метода фрактального анализа // Матер. VI Междунар. научно-технич. конфер. «Актуальные вопросы теоретической и прикладной биофизики, физики и химии» (БФФХ-2010). – Севастополь, 2010. – Т. 2. Биофизика и биофизическая медицина. – С. 152-154.
4. Максимов С.А. Морфология твердой фазы биологических жидкостей как метод диагностики в медицине // Бюллетень сибирской медицины. – 2007. – № 4. – С. 80-85.
5. Елизаров А.И., Заблоцкая Т.Ю., Елизаров М.А. Явления самоструктурирования материи при дегидратации капель биологически активных жидкостей // Вісник КДПУ. – 2005. – № 1. – С. 65-68.
6. Гольбрайх Е., Рапис Е.Г, Моисеев С.С. О формировании узора трещин в свободно высыхающей пленке водного раствора белка // Журн. технич. физики. – 2003. – Т. 73, № 10. – С. 116 – 121.

7. Белок и соль: пространственно-временные события в высыхающей капле / [Яхно Т. А., Яхно В. Г., Санин А. Г. и др.] // Журнал технической физики, 2004. – Т. 74. – Вып. 8. – С. 100-108.
8. Яхно Т. А. Основы структурной эволюции высыхающих капель биологических жидкостей / Т. А. Яхно, В. Г. Яхно // Журнал технической физики, 2009. – Т. 79. – Вып. 8. – С. 133-141.
9. Trappe V., Sandkuhler P. // Current opinion in colloid and interface science. – 2004. – Vol. 8. – P. 494.
10. Manley S., Cipelletti L., Trappe V. et al. // Phys. Rev. Lett. – 2004. – Vol. 93, N 10. P. 108, 302.
11. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы / Тарасевич Ю. Ю. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.
12. Тарасевич Ю. Ю. Механизмы и модели дегидратационной самоорганизации биологических жидкостей / Тарасевич Ю. Ю. // УФН. – 2004. – Т. 174. – № 7. – С. 779-790.
13. Тарасевич Ю. Ю. Качественный анализ закономерностей высыхания капли многокомпонентного раствора на твердой подложке / Ю. Ю. Тарасевич, Д. М. Православнова // ЖТФ. – 2007. – Т. 77. – Вып. 2.

## СЕКЦИЯ «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

УДК 661.872.222

### ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПЫЛЕВИДНЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Смирнов В.П.\*, Чичварин А.В., Мамонов Р.С., Смирнов А.Н., Мишустин А.С.\*\*

\*ООО НПО «БИНАМ», г. Старый Оскол, smirnovv\_ps@mail.ru

\*\*ФГАОУ ВПО «СТИ НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, ach82@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлены результаты эксперимента по исследованию минеральных пигментов на основе пылевидных отходов металлургического производства. Исследованы основные технологические свойства новых пигментов.

*Ключевые слова:* пигмент, пыль газоочистки, микроструктура, фракционный состав.

### INVESTIGATION OF MINERAL PIGMENTS BASED ON POWDERED METALLURGICAL WASTES

V.P. Smirnov\*, A.V. Chichvarin, R.S. Mamonov, A.S. Mishustin, A.N. Smirnov\*\*

\*NPO "BINAM" Stary Oskol, smirnovv ps@mail.ru

\*\*Stary Oskol technological institute MISiS, Stary Oskol, ach82@mail.ru

*Abstract.* The article presents the results of an experiment to study the mineral pigments powdered metallurgical wastes. The basic technological properties of the new pigments.

*Key words:* pigment, dust, gas purification, microstructure, fractional composition.

На сегодняшний день все пигменты подразделяются на две основные группы: пигменты органические и неорганические. К органическим пигментам относятся красящие вещества, состоящие из углеводородных соединений растительного или животного происхождения или полученные путём синтеза из углеводородного сырья (каменный уголь, нефть, газ). К неорганическим пигментам относятся красящие вещества, полученные из горных пород или отдельных минералов, а так же оксиды металлов и их соли полученные искусственным путём. В свою очередь, как органические, так и неорганические пигменты подразделяются на пигменты природного происхождения и синтетические.

Введение минеральных пигментов позволяет регулировать важнейшие свойства композиционных материалов – деформационно-прочностные, изолирующие, противокоррозионные, адгезионную прочность, а также улучшить свойства покрытий: их атмосферостойкость, водостойкость, теплостойкость, огнестойкость, антифрикционные свойства и т.д. Пигменты по условиям их происхождения классифицированы как природные (сосредоточение

минеральных красок в земной коре), техногенные (в промышленных отходах) и искусственные, как продукт промышленного синтеза минеральных и органических веществ.

Получение искусственных и природных пигментов связано с высокими затратами на синтез веществ и разработку месторождений. Использование техногенных пигментов выгодно не только с точки зрения экономической целесообразности, но и позволяет утилизировать промышленные отходы. Целью данной работы является исследование возможности получения железистых пигментов-наполнителей из пылевидных отходов металлургического производства.

В качестве объекта исследования рассматривали пыль газоочистки сталеплавильного цеха ОАО ОЭМК. Пыль после магнитной сепарации подвергалась термическому воздействию при различных температурах от 500 до 1000°C с последующим помолом в ударно-центробежной мельнице снабженной динамическим воздушно-центробежным классификатором.

В результате были получены образцы пигмента двух цветов, являющихся темными оттенками красно-оранжевого, как показал калориметрический анализ:

- Умбра натуральная – в модели цвета RGB составляет 27.06% красного, 19.61% зеленого и 18.04% синего, в цветовом пространстве HSL имеет оттенок 10.43 градусов, 20% насыщенность и 22.55% светлости. Этот цвет имеет приблизительную длину волны в 613nm и соответствует каталогу RAL 8017.
- Коричневый марс – в модели цвета RGB составляет 29.8% красного, 18.43% зеленого и 15.29% синего, в цветовом пространстве HSL имеет оттенок 12.97 градусов, 32.17% насыщенность и 22.55% светлости. Этот цвет имеет приблизительную длину волны в 612nm и соответствует каталогу RAL 8016.

Коричневый цвет пигмента обусловлен наличием ионов марганца, о чем свидетельствуют данные рентгенофлуоресцентного анализа, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав пигмента по ГОСТ 28033-89 – Метод рентгенофлуоресцентного анализа

Цвет пигмента	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	MnO	C	S
Марс коричневый	74,83	0,61	9,49	4,00	5,49	4,61	0,88	0,02
Умбра жженая	72,14	0,68	10,50	4,43	6,08	5,10	0,98	0,02

При исследования технологических свойств пигмента были установлены следующие показатели: маслопоглощение, укрывистость, красящая способность, кислотное число, фракционный состав.

Для определения маслопоглощения навеску пробы высыпали на пластинку матового стекла размером 300x400мм, затем из бюретки добавляли по 4-5 капель масла и втирали его в пигмент шпателем до полного смешения. Добавление масла прекращали после образования пасты равномерной консистенции. Показатель маслопоглощения, мл масла на 100г пробы, определяли по уравнению:

$$\mu = \frac{100 \cdot V}{m}$$

где  $V$  — объем израсходованного масла, мл;

$m$  — масса пробы, г.

Укрывистость пигмента определяли по ГОСТ 8784-75. Сущность метода заключается в нанесении слоев лакокрасочного материала на стеклянную пластинку до прекращения просвечивания черных и белых квадратов шахматной доски, подложенной под стеклянную пластинку. Для определения укрывистости пигмент растирают с натуральной олифой, затем пигментную пасту разбавляют олифой до получения готовой к применению краски. На стеклянную пластинку, наносят один или два слоя лакокрасочного материала. Под стеклянную пластинку с нанесенными слоями лакокрасочного материала подкладывают шахматную доску и при рассеянном отраженном дневном свете наблюдают, просвечивают ли черные или белые квадраты шахматной доски. Если квадраты просвечивают, то наносят следующие слои до тех пор, пока разница между черными и белыми квадратами подложенной шахматной доски окончательно не исчезнет. После полного укрытия окрашенную стеклянную пластинку взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Укрывистость невысушенной лакокрасочной пленки ( $D$ ) в г/м<sup>2</sup> вычисляли по формуле,

$$D = \frac{m_1 - m_0}{S} \cdot 10^6$$

где  $S$  — площадь пластины, мм<sup>2</sup>;  $m_1$  — масса пигмента, г; масса стекла, г.

Красящую способность пигмента определяли по стандарту ИСО 787-16.

Кислотное число определяли методом потенциометрического титрования, для чего брали 50мл анализируемого раствора пигмента и титровали раствором серной кислоты. Кислотность раствора рассчитывали по уравнению:

$$A = \frac{V \cdot 2.5 \cdot 100}{2 \cdot m} = 125 \frac{V}{m}$$

где  $A$  — кислотность или щелочность, мл (количество кислоты или щелочи концентрации 0,1 моль/л, необходимое для нейтрализации экстракта из 100 г пигмента);

$m$  — масса образца пигмента для приготовления экстракта, г;

$V$  — объем раствора кислоты или щелочи, пошедшего на титрование, мл.

Потенциометрические кривые титрования представлены на рисунке 1.

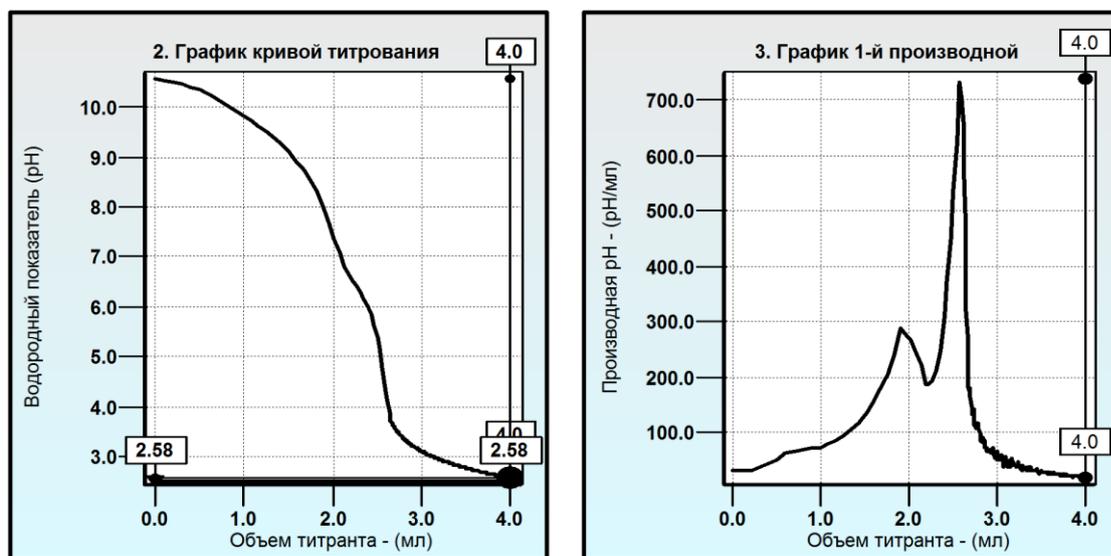


Рисунок 1. Кривые потенциометрического титрования.

Обобщенные данные по результатам исследования технологических свойств пигмента представлены в таблице 2.

Таблица 2. Технологические свойства пигментов.

№	Наименование показателя	Величина	Примечание
1	Маслопоглощение	31 мл /100 г	28,8 г/100 г
2	Укрывистость D	38,6 г/м <sup>2</sup>	
3	Относительная красящая способность	120%,	
4	Эквивалентная красящая способность	83:100	
5	Кислотное число пигмента	$K = 10,6$ мл,	щелочная реакция

Для определения фракционного состава пробу пигмента диспергировали 10 минут в соответствующем количестве воды и этилового спирта в химическом стакане с использованием механической мешалки с относительно небольшой скоростью

перемешивания, после чего пропускали через сито и высушивали при температуре 105°C. Результат измерения представлен в таблице 3.

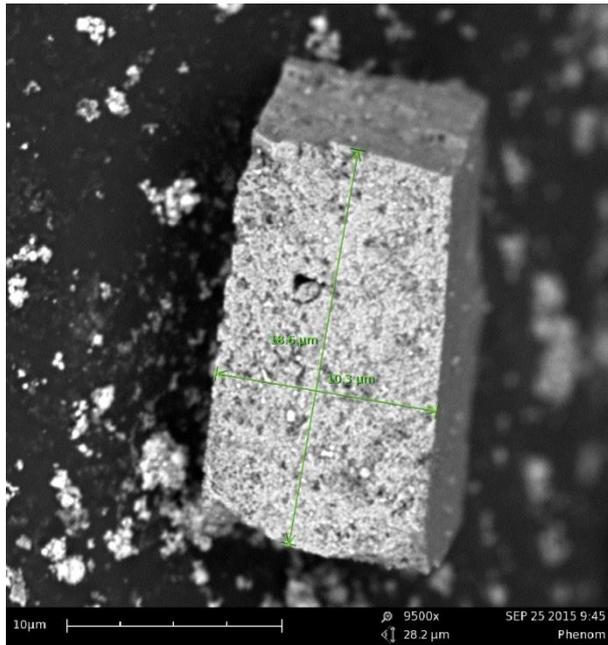
Таблица 3. Фракционный состав пигмента.

Сито, №	Масса сита, г	Масса сита с остатком, г	Масса остатка, г	Содержание фракции, %
45	149,95	156,92	6,97	93,03
50	146,26	149,65	3,39	96,61
63	163,09	164,54	1,45	98,55
100	153,85	154,22	0,37	99,63
160	160,54	160,87	0,33	99,67
200	165,26	165,26	0	100

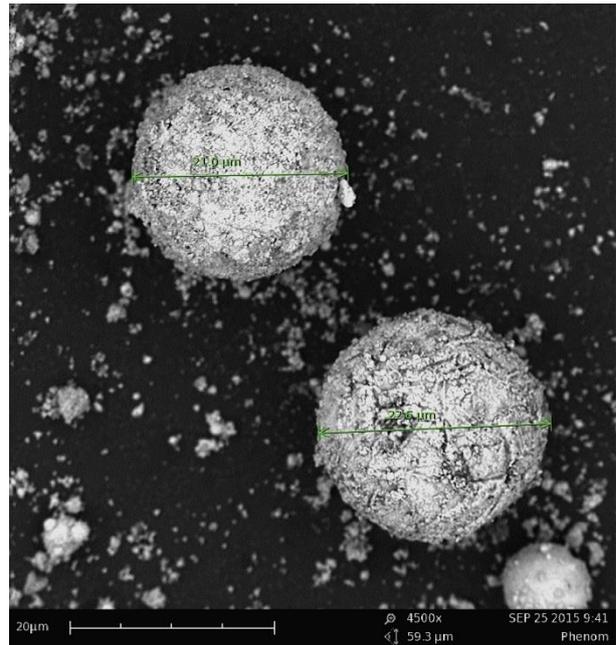
Анализ основной фракции пигмента менее 45 мкм проводили с использованием лазерного анализатора размеров частиц FRITSCH ANALYSETTE 22 MicroTec PLUS. Результаты представленные в таблице 4. Характерной особенностью является тот факт, что основная масса частиц сосредоточена в диапазоне от 2 до 20 мкм, что подтверждает данные таблице 1, свидетельствующие о высокой укрупненности, красящей способности и маслопоглощении. При этом микроструктура пигмента характеризуются наличием частиц двух типов: многогранники и глобулярные структуры, что представлено на рисунке 2.

Таблица 4. Результат анализа размера частиц пигмента.

% объемный	Размер частиц < мкм	Коэффициент вариации
10,0	0,7	1,1
30,0	1,9	3,4
50,0	4,6	6,6
70,0	9,5	5,0
90,0	18,7	2,4
100,0	49,9	4,2



а) увеличение 9500х



б) увеличение 4500х

Рисунок 2. Микроструктура пигмента.

Таким образом, полученные данные указывают на то, пигмент на основе железосодержащих пылевидных отходов металлургического производства устойчив к термическому и световому воздействиям, проявляет стойкость к агрессивным химическим средам, отличается высокой стойкостью к истиранию и выцветанию, обладает глубоким цветом с высокой укрывающей способностью, не токсичен, не растворим в воде.

Такие пигменты могут найти применение для тонирования и окраски резин и резино-технических изделий, бетона и бетонных смесей, клинкерного облицовочного кирпича, полимеров и инженерных пластиков. Для производства художественных масляных и акриловых красок, водоземulsionных красок и грунтовок, грунтов и эмалей.

### Список литературы

1. Беленький Е.Ф., Рискин И.В. Химия и технология пигментов 3-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Госхимиздат, 1960. - 757 с.
2. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Учебное пособие для вузов. - Ленинград: Химия, 1981. – 352 с.
3. Ермилов П.И., Индейкин Е.А., Толмачев И.А. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы. Учебное пособие для вузов. - Ленинград: Химия, 1987. - 200 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АУКСИН-  
ФУЛЛЕРЕНОВЫХ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА**

**Чичварин А.В.\*, Коробов В.А.\*\*, Елина А.С.\*\***

\*\*ФГАОУ ВПО «СТИ НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, [ach82@mail.ru](mailto:ach82@mail.ru)

НИУ БЕЛГУ, г. Белгород, [vikt-korobov@yandex.ru](mailto:vikt-korobov@yandex.ru)

***Аннотация.** рассматривается возможность применения функциональных производных фуллеренов в качестве альтернативных стимуляторов роста и адаптогенов для различных сельскохозяйственных культур. Приведены общие параметры синтеза аддукта фуллерена C60 и индолилмасляной кислоты на основании реализации механизма Прато. Показана эффективность использования синтезированных стимуляторов роста для анализируемых сельскохозяйственных культур. Отмечена возможность применения новых стимуляторов для повышения устойчивости посевов яровой пшеницы к весенней засухе.*

***Ключевые слова:** стимулятор роста, адаптоген, фуллерен, индолилмасляная кислота, пшеница, культивируемые грибы.*

**STUDY OF BIOLOGICAL ACTIVITY FULLERENE GROWTH STIMULANTS**

Alexander V. Chichvarin\*, Viktor A. Korobov\*\*, Anastasia S. Elina\*\*

\*Stary Oskol technological institute MISiS, Stary Oskol, [ach82@mail.ru](mailto:ach82@mail.ru)

\*\*The National Research University "Belgorod State University", Belgorod, [vikt-korobov@yandex.ru](mailto:vikt-korobov@yandex.ru)

***Abstract.** the possibility of using functional fullerene derivatives as alternative growth stimulators and adaptogens to the different crops. Given the general parameters of the synthesis of the adduct of C60 acid and IBA on the basis of the implementation of the mechanism of Prato. The efficiency of the use of synthetic growth stimulants for the analyzed crops. The possibility of the use of new stimulants to enhance the stability of spring wheat plantings for the spring drought.*

***Key words:** growth stimulant, adaptogen, fulleren, indolebutyric acid, wheat, cultivated mushrooms.*

В современных биологических исследованиях большой практический интерес представляют фитогормоны – низкомолекулярные органические вещества,

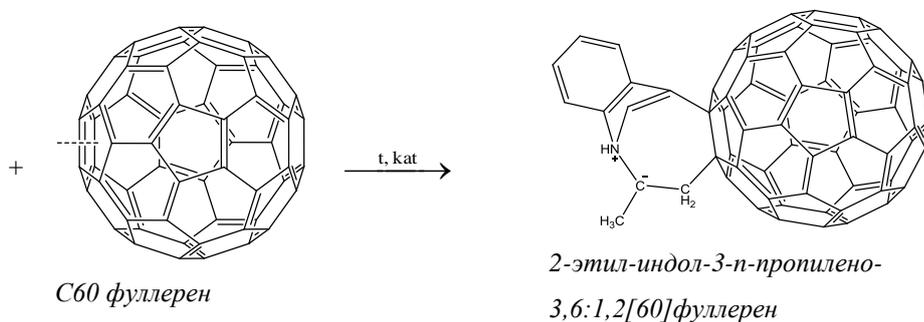
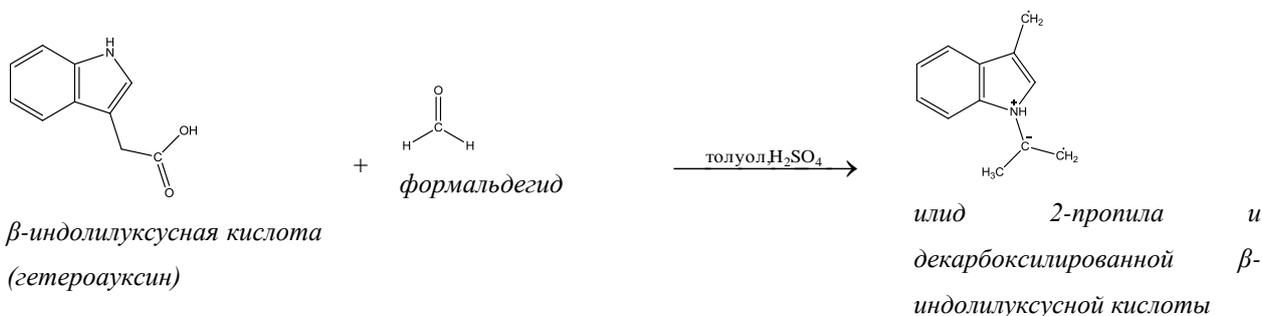
вырабатываемые растениями и имеющие регуляторные функции. К ним относят: абсцизины, ауксины, цитокинины, этиленпродуценты, гиббереллины [1]. Поиск новых препаратов данных классов в свете растущего спроса на высококачественную сельскохозяйственную продукцию является актуальной задачей. Использование углеродных наноматериалов в качестве носителя фитогормонов ауксинного типа, позволяет существенно снизить дозировку последних, что сказывается как на качестве производимой сельскохозяйственной продукции, так и на её конечной стоимости.

В целом пестициды на основе наносоединений углерода фуллеренового ряда для агропромышленного комплекса, предназначенные для регуляции роста сельскохозяйственных культур должны обеспечить:

- повышение качества и расширение ассортимента синтетических фитогормонов;
- повышение спроса на разработки в области инновационных препаратов для агропромышленного комплекса;
- расширение ассортимента рынка препаратов наноструктурного типа для агропромышленного комплекса;

При проведении предварительного эксперимента было отмечено, что многие растения, выращиваемые на водной культуре с применением смесей фуллеренов и синтетических стимуляторов роста, таких как гетероауксин и индолилмасляная кислота (ИМК), обладали повышенным тургором и очевидным, более высоким содержанием хлорофилла в надземной части. Также нельзя было не заметить более интенсивного развития колоний плесневых грибов. На основании этого было сделано предположение о том, что производные фуллеренов и ауксинов должны обладать регулятивными свойствами. Синтез указанного аддукта фуллерена, проводили на основе метода Прато [2, 3]. В качестве исходных реагентов использовали 2-индол-3-масляную кислоту и смесь фуллеренов фракции C50-C92. Реакция проводилась в контролируемых термодинамических условиях на границе раздела фаз используемых при синтезе растворителей – метилбензола и диметилкетона. Об окончании процесса судили по изменению температуры реакционной среды. Полученный продукт представлял собой вязкую жидкость красно-оранжевого цвета с характерным запахом.

Осуществляемый синтез на примере C60 фуллерена может быть представлен в виде схемы:



Получаемый продукт, являясь в целом электронейтральным, представляет собой цвиттер-ион обладающий ограниченной растворимостью в воде и этиловом спирте, что облегчает его использование при микродозировках для регуляции роста.

Для исследования спектральных характеристик полученного аддукта фуллерена использовали метод ИК-Фурье спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Исследование проводили на ИК-Фурье спектрометре NICOLET6700. Выбранный спектральный диапазон составил от 400 до 4000 $\text{см}^{-1}$ . Для регистрации оптических характеристик использовали образцы анализируемого продукта, полученного на алюминиевой подложке путем перекристаллизации в этиловом спирте. ИК спектр поглощения представлен на рисунке 1.

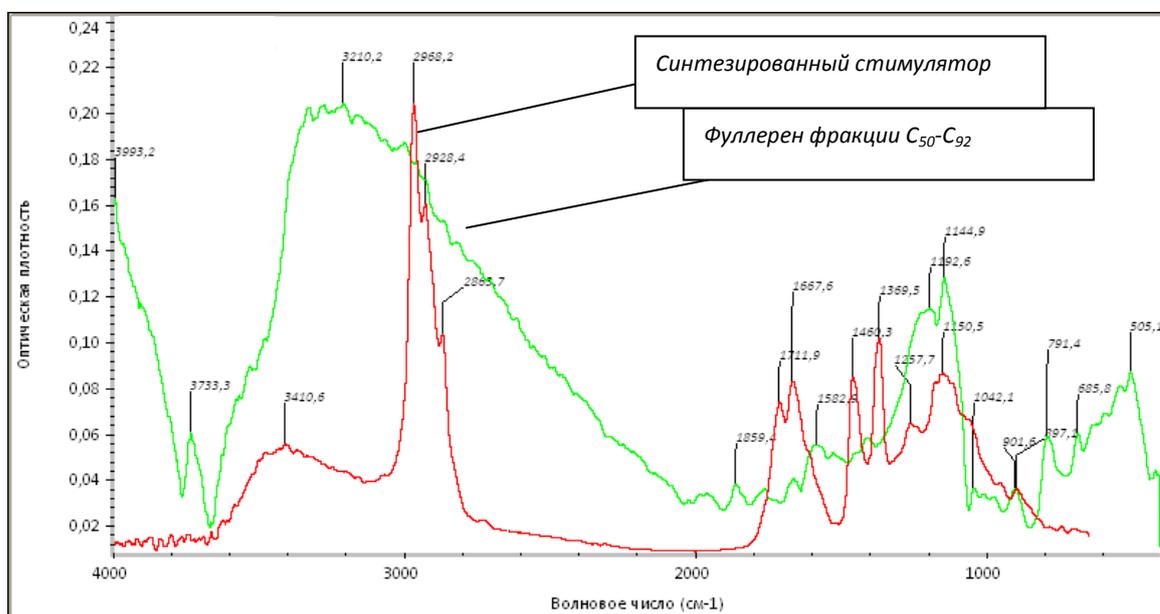
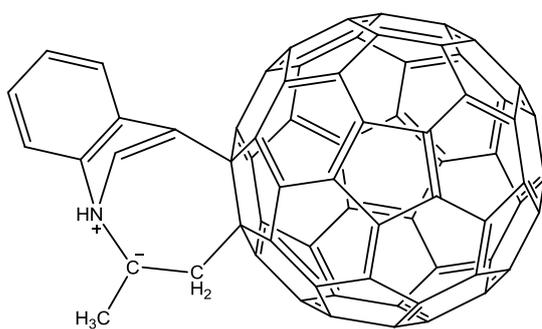
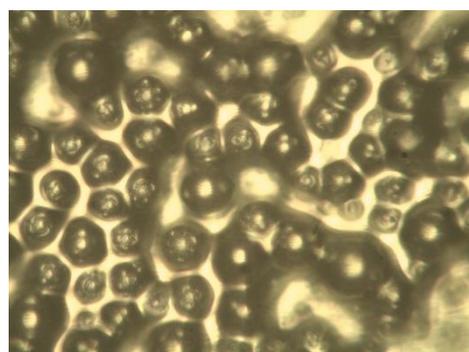


Рисунок 1. Инфра красный спектр синтезированного стимулятора роста.

Снижение интенсивности характерных линий поглощения в области  $1150\text{ см}^{-1}$  и  $1250\text{ см}^{-1}$  и смещение этих пиков относительно спектра фуллерена, а также появление новых пиков в области  $3500$ ,  $2950$ ,  $1670$ ,  $1460$  и  $1730\text{ см}^{-1}$  позволяют утверждать о протекающей химической реакции и предположить на основании реализации в химическом синтезе механизма Прато следующую структуру полученного стимулятора: 2-этил-индол-3-п-пропилено-3,6:1,2[60]фуллерен (рисунок 2 а) [4, 5]. Интересной особенностью синтезированного стимулятора роста является глобулярная структура образца, полученного после перекристаллизации в этиловом спирте, что показано на рисунке 2 б.



а



б

Рисунок 1. Структура синтезированного стимулятора роста: а) химическая структура, б) изображение кристаллической структуры, полученное методом просвечивающей микроскопии при увеличении 250X.

В качестве объекта биологического исследования бала выбрана яровая пшеница твердого сорта «харьковская 39». Посев проводили на чашках Петри. Сравнивали влияние на морфобиологические свойства выбранного сорта пшеницы синтезированным стимулятором роста по отношению к контрольному образцу. Эксперимент по проращиванию семян пшеницы проводили в трех биологических повторностях. Результаты исследования представлены в таблице 1. Полевые испытания синтезированного стимулятора роста проводили в ТОО «Сарыагаш» в Костанайской обл. (Республика Казахстан) на яровой пшеница сорта Омская 35. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1. Результаты лабораторного исследования влияния синтезированного стимулятора на морфологические свойства пшеницы сорта «харьковская 39».

Препарат /концентрация, % масс.	Среднее значение			Масса влажн., мг			Масса сух., мг		
	длина корней, мм	число корней, шт	длина ростка, мм	корни	ростки	общ.	корни	ростки	общ.
контроль	7,6	3,3	57,7	238,3	938,7	1177	37,3	275,4	312,7
ИМК 0,0001%	15,8	4,5	69,9	436,6	1165	1601,6	121,6	367,5	489,1
Стимулятор 0,00001%	14,3	3,6	85,8	258	1023,3	1281,3	80,4	229,3	309,7

Таблица 2. Исследование содержания хлорофилла и пораженности корневой системы в фазе формирования и налива зерна

Варианты	Индекс содержания хлорофилла (CCI)	Пораженность корневой системы на основе выборки (%):			
		Всего поражено из проанализированных растений пшеницы	сильно	средне	слабо
Контроль	518	60	0	60	0
Стимулятор 0,00001%	624	82	29	0	53

Системный анализ полученных данных показывает эффективность синтезированного стимулятора в концентрациях на порядок меньше, чем индолилмасляная кислота. Следует отметить, что синтезированный продукт больше влияет на длину надземной части, чем на массу и размер корневой системы. Это дает основание полагать о повышенной концентрации осмолитиков в тканях растений. Наряду с этим нельзя не отметить тот факт, что в присутствии синтезированного стимулятора оводненность корневой системы минимальна, одновременно с ее значительной длиной.

В целом, анализ данных, представленных в таблице 1 позволяет утверждать, что синтезированный аддукт фуллерена в концентрациях 0,00001% масс. проявляет свойства стимулятора роста ауксинного типа. Очень низкая действующая концентрация анализируемого вещества может быть объяснена тем, что биологическое действие 2-этил-индол-3-п-пропилено-3,6:1,2[60]фуллерена обусловлено ускоренным перемещением остатка ИМК к рецепторам за счёт высокого сродства молекулы фуллерена к биохимическим структурам.

Таким образом, полученные результаты позволяют рекомендовать новый стимулятор роста для дальнейшего исследования с целью последующего промышленного применения, в частности для решения проблемы устойчивости посевов яровой пшеницы к весенней засухе.

### Список литературы

1. Шевелуха В.С. Сельскохозяйственная биотехнология. [Текст] / В.С. Шевелуха, Е.А. Калашникова, Е.З. Кочиева и др.; Под ред. В.С. Шевелухи. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 2008. - 710 с.: илл.
2. M. Maggini, G. Scorrano and M. Prato (1993). «Addition of azomethine ylides to C60: synthesis, characterization, and functionalization of fullerene pyrrolidines». J. Am. Chem. Soc. 115 (21): 9798–9799
3. Трошин П.А. Органическая химия фуллеренов: основные реакции, типы соединений фуллеренов и перспективы их практического использования. [Текст] / П.А. Трошин, Р.Н. Любовская // Успехи химии №4 2008 с. 323-369.

УДК 669.71

### МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

#### METHODS OF IRON WASTE DISPOSAL

Ю. Ю. Булахтин<sup>1,2)</sup>, Chongmin Zhang<sup>1,2)</sup>, В.Н. Пономорев<sup>3)</sup>, В.П. Хайдуков<sup>3)</sup>

- 1) University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, Liaoning, China
- 2) Provincial Key Lab of Chemical metallurgy, Liaoning, China.
- 3) Липецкий Государственный Технический Университет, Липецк, Россия

В зарубежной практике железосодержащие отходы (ЖСО) не используются в аглодоменном цикле, существуют самостоятельные предприятия, которые занимаются утилизацией данных отходов с получением металлизированного продукта, улавливанием обогащённой пыли с повышенным содержанием цинка в процессе металлизации и направлением последней на заводы цветной металлургии [1-6]. Основным способом при этом является металлизация во вращающихся печах (метод Круппа в Европе и метод Кавасаки в Японии) [4-7]. Однако технико-экономический анализ показал, что внедрение данной технологии требует огромных капитальных и энергетических затрат, организации машиностроительных участков для производства оборудования и вряд ли осуществимо сейчас в отечественных условиях.

Фирма Фёст-Альпине предложила способ утилизации конвертерной пыли методом горячего брикетирования с целью увеличения производительности конвертера и улучшения процесса шлакообразования, (рис.1) но этот способ осуществим при сухой очистке конвертерных газов, в то время как более распространён мокрый метод улавливания пыли [7-8].

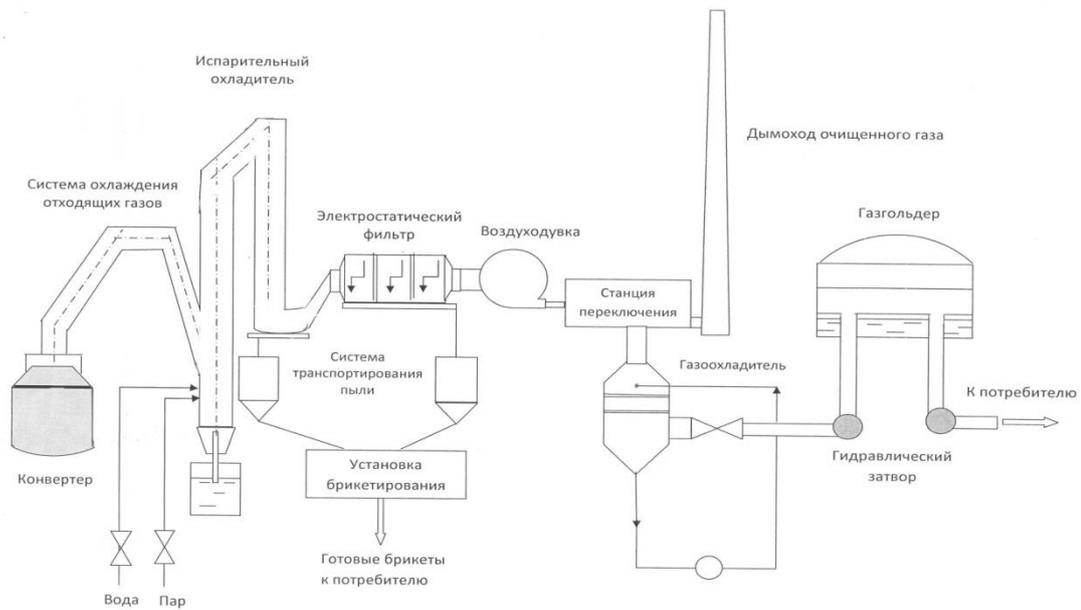


Рисунок 1. Система сухого обеспыливания фирмы «Фёст-Альпине»

В Германии разрабатывается комплексный способ использования ЖСО на металлургических предприятиях с полным циклом (рис.2).

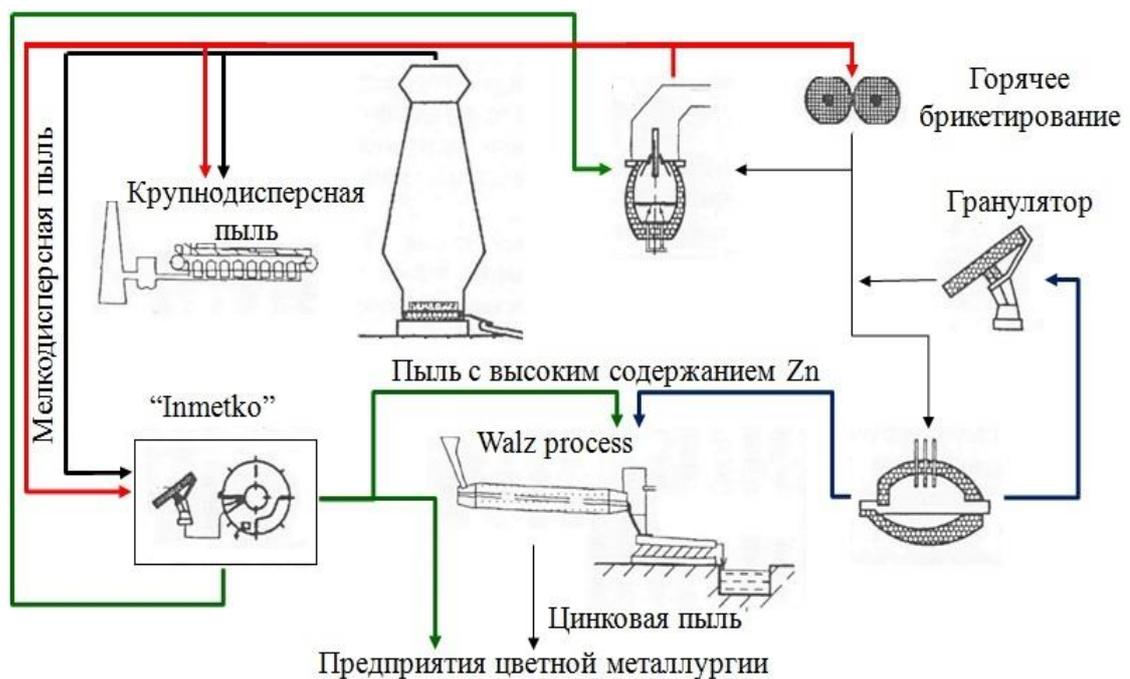


Рисунок 2. Технологическая схема утилизации ЖСО

Технологическая схема, предложенная немецкими металлургами, охватывает три стадии:

- на первой происходит улавливание и разделение пыли доменной печи на мелкодисперсную, и грубозернистую с низкой концентрацией тяжёлых металлов;
- на второй стадии грубозернистую пыль используют в агломерационном производстве, а мелкодисперсную пыль направляют на металлизацию на установку Инметко с получением металлизированных окатышей и пыли, которая затем направляется на переработку в цветную металлургию, возврат и пыль с установки Инметко поступают на Вельц - процесс, а пыль с этой установки с высоким содержанием цинка также поступает в цветную металлургию;

- на третьем этапе уловленная сталеплавильная пыль подогрывается и окусковляется методом горячего брикетирования и направляется в конвертер и электропечь. Пыль электросталеплавильной печи с высоким содержанием цинка направляется на Вельц - процесс.

Схема достаточно сложная требует нового оборудования и в условиях России осуществление её на данном этапе развития металлургии маловероятно.

В настоящее время в России чаще всего ЖСО используются в аглодоменном цикле, что влечёт за собой следующие проблемы:

в аглопрозводстве

- уменьшается содержание железа в агломерате;
- увеличиваются колебания его химического состава;
- снижается производительность агломашины;

в доменном производстве

- возрастает поступление цинка, кадмия, свинца в шихте доменной печи;
- увеличивается расход кокса на восстановление цинка, для условий НЛМК на 11кг/кг восстановленного цинка;
- растёт расход агломерата на тонну чугуна;
- ухудшения стойкости футеровки сокращается межремонтный период 1 разряда для доменных печей.

В доменном процессе наблюдается циркуляция цинка в шахте доменной печи при температуре 400-410 градусов происходит расплавление восстановление цинка опускаясь

ЛГТУ совместно с ОАО «НЛМК» и «Тулачермет» разработали и опробовали в промышленных условиях технологию утилизации ЖСО основных агрегатов металлургического цикла (рис.3). Разработана конструкция малогабаритной высокопроизводительной карусельной машины для спекания под давлением ферритно-

кальциевого материала (ФКМ) с основностью (CaO/ SiO<sub>2</sub>) от 3 до 12, что позволяет получать продукт с добавленной стоимостью и использовать его в качестве интенсификатора шлакообразования и заменителя основных компонентов шихтовых материалов в агрегатах металлургического цикла [7].

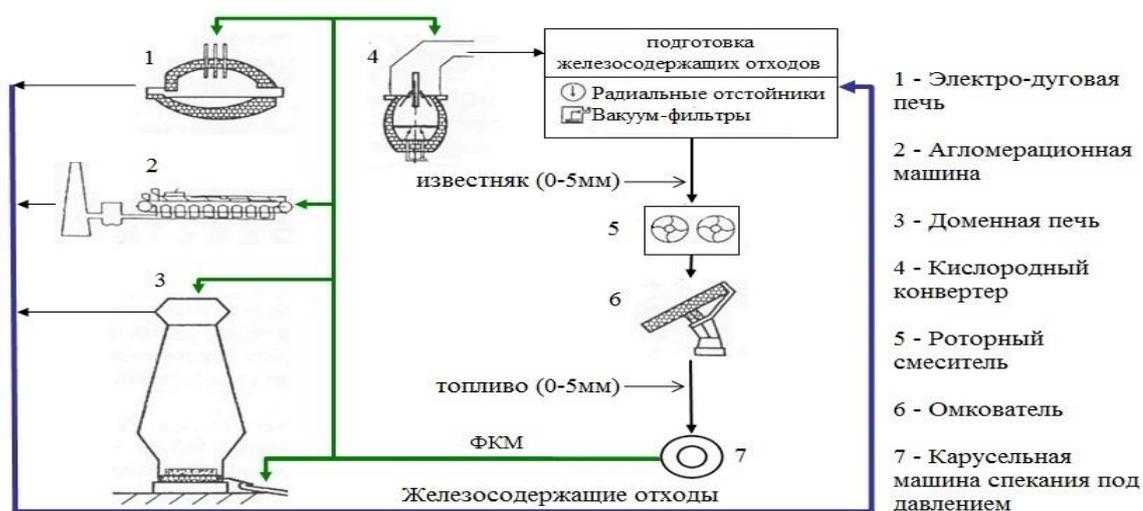


Рисунок 3. Технологическая схема утилизации ЖСО

Отработка технологии спекания проводилась на укрупнённой опытной установке АМД «Тулачермет» в России и полученные результаты работы позволили спроектировать двухкарусельную промышленную машину агломерации под давлением производительностью 160-180 тысяч тонн в год.

Производство ФКМ из ЖСО освоено также на существующих вакуумных промышленных агломашинах площадью 312 м<sup>2</sup> на ОАО НЛМК и АО «Северсталь».

Эффект от использования ФКМ:

в аглопрозводстве

- добавка ФКМ в шихту способствует росту производительности агломашин, увеличению прочности и восстановимости агломерата;

в доменном производстве

- использование ФКМ в доменной печи позволяет поддерживать основность шлака на заданном уровне без увеличения расхода кокса;

в конвертерном производстве

- присадка ФКМ ускоряет процесс шлакообразования в конвертере, уменьшает расход кислорода и сокращает время продувки.

Эффективность использования комплексного флюса в России определена в результате анализа данных полупромышленных и промышленных плавов в 10-т конвертере «Тулачермет», 160 и 300 тонных конвертерах ОАО НЛМК, в 350 тонных конвертерах АО ЧерМК, 100- тонных электропечах ОАО НЛМК и электропечах завода

«Электросталь», а также в 250-тонных мартеновских печах Выксунского металлургического завода и в трёх доменных печах Косогорского металлургического завода при выплавке литейного чугуна и углеродистого ферромарганца. Результаты опытных плавов в вышеперечисленных металлургических агрегатах опубликованы в технической литературе [7; 9-13].

На основании продолжительного опыта работы 160-т и 300-т конвертеров на ОАО НЛМК с применением комплексного флюса определена его эффективность при расходе 25 кг ФКМ на тонну жидкого металла:

- экономия извести в количестве 15 – 25%;
- увеличение выхода годного на 0,3 – 0,8 %;
- полный вывод из шихты плавикового шпата;
- снижение удельного расхода кислорода на 3-5 м<sup>3</sup>/т стали;
- уменьшение выноса пыли на 10 – 15%.

За счёт интенсификации процесса шлакообразования начального периода продувки и процесса стабилизации хода плавки снизилось количество плавов с выбросами, повысилась стойкость продувочных фурм и уменьшилось число случаев заметалливания горловины и кессона конвертера.

При использовании комплексного материала на опытных плавках в 250-т мартеновской печи достигнута следующая экономия:

- извести на 15 – 20 кг/т стали;
- известняка на 10 – 20 кг/т стали;
- мартеновской руды на 20 – 25 кг/т стали (выведена полностью);
- боксита на 15 – 20 кг/т стали (выведен полностью);

На основании анализа работы 100-т электродуговой печи с применением ФКМ получены результаты:

- снижен удельный расход металлозавалки с 1147 до 1137 кг/т стали, в том числе на 11 кг/т ферросплавов;
- уменьшен удельный расход извести на 21 кг/т стали;
- при выплавке трансформаторной стали расход меди уменьшен на 1 кг/т стали;
- удельный расход электроэнергии сократился на 28 кВт·ч/т стали.

Использование в шихте ФКМ в условиях Косогорского металлургического завода позволяет:

- оптимизировать состав железорудной части доменной шихты за счёт использования 70 – 80% неофлюсованных окатышей;
- исключить из состава доменной шихты 290 – 300 кг/т чугуна сырого известняка;

- снизить выход шлака с 336 до 249 кг/т чугуна;
- повысить рудную нагрузку с 1,88 до 2,34 т/т кокса;
- увеличить массовую долю железа в шихте с 60,53 до 62,79 %;
- снизить выход пыли с 20 до 16 кг/т чугуна;
- уменьшить удельный расход влажного кокса с 720 до 667 кг/т чугуна.

При использовании ФКМ в количестве 251 кг/т при выплавке высокоуглеродистого ферромарганца в доменной печи Косогорского метзавода удельный расход сухого кокса снижен на 90 кг/т, металлодобавки на 124 кг/т, полностью выведен сырой известняк и доломит в количестве 144 и 195 кг/т соответственно. Производительность доменной печи увеличилась со 167 до 187 т/сутки ферромарганца [14].

Таким образом разработана и опробована в промышленных условиях рациональная технология рециклинга железосодержащих отходов, позволяющая снизить материальные и энергетические затраты в различных агрегатах металлургического цикла и уменьшить загрязнение окружающей среды.

#### Список литературы

1. Черепанов, К.А. Интеграция природоохранения и ресурсосберегающих технологий в черной металлургии / К.А. Черепанов, В.А. Перетятко, С.М. Абромович // Ресурсосберегающие технологии в металлургии. – М.: №14. – 1999 – с. 12-16
2. Толочко, А.И. Утилизация пылей и шламов черной металлургии / А.И. Толочко, В.И. Славин, Ю.М. Супрун, Р.М. Хайрутдинов // Челябинск: Металлургия. Челябинское отделение. – 1990, – с.152
3. Урбанович, Г.И. Исследование образований цинкитных настывлей в доменных печах НЛМК / Г.И. Урбанович, В.Л. Емельянов, В.И. Медведев // Сб. трудов «Технология выплавки чугуна». М.: 1989, – с.73-75
4. Патент 55-26689 С 22 В 1/10; С 22 В 7/02. Кавасаки сэйтэцу К. К. № 50-78622, заявление 26.06.75, опубл. 15.07.08. Извлечение цинка из металлургической пыли. Такахаси Хироси, Ойяма Дайсука. Япония.
5. Ручкин, И.И. Утилизация цинкосодержащих шламов доменной газоочистки / И.И. Ручкин, А.М. Горелов, Л.И. Башина, И.П. Постовалова // Охрана водоемов и атмосферы от вредных выбросов предприятий черной металлургии. М.: 1987, - с. 29-32
6. Смирнов, Л.А. Разработка комплексной схемы утилизации железосодержащих отходов / Л.А. Смирнов, В.А. Кобелев, В.И. Потапов и др. // Сталь, №1. 2001, с. 89-90
7. Хайдуков, В.П. Теоретические и технологические основы получения комплексных шлакообразующих и их использование в кислородно-конвертерном производстве / В.П. Хайдуков // Диссертация доктора технических наук. Липецк: 1996, с. 469

8. Блатц, Юрген Технологии повторного использования пыли из фильтров и других отходов металлургического производства / Юрген Блатц // Металлургическое производство и технология металлургических процессов, №2. 2005. с. 6-14
9. Хайдуков, В.П. Ресурсосберегающая концепция использования железосодержащих и карбонатных отходов. / В.П. Хайдуков, Э.Д. Бабаев, Р.А. Карпенко, Е.В. Карпенко // Теория и технология производства чугуна и стали. Сборник научных трудов. Липецк: 2000, с. 21-26
10. Хайдуков, В.П. Получение комплексного флюса для кислородно-конвертерного производства. / В.П. Хайдуков, Л.Н. Комолова, Г.А. Соколова и др. // Металлург, 1982, с. 18-19
11. Хайдуков, В.П. Получение высокоосновных агломератов / В.П. Хайдуков, Л.Н. Комолова, М.А. Вайштейнт и др. // Известия вузов ЧМ, 1983, №1, с. 150-151
12. Хайдуков, В.П. Использование кислорода при получении комплексного флюса методом агломерации под давлением / В.П. Хайдуков, А.А. Юрьев, Б.А. Шепель, Е.В. Карпенко // повышение эффективности металлургического производства. Тез. доклад научно-технической конференции: Новокузнецк: 1985, с. 7
13. Патент 2087557 Ферритно-кальциевый флюс и шихта для его получения / В.П. Хайдуков, Э.Д. Бабаев, М.Д. Бабаев // С21С5 5/06. Опубл. БИ, 1997, №23
14. Хайдуков, В.П. Основные особенности спекания марганцовистых комплексных флюсов / В.П. Хайдуков, Н.Д. Полякова, В.Н. Понаморев // Рукопись Деп. в УкрНИИТИ 28.06.1985, № 1148-УК-85

УДК 621.77.01

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 5083В УСЛОВИЯХ СВЕРХВЫСОКИХ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ\***

**SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE DURING ASYMMETRIC SHEET ROLLING OF ALUMINUM ALLOY 5083 UNDER ULTRAHIGH SHEAR STRAIN**

<sup>1</sup>Песин А.М., <sup>2</sup>Пустовойтов Д.О., <sup>3</sup>Вафин Р.К.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,

Россия, г. Магнитогорск, 1 - [pesin@bk.ru](mailto:pesin@bk.ru), 2 - [pustovoitov\\_den@mail.ru](mailto:pustovoitov_den@mail.ru), 3 - [vafinrk@mail.ru](mailto:vafinrk@mail.ru)

**Аннотация.** В работе на основе моделирования МКЭ выполнен анализ НДС металла при холодной асимметричной тонколистовой прокатке алюминиевого сплава 5083 в условиях сверхвысоких сдвиговых деформаций. Показано, что при создании большой

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10030)

*кинематической асимметрии деформация по толщине полосы становится равномерной, а гидростатическое напряжение в очаге и сила прокатки снижаются в несколько раз.*

***Abstract.** This paper presents the FEM analysis of the stress-strain state of metal during cold asymmetric sheet rolling of aluminum alloy 5083 under ultrahigh shear strain. It is shown that strain distribution through sheet thickness becomes uniform due to creating of large kinematic asymmetry. The hydrostatic stress in the plastic zone and the rolling force are reduced in several times.*

**Ключевые слова:** метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние; асимметричная прокатка; сдвиговая деформация; алюминиевый сплав.

**Keywords:** FEM; stress-strain state; asymmetric rolling; shear strain; aluminum alloy.

### **Введение**

Термически не упрочняемые алюминиевые сплавы серии 5xxx (Al-Mg-Mn) являются одними из наиболее привлекательных для морского и транспортного машиностроения, а также для химической промышленности. Эффективным способом повышения прочности таких сплавов является обработка их методом интенсивной пластической деформации (ИПД). Перспективным методом ИПД является процесс асимметричной прокатки [1-6]. Это связано с тем, что данный процесс позволяет создавать в материале ультрамелкозернистую (УМЗ) структуру за счет сверхвысоких сдвиговых деформаций (угол сдвига слоев металла  $45^\circ \dots 85^\circ$ ) при одновременно высоких деформациях сжатия. Согласно новому подходу [7-10] целенаправленно создаваемая большая асимметрия процесса достигается за счет рассогласования окружных скоростей валков  $V_1$  и  $V_2$  при соотношении  $V_1/V_2 \geq 2$ . При этом прокатку осуществляют в условиях высокого контактного трения ( $\mu = 0,3 \dots 0,4$ ) с высокой единичной степенью деформации ( $\varepsilon \geq 50\%$ ). Процессу асимметричной прокатки как методу ИПД посвящено достаточно большое количество экспериментальных работ [1-6]. Однако малоизученным является вопрос механики течения металла в асимметричном очаге деформации.

Целью данной работы является численное моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) металла при холодной асимметричной тонколистовой прокатке алюминиевого сплава Al 5083 в условиях сверхвысоких сдвиговых деформаций.

### **Материалы и метод исследования**

Численное моделирование процесса асимметричной тонколистовой прокатки алюминиевого сплава Al 5083 ( $\sigma_{то} = 330$  МПа) проводили методом конечных элементов с

использованием программного комплекса DEFORM 2D. При моделировании были приняты следующие допущения: 1) плоско-деформированное состояние металла; 2) деформируемая среда – упрочняющаяся жесткопластическая; 3) рабочие валки – абсолютно жесткие; 4) закон контактного трения – Кулона; 5) условия деформирования – изотермические. Исходные данные для моделирования: 1) начальная толщина полосы  $h_0 = 2,0$  мм; 2) начальная длина полосы 50 мм; 3) температура деформируемого металла  $20$  °C; 4) радиус валков  $R=100$  мм; 5) коэффициент контактного трения  $\mu = 0,4$ ; 6) степень деформации  $\varepsilon = 50\%$ ; 7) окружная скорость нижнего валка  $V_1 = 1000$  мм/сек.; 8) окружная скорость верхнего валка  $V_2 = 500$  мм/сек.; 9) кривая текучести алюминиевого сплава Al 5083 – из базы материалов DEFORM 2D. Прокатку проводили за один проход без натяжений. Для деформируемой полосы задавали сетку конечных элементов с 2000 четырехугольных элементов. Анализ напряженно-деформированного состояния металла при асимметричной прокатке проводили сравнением с симметричным случаем деформирования при  $V_1 = V_2 = 1000$  мм/сек.

### Результаты моделирования и их обсуждение

После симметричной прокатки деформация металла распределена неравномерно по толщине полосы и возрастает от 0,7 в центре до 1,12 на поверхности (рис. 1, а).

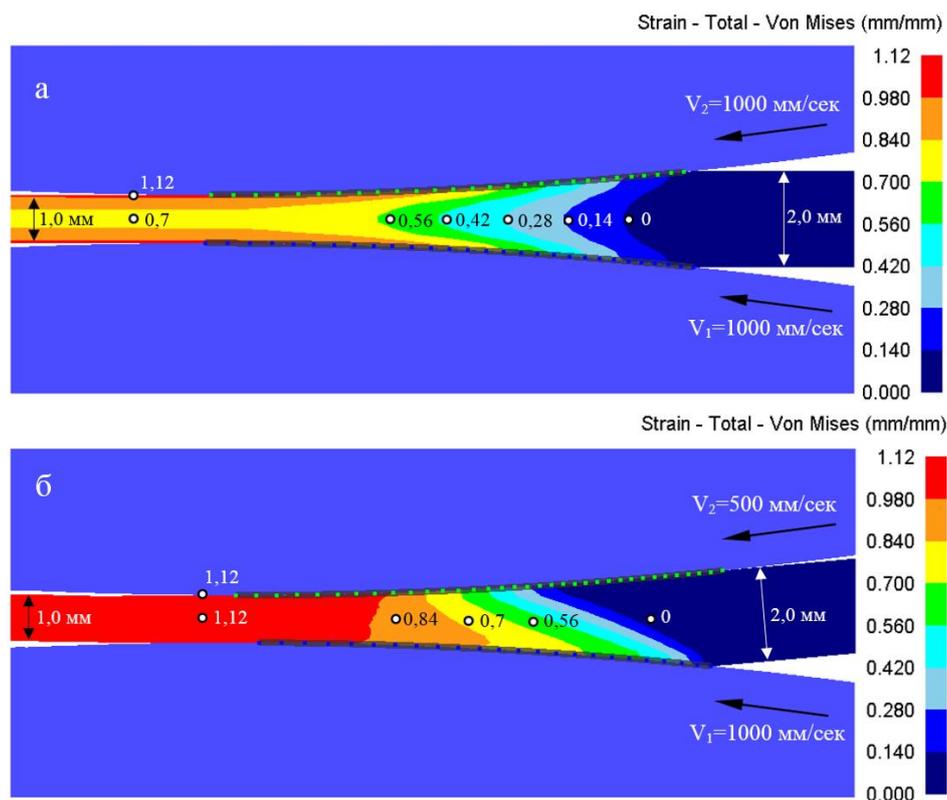


Рис. 1. Поле деформаций при симметричной (а) и асимметричной (б) прокатке

При асимметричной прокатке в деформируемом металле за счет создания дополнительных сдвиговых деформаций обеспечивается равномерная проработка всей толщины. Деформация и в центре и на поверхности полосы одинакова и составляет 1,12 (рис. 1, б). Сдвиговая деформация характеризуется углом сдвига  $\varphi$  слоев металла (рис. 2), который для данных параметров асимметричного процесса составил  $74^\circ$  (рис. 2, б). Это значительно больше, чем, например, за один цикл обработки методом РКУП, где  $\varphi = 45^\circ$ .

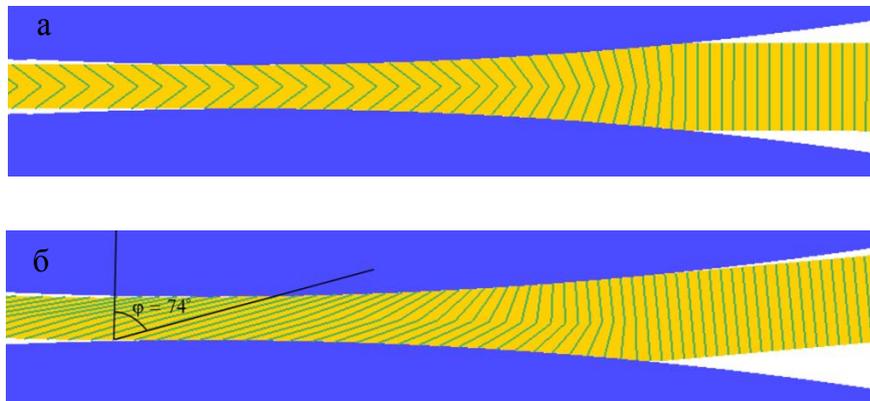


Рис. 2. Линии Лагранжа при симметричной (а) и асимметричной (б) прокатке полосы

При прокатке вдоль очага деформации (по оси X) на контактной поверхности в зонах отставания и опережения действуют внешние силы  $F_x^{от}$  и  $F_x^{оп}$ , представляющие собой сумму горизонтальных проекций сил трения и давления валков. При симметричной прокатке направление действия этих сил со стороны верхнего и нижнего валков одинаково (рис. 3). В асимметричном очаге деформации на контакте с верхним валком реализуется только зона опережения, а на контакте с нижним – только зона отставания, т.е. силы  $F_x^{от}$  и  $F_x^{оп}$  становятся противоположно направленными (рис. 4).

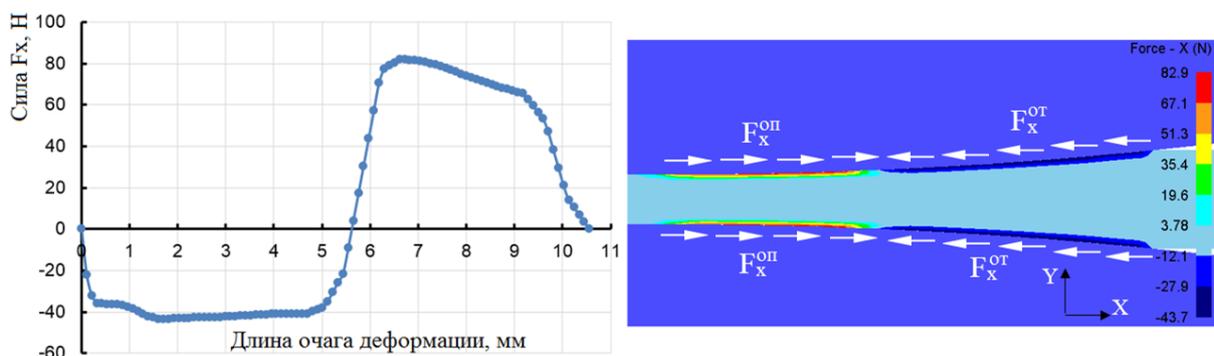


Рис. 3. Распределение сил  $F_x^{от}$  и  $F_x^{оп}$  по длине симметричного очага деформации

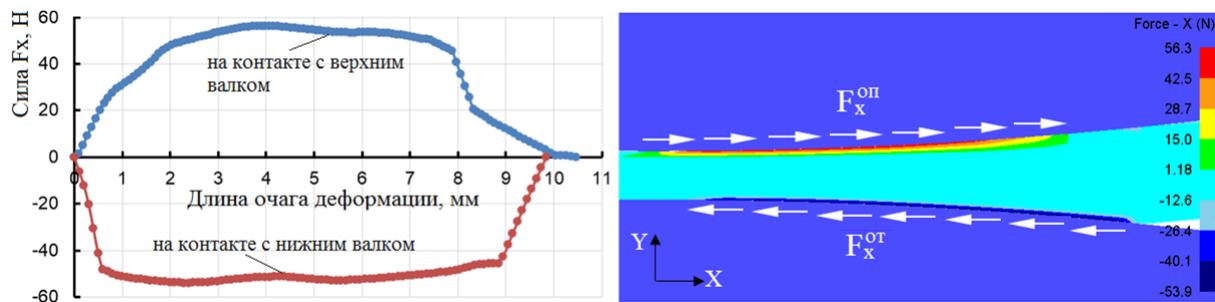


Рис. 4. Распределение сил  $F_x^{от}$  и  $F_x^{оп}$  по длине асимметричного очага деформации

Противоположно направленные силы  $F_x^{от}$  и  $F_x^{оп}$ , действующие на полосу одновременно со стороны верхнего и нижнего валков, позволяют создавать в материалесверхвысокие сдвиговые деформации (с углом сдвига  $45^\circ \dots 85^\circ$ ), равномерно распределенные по толщине полосы. При этом существенно меняется эпюра распределения контактных нормальных напряжений по длине очага деформации (рис. 5, а), что приводит к снижению силы прокатки более чем в 2 раза с 8500 Н до 4000 Н (рис. 5, б) на 1 мм ширины прокатываемой полосы.

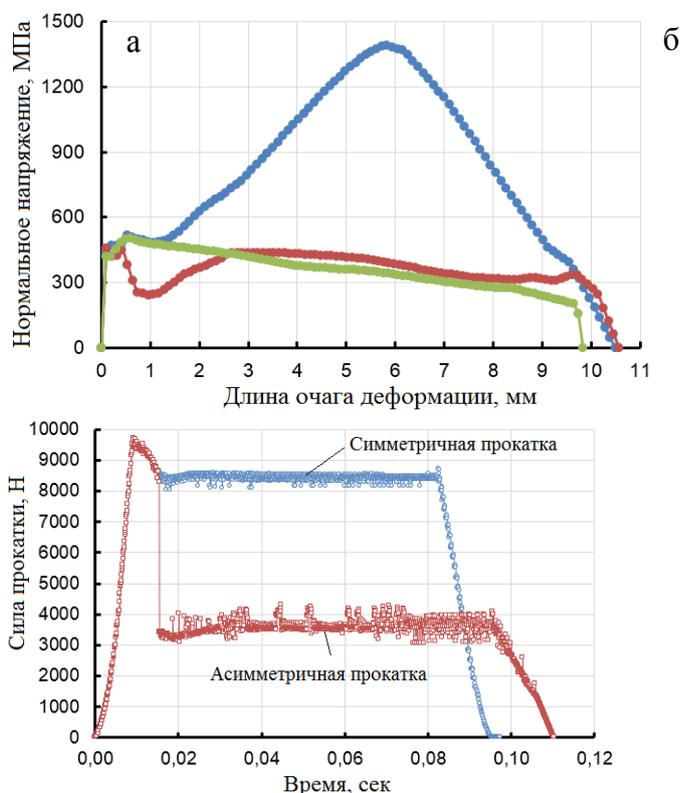


Рис. 5. Распределение контактных нормальных напряжений (а) и сила прокатки (б)

Несмотря на то, что степень деформации большая ( $\varepsilon = 50\%$ ), а коэффициент контактного трения высокий ( $\mu = 0,4$ ) пластичность материала при асимметричной прокатке не уменьшается, а, наоборот, повышается. Это связано с особенностями НДС алюминиевого сплава Al 5083. Известно, что на пластичность материала оказывает влияние величина и знак среднего (гидростатического) напряжения – чем ниже

среднеенапряжение, тем выше пластичность. В результате расчета установлено, что при асимметричной прокатке сплава Al 5083 металл находится в условиях всестороннего сжатия, при этом в сравнении с симметричным случаем прокатки максимальное гидростатическое напряжений очаге деформации снижается в 3,4 раза с -1340 МПа до -392 МПа (рис. 6).

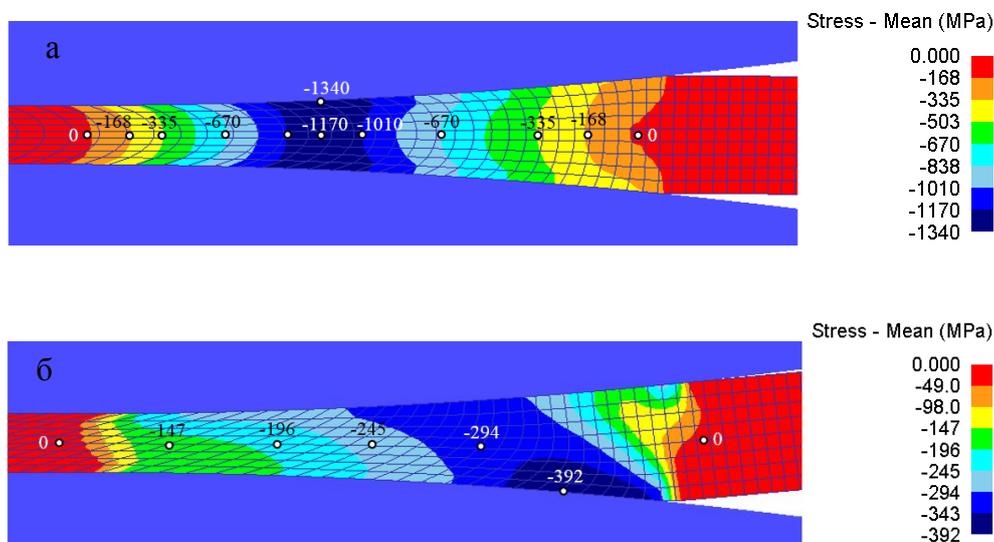


Рис. 6. Поле средних напряжений при симметричной (а) и асимметричной (б) прокатке

### Выводы

1. Выполнено конечно-элементное моделирование процесса асимметричной прокатки алюминиевого сплава Al 5083 со сверхвысокими сдвиговыми деформациями. Показано, что деформация (по Мизесу) является равномерно распределенной по толщине полосы и составляет 1,12 и для центра и поверхности (при  $\varepsilon = 50\%$ ).

2. Целенаправленно создаваемая большая кинематическая асимметрия очага деформации приводит к кардинальному изменению эпюры распределения нормальных напряжений на контакте рабочих валков и полосы, а также существенно влияет на силовые параметры процесса. Максимальное нормальное напряжение снижается в 2,7 раза с 1392 МПа до 503 МПа, а сила прокатки снижается более чем в 2 раза с 8500 Н до 4000 Н в сравнении с симметричными условиями деформирования.

3. Пластичность сплава Al 5083 при асимметричной прокатке существенно возрастает, что связано с особенностями НДС металла, который находится в условиях всестороннего сжатия и сверхвысоких сдвиговых деформаций. В сравнении с симметричным случаем прокатки максимальное гидростатическое напряжений в асимметричном очаге снижается в 3,4 раза с -1340 МПа до -392 МПа.

4. Результаты исследования могут быть полезны при разработке оптимальных режимов асимметричной прокатки алюминиевых сплавов для получения УМЗ структуры и повышенных прочностных свойств.

#### Список литературы

- [1] Ji Y.H., Park J.J. Development of severe plastic deformation by various asymmetric rolling processes // *Materials Science and Engineering: A*. Vol. 499. 2009. P. 14-17
- [2] J. Jiang, Yi Ding, F. Zuo, A. Shan. Mechanical properties and microstructures of ultrafine-grained pure aluminum by asymmetric rolling // *Scripta Materialia*. Vol. 60. 2009. P. 905-908
- [3] Lorentz, Young Gun Ko. Microstructure evolution and mechanical properties of severely deformed Al alloy processed by differential speed rolling // *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 536S. 2012. P. S122-S125
- [4] Cui Q, Ohori K. Grain refinement of high purity aluminum by asymmetric rolling // *Materials Science and Technology*. 2000. Vol. 16. P. 1095-1101
- [5] Zuo F., Jiang J., Shan A. Shear deformation and grain refinement in pure Al by asymmetric rolling // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. Vol. 18. 2008. P. 774-777
- [6] Bobor K. et al. Microstructure and mechanical properties of Al 7075 alloy processed by differential speed rolling // *Mechanical Engineering*. Vol. 56. 2012. P. 111-115
- [7] Pesin A., Pustovoytov D. Influence of process parameters on distribution of shear strain through sheet thickness in asymmetric rolling // *Key Engineering Materials*. Vol. 622-623. 2014. P. 929-935
- [8] Pesin A., Pustovoytov D., Korchunov A., Wang K., Tang D., Mi Z. Finite element simulation of shear strain in various asymmetric cold rolling processes // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. № 4 (48). С. 32-40
- [9] Патент № 2542212 РФ, МПК В21В 1/28. Способ производства холоднокатаной полосы / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов. Заявл. 06.11.2013; опубл. 20.02.2015; Бюл. №5
- [10] Sverdlik M., Pesin A., Pustovoytov D., Perekhozhikh A. Numerical research of shear strain in an extreme case of asymmetric rolling // *Advanced Materials Research*. 2013. T. 742. С. 476-481

## О ВЛИЯНИИ ФУЛЛЕРЕНОВ НА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАУЧУКОВ

Чичварин А.В.\*, Смирнов А.Н.\*, Крахт Л.Н.\*, Игуменова Т.И.\*\*

\*ФГАОУ ВПО «СТИ НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, [ach82@mail.ru](mailto:ach82@mail.ru)

\*\*ФГБОУ ВО "ВГУИТ", г. Воронеж, [igumti8@rambler.ru](mailto:igumti8@rambler.ru)

*Аннотация.* В статье представлены результаты эксперимента по исследованию молекулярно-массовых характеристик каучуков, содержащих фуллерены фракции C50-C92. Проведенный анализ ММР данных каучуков во всем исследованном диапазоне позволил установить влияние фуллеренов, а также модификатора на основе фуллеренов, на ММР и вывести обобщенную зависимость.

*Ключевые слова:* наноматериалы, фуллерен, каучук, молекулярно-массовое распределение.

## INFLUENCE FULLERENES ON TRIBOLOGICAL AND DYNAMIC QUALITY- LUBRICATED BEARINGS

A.V. Chichvarin\*, A.N. Smirnov\*, L.N. Kracht\*, T.I. Igumenova\*\*

\*Stary Oskol technological institute MISiS, Stary Oskol, [ach82@mail.ru](mailto:ach82@mail.ru)

\*\*FSBEI HE "VSUET", Voronezh, [igumti8@rambler.ru](mailto:igumti8@rambler.ru)

*Abstract.* The article presents the results of an experiment to study the molecular-mass characteristics of rubbers containing fullerenes C50-C92 fraction. The analysis of MMC data rubbers in the entire range allowed to establish the effect of fullerenes and fullerene-based modifier on MMC and display a generic relationship.

*Key words:* nanomaterials, fullerenes, natural rubber, the molecular weight distribution.

Одной из важнейших задач в области полимерного материаловедения является поиск путей получения полимерных композиционных материалов с заданным комплексом свойств. Свойства полимерных материалов можно в достаточно широких пределах изменять, получая без затрат на синтез, новые продукты, используя пластификаторы, модификаторы, растворители, а также смеси олигомеров, полимеров и олигомер - полимерные системы[1,2].

Практически все полимеры за редким исключением содержат макромолекулы разной молекулярной массы. Это специфическое свойство полимеров называется

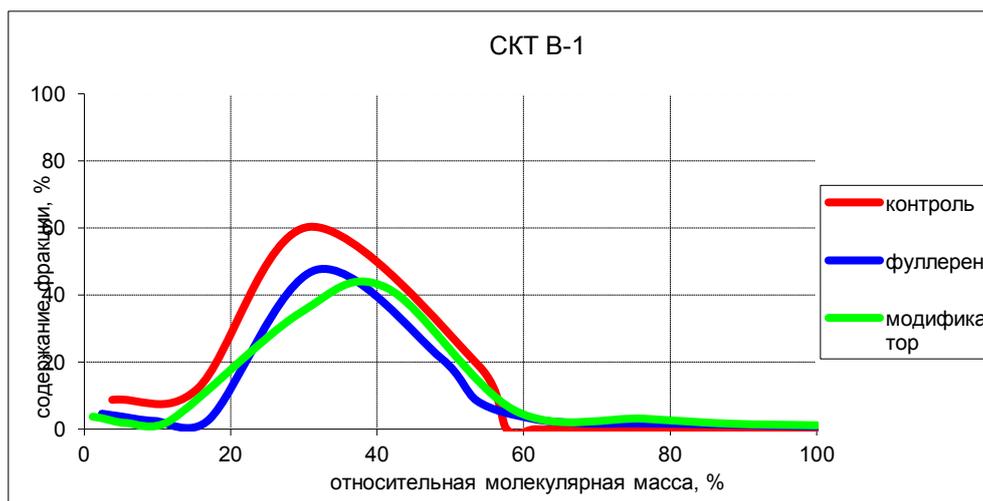
полидисперсностью, а макромолекулы одного химического состава, но разной молекулярной массы называются полимергомологами. Основными молекулярно-массовыми характеристиками полидисперсных полимеров являются средние молекулярные массы (ММ), функции молекулярно-массового распределения (ММР) и кривые распределения, соответствующие этим функциям[3,4].

Главной задачей данного исследования было выявление влияния фуллеренов на разные виды каучуков, а именно влияния на молекулярно-массовые характеристики (ММР).

В качестве объектов исследования были выбраны каучуки следующих марок: СКТ В-1, СКД, СКЭПТ, БК 167, ББК 752, ХБК 139, БСК, СКИ и натуральный каучук. Каждый из каучуков был разделен на три равные части по 0,2500-0,3000 г.: контрольный образец ( I ), каучук со смесью фракции фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$  ( II ), каучук с модификатором на основе фуллеренов фракции  $C_{50}-C_{92}$  ( III ).

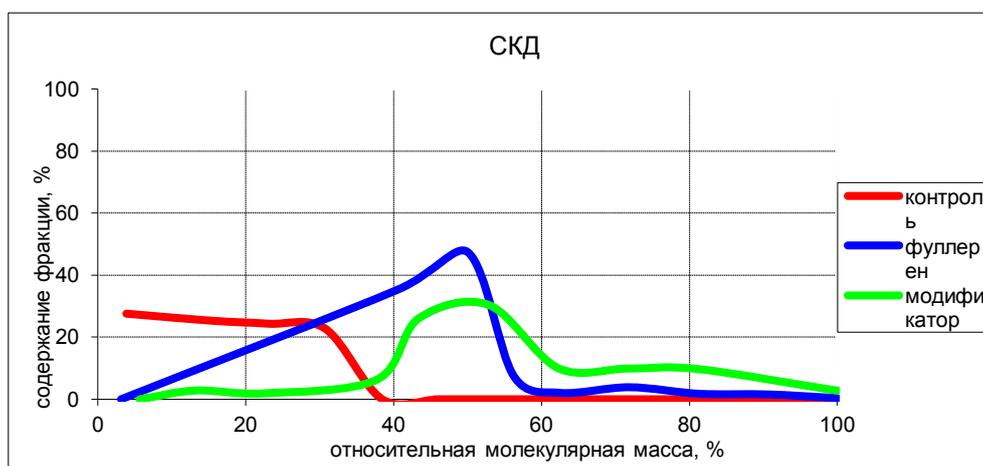
Образцы были растворены в 100 мл метилбензола. Следующим этапом было дробное переосаждение, в качестве переосадителя выступал этанол  $C_2H_5OH$ .

В результате опыта были получены следующие кривые молекулярно-массовых распределений образцов полимеров, представленные на рисунке 1-9.



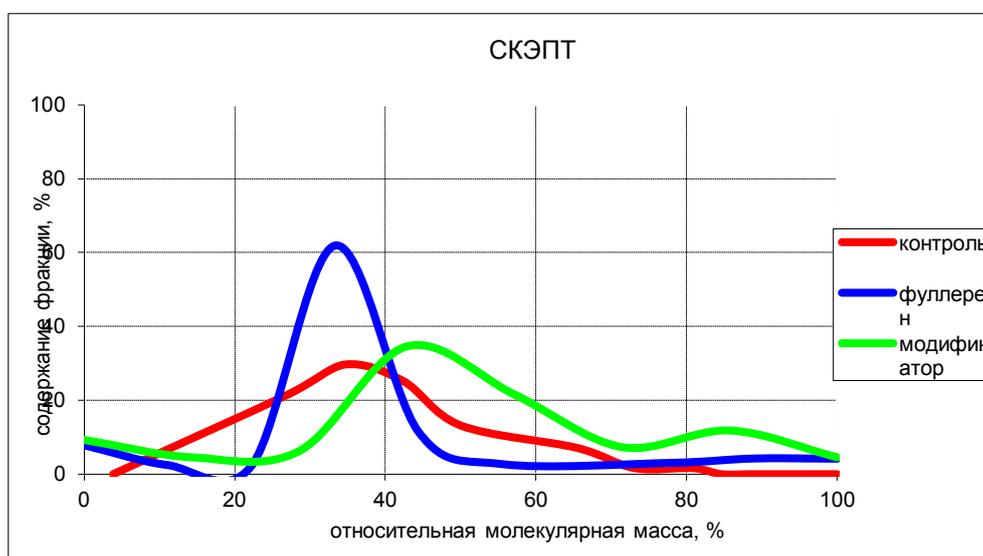
**Рис.1 Молекулярно-массовое распределение каучука СКТ В-1**

Как видно из рис.1, использование чистой смеси фуллеренов фракции  $C_{50}-C_{92}$  не приводит к значительному изменению распределения молекулярного веса, в тот момент, когда использовании модификатора на основе фуллеренов фракции  $C_{50}-C_{92}$  позволяет сместить ММР в сторону среднего молекулярного веса.



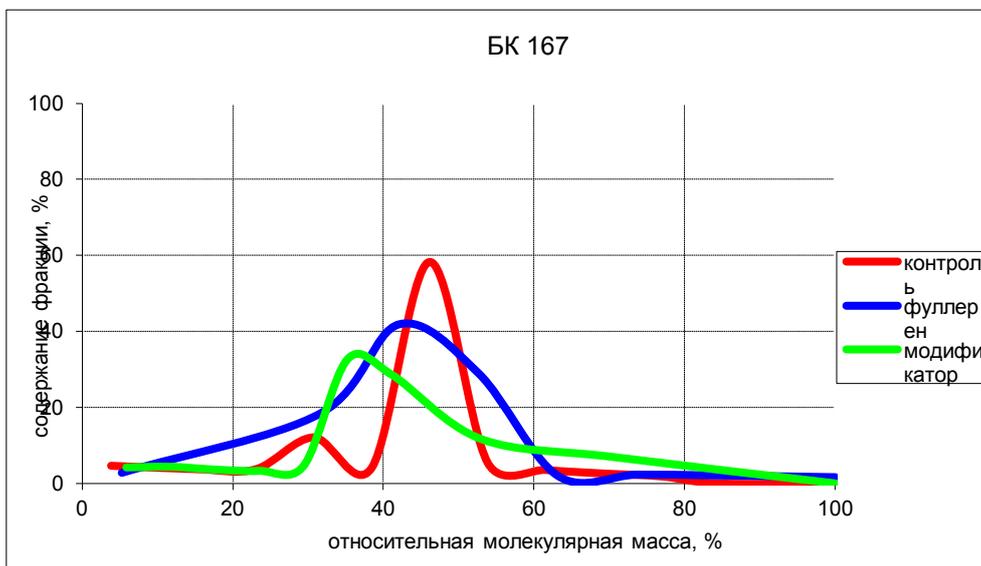
**Рис.2 Молекулярно-массовое распределение каучука СКД**

На рис.2 наблюдается значительное влияние смеси фуллеренов  $C_{50}$ - $C_{92}$  на ММР, это позволило сместить распределение масс от низкого молекулярного веса в сторону средних значений, а использование модификатора также позволило сузить интервал значений степени полимеризации.



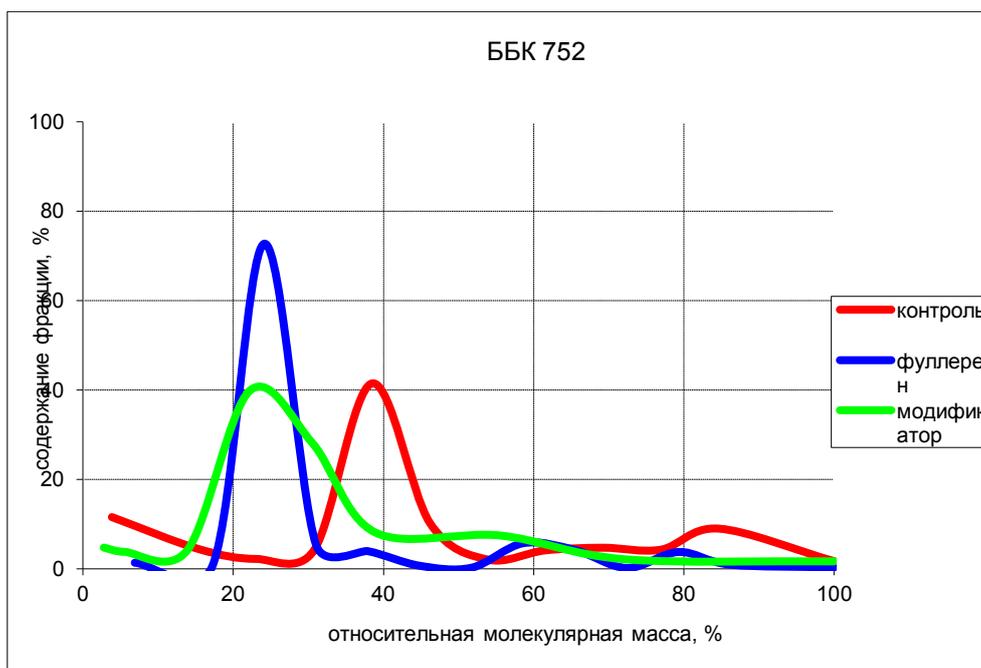
**Рис.3 Молекулярно-массовое распределение каучука СКЭПТ**

На рис.3 наблюдается узкий интервал значений степени полимеризации при использовании смеси фуллеренов  $C_{50}$ - $C_{92}$ , в отличие от контрольного образца, который характеризуется широким разбросом значений молекулярной массы. Что касается образца с использованием модификатора, тут можно наблюдать бимодальное распределение молекулярных масс, а также смещение в сторону высокого молекулярного веса.



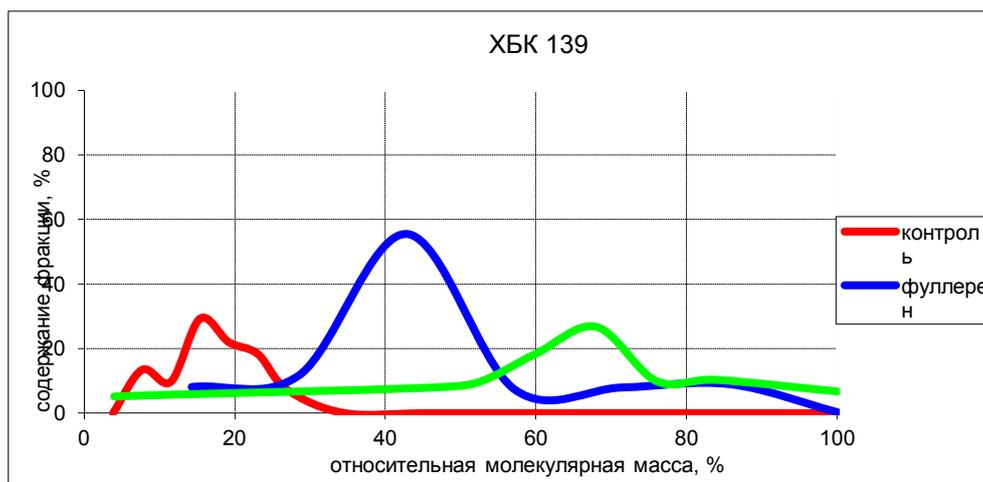
**Рис.4 Молекулярно-массовое распределение каучука БК 167**

Использование смеси фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$  привело к тому, что кривая ММР на рис.4 характеризуется широким разбросом значений молекулярной массы, когда контрольный образец показывает узкий интервал значений, но при этом можно наблюдать небольшое выделение молекулярной массы на начальном этапе, поэтому контрольный образец можно охарактеризовать как бимодальный. При использовании модификатора распределение масс имеет более узкое значение, при сравнении образца с фракцией фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$ , а также наблюдается смещение в сторону низкого молекулярного веса.



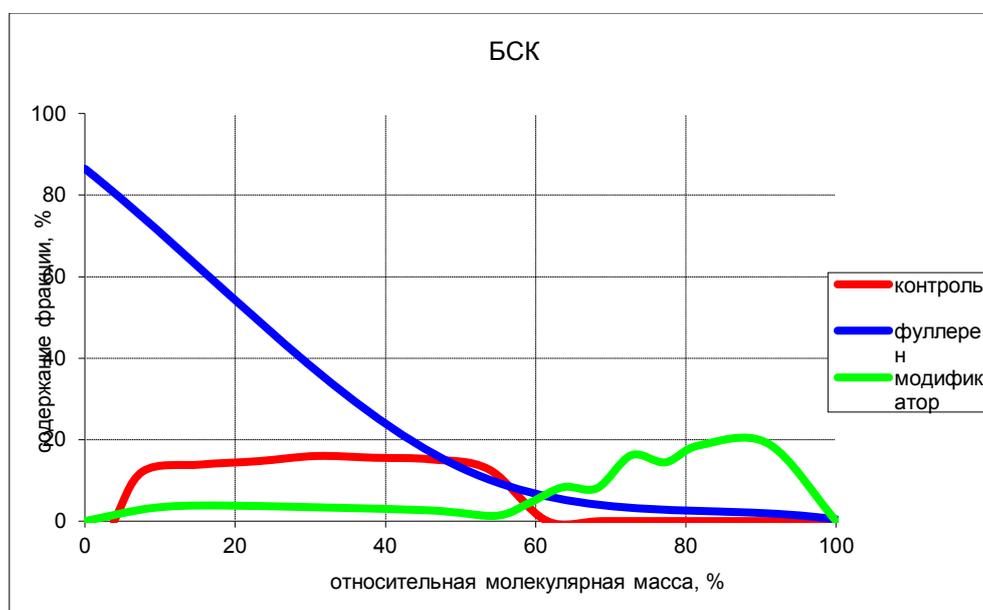
**Рис.5 Молекулярно-массовое распределение каучука ББК 752**

Как видно на рис.5 использование смеси фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$ , а также модификатора приводит к смещению кривых ММР в сторону низкого молекулярного веса, но при этом смесь фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$  характеризуется узким интервалом значений степени полимеризации.



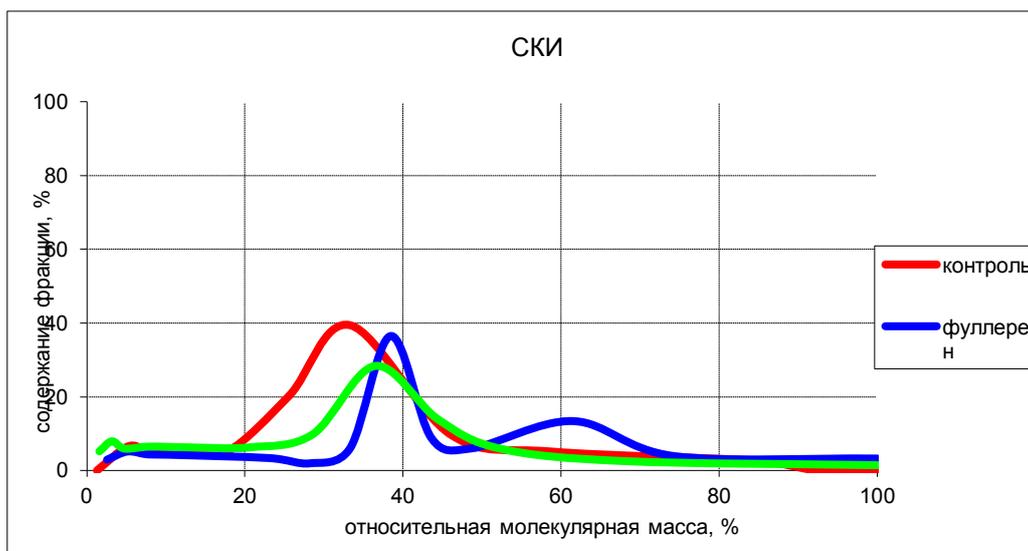
**Рис.6 Молекулярно-массовое распределение каучука ХБК 139**

Кривая ММР контрольного образца на рис.6 имеет бимодальное распределение значений степени полимеризации и низкое значение молекулярного веса. Использование смеси фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$  приводит к смещению кривой в сторону среднего молекулярного веса, а также к сужению разброса значений. Модификатор приводит к смещению кривой в сторону высокого молекулярного веса, но при этом имеет небольшой разброс по значениям степени полимеризации.



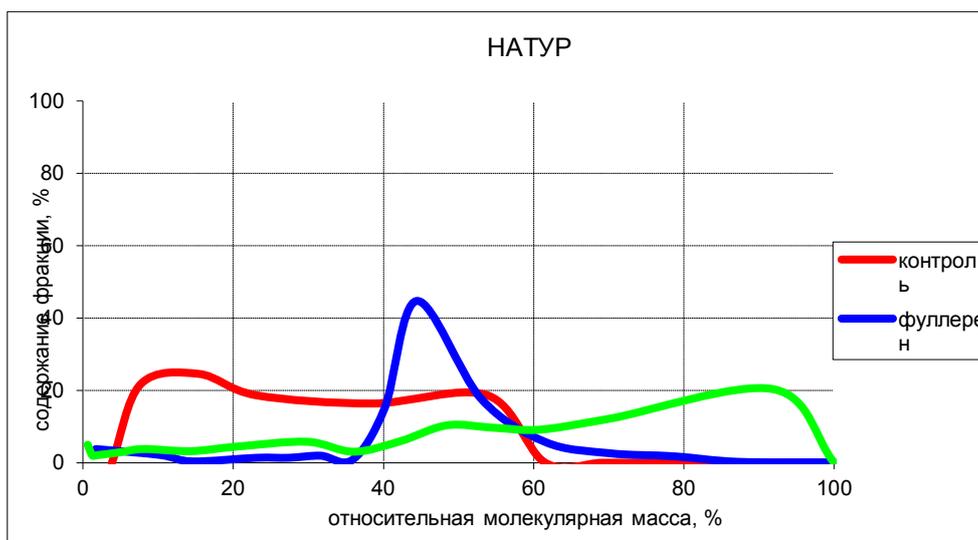
**Рис.7 Молекулярно-массовое распределение каучука БСК**

Из рис. 7 видно, что контрольный образец имеет широкий разброс значений молекулярных масс и характеризуется низким молекулярным весом. Использование модификатора приводит к смещению кривой ММР в сторону значений высокого молекулярного веса и к сужению разброса значений степени полимеризации.



**Рис.8 Молекулярно-массовое распределение каучука СКИ**

Как видно из рис. 8 смесь фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$  и модификатор приводят к небольшому смещению пика значений распределения молекулярных масс в сторону среднего молекулярного веса.



**Рис.9 Молекулярно-массовое распределение натурального каучука**

На рис. 9 контрольный образец характеризуется широким спектром разброса значений молекулярных масс, а также низким молекулярным весом. Использование смеси фуллеренов  $C_{50}-C_{92}$  приводит к узкому разбросу значений степени полимеризации и

среднему значению молекулярного веса. В тот момент, когда модификатор характеризуется высоким молекулярным весом и большее узким разбросом значений молекулярной массы, в сравнении с контрольным образцом.

Обобщая полученные данные опыта можно выявить закономерности, а именно:

- Использование фуллеренов фракции  $C_{50}$ - $C_{92}$  приводит к сужению разброса молекулярных масс;
- Чистая смесь фуллеренов плохо взаимодействует с макромолекулами каучуков, что сподвигает к синтезу модификатора на основе смеси фуллеренов  $C_{50}$ - $C_{92}$ ;
- Использование модификатора на основе смеси фуллеренов фракции  $C_{50}$ - $C_{92}$  характеризуется смещением пика молекулярного веса в сторону высоких значений, а также к сужению интервала значений степени полимеризации.

Проведенный анализ ММР данных каучуков во всем исследованном диапазоне позволил установить влияние фуллеренов, а также модификатора на основе фуллеренов, на ММР и вывести обобщенную зависимость. Это позволит направленно регулировать свойства полимерных композиций на основе данных каучуков и управлять технологическими процессами.

#### Список литературы

1. Кулезнев, В. Н. Смеси полимеров / В. Н. Кулезнев. – М. : Химия, 1980. – 286 с.
2. Тенфорд Ч. Физическая химия полимеров. М.: Химия, 1965. 772 с.
3. Рафиков С.Р., Будтов В.П., Монаков Ю.Б. Введение в физико-химию растворов полимеров. М.: Наука, 1978. 328 с.
4. Грасси Н., Скотт Дж. Деструкция и стабилизация полимеров. М.: Мир, 1988

**О ВЛИЯНИИ ФУЛЛЕРЕНОВ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ  
КАЧЕСТВА СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

**Корнаев А.В.\*, Смирнов В.П.\*\*, Чичварин А.В.\*\*\***

\*ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», г. Орел, rusakor@inbox.ru

\*\*ООО НПО «БИНАМ», г. Старый Оскол, smirnovv\_ps@mail.ru

\*\*\*ФГАОУ ВПО «СТИ ННТУ «МИСиС», г. Старый Оскол, ach82@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлены результаты эксперимента по исследованию трибологических и динамических качеств смазочных материалов подшипников качения при смазке материалами с нанодобавками. Получен эффект снижения коэффициента трения при смазке материалом, содержащем фуллерены фракции C50-C92.

*Ключевые слова:* наноматериалы, пластичная смазка, виброакустические измерения; колебания механических систем; роторно-опорный узел; подшипник качения.

**On the effect of fullerenes on the tribological and dynamic quality-lubricated bearings**

**A.V. Kornaev, V.P. Smirnov, A.V. Chichvarin**

\*StateUniversity - ESPC, Orel, rusakor@inbox.ru

\*\*NPO "BINAM" Stary Oskol, smirnovv ps@mail.ru

\*\*\*Stary Oskol technological institute MISiS, Stary Oskol, ach82@mail.ru

*Abstract.* The paper dedicated to organize information-instrumentation subsystem operating as the part of rotor-bearing system. Scope of the research is complex of dynamic characteristics of rotor-bearing system as the result of accelerometer sensors and rotating velocity sensor signals processing.

*Key words:* vibroacoustic testing; mechanical system vibration; rotor-bearing block; rolling bearing.

Многообразие свойств существующих и теоретически возможных наноматериалов способно обеспечить любые требуемые физические свойства смазочных материалов. На сегодняшний день известны многие перспективные электрические, оптические, химические и биологические свойства фуллеренов и их соединений. Например, добавка фуллереноподобного дисульфида вольфрама, аналогична механизму действия шариков в подшипнике, а также определяется их слоистой объемной структурой, в которой

отдельные слои, деформируясь, скользят друг относительно друга под нагрузкой, уменьшая трение и износ. Кроме того, экспериментально установлено, что более крупные частицы продуктов износа покрываются адгезионным слоем наночастиц, что также благоприятно влияет на работу пар трения.

Основным способом снижения негативного влияния трения является смазка, которая по степени разделения трущихся поверхностей смазочным материалом подразделяется на граничную, полужидкостную и жидкостную. Развитие нанотехнологий инициирует открытие новых материалов и новых свойств известных материалов, что находит применение практически во всех отраслях человеческой деятельности. Исследователи в области трибологии серьезно озадачены вопросом создания новых видов энергоэффективных смазочных материалов на основе нанотехнологий. Наилучших успехов на сегодняшний день достигли в области применения достижений нанотехнологий в трибосопряжениях с граничной смазкой [1, 3].

Данная работа посвящена исследованию влияния нанодобавок на трибологические и динамические свойства пластичных смазок подшипников качения. В подшипниках качения, как известно, реализуется два вида трения: трение качения и трение скольжения. Трение качения связывают с упругим гистерезисом, адгезией, пластической деформацией и микропроскальзыванием [1]. Трение скольжения связано со смазкой, которая может быть реализована в одном из трех упомянутых режимах.

Основные достоинства пластичных смазок: способность удерживаться в неуплотненных трибосопряжениях, лучшие смазочная способность и антикоррозионные свойства, способность работать в присутствии воды и агрессивных сред, экономичность. Основные недостатки: плохое охлаждающее действие, большая склонность к окислению и необходимость специальных устройств подачи к смазываемому трибосопряжению [1].

Известно, что присутствие в минеральных смазках таких наноматериалов, как фуллерены инициирует образование защитных пленок, увеличивающих время жизни узлов трения и их несущую способность, тем самым расширяя рабочий интервал и уменьшая время приработки конгртел. При этом существенно изменяется термостабильность смазок и их склонность к окислительной деструкции. [4]

Подготовка смазочных материалов на основе смазки «Литол-24» включала в себя механическое перемешивание указанного материала с различными присадками на основе фуллерена. В качестве присадок использовали:

- смесь фуллеренов следующего состава C<sub>50</sub> – C<sub>58</sub> (14.69%), C<sub>60</sub> (63,12%), C<sub>62</sub> - C<sub>68</sub> (5.88%), C<sub>70</sub> (13.25%), C<sub>72</sub> – C<sub>92</sub> (3.06%), для чего был приготовлен их раствор в толуоле с содержанием указанной смеси 1 г/л;

- фуллеренсодержащий технический углерод с общим содержанием всех фракций фуллерена 8%;
- продукт синтеза смеси фуллеренов C<sub>50</sub>-C<sub>92</sub> с гетеромерным пептидом индолил-3-масляной кислотой и параформальдегидом.

В качестве базы сравнения использовали «Литол-24» (СМ1) и «Литол-24» в смеси с толуолом (СМ4). Остальные экспериментальные образцы содержали:

- СМ2 – «Литол-24» и продукт синтеза смеси фуллеренов с гетеромерным пептидом в количестве 0,01% масс. по фуллерену;
- СМ3 – смесь фуллеренов в количестве 0,01 % масс.;
- СМ5 – фуллеренсодержащий технический углерод в количестве 0,1% масс.;
- СМ6 – смесь фуллеренов в количестве 0,05 % масс.

Основной целью эксперимента является исследование влияния различных видов смазочных материалов на трение и вибрацию в подшипниковых опорах.

Эксперимент проводили для проб шести видов смазочных материалов на основе смазки «Литол-24», в том числе и контрольный вариант без добавок. Эксперимент заключается в измерении частоты вращения ротора и виброускорения поверхности корпуса подшипниковой опоры во времени в процессе выбега ротора.

Порядок испытаний включает следующие этапы. С помощью электродвигателя выполняется разгон ротора до 3000 об/мин, затем происходит отсоединение муфты и быстрая остановка электродвигателя. При этом вращение ротора под действием сил инерции и сил трения в подшипниковых узлах продолжается порядка 5-15 минут. В течение этого времени с шагом порядка секунды в программе PulseLabShop фиксируются показания тахометра, а по показаниям акселерометров рассчитываются амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). Результаты эксперимента в графическом виде представляют собой кривую выбега ротора и каскадную диаграмму АЧХ показаний акселерометров.

По сведениям об изменении частоты вращения ротора во времени, используя закон вращательного движения, можно установить зависимость коэффициента трения от частоты вращения ротора. Ротор вращается под действием сил инерции и реакций опор. Уравнение вращательного движения ротора при допущении о равенстве реакций в опорах примет вид:

$$J \frac{d\omega}{dt} = -2M, \quad (1)$$

где  $J$  - момент инерции ротора относительно оси вращения, кг·м<sup>2</sup>;

$t$  - время, с ;

$M$  - момент силы трения в опоре,  $H \cdot м$  .

Учитывая, что коэффициент трения - это отношение силы трения к реакции в опоре, считая реакцию в опоре равной половине веса ротора, после несложных преобразований уравнение (1) можно привести к виду:

$$f = -\frac{\pi J}{60Rr} \frac{dn}{dt}, \quad (2)$$

где  $m$  - масса ротора (таблица 1.1), кг ;

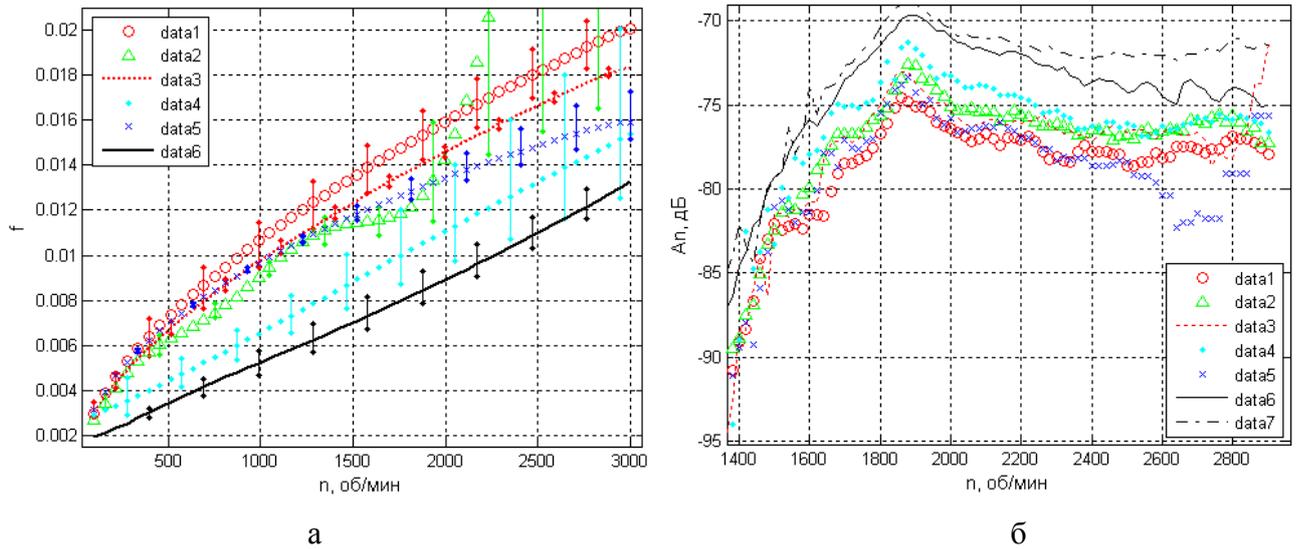
$n$  - частота вращения ротора (таблица 1.1), об / мин ;

$R$  - нормальная составляющая реакции в опоре,  $R = mg / 2$ ,  $H$  .

По сведениям о виброускорении корпуса подшипника можно установить характер зависимости амплитуды виброускорения на одной или нескольких значимых гармониках от частоты вращения ротора, а также в сравнении определить, какой из смазочных материалов придает опоре свойство демпфирования колебаний в большей или меньшей мере.

Наиболее информативные и значимые результаты получены обработкой кривых выбега, а именно численным дифференцированием дискретных функций частоты вращения  $n = n(t)$  и определением по формуле (2) коэффициента трения (рисунок 2, а). Изображенные на рисунке 2 (а) кривые построены по средним значениям из серии параллельных опытов, границы вертикальных отрезков показывают максимальные и минимальные значения коэффициента трения в серии на соответствующей частоте.

Обработкой АЧХ показаний датчиков акселерометров выявлено, что основной вклад в мощность колебаний вносит гармоника с частотой, соответствующей частоте вращения ротора, что вызвано наличием дисбаланса. Графики зависимостей амплитуды виброускорения корпуса на частоте, равной частоте вращения представлены на рисунке 2 (б).



**Рисунок 2 – Результаты эксперимента**

*Коэффициент трения (а) и амплитуда виброускорений на частоте основной гармоники АЧХ (б) в зависимости от частоты вращения ротора для различных видов смазочных материалов: 1 – литол; 2 – литол; 3 – литол; 4 – литол; 5 – литол; 6 – литол; 7 – «сухие» подшипники*

Совокупность количественных результатов и наблюдений в ходе эксперимента позволяют сформулировать и определить значения комплекса критериев оценки трибологических и динамических качеств смазки подшипников (таблица 1).

**Таблица 1 – Оценка трибологических и динамических качеств смазки**

Смазочный материал	Коэффициент трения в различных диапазонах частот вращения ротора		Способность поглощать вибрации	Способность удерживаться в неуплотненных трибосопряжениях	Способность сохранять основные качества при загрязнении
	до 1000 об/мин	от 1000 до 3000 об/мин			
СМ 1, контроль	*	*	*	**	*
СМ 2, присадка	**	*	**	**	**
СМ 3, фуллерен 0,01%	**	*	**	**	***
СМ 4, контроль+толуол	**	**	**	*	*
СМ 5, ФТУ	**	**	**	*	**
СМ 6, фуллерен 0,05%	***	***	***	***	**
* - низкое качество по данному критерию ** - среднее качество по данному критерию *** - высокое качество по данному критерию					

Лучший результат и наименьшую величину коэффициента трения во всем диапазоне скоростей продемонстрировал смазочный материал №6 (рисунок 3, а). Особенно существенно преимущество этого смазочного материала при низких частотах вращения ротора. Материал №2 в трех из пяти параллельных опытов проявил сложные реологические свойства: коэффициент трения резко падал при частоте вращения ротора ниже 1800-2000 об/мин до значений, близких к средним для остальных смазочных материалов. На этих частотах вращения, как видно из рисунка 3 (б), колебания в роторно-опорной системе резко снижаются. Возможно, смазочный материал ведет себя подобно раствору крахмала в воде и проявляет свойство дилатансии, выражающееся в резком росте сопротивления деформации с ростом скорости сдвиговых деформаций выше некоторой величины [2]. С точки зрения молекулярной структуры материала это можно объяснить хелатной структурой синтезированной присадки, представляющей собой супрамолекулярный комплекс фуллеренов фракции  $C_{50}$ - $C_{92}$  и индолилмасляной кислоты, представляющий собой биполярный ион, содержащий во внешней сфере остатки пептидных связей в виде групп CO и NH. Подобная структура склонна к формированию водородных связей за счет ассоциации электроотрицательных атомов кислорода и водорода амидной связи. При этом добавление присадки к смазочному материалу ведет к формированию пространственной сетки по механизму, аналогичному клейстеризации или набуханию полимерных материалов и олигомерных смол [5]. Неустойчивость результата в серии параллельных опытов для материала №2 может быть связана с температурными или иными неучтенными явлениями, что не дает в полной мере судить о причинах необычного поведения материала, и требует скорректированного подхода в проведении исследования. Результаты для остальных материалов можно также увидеть на рисунке 3 (а) и в таблице 1. Испытания с выбегом ротора на подшипниках без смазки показали на первом параллельном опыте коэффициент трения, меньший, чем в случаях применения смазки. На втором опыте результат примерно сравнялся с результатом материала №6, а на третьем параллельном опыте в подшипнике резко усилился шум, и его заклинило на частоте около 500 об/мин. Заклинивание вызвано, скорее всего, образованием продуктов износа на дорожках качения поврежденных подшипников.

Проведенная серия экспериментов по трибологическим и динамическим свойствам консистентных и жидких смазок выявила значительное положительное влияние наномодификаторов на основе фуллеренов и их производных. Так, при введении в смазки смеси фуллеренов фракции  $C_{50}$ - $C_{92}$  в количестве 0,05% массы наблюдается снижение коэффициента трения до 30% по сравнению с базовым смазочным материалом. Немаловажен тот факт, что указанный материал проявил также хорошую способность удерживаться в трибосопряжении без уплотнительных элементов, а также хорошую устойчивость свойств к воздействию загрязнений.

Таким образом, введение наномодификаторов на основе фуллеренов и их производных в смазочные материалы, позволяет: снизить коэффициент трения; увеличить устойчивость к воздействию загрязнений, что приводит к увеличению ресурса механического узла; улучшить способность удерживаться на поверхностях трения; снизить потери через уплотнительные элементы.

С учетом вышеприведенных эффектов была проведена оценка возможного экономического эффекта в условиях сортопрокатного цеха №1 и сортопрокатного цеха №2 ОАО «ОЭМК». Произведен расчет снижения энергопотребления в прокатных клетях станов указанных цехов. Результат представлен в таблице №1.

Таблица №1. Возможный экономический эффект от увеличения коэффициента полезного действия в узлах трения прокатных клетей ОАО «ОЭМК».

Прокатный цех	Годовой фонд рабочего времени прокатных клетей (ориентировочно), час	Экономия электроэнергии, кВт/год	Стоимость электроэнергии, руб./кВт	Экономический эффект за год, руб.
СПЦ №1	7065	4'994'955	2,5	12'487'387,50
СПЦ №2	7065	8'859'510	2,5	22'148'775,00

Кроме указанного в таблице эффекта, произойдет увеличение ресурса деталей узлов трения. Для расчета необходимо провести исследование износостойкости рабочих поверхностей узлов трения в условиях применения смазочных материалов с наномодификаторами на основе фуллеренов и их производных.

Введение фуллеренов в структуру смазочного материала позволяет изменить характер тиксотропных превращений, определяемых пределом прочности структурного каркаса и возвращение его в исходное состояние после снятия нагрузки аналогично действию фуллеренов при добавлении их к высокомолекулярным соединениям [6].

Таким образом, проведение комплексных исследований смазочных материалов с наномодификаторами на основе фуллеренов и их производных позволит получить смазочные материалы с улучшенными свойствами. Есть все предпосылки прогнозировать увеличение стабильности свойств, расширение диапазона рабочих температур, повышение долговечности, снижение коррозионной активности смазочных веществ. Улучшение перечисленных свойств однозначно приведет к повышению надежности узлов трения механического оборудования и снижению энергозатрат при эксплуатации.

### Список литературы

1. Мышкин, Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии [Текст] / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
2. Мидлман, Т. Течение полимеров [Текст] / Т. Мидлман. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с.
3. Ginzburg, B.M. Thermal and Tribological Properties of Fullerene-Containing Composite Systems. P. 2. Formation of Tribo-Polymer Films during Boundary Sliding Friction in the Presence of Fullerene C<sub>60</sub> [Text] / B.M. Ginzburg, O.F. Kireenko, A.A. Shepelevskii, L.A. Shibaev, D.G. Tochilnikov, A.M. Leksovskii // J. Macromol. Sci., B, Physics. – 2005. – No 44 (1). – P. 93-115.
4. Hsu, S.M. Nano-lubrication: concept and design [Text] / S.M. Hsu // Tribology International. – No37. – 2004. – P. 537-545.
5. Braun, O.M. Nanotribology: microscopic mechanism of friction [Text] / O.M. Braun, A.G. Naumovets // Surface Science Reports. – No 60. – 2006. – P. 79-158.
6. Б.М. Гинзбург, В.А. Красный, Ю.П. Козырев, В.П. Булатов. Влияние фуллерена C<sub>60</sub> на изнашивание металлов при фреттинге. Письма в ЖТФ, 1997, том 23, № 15, С 1-6.
7. Тагер А. А., Физикохимия полимеров, 3-е Издание, перераб. М.: Химия, 1978. - 544 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ: ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Авдеев В.И., Кравченко О.Ф., Кравченко Н.В., Подгорный И.Е. О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОПОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	3
Авдеев В.И., Кравченко О.Ф., Кравченко Н.В., Подгорный И.Е. РАСЧЕТ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....	6
Авдеев В.И., Ермаков В.В., Кравченко О.Ф. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ АМЕРИКАНСКОГО СТАНДАРТА ASCE 7-10, ЭКВАДОРСКОГО СТРОИТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА NES-11 И РОССИЙСКИХ СТАНДАРТОВ И НОРМ К ПАРАМЕТРАМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ.....	11
Александров А.В., Лаптев А.И. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗЦОВ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА ПРИ ТОЧЕНИИ НАПЛАВЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ РОЛИКОВ МНЛЗ ЭСПЦ..	16
Анцупов А.В. (мл), Анцупов А.В., Анцупов В.П., Слободянский М.Г., Русанов В.А. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ОПОРНЫХ ВАЛКОВ НШС ПО КРИТЕРИЮ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ.....	22
Анцупов А.В., Анцупов А.В., Анцупов В.П., Русанов В.А., Слободянский М.Г. МОДЕЛЬ ИЗНОСОВЫХ ПРОЕКТНЫХ ОТКАЗОВ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН.....	30
Афонин А.Н., Ларин А. И. ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ГЕТЕРОГЕННОМ УПРОЧНЕНИИ.....	40
Афонин А.Н., Ларин А.И., Макаров А.В., Должиков Д.А., Зуйкин Р.А. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ.....	45
Бойко П.Ф. ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ.....	55
Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А., Хренов И.Б., Дерябин Д.А. ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ ОТЛИВКИ «ЗУБ КОВША ЭКСКАВАТОРА».....	60
Иванов В.В., Попов С.И., Донцов Н.С., Марченко Ю.В., Марченко Э.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ MoS <sub>2</sub> С ВЫСОКИМИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ НА СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЯХ ПОДЪЕМНО - ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН, НАНЕСЕННЫХ В	

УСЛОВИЯХ	УДАРНО-ВОЛНОВЫХ	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМ.....		65
Клюев Р.В., Котова О.А., Васильев Е.И. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОРУДНОГО КОМПЛЕКСА.....		69
Короткий А.А., Попов С.И., Иванов В.В., Марченко Ю.В., Марченко Э.В., Детистова А.А. ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА $MoS_2$ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ.....		75
Мартынов Е.М., Афонин А.Н. УПРОЧНЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РЕЗЬБ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....		79
Гун Е.И., Михайловский И.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ЗАКАТКЕ НА ПРИМЕРЕ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ ШАССИ АВТОМОБИЛЕЙ.....		82
Песин А.М., Дригун Э.М., Гун Г.С., Пустовойтов Д.О., Песин И.А. РАЗРАБОТКА НОВОГО СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ И ШТАМПОВКИ.....		87
Сергиев А.П., Владимиров А.А., Швачкин Е.Г. УСТАНОВКА ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ КРЕПЛЕНИЯ В РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЕ СТАНКА.....		93
Сергиев А.П., Проскурин А.А., Макаров А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛА В ЗОНЕ СРЕЗА.....		96
Таупек И.М., Положенцев К.А., Лисовский А.В., Глушенкова С.Г. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОВЫХ ВСТАВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....		103
Таупек И.М., Положенцев К.А., Глушенкова С.Г., Бородин А.А. ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННЫХ КОЛЕЦ В УСЛОВИЯХ АО «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД «ЭЛЕКТРОСТАЛЬ».....		108

**СЕКЦИЯ: АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Алпеева А.Н., Цуканов М.А. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ.....		114
Беляев Д.Ю., Орешина М.Н. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА НЕПРЕРЫВНОЙ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ.....		119

Боева Л.М., Основина О.Н. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДИСПЕТЧИРОВАНИЯ ДОЗАПРАВКИ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ РУДОУПРАВЛЕНИЯ ОАО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК» В РАМКАХ АСУ ГТК «МОДУЛАР».....	125
Буркова И.В., Волков А.А., Порядина В.Л.ДИХОТОМИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАНЦЕ.....	130
Галкин А.В, Пименов В.А., Кузина Н.Е., Филиппов Д.А.МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛЯБА В УНРС.....	134
Гамбург К.С., Мякотина М.В.О ПРИМЕНЕНИИ ШАГОВОГО ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА В АСУ ПРОЦЕССА ОКОМКОВАНИЯ.....	141
Еременко Ю.И., Олюнина Ю.С.ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ЕГО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ.....	147
Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Петров В.А. АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДУО-РЕВЕРСИВНОЙ КЛЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	151
Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Фомин А.В. О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ТЕПЛОВОЙ ОБЪЕКТ ВОЗМУЩЕНИЯ ДЛЯ ЕГО ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОТРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОПТИМИЗАТОРА ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА.....	156
Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И., Фомин А.В., Петров В.А.О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОПТИМИЗАТОРА ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ.....	162
Ерёменко Ю.И., Халапян С.Ю., Анпилов А.О.О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДИСКОВОГО ВАКУУМ-ФИЛЬТРА.....	167
Еременко Ю.И., Халапян С.Ю., Супруненко В.В. О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ.....	171
Ефимов А.К., Купчишин А.И., Купчишин А.А., Шмыгалев Е.В., Ходарина Н.Н., Шмыгалева Т.А.КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАДИАЦИОННОГО ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ГЕРМАНИИ, ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ.....	174

Ефимов А.К., Купчишин А.И., Купчишин А.А., Шмыгалев Е.В., Ходарина Н.Н., Шмыгалева Т.А.ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КАСКАДНО-ВЕРОЯТНОСТНЫХ ФУНКЦИЙ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ЭЛЕКТРОНАМИ, ПРОТОНАМИ, АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ И ИОНАМИ.....	181
Козырь О.Ф., Кривоносов В.А.АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ И КОНТРОЛЯ ДОПУСКА НА ОСНОВЕ RFID-ТЕХНОЛОГИИ.....	186
Кривоносов В.А., Козырь О.Ф.ВЫБОР КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	192
Кривоносов В.А., Криушин Д.В., Остряков Д.С.СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ И РЕГУЛЯТОРА СОСТОЯНИЯ.....	196
Кузнецов В.Н. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ НИТРИФИКАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	203
Малахов Д.С., Глущенко А.И. О ПРИМЕНЕНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ.....	209
Мельникова И. В.ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ (СММ).....	212
Мещерякова А.О., Галкин А.В., Пименов В.А.МОДЕЛИРОВАНИЕИИССЛЕДОВАНИЕПРОЦЕССОВДЕФОРМАЦИИДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИПРОКАТА.....	217
Михайлюк Е. А., Прокопова Т. В., Котов Г. И., Безрядин Н.Н.ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР $In_2Te_3/InAs$ и $In_{2x}Ga_{2(1-x)}(x \sim 0.65) Te_3/InAs$ .....	223
Основина О.Н., Боева Л.М. ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	230
Полещенко Д.А., Цыганков Ю.А. О ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	235
Полещенко Д.А., Якунин С.В.МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ НА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	241

Положенцев К.А. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНЫМ ПЕРЕПЛАВОМ С САМОПОДСТРОЙКОЙ.....	246
Положенцев К.А. ДВУХКОМПОНЕНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВАКУУМНЫМ ДУГОВЫМ ПЕРЕПЛАВОМ.....	250
Попов А.В., Серегин С.Н., Метелкин М.Н. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТОВ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	255
Рамонова К.С., Рутковский А.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОГО В ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ПУЛЬПОЙ ТРУБЕ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА.....	262
Рукавицын К.О., Молодых А.В. АППРОКСИМАЦИЯ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	269
Сараев П.В. ИНТЕРВАЛИЗАЦИЯ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ И АНАЛИЗЕ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ СЛЯБОВ.....	275
Сидоров Д.В., Гаврина О.А. АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	280
Сидорова Е.А., Порядина В.Л. МЕХАНИЗМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РИСКА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	290
Соловьев А.Ю., Родионов Н.О. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЧИСТКИ СИГНАЛОВ ОТ ШУМОВ.....	298
Соловьев А.Ю. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЕЙ.....	304
Уварова Л. В. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРА ЦИРКУЛЯЦИИ №1 УЧАСТКА ВОДОПОДГОТОВКИ СПЦ-1 ОАО «ОЭМК».....	308
Уварова Л.В. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДА РАЗОГРЕВА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ №5 ЭСПЦ ОАО "ОЭМК".....	312
Филатов В.А., Симонова А.Г. МОДЕЛЬ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ "ОБЩЕСТВЕННОЕ ПИТАНИЕ".....	317
Цуканов М.А., Ульянова О.П. НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ НЕТИПИЧНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СФЕРЕ НОРМИРОВАНИЯ ТРУДА.....	323
Цуканов М.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	327

Шафоростова Е.Н., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.ОЦЕНКА ПРЕТЕНДЕНТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДРЯДНЫХ ТОРГОВ.....	331
Шафоростова Е.Н., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ.....	336
Шафоростова Е.Н., Лазарева Т.И., Ковтун Н.И.РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА НАЧАЛЬНИКА ЦЕХА НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ РАБОТ.....	340
Сапрыкина А.Н., Михайлов А.П.ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ .....	345
Заблоцкая Т.Ю.ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ДЕГИДРАТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ.....	348
<b>СЕКЦИЯ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	
Смирнов В.П., Чичварин А.В., Мамонов Р.С., Смирнов А.Н., Мишустин А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПЫЛЕВИДНЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	355
Чичварин А.В., Коробов В.А., Елина А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ АУКСИН-ФУЛЛЕРЕНОВЫХ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА.....	361
Булахтин Ю. Ю., Chongmin Zhang, Понаморов В.Н., Хайдуков В.П.МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ.....	366
Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Вафин Р.К.МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 5083 В УСЛОВИЯХ СВЕРХВЫСОКИХ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ.....	372
Чичварин А.В., Смирнов А.Н., Крахт Л.Н., Игуменова Т.И. О ВЛИЯНИИ ФУЛЛЕРЕНОВ НА МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАУЧУКОВ.....	379
Корнаев А.В., Смирнов В.П., Чичварин А.В. О ВЛИЯНИИ ФУЛЛЕРЕНОВ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ.....	386

*Научное издание*

Современные проблемы  
горно-металлургического комплекса.  
Наука и производство

Материалы Двенадцатой Всероссийской научно-практической конференции,  
с международным участием

25-27 ноября 2015г.

г. Старый Оскол

Отпечатано в типографии управления делами ОАО «ОЭМК»