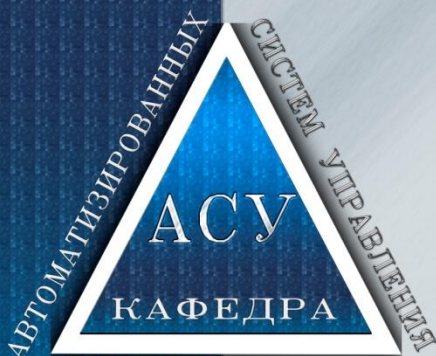


Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

AUTOMATION  
OF TECHNOLOGIES AND  
PRODUCTION

№ 1(7), 2015





# МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА

## Кафедре «Автоматизированные системы управления»

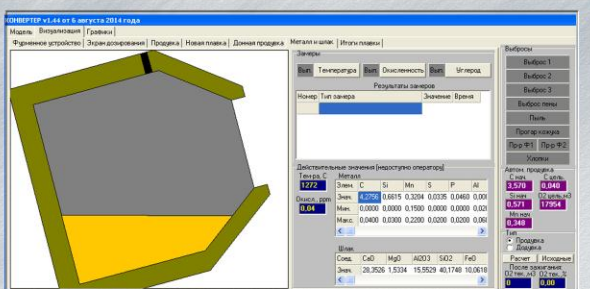


### РАЗРАБОТКИ СОТРУДНИКОВ КАФЕДРЫ АСУ

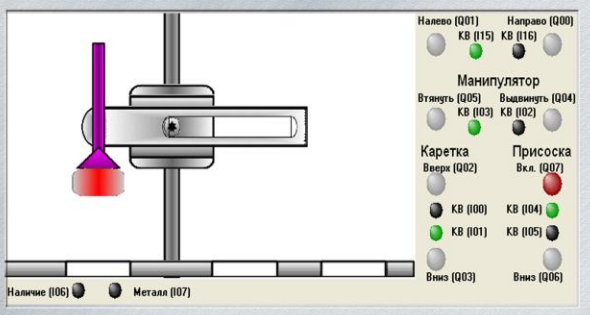
Интеллектуальные системы управления, основанные на использовании искусственных нейронных сетей и нечеткой логики. Область применения - управление температурными режимами протяжных печей (АНГЦ), процессами дробления материалов, электрическими параметрами ДСП.



Системы обучения управлению на основе комплексных имитационных математических моделей конвертерного процесса, обработки стали в агрегате печь-ковш, агломерационного процесса с учетом качества металлургического агломерата, а также ряда других процессов. Модели используются в составе имитационных тренажеров для обучения сотрудников металлургических предприятий НЛМК и ММК.



Простые и сложные модели объектов управления, предназначенные для обучения программированию промышленных микропроцессорных контроллеров (робот-манипулятор, робот Kuka, лифт, тележка). Каждая модель представляет законченный программный продукт, оснащенный интерфейсами для подключения через протоколы DDE, OPC или для связи со средами симуляции исполнения программы контроллеров S7-300/400 фирмы Siemens.





# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

№1 (7) март 2015 г.

Международный научно-технический журнал

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

## О журнале

Журнал «Автоматизированные технологии и производства» основан в 2012 году на базе сборника «Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии», который издавался кафедрой промышленной кибернетики и систем управления (с 2013 кафедра автоматизированных систем управления - АСУ) с 2004 по 2012 год. В журнале публикуются научные статьи, посвященные автоматизированным системам в промышленности, управлению технологическими процессами и качеством продукции, практическому применению современных методов управления и обучения сотрудников предприятий. Освещаются вопросы, связанные с моделированием систем управления, разработкой промышленных тренажеров и стендов для проведения научных исследований. Приоритетным направлением журнала является освещение результатов работ в области управления процессами черной металлургии, а также решения задач энерго- и ресурсосбережения с использованием оптимизирующих алгоритмов управления. Журнал предназначен для специалистов в области автоматизации технологических процессов, для работников производственных предприятий, эксплуатирующих системы автоматизации, проектных институтов и вузов, специализирующихся в области информационных технологий.

**Основные направления журнала:** автоматизированные системы управления технологическими процессами; системы контроля и управления качеством и экологичностью продукции; математическое моделирование и программное обеспечение производственных процессов; технические средства для автоматизации технологических процессов и производств; автоматизированные технологии в образовании; информационные системы.

## Редакционная коллегия

**Парсункин Борис Николаевич** - д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем управления ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

**Лисиенко Владимир Георгиевич** - Вице-президент АИН, президент РУО АИН, профессор, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Автоматика и управление в технических системах» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

**Салганик Виктор Матвеевич** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

**Вдовин Константин Николаевич** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

**Андреев Сергей Михайлович** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

**Логунова Оксана Сергеевна** - доктор технических наук, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

**Спирин Николая Александрович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теплофизики и информатики в металлургии, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

**Рябчиков Михаил Юрьевич** - канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия;

## Контакты

**Главный редактор:** Парсункин Борис Николаевич  
Тел.: (3519) 29-85-58

**Редакционный совет:** Андреев Сергей Михайлович  
Тел.: (3519) 29-84-32  
E-mail: atp@magtu.ru

Рябчиков Михаил Юрьевич  
Тел.: +79028910112  
E-mail: mr\_mgn@mail.ru  
Дизайн: Рябчикова Елена Сергеевна

**Адрес редакции:** 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел.: (3519) 22-14-93.  
Факс (3519) 23-57-60.  
E-mail: rio\_mgtu@mail.ru

Журнал подготовлен к печати издательским центром МГТУ им. Г.И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Выходит в свет 05.2015. Тираж 100 экз. Цена свободная.

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### Автоматизированные системы управления технологическими процессами

<i>М.Ю. Рябчиков, Р.Э. Бурнашев.</i> Алгоритмическое обеспечение системы контроля и управления лещадностью продуктов дробления.....	4
<i>Б.Н. Парсункин, А.Р. Бондарева, Е.И. Полухина.</i> Выбор температурного параметра для оперативного управления нагревом металла в методических печах.....	9
<i>А.А. Бойко, Н.В. Акчебаш, А.В. Бибик.</i> Особенности синтеза диаграмм движения подъемных механизмов пассажирских лифтов в системе с упругими связями при произвольных законах управления.....	13
<i>И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, Е.Э. Бодров.</i> Расчет задания на момент электропривода размоточного аппарата стана по производству стальной арматуры.....	16
<i>В.Ц. Зориктуев, Б.Н. Файрушин.</i> Алгоритмы автоматического управления процессом ионной имплантации и напыления поверхности лопаток газотурбинных двигателей.....	19
<i>В.Г. Крючков, С.Г. Гончарова, И.Ф. Месягутов.</i> Особенности применения нечеткой логики при проектировании систем управления техническими объектами.....	23
<i>В.Л. Евстигнеев, Т.В. Майорова.</i> Оптимизация затрат электроэнергии в цехах крупного дробления на примере щековой дробилки.....	26
<i>Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Сухоносова, Т.У. Ахметов, М.И. Васильев.</i> Управление давлением в рабочем пространстве промышленных печей при использовании принципа нечеткой логики.....	29
<i>Е.И. Полухина, Б.Н. Парсункин, О.В. Петрова.</i> Выбор критерия оптимального управления, минимизирующего себестоимость технологического процесса выплавки стали в ДСП.....	35
<i>Б.Н. Парсункин, Е.Ю. Мухина.</i> Управление температурным режимом колпаковой печи с азотно-водородной защитной атмосферой.....	41

### Информационные системы

<i>В.Ц. Зориктуев, В.Н. Новиков.</i> Система поддержки принятия решений при организационно-технологическом проектировании с использованием онтологий.....	46
<i>Д.В. Кондусов, В.Б. Кузнецова, А.И. Сердюк, А.И. Сергеев.</i> Технология бумажного выпуска документов материально-технического обеспечения машиностроительного предприятия.....	50

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

### Оформление

**Количество авторов** – не более 5.

**Размер страницы:** – А4. Все поля – 20 мм.

**Стили:** **УДК:** Times New Roman, обычный, размер 12 пт, выравнивание по левому краю. **Заголовок статьи:** Times New Roman, полужирный, размер 12 пт, межстрочный интервал одинарный, выравнивание по центру. **Фамилия, инициалы авторов:** Times New Roman, полужирный курсив, размер 12 пт, межстрочный интервал одинарный, выравнивание по центру. **Сведения об организации и электронный адрес:** Times New Roman, курсив, размер 11 пт, межстрочный интервал одинарный, выравнивание по центру. Наличие эл. адреса хотя бы одного из авторов является обязательным. **Основной текст:** Times New Roman, обычный, размер 12 пт, межстрочный интервал одинарный, отступ первой строки абзаца 1,25 см, выравнивание по ширине. **Стиль для подзаголовков** (Введение, Актуальность работы, Основные проблемы и решения, Выводы, Заключение и т. д.): Times New Roman, полужирный курсив, размер 12 пт, межстрочный интервал одинарный, выравнивание по левому краю. Наличие подзаголовков не обязательно.

**Рисунки:** Размер рисунков не должен превышать размеров одной страницы; не допускается выполнение рисунков средствами MS Word; рекомендуется использование векторных форматов; не допускается обтекание рисунков текстом с группировкой подписи и рисунка в одно полотно (надпись); файлы рисунков необходимо также приложить отдельно; на все рисунки по тексту должны быть выполнены ссылки по шаблону – рис. номер; подпись рисунка строится по шаблону: Рис. Номер. Наименование рисунка.

**Таблицы:** Перед таблицей должна быть выполнена ссылка по формату – табл. номер. Все таблицы нумеруются и, при необходимости, именуется: шрифт Times New Roman, размер 11 пт, курсив. Выравнивание таблиц – по центру.

**Список литературы:** Список оформляется согласно ГОСТ 7.1–2003. Ссылки на использованные источники даются по тексту и обозначаются цифрами в квадратных скобках (например: [1]).

**Количество ссылок на источники:** не рекомендуется менее 4-х.

**Самоцитирование:** не рекомендуется более 25% от общего числа ссылок.

**Оформление формул:** Формулы выполняются в редакторе MS Equation 3.0 и выравниваются по центру. Нумерация формул необходима, если по тексту есть ссылки на эти формулы. Номера формул (в круглых скобках) выравниваются по правому краю.

**Размерности величин** выбираются и обозначаются согласно ГОСТ 8.417-2002.

### Пример оформления

### Предоставление материалов

УДК 669.1:622

пустая строка

**Контроль качества металлургического агломерата с использованием модели восстановимости**  
**М.Ю. Рябчиков<sup>1</sup>, В.В. Гребеникова<sup>2</sup>, Е.С. Рябчикова<sup>3</sup>**  
<sup>1,2,3</sup> ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

**Control of iron ore sinter properties with reducibility index model**  
**M.Y. Ryabchikov<sup>1</sup>, V.V. Grebennikova<sup>2</sup>, E.S. Ryabchikova<sup>3</sup>**  
<sup>1,2,3</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia  
<sup>1</sup>mail@mail.ru

пустая строка

*Аннотация, курсивом. Аннотация, курсивом. Аннотация, курсивом. Аннотация, курсивом. Аннотация, курсивом. Аннотация, курсивом.*

**Ключевые слова:** *ключевые слова; ключевые слова; ключевые слова; ключевые слова; ключевые слова.*

*Abstract, italic. Abstract, italic. Abstract, italic. Abstract, italic. Abstract, italic. Abstract, italic. Abstract, italic. Abstract, italic. Abstract, italic.*

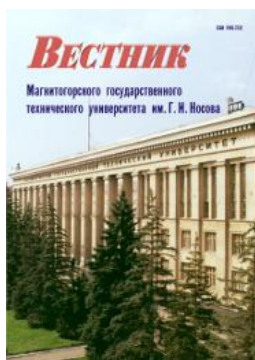
**Keywords:** *keywords; keywords; keywords; keywords; keywords.*

пустая строка

Для опубликования статьи в журнале необходимо представить в электронном виде по e-mail: [atr@magtu.ru](mailto:atr@magtu.ru) текст статьи, сведения об авторах и экспертное заключение о возможности опубликования. Контактный тел.: +79028910112 (Рябчиков Михаил Юрьевич, личный e-mail: [mr\\_mgn@mail.ru](mailto:mr_mgn@mail.ru)).

За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор. Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции. При перепечатке ссылка на «Автоматизированные технологии и производства» обязательна.

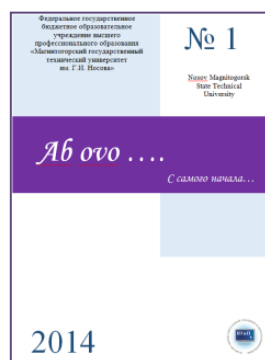
### Другие рекомендуемые периодические издания



Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова



Электротехнические системы и комплексы



Журнал молодых исследователей: магистров и аспирантов



Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах

**АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ  
ЛЕЩАДНОСТЬЮ ПРОДУКТОВ ДРОБЛЕНИЯ****М.Ю. Рябчиков<sup>1</sup>, Р.Э. Бурнашев<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
г. Магнитогорск, Россия.**ALGORITHMIC MAINTENANCE OF CRUSHING PRODUCT'S FLAKINESS  
CONTROL SYSTEM****M.Yu. Ryabchikov<sup>1</sup>, R.Je. Burnashev<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia<sup>1</sup>mr\_mgn@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается типовая последовательность операций по идентификации контуров изображений, а также предложена последовательность операций пригодная для идентификации контуров продуктов дробления без необходимости отбора пробы с конвейера.

**Ключевые слова:** лещадность; анализ изображения; определение контуров; центробежные дробилки; анализ свойств материалов в потоке.

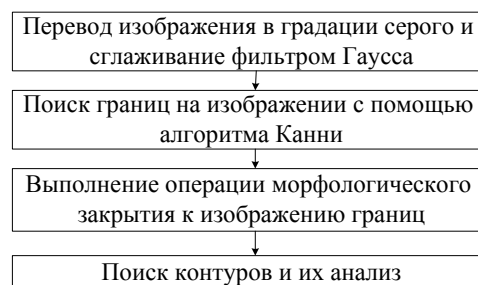
**Abstract.** In this article describes typical operating sequence for finding contours on an image, and provides the operating system, which usable for finding crushing product's contours without the need of sample splitting from the conveyor belt.

**Keywords:** flakiness; image processing; contour tracking; centrifugal crushing; product's characteristics estimation in-flow.

В связи с появлением дробилок центробежно-ударного типа действия при производстве строительного щебня возникла потребность управлять основным качественным показателем формы щебня по ГОСТ – лещадностью [1]. Лещадность – это содержание зерен, у которых соотношение наибольшего линейного размера к наименьшему более, чем 3:1. В зависимости от значения лещадности щебень делится на четыре группы. Чем меньше лещадность, тем выше качество щебня и, соответственно, его стоимость.

Однако, чтобы управлять лещадностью, необходимо оперативно ее измерять, а это является серьезной проблемой, потому что на данный момент лещадность измеряется только вручную с помощью штангенциркуля или специального шаблона. Одним из способов автоматизации контроля лещадности является определение геометрических параметров зерен щебня по их цифровому изображению. Типовая последовательность операций по обработке изображения представлена на рис. 1.

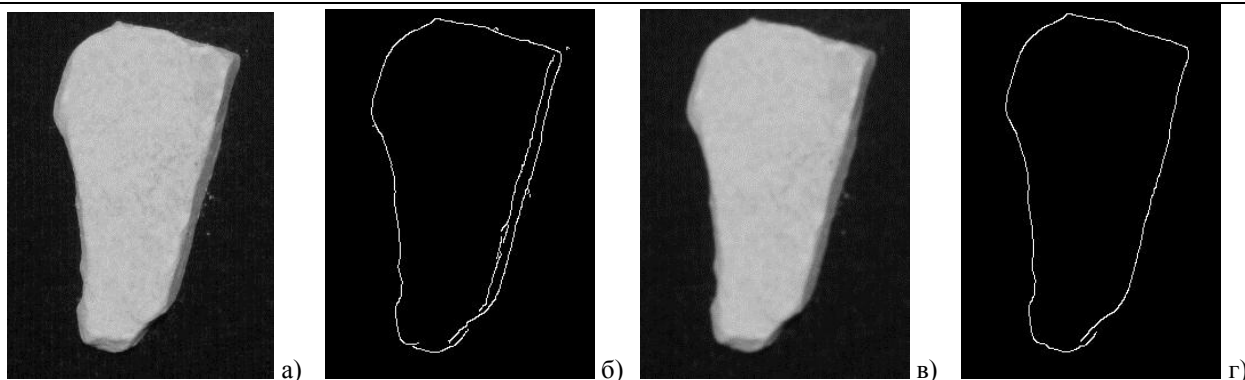
Распознавание объектов и определение их геометрических параметров по изображению относится к области компьютерного зрения. Для решения задач компьютерного зрения уже создано немало программных средств обработки изображений. Среди прочих можно выделить открытую библиотеку OpenCV для среды разработки Microsoft Visual Studio. Данная библиотека содержит множество различных функций, разработанных специально для анализа изображений с целью извлечения



**Рис.1. Типовая последовательность операций обработки изображений**

из них различной информации. Многие функции OpenCV работают не с самими цветными изображениями, а с их яркостью, для чего нужно перевести изображение в градации серого (рис. 2, а). Далее желательно сгладить шум, для чего используются различные фильтры, например, фильтр Гаусса с ядром указанного размера, пример применения которого приведен на рис.2, в.

После предварительной обработки изображения нужно определить границы объекта. Одним из наиболее эффективных является алгоритм Канни, который осуществляет поиск границ на основе значения градиента яркости изображения. Ниже приведен пример использования алгоритма Канни при обработке сглаженного (рис.2, г) и необработанного (рис.2,б) изображений при одних и тех же настройках алгоритма.



**Рис.2. Изображения: а – черно-белое; в –сглаженное фильтром Гаусса с ядром 5x5; б, г–результат применения функции Canny (г – над сглаженным изображением; б – над необработанным изображением)**

После предварительной обработки изображения нужно определить границы объекта. Одним из наиболее эффективных является алгоритм Канны, который осуществляет поиск границ на основе значения градиента яркости изображения. Ниже приведен пример использования алгоритма Канны при обработке сглаженного (рис.2, г) и необработанного (рис.2,б) изображений при одних и тех же настройках алгоритма.

Как видно из рис. 2,б и 2,г, граница не является замкнутой. Это нежелательно, так как может привести к ошибке в идентификации контура. Возможным решением является «растягивание» линии контура, то есть требуется сделать ее толще. Для этой цели предусмотрена функция *dilate*, которая растягивает исходное изображение с помощью специального структурирующего элемента, который определяет форму окрестности пикселя, из которой берется максимум:

$$dst(x, y) = \max_{(x', y') : element(x', y') \neq 0} src(x + x', y + y')$$

Результат применения функции *dilate* к изображению, приведенному на рис.2,г, продемонстрирован на рис.3, а. Для функции *dilate* есть обратная ей функция – *erode*. Эта функция размывает исходное изображение с помощью специального структурирующего элемента, который определяет форму окрестности пикселя, из которой берется минимум. Для выполнения более сложных преобразований на основе этих двух функций в библиотеке OpenCV предусмотрена функция *morphologyEx*. Функция *morphologyEx* может выполнять

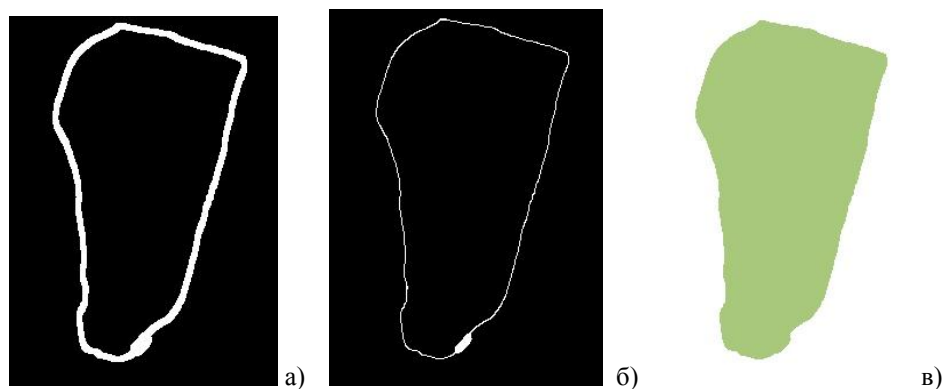
расширенные морфологические преобразования, используя эрозию и растягивание в качестве базовых операций, например, операцию закрытия:

$$dst = close(src, element) \\ = erode(dilate(src, element)).$$

Операция закрытия позволяет получить более аккуратное изображение, нежели операция растягивания (*dilate*). Результат применения операции закрытия к изображению, приведенному на рис. 2, г, продемонстрирован на рис.3, б.

Получить контуры на бинарном изображении можно с использованием функции *findContours*. Результат поиска контура с помощью функции *findContours* на изображении, приведенном на рис.3, б, представлен на рис.3, в. В результате получен четкий контур объекта, по которому можно определить его линейные размеры в пикселях. Для контура, представленного на рис.3, в достаточно легко определить ширину и высоту наименьшего описывающего прямоугольника и далее отношение большего линейного размера к меньшему, равное 1,888. Последнее значение, по сути, является лещадностью зерна, измеренной в горизонтальной плоскости.

Описанная выше методика хорошо подходит для отдельных зерен, однако при расположении зерен группами или слоем, данная методика не дает приемлемых результатов. Это обусловлено тем, что при расположении зерен в один слой или в несколько слоев на границе зерен нет столь ярко выраженного градиента яркости, как в случае с одним зерном на контрастном

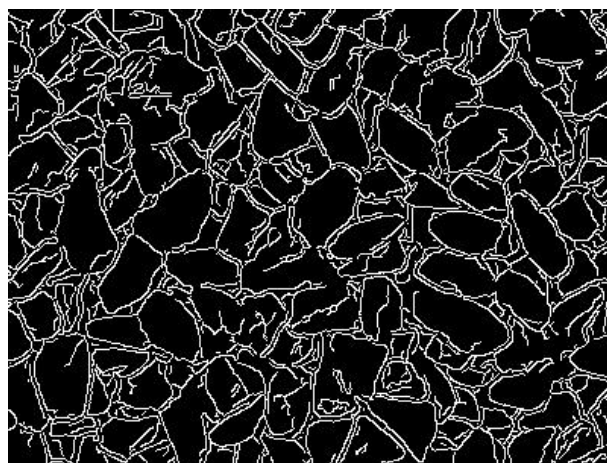


**Рис.3. Результат применения различных функций к изображению, полученному после применения функции Canny: а - функция *dilate*; б –закрытия. а - контур, определенный функцией *findContours***

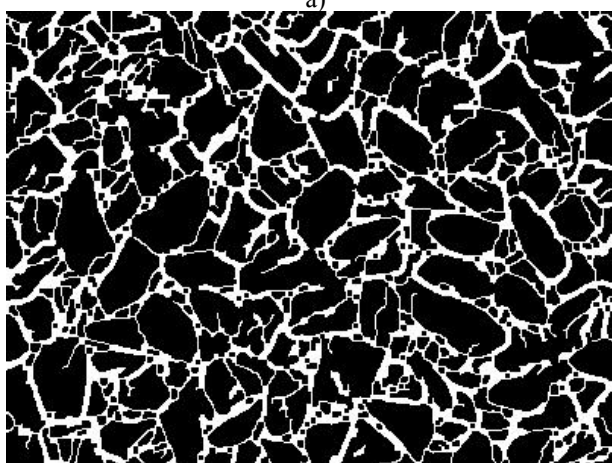




а)



б)



в)



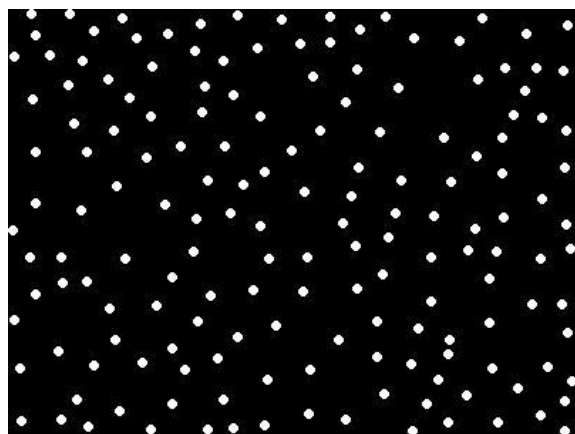
г)

**Рис. 4. Обработка изображения по типовому алгоритму (рис. 1): а – оригинальное изображение; б – обработка сглаженного черно-белого изображения функцией Саппу; в – операция морфологического закрытия над изображением границ Канни; г – поиск контуров на изображении морфологического преобразования**

фоне. Этот факт не позволяет четко определить границы зерен детектором границ Канни, что проиллюстрировано на рис.4.

Возникает необходимость в применении алгоритмов сегментации. Одним из таких алгоритмов является алгоритм водораздела (Watershed). Этот алгоритм преобразует линии изображения в «горы», а однородные регионы во «впадины», что может помочь при сегментации изображения. Сначала алгоритм берет градиент

яркости изображения; за счет этого формируются впадины или водоемы (низшие точки), где нет текстуры, и гор (высоких хребтов соответствующих краям) где есть доминирующие линии на изображении. Затем последовательно заполняются водоемы, начиная с указанных пользователем (или алгоритмом) точек, пока эти регионы не сольются. Регионы, которые сливаются через маркеры, считаются единым целым и связываются с одним маркером. Затем изображение сегментируется на соот-



а)



б)

**Рис. 5. Результат обработки исходного изображения функцией watershed с использованием ручных маркеров: а – маркеры; б – конечное изображение**



ветствующие регионы.

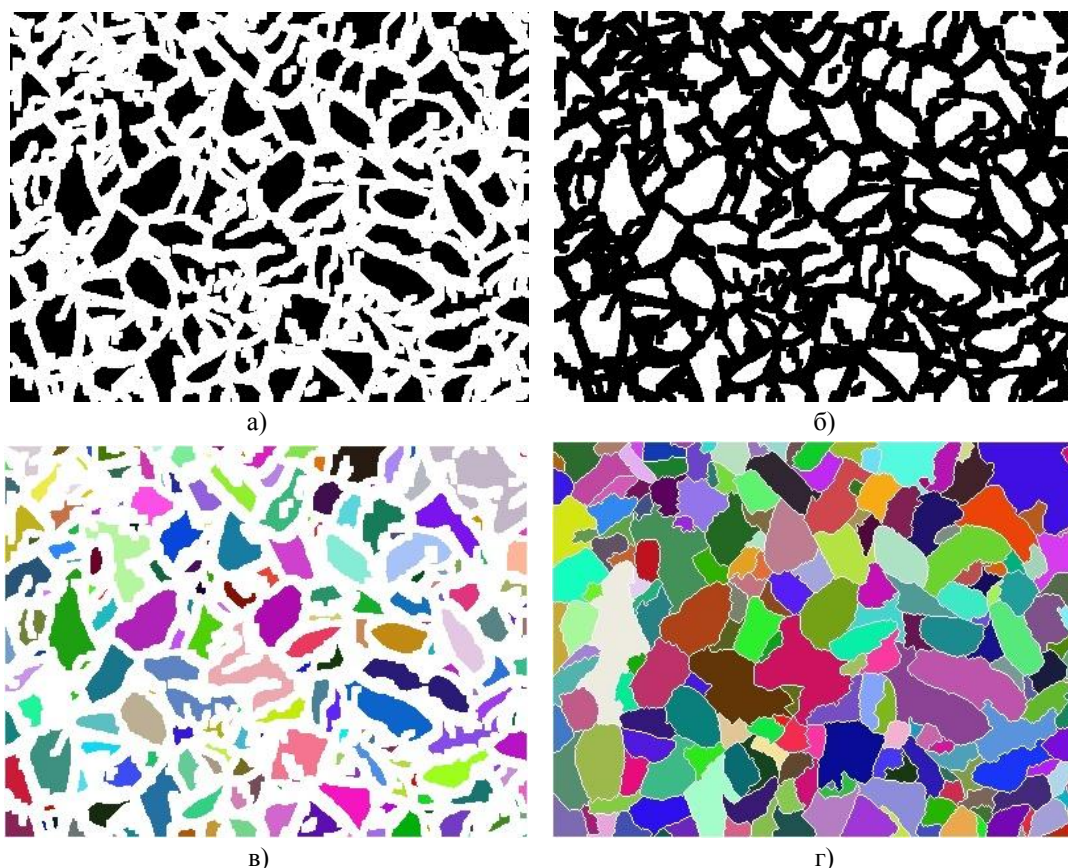
В библиотеке OpenCV алгоритм водораздела реализован в функции watershed. Прежде чем обрабатывать изображение этой функцией, нужно автоматически или вручную приблизительно выделить желаемые области в изображении путем расстановки маркеров. Маркеры – это «зерна» будущих областей изображения. На рис. 5 приведен пример работы функции watershed над изображением, представленным на рис.4,а, с маркерами, проставленными вручную.

Очевидно, что результат существенно лучше, чем при использовании предыдущей методики. Однако, расстановка маркеров вручную неприемлема для решения поставленной задачи, т.к. это существенно снизит опера-

тивность анализа. Процесс расстановки маркеров можно автоматизировать на основе рассмотренных ранее операций морфологических преобразований. Для этого исходное изображение преобразуется в черно-белое и сглаживается фильтром Гаусса. Далее с помощью функции Canny на сглаженном изображении находятся границы, которые достаточно сильно растягиваются с помощью функции dilate. Полученное изображение инвертируется, и на инвертированном изображении с помощью функции findContours находятся контуры. Массив контуров, полученный с помощью функции findContours, и будет являться картой маркеров для функции watershed. Данная последовательность действий проиллюстрирована алгоритмом и примером на рис. 6-7.



Рис. 6. Предлагаемый алгоритм автоматической обработки изображения



**Рис. 7.** Результат обработки исходного изображения функцией watershed с использованием автоматических маркеров: а – результат обработки изображения границ, полученных с помощью функции Canny, функцией dilate; б – инверсия предыдущего изображения; в – карта маркеров; г – конечное изображение

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бурнашев, Р.Э.** Управление работой центробежной дробилки СС-0.36 с учетом значения коэффициента крепости исходного материала по методу Протодьяконова [Текст] / Р.Э. Бурнашев, М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова // Автоматизированные технологии и производства. – №6. 2014. – С. 203-208.
2. **Шапиро, Л.** Компьютерное зрение [Текст] / Л. Шапиро, Дж. Стокман. // пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752с.
3. Руководство OpenCV Tutorials (Release 2.4.9.0) – OpenCV, 2014г. – 451с.
4. Руководство OpenCV Refman (Release 2.4.9.0) – OpenCV, 2014г. – 913с.
5. OpenCV шаг за шагом. – Режим доступа: [gobocraft.ru/blog/computervision](http://gobocraft.ru/blog/computervision).
6. **Бурнашев, Р.Э.** Изучение возможных подходов к управлению дробилками центробежного типа производства ЗАО «УРАЛ-ОМЕГА» с учетом качества получаемого продукта [Текст] / Р.Э. Бурнашев, М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова, Е.С. Рябчикова // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. – №1. – С. 122-128.



## ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Б.Н. Парсункин<sup>1</sup>, А.Р. Бондарева<sup>2</sup>, Е.И. Полухина<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

## THE CHOICE OF TEMPERATURE PARAMETER FOR OPERATION CONTROL OF METAL HEATING IN REHEATING FURNACES

B.N Parsunkin<sup>1</sup>, A.R. Bondareva<sup>2</sup>, E.I. Poluhina<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>asm@magtu.ru, <sup>2</sup>albina\_bondareva\_2012@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрено обоснование целесообразности использования вместо общепринятого температурного параметра для управления тепловым режимом многозонной методической печи «температура рабочего пространства» другого более объективного параметра «температура поверхности нагреваемого металла» и даны практические рекомендации по использованию предлагаемого параметра при реализации энергосберегающего режима нагрева.

**Ключевые слова:** температура рабочего пространства, термопара, инерционность, оперативность, температура поверхности нагреваемого металла, оптический пирометр.

**Abstract.** The heated metal surface temperature can be use instead of furnace temperature as a more objective parameter for the heat mode control in multi-zone furnace. Some practical references have given for using known parameter in a power saving heating mode.

**Keywords:** furnace temperature, thermocouple, lag, efficiency, heated metal surface temperature, optical pyrometer.

В современных отраслях промышленности затраты на измерение, централизованный контроль и регулирование технологических параметров производственного процесса составляют от 20 до 30% от общих производственных затрат [1].

Метрологическое обеспечение является важным фактором в условиях международной сертификации выпускаемой продукции.

Многозонные методические нагревательные печи представляют как объекты автоматического управления сложные технологические агрегаты с распределенными параметрами.

В каждой индивидуально управляемой отопляемой зоне печи существуют свои специфические условия теплообмена между продуктами горения подаваемого в

зону топлива (греющей средой), кладкой рабочего пространства и поверхностью нагреваемого металла.

При современной реализации автоматического управления тепловым режимом в качестве управляемого температурного параметра традиционно используется температура рабочего пространства –  $t_{рп}$  или температура греющей среды  $t_{гс}$ , измеряемая платиносодержащими термопарами в массивных защитных карборундовых чехлах (стаканах), установленных в различных точках по зонам нагрева [3].

Большинство научных работ по обоснованию целесообразности использования температуры рабочего пространства  $t_{гс}$ , измеряемой термопарами, для выполнения прогнозирующих расчетов и оперативного управления нагревом металла выполнены для близких к стацио-

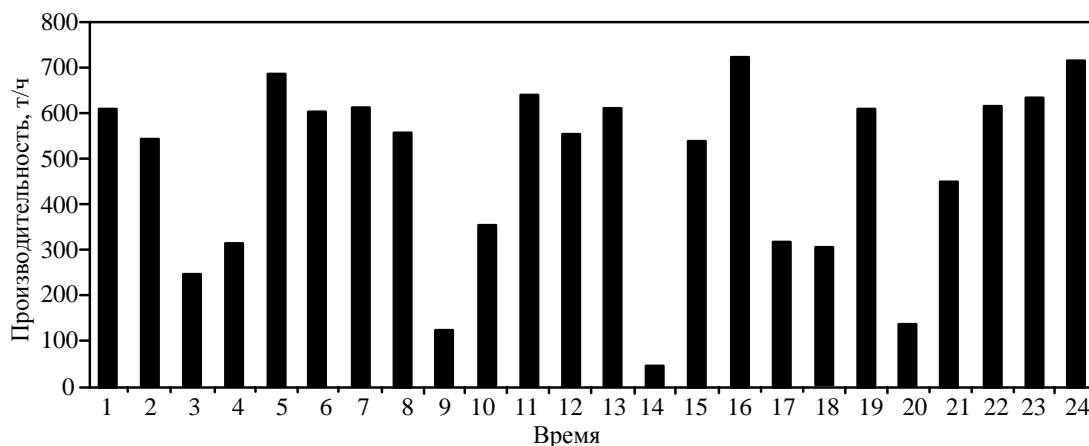


Рис. 1. Часовая производительность широкополосного стана горячей прокатки ОАО «ММК»

нарным условиям работы методических печей [2,3] и холодного посада заготовок.

Современные высокопроизводительные широкополосные станы горячей прокатки (ШСГП) характеризуются существенно нестационарным режимом работы. В качестве конкретного примера на рис.1 приведено изменение часовой производительности ШСГП в течение суток.

Реально при переменной производительности в нагревательных печах ШСГП одновременно нагреваются непрерывнолитые заготовки различных марок стали, значительно отличающиеся по начальному тепловому состоянию.

Температура рабочего пространства, измеренная термопарой или оптическим пирометром, свизированным на дно карборундового стакана, помещенного в рабочее пространство печи, объективно характеризует интенсивность теплообмена между греющей средой и поверхностью нагреваемого металла в стационарных условиях работы печи, в нестационарных динамических переходных рабочих режимах неоперативно и неоднозначно характеризует текущее тепловое состояние нагреваемого металла. Для доказательства сказанного на рис.2 приведены траектории изменения во времени температуры рабочего пространства  $t_{рп}(t)$ , измеряемой термопарой ТПП, температуры поверхности металла, измеряемой оптическим пирометром спектрального отношения (линия 4), расхода газа в зону (линия 2) и расхода воздуха (линия 3).

Автоматическое управление тепловым режимом методической печи ЛПЦ «ОХМК» осуществлялось по температуре рабочего пространства (линия 1). При практически постоянной температуре  $t_{рп}(t)$  изменение температуры поверхности нагреваемого металла во второй зоне печи №2 составляет значительную величину и отражает выдачу практически каждой заготовки.

Неоднозначность и отсутствие объективного и оперативного соответствия текущего значения температуры рабочего пространства  $t_{рп}$  реальному тепловому состоянию нагреваемого металла в нестационарных режимах работы печи приводит к необходимости постоянного субъективного вмешательства технологического персонала в режим управления нагревом.

В условиях нестационарной работы ШСГП (см. рис.1) и отсутствия достоверной информации о текущем тепловом состоянии нагреваемого металла технологический персонал вынужден иметь в печи объективно необходимый, но часто необоснованно завышенный запас нагретого металла. Для создания такого запаса интенсификация нагрева осуществляется сразу при входе заготовок в отапливаемые зоны печи. Это приводит к повышенным затратам топлива и особенно к увеличению потерь металла при его окислении в условиях повышенного температурного состояния.

При управлении тепловым режимом методических печей, работающих при смешанном посаде, использование автоматического управления по температуре поверхности нагреваемого металла является просто объективно необходимым условием энергосберегающего и малоокислительного режима нагрева [4,5].

Основным, скорее психологическим препятствием использования температуры поверхности  $t_{п}(t)$  для управления тепловым режимом является неоправданно преувеличенное хотя вполне обоснованное существующее мнение о завышенной погрешности измерения оптическими датчиками температуры поверхности нагреваемого металла, покрытого слоем окалины через селективно излучающий слой продуктов сгорания и наличия отраженного излучения от факела и огнеупорной кладки рабочего пространства [6].

В процессе длительного реального использования  $t_{п}(t)$  для управления тепловым режимом нагрева металла

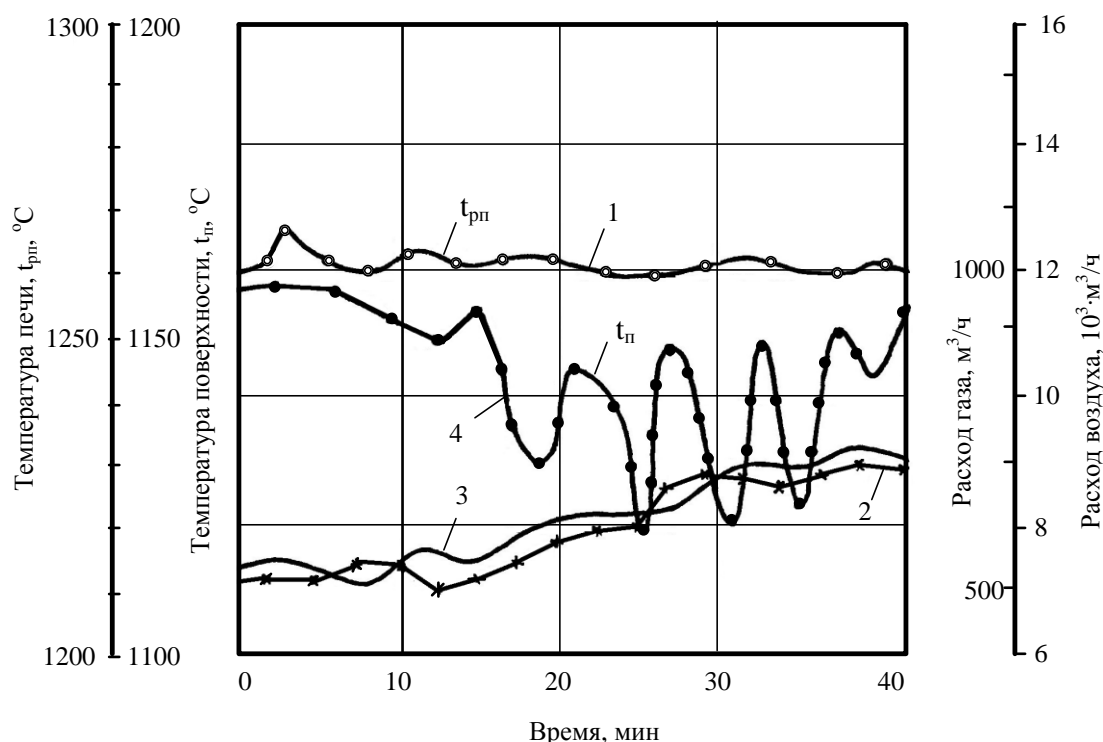


Рис. 2. Изменение  $t_{рп}$ ,  $t_{п}$ , расхода газа и воздуха при управлении тепловым режимом по  $t_{рп}$



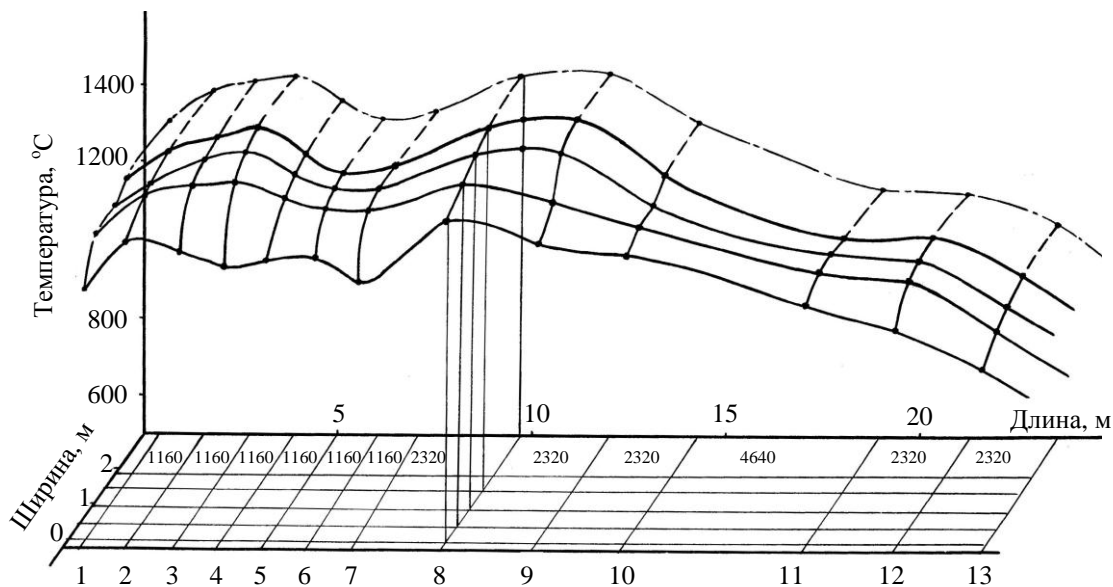


Рис. 3. Распределение температуры греющей среды в рабочем пространстве методических печей при максимальных тепловых нагрузках в зонах

в методических печах ШСГП были решены следующие практически важные задачи:

- разработан способ установки датчиков температуры  $t_n(\tau)$ , позволяющий существенно уменьшить погрешность измерения [7, 14, 15];

- разработана методика выбора места установки датчиков температурных параметров  $t_{pn}(\tau)$  и  $t_n(\tau)$  по длине рабочего пространства при реализации энергосберегающего управления тепловым режимом методических печей [8].

Места расположения датчиков температурных параметров, используемых для автоматического управления тепловым режимом, должны строго соответствовать неравномерному и индивидуальному распределению температуры греющей среды по длине рабочего пространства конкретной конструкции методической печи.

Пространственное распределение температуры продуктов сгорания  $t_{rc}(\tau)$  в методических печах ЛПЦ бывшего «ОХМК» на уровне 80-100 мм от поверхности металла при максимальных тепловых нагрузках в верхних зонах печей, оснащенных инжекционными горелками, представлено на рис.3 печи с торцевым отоплением толкательного типа.

На печах ЛПЦ «ОХМК» используется рациональное, с точки зрения эффективного использования тепловой энергии, распределение тепловых нагрузок по отапливаемым зонам печи. Подача значительного (до 40% от общего) количества топлива в томильную зону способствует достижению достаточно высокой температуры не только в томильной зоне, но и под пережимом свода между томильной и второй сварочной зонами.

Температура дымовых газов на выходе из рабочего пространства методических печей ЛПЦ «ОХМК» на  $200\div 300^\circ\text{C}$  меньше, чем на аналогичных по производительности печах стана 2500 «ММК» до их реконструкции.

Место установки датчиков температур  $t_{pn}(\tau)$  и  $t_n(\tau)$  следует выбирать в районе достижения максимальных значений температуры греющей среды по длине рабочего пространства. Температура продуктов сгорания или греющей среды  $t_{rc}(\tau)$  (см. рис.3) измерялась отсасываю-

щей термопарой в строго фиксированных точках (в смотровых окнах) по длине печи.

Для защиты огнеупорной кладки печи при использовании  $t_n(\tau)$  необходимо в местах достижения максимальных температур устанавливать датчики температур рабочего пространства и предусмотреть ограничение подачи топлива по максимально допустимой температуре  $t_{pn}^{\max} = 1380\div 1400^\circ\text{C}$ .

Опыт практического использования  $t_n(\tau)$  для управления нагревом металла в условиях нестационарного режима работы методических печей ШСГП показал, что для реализации оперативного предваряющего управления тепловым режимом недостаточно использование только одного информационного сигнала зонного пирометра, свизированного на поверхность металла в определенном сечении по длине печи.

Для повышения эффективности предваряющего оперативного управления подачей топлива и обеспечения плавного практически безударного изменения теплового режима в зонах нагрева, при поступлении в зоны металла с резко различным тепловым состоянием (при смешанном посяде), управление тепловым режимом необходимо осуществлять по средневзвешенной  $\bar{t}_n(\tau)$  величине информационного сигнала формируемого по данным двух оптических пирометров, расположенных на определенных расстояниях друг от друга в верхних сварочных зонах [5,8].

Использование  $t_n(\tau)$  вместо  $t_{pn}(\tau)$  при автоматическом управлении тепловым режимом при нагреве металла в методических печах [9-13] позволили практически без затрат получить значительный эффект от снижения удельного количества топлива на 3–4% при использовании на трех отечественных ШСГП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Буглак, Л.И.** Автоматизация методических печей [Текст] / Л.И. Буглак, И.Б. Вольфман, С.Ю. Ефроймович и др. // М.:Металлургия.– 1981.– 196с.

2. **Михайловский, В.Н.** Освоение нагревательных печей стана горячей прокатки 2000 [Текст] / В.Н. Михайловский, С.К. Носов, А.Н. Пирожков и др. // Сталь. 1998. – №2. – С.27-30.
3. **Карташевский, А.Г.** Автоматизированная система контроля температуры нагревательной печи стана 2000 с применением микро ЭВМ [Текст] / А.Г. Карташевский, Л.И. Буглак, А.Н. Резников и др. // Сталь. 1985. – №1. – С.90 – 92.
4. **Иванов, Н.И.** Автоматическое управление тепловым режимом методических печей при изменяющейся производительности стана [Текст] / Н.И. Иванов, Б.Н. Парсункин, В.А. Обрезков // Сталь. 1970. – №1. – С.657 – 659.
5. **Парсункин, Б.Н.** Энергосберегающий нагрев непрерывнолитых заготовок в нестационарных условиях работы методических печей [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.У.Ахметов // Сталь. 2014. – №4. – С.48 – 52.
6. **Крючков, В.Ю.** Бесконтактное измерение температуры поверхности металла в нагревательных печах [Текст] / В.Ю. Крючков, В.В. Волков, Л.В. Каменщик. //Свердловск: ЦООНТИ. – 1985. – 4с.
7. **Парсункин, Б.Н.** Снижение удельного расхода топлива при управлении тепловым режимом по температуре поверхности нагреваемого металла [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Обухова, Т.У.Ахметов // Автоматизированные технологии и производства. 2013. -№5. – С.302-309.
8. **Парсункин, Б.Н.** Энергосберегающее управление тепловым режимом по температуре поверхности нагреваемого металла [Текст] / Б.Н. Парсункин, Т.У.Ахметов, Е.Ю. Мухина, О.С. Гиляев // Автоматизированные технологии и производства. 2013. - №5. – С.231–241.
9. **Андреев С.М.** Совершенствование информационного обеспечения энергосберегающих режимов нагрева металла [Текст] / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин, Т.У. Ахметов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. -2015. – Том 3, - №2. -С. 3-10
10. **Андреев, С.М.** Разработка и исследование работы системы энергосберегающего управления нагревом заготовок в методических печах листопрокатных станов [Текст] / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин, Т.У. Ахметов // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. –№1. –С. 122-128.
11. **Парсункин, Б.Н.** Оптимальный режим использования топлива при энергосберегающем нагреве [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, А.В. Комарова // Известия Вузов. Черная металлургия. – 2004. -№12. –С.48-53.
12. **Андреев, С.М.** Система оптимального управления тепловым режимом промышленных печей [Текст] / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. – №2. – С.18-29.
13. **Андреев, С.М.** Оптимизация режимов управления нагревом заготовок в печах проходного типа: монография. [Текст] / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин. // -Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, -2013. - 376 с.
14. **Шестаков, А.Л.** Коррекция динамической погрешности измерительного преобразователя линейным фильтром на основе модели датчика [Текст] /А.Л. Шестаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1991. Т. 34. № 4. С. 8-13.
15. **Шестаков, А.Л.** Преобразователь температуры без опорного сопротивления [Текст] / А.Л. Шестаков, М.Д. Белоусов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2008. №3(103). С. 29-33.



## ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ДИАГРАММ ДВИЖЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ В СИСТЕМЕ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ

А.А. Бойко<sup>1</sup>, Н.В. Акчешаш<sup>2</sup>, А.В. Бибик<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина.

## FEATURES PATTERN SYNTHESIS TRAFFIC LINKAGE PASSENGER ELEVATOR IN A SYSTEM WITH ELASTIC COUPLING AT AN ARBITRARY CONTROL LAW

A.A. Boyko<sup>1</sup>, N.V. Akchebash<sup>2</sup>, A.V. Bibik<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Odessa national polytechnic university, Odessa, Ukraine

<sup>1</sup>dart77@ukr.net, <sup>2</sup>akchebash@mail.ru, <sup>3</sup> cj51@rambler.ru

**Аннотация.** В статье выполнен синтез математических соотношений, которые при любых заданных параметрах лифтовых подъемных механизмов, позволяют, с учетом упругих свойств канатной передачи, рассчитать фактическую диаграмму движения кабины, определить максимальные значения скорости, ускорения и рывка. Это позволяет оценить параметры движения пассажирских лифтов при произвольных законах управления.

**Ключевые слова:** диаграмма движения кабины лифта, подъемный механизм пассажирского лифта, оптимальный закон управления, упругие свойства канатной передачи.

**Abstract.** In the paper the synthesis of mathematical relations that for any given parameters elevator hoists allow, subject to the elastic properties of the cable transmission, calculate the actual diagram of the car, find the maximum value of the velocity, acceleration and jerk. This allows to estimate the parameters of passenger elevators for arbitrary control laws.

**Keywords:** diagram movement of the elevator car, hoist passenger lift, the optimal control law, the elastic properties of the cable transmission.

### Введение

Обеспечение требуемой производительности и увеличение быстродействия лифтовых подъемных механизмов приводит к влиянию упругости трансмиссий и возникающие, вследствие этого, упругие механические колебания [1]. Упругие механические колебания отрицательно сказываются на качестве управления, увеличивают динамические нагрузки на механизмы, способствуют накоплению усталостных напряжений в кинематических цепях, что приводит к преждевременным отказам и незапланированным простоям оборудования, возрастанию стоимости ремонтов и эксплуатации пассажирских лифтов [2].

### Основные проблемы и решения

Многочисленными исследованиями установлено, что фактические нагрузки в элементах механизмов подъема лифтов различных конструкций превышают расчетные, что вызывает их дополнительный износ [3,4]. Все это обуславливает необходимость детального учета упругих свойств канатной передачи, как при аналитическом описании лифтовых электромеханических систем, так и при их дальнейшем изучении. Особенности синтеза математических соотношений, которые при заданных параметрах лифтового подъемного механизма, позволяют, с учетом упругих свойств канатной передачи, рассчитать фактическую диаграмму движения кабины, известны [4,5,6]. Однако полученные

выражения справедливы для «классического» общепринятого закона оптимального управления [5]:

$$k_1(m_1 + m_2 + m_3)r_H t + k_2(m_1 + m_2 + m_3)a_H + (m_1 - m_3)g. \quad (1)$$

Если же оказывается, что рассчитанная диаграмма движения лифта существенно отличается от оптимальной, приходится отказываться от управления по общепринятому закону (1) и формировать более сложные законы управления [6,7]. Однако, и в этом случае фактическая диаграмма движения кабины лифта, из-за наличия упругих связей, также будет отличаться от оптимальной [8].

### Материал и результаты исследования

Если предположить, что имеется идеальный регулятор, реализующий заданный закон изменения скорости двигателя лебедки [9], линейная скорость на ободе канатоведущего шкива определяется уравнением

$$v_{кш} = k_1 \frac{r_H}{2} t^2 + k_2 a_H t + k_3 \frac{a_H^2}{2r_H} + k_4 V_H, \quad (2)$$

где  $k_1 \dots k_4$  – переключающие функции для каждого из участков оптимальной диаграммы движения кабины (рис. 1) [10].

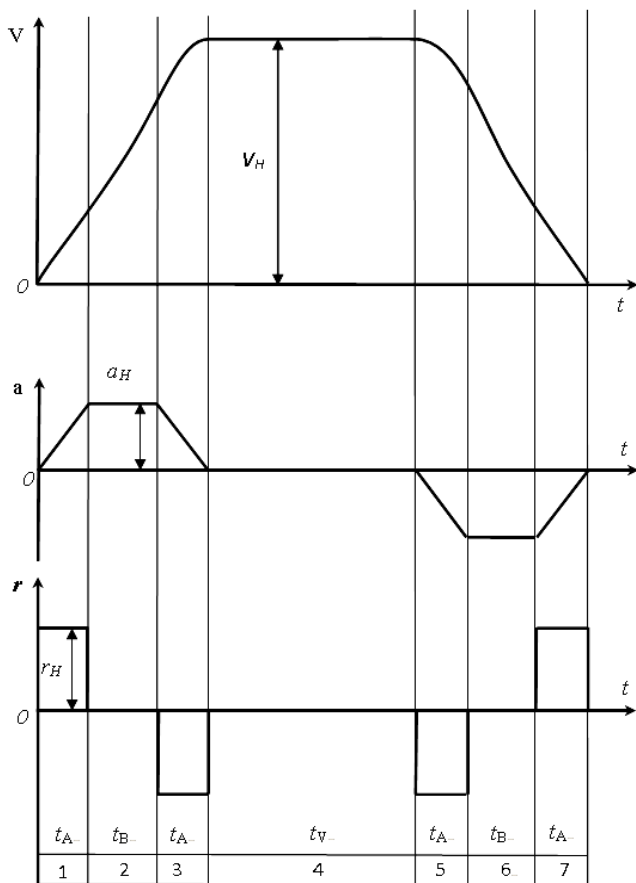


Рис.1. Оптимальная диаграмма движения кабины лифта

Переходя к относительным единицам

$$v_{кш} = k_1 \frac{\vartheta^2}{2\vartheta_A} + k_2 \vartheta + k_3 \frac{\vartheta_A}{2} + k_4 (\vartheta_A + \vartheta_B), \quad (3)$$

где относительная длительность второго участка оптимальной диаграммы

$$\vartheta_B = \left( \frac{V_H}{a_H} - t_A \right) \frac{1}{T_\delta} = t_B / T_\delta. \quad (4)$$

При рассмотрении подъемного механизма в качестве двухмассовой системы, и приняв в качестве базовой постоянной времени величину, обратно пропорциональную частоте свободных колебаний массы  $m_1$  при закрепленной массе  $m_2$  [11]:

$$T_\delta = T_{01} = \frac{1}{\Omega_{01}} = \sqrt{\frac{m_1}{C_{12}}}, \quad (5)$$

из уравнений [5]

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{dV}{dt} &= F_{12} - m_1 g - F_{C1}, \\ (m_1 + m_2) \frac{dv_{кш}}{dt} &= F - F_{12} + m_2 g - F_{C2}, \\ \frac{dF_{12}}{dt} &= c_{12}(V_{кш} - V) + c_{12} T_{12} \frac{d(V_{кш} - V)}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где:  $V_{кш} = \omega_{кш} R_{кш}$  – скорость на ободе канатоведущего шкива;  $\omega_{кш}$  – угловая скорость канатоведущего шкива;

$F_{12}$  – усилие в упругом элементе ветви каната;  $c_{12} = \frac{E_k S_k}{l_{12}}$  – жесткость ветви каната;  $l_{12}$  – длина ветви каната, зависящая от положения кабины лифта;  $E_k$  – модуль упругости каната;  $S_k$  – сечения каната;  $T_{12}$  – постоянная времени, учитывающая действие диссипативных сил;

при заданной скорости  $v_{кш}$ :

$$\frac{dv}{d\vartheta} = \mu_{12} - \mu_{C1} - \mu_g, \quad (7)$$

где  $\mu$  – соответствующее усилие,

$$\frac{d\mu_{12}}{d\vartheta} = (v_{кш} - v) + 2\xi \left( \frac{dv_{кш}}{d\vartheta} - \frac{dv}{d\vartheta} \right). \quad (8)$$

Дифференцируя уравнение

$$\frac{d\mu_{12}}{d\vartheta} = (v_{кш} - v) + 2\xi \left( \frac{dv_{кш}}{d\vartheta} - \frac{dv}{d\vartheta} \right), \quad (9)$$

по  $d\vartheta$  (относительной длительности участка оптимальной диаграммы) [10], с учетом (3) после преобразований, определяется

$$\frac{d^2 \mu_{12}}{d\vartheta^2} + 2\xi \frac{d\mu_{12}}{d\vartheta} + \mu_{12} = \mu_{C1} + \mu_g + k_2 + k_1 \frac{\vartheta}{\vartheta_A} + 2\xi \frac{k_1}{\vartheta_A}. \quad (10)$$

Решение уравнения имеет вид

$$\mu_{12} = k_2 + k_1 \frac{\vartheta}{\vartheta_A} + \mu_{C1} + \mu_g + [C_1 \cos(\sqrt{1 - \xi^2} \vartheta) + C_2 \sin(\sqrt{1 - \xi^2} \vartheta)] \exp(-\xi \vartheta). \quad (11)$$

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  определяются из уравнений

$$\mu_{12_0} = C_1 + k_2 + \mu_g + \mu_{C1}, \quad (12)$$

$$(v_{кш_0} - v_0) + 2\xi(k_2 - \mu_{12_0} + \mu_{C1} + \mu_g) = \frac{k_1}{\vartheta_A} - \xi C_1 + \sqrt{1 - \xi^2} C_2. \quad (13)$$

Окончательное решение

$$\mu_{12} = k_2 + k_1 \frac{\vartheta}{\vartheta_A} + \mu_{C1} + \mu_g + M'_m [\sin(\sqrt{1 - \xi^2} \vartheta + \Psi') \exp(-\xi \vartheta)], \quad (14)$$

где

$$M'_m = \sqrt{\frac{S_3^2 + S_4^2 - 2 \cos \delta S_3 S_4}{1 - \xi^2}}, \quad (15)$$

$$S_3 = \mu_{12_0} - k_2 - \mu_g - \mu_{C1}, \quad (16)$$

$$S_4 = -v_0 - \frac{k_1}{\vartheta_A} + k_1 (\vartheta_A + \vartheta_B) + k_2 \frac{\vartheta_A}{2}, \quad (17)$$

$$\Psi' = \arcsin\left(\frac{S_3}{M'_m}\right). \quad (18)$$

Законы изменения скорости, ускорения и рывка, а также пути, проходимого кабиной лифта, определяются по выражениям:



$$v = v_0 + k_2\vartheta + k_1 \frac{\vartheta^2}{2\vartheta_A} - M_m [\sin(\sqrt{1 - \xi^2}\vartheta + \Psi + \delta) \exp(-\xi\vartheta) - \sin(\Psi + \delta)], \quad (19)$$

$$\alpha = k_2 + k_1 \frac{\vartheta}{\vartheta_A} + M_m [\sin(\sqrt{1 - \xi^2}\vartheta + \Psi) \exp(-\xi\vartheta)], \quad (20)$$

$$\rho = \frac{k_1}{\vartheta_A} - M_m [\sin(\sqrt{1 - \xi^2}\vartheta + \Psi - \delta) \exp(-\xi\vartheta) - \sin(\Psi - \delta)], \quad (21)$$

$$\varphi = \varphi_0 + v_0\vartheta + k_2 \frac{\vartheta^2}{2\vartheta_A} + k_1 \frac{\vartheta^3}{6\vartheta_A} + M_m [\sin(\sqrt{1 - \xi^2}\vartheta + \Psi + 2\delta) \exp(-\xi\vartheta) - \sin(\Psi + 2\delta)], \quad (22)$$

при замене  $M_m$  на  $M'_m$ . При этом, однако, следует помнить о различии в базовых постоянных времени, обусловленном различием в частотах колебаний элементов системы при реализации закона (3) [12].

Законы изменения усилия, необходимый для реализации заданной произвольной диаграммы (рис. 1) изменения скорости механизма, находится из первого уравнения (6), которое в относительных единицах имеет вид:

$$\frac{dv_{кш}}{d\vartheta} = \frac{m_1}{m_2 + m_3} (\mu - \mu_{12} + \frac{m_3}{m_1} \mu_g - \mu_{c3}), \quad (23)$$

С учетом (3) и (11) из (23)

$$\mu = \mu_{c3} + \frac{m_1 - m_3}{m_1} \mu_g + \frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_1} (k_2 + k_1 \frac{\vartheta}{\vartheta_A}) + M'_m [\sin(\sqrt{1 - \xi^2}\vartheta + \Psi') \exp(-\xi\vartheta)] \quad (24)$$

Переходя от относительных к абсолютным величинам

$$\mu = \mu_{c3} + \frac{m_1 - m_3}{m_1} \mu_g + \frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_1} (k_2 + k_1 \frac{\vartheta}{\vartheta_A}) + M'_m [\sin(\sqrt{1 - \xi^2}\vartheta + \Psi') \exp(-\xi\vartheta)] \quad (25)$$

где

$$F_m = M'_m m_1 a_n \quad (26)$$

Следует подчеркнуть, что полученные соотношения могут быть использованы и в случае, например, когда диаграмма момента или скорости двигателя формируется с учетом сторонних ограничений (например, по нагреву) [12]. Отличие заключается лишь в том, что модель коэффициента  $k_1$  (табл.1.) на участках 3 и 5 (рис. 1) будет меньше единицы:  $0 > k_1 > -1$ . В случае, когда необходимо формирование «вырожденных» треугольных диаграмм изменения момента или скорости двигателя лебедки, для использования полученных соотношений понадобится лишь корректировка начальных условий на каждом из участков [10].

### Выводы

Полученные математические соотношения, при любых заданных параметрах подъемных механизмов пассажирских лифтов, позволяют, с учетом упругих свойств канатной передачи, рассчитать фактическую диаграмму движения кабины, определить максимальные значения скорости, ускорения и рывка. Это позволяет корректно оценивать параметры движения лифтов при произвольных законах управления.

Таблица 1 - Значения переключающих функций

№ участка	Длительность участка опт. диаграммы	Величины функций			
		$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$
1	$t_A$	1	0	0	0
2	$t_B$	0	1	1	0
3	$t_A$	-1	1	-1	0
4	$t_V$	0	0	0	1
5	$t_A$	-1	0	0	1
6	$t_B$	0	-1	-1	1
7	$t_A$	1	-1	1	0

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
2. Волков Д.П., Чутчиков П.И. Надежность лифтов и технология их ремонта. – М.: Стройиздат, 1985. – 128 с.
3. Динамика автоматизированного электропривода с упругой механической связью / В. И. Ключев, В. И. Яковлев, Л. Я. Теличко, А. М. Усманов, Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский // Электричество. -1973. - № 1. - С. 40 - 46.
4. Ионов А.А., Мирский Г.Г., Трактовенко Б.В. Вибрация пассажирских лифтов и ее причины // Строительные машины и лифты. - 1969. - №3. - С. 14 - 18.
5. Бойко А.А. Ограничение колебаний элементов лифтовых подъемных механизмов за счет корректирующей обратной связи // Матеріали XVIII Всеукраїнської науково - практичної конференції «Сучасна освіта і наука в Україні: традиції та інновації» - Київ.: «Нова освіта» - 2014. – С. 140 – 145
6. Разработка оптимальных диаграмм движения электроприводов лифтов с учетом влияния упругости тросов. / Ю. П. Добробаба, А. И. Сафронович // Научный журнал «Груды КубГТУ» /Т. 19. Серия Нефтегазовое дело.- Краснодар: КубГТУ, 2003.- Вып. 3 - С. 59-71.
7. Пятибратов Т. Я. Оптимизация систем подчиненного регулирования при учете упругости механических передач // Изв. вузов. Электромеханика. -1986. - №6. - С. 72-82.
8. Петров Ю.П. Оптимальная управление движением транспортных средств. М.: Энергия, 1969. – 134 с.
9. Сафронович А. И. Разработка задатчика интенсивности для электропривода лифта // Межвузовский сборник научных трудов.- Краснодар: КВАИ, 2003. - Вып. 7. - С. 184-187.
10. Бойко А.А. Синтез и анализ диаграмм движения лифтовых подъемных механизмов // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Збірник наукових праць. - Вип. 4(5) - Одеса: АО Бахва, 2013. - С. 83-91.
11. Дербенев Н. А. Динамические процессы двухмассовой электромеханической системы // Тр. управления кадров и учебных заведений. – Вып. 45. - 1972. - С. 93 - 107.
12. Поляков Л.М., Херунцев П. Э. Оптимальное управление динамическими процессами в электроприводах с упругими связями. // Электричество – 1979. - №3. - С. 34 - 39.

## РАСЧЕТ ЗАДАНИЯ НА МОМЕНТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАЗМОТОЧНОГО АППАРАТА СТАНА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

И.Р. Сафин<sup>1</sup>, С.И. Лукьянов<sup>2</sup>, Е.Э. Бодров<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

## TORQUE CALCULATION TO THE PAY OFF MACHINE'S ELECTRIC DRIVE ON THE STEEL REINFORCEMENT MANUFACTURING MILL

I.R. Safin<sup>1</sup>, S.I. Lukyanov<sup>2</sup>, E.E. Bodrov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

<sup>1</sup> ildar.crz@yandex.ru, <sup>2</sup> ieiac@magtu.ru, <sup>3</sup> fortheartist@mail.ru

**Аннотация.** Разработанный алгоритм управления электроприводом размоточного аппарата обеспечивает поддержание натяжения перед входом в клеть профилирования на заданном уровне при изменении радиуса заполнения катушки проволокой, диаметра проволоки и технологических условий изготовления арматуры.

**Ключевые слова:** арматура, электропривод, размоточный аппарат, алгоритм.

**Abstract.** Developed algorithm of pay off machine's electric drive control system maintains the tension in front of the cage profiling at a given level when changing the radius of the filling of the coil wire, wire diameter and technological conditions of production of reinforcement.

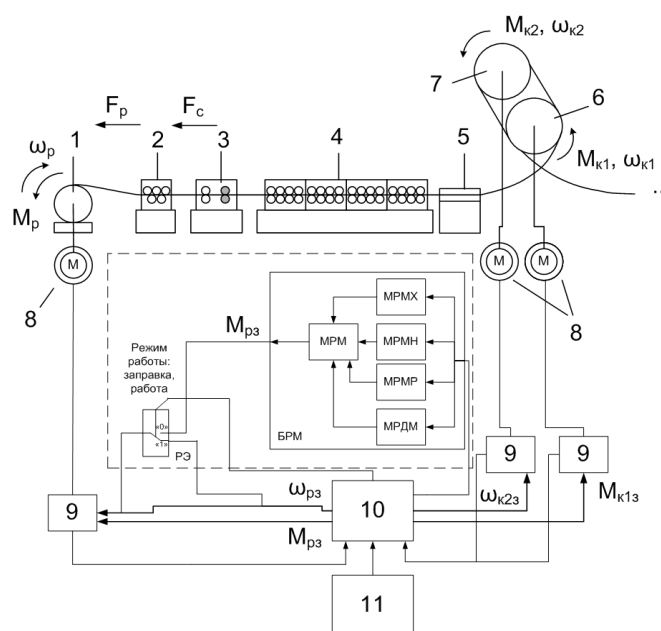
**Keywords:** reinforcement, electric drive, pay off machine, algorithm.

Увеличение надежности железобетонных изделий и срока их эксплуатации связано с повышением требований к качеству стальной арматуры периодического профиля. Технология производства стальной арматурной проволоки непрерывно совершенствуется в направлении повышения механических свойств проволоки и параметров периодического профиля. Одним из резервов улучшения качества профиля арматуры является совершенствование систем управления электроприводами станков по производству арматурной проволоки [1].

Одним из новейших технологических решений по производству высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал является совмещение процессов нанесения насечки на проволоку и стабилизации механических свойств арматуры с применением наноструктурирования поверхности последней. С применением данной технологии в 2007 году в сталепроволочно-канатном цехе Открытого Акционерного Общества «Магнитогорский метизнокалибровочный завод» (ОАО «ММК-МЕТИЗ») был смонтирован стан ISF5 итальянской фирмы Mario Frigerio S.p.a. Производительность стана ISF5 составляет 10800 тонн/год [2].

Одним из новейших технологических решений по производству высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал является совмещение процессов нанесения насечки на проволоку и стабилизации механических свойств арматуры с применением наноструктурирования поверхности последней.

Основным участком, где формируется качество насечки арматурной проволоки, является участок размотки проволоки (рис. 1).



**Рис. 1.** Структурная схема участка размотки проволоки с катушки стана ISF 5: 1 – размоточный аппарат; 2 – роликное правильное устройство; 3 – клеть профилирования; 4 – роликное рихтовальное устройство; 5 – промысловая ванна; 6 – кабестан 1; 7 – кабестан 2; 8 – электродвигатели; 9 – преобразователи частоты; 10 – контроллер Simatic S7 315-2DP; 11 – панель оператора Siemens OP 270

Дополнительно в существующую систему управления включен блок расчета момента (БРМ) перед входом в клеть профилирования, который состоит из пяти функциональных модулей: модуля расчета момента хо-

холостого хода (МРМХ); модуля расчета момента разгиба (МРМР); модуля расчета момента необходимого для создания натяжения (МРМН); модуля расчета динамического момента (МРДМ); модуля расчета момента размоточного аппарата (МРМ) и релейного элемента (РЭ).

Технологический процесс низкотемпературного отпуска проволоки и отпуска при установленном натяжении (стабилизация) при производстве проволоки для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций и проката периодического профиля для армирования железобетонных шпал на линии стабилизации начинается с размотки проволоки-заготовки диаметром 3,0 – 10,0 мм с размоточного аппарата SU 140. Максимальная скорость горизонтально разматывающего устройства 360 м/мин [3].

Размоточным аппаратам производится обратное натяжение проволоки перед входом в роликую клеть (волоку) для нанесения двух- или трехстороннего профиля [4].

На стане не предусмотрена возможность автоматического задания и поддержания на заданном уровне натяжения между размоточным аппаратом и клетью профилирования, регулирование натяжения проводится в ручном режиме. Обслуживающий персонал установку натяжения размоточного аппарата для всего сортамента проводит эмпирическим путем.

Для определения степени влияния электропривода стана на качество продукции были поставлены следующие задачи:

- провести экспериментальные исследования и определить значимость влияния параметров работы электроприводов на размеры профиля;
- получить аналитические зависимости влияния параметров работы электропривода на размеры профиля;
- уточнить существующие технологические требования к электроприводу стана.

Для решения поставленных задач на стане ISF5 в соответствии с [5] были проведены экспериментальные замеры глубины насечки арматуры на выходе стана для различных значений задания на момент электродвигателя размоточного аппарата и заданий на натяжение между кабестанами [6].

Согласно [7] к электроприводам проволочных станов предъявляются типовые технологические требования с позиции обеспечения безаварийной его работы в рабочих режимах стана. Технологические же требования к электроприводу станов с позиции улучшения качества арматуры в технической литературе отсутствуют.

Проведенные исследования [6] позволили сформулировать дополнительные технологические требования к электроприводу размоточного аппарата с целью обеспечения качества арматуры в пределах допуска [8].

Одним из требований является наличие в системе управления электроприводом размоточного аппарата возможности расчета требуемого по технологии натяжения между размоточным аппаратом и клетью профилирования.

Для реализации данного технологического требования был разработан алгоритм расчета целесообразного изменения момента электродвигателя размоточного аппарата с учетом изменения диаметра смотки проволоки

с катушки барабана в целях стабилизации натяжения перед клетью профилирования (рис. 2).

В нормальном режиме работы стана управление электроприводом размоточного аппарата производится от блока расчета момента БРМ. При задании диаметра проволоки и технологических условий производства арматуры на панели оператора заданные значения передаются в модули блока расчета момента БРМ. В блоках МРМХ, МРМР, МРМН и МРМД рассчитываются составляющие задания на момент электродвигателя размоточного аппарата. В модуле МРМ происходит суммирование всех составляющих момента.

В заправочном режиме работы стана входы релейных элементов РЭ переключены в положение «1», и управление электроприводом размоточного аппарата осуществляется от штатной АСУ ТП. При запуске стана в нормальном режиме работы управление электроприводом размоточного аппарата стана передается блоку БРМ путем переключения релейного элемента РЭ в положение «0» и управление размоточным аппаратом передается разработанному алгоритму. Алгоритм управления электроприводом размоточного аппарата линии по производству арматуры предложено реализовать в существующем микропроцессорном контроллере Simatic S7 315 - 2DP. Данный алгоритм реализован в блоке БРМ системы управления электроприводом размоточного аппарата стана (см. рис. 1, пунктирная линия).

Разработанный алгоритм позволяет осуществлять управление электроприводом размоточного аппарата в рабочем режиме производства стальной арматуры. При этом размоточный аппарат работает в режиме автоматической стабилизации натяжения между размоточным аппаратом и клетью профилирования. Управление электроприводами кабестанов, индукционной печи, тянущих роликов, намоточных аппаратов и отрезного станка по-прежнему осуществляется по заданию АСУ ТП стана.

Предложенная функциональная схема и алгоритм системы управления электроприводом размоточного аппарата позволяют поддерживать на заданном уровне натяжение в промежутке размоточный аппарат – клеть профилирования путем изменения момента на электродвигателе размоточного аппарата при изменении радиуса заполнения катушки с целью обеспечения качества профиля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев В.Н., Корчунов А.Г., Чукин М.В. Производство высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Металлург. 2011. №1. С. 75 – 78.
2. МеталлИнвест Северо-Запад «ММК-МЕТИЗ» увеличивает выпуск арматуры нового поколения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metal-in.ru/news/mmk-metiz-uvlechivaet-vypusk-armatury-novogo-pokoleniya/>
3. PC WIRE LINE ISF5 [Текст]: док. к обор.- Италия: Mario Frigerio S.p.A, 2006.-166с.
4. ТИ ММК-МЕТИЗ-К. ПР-28-2008. Производство проволоки и проката из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций на линии стабилизации [Текст]. – Магнитогорск: ОАО “ММК-МЕТИЗ”, 2008. - 33с.



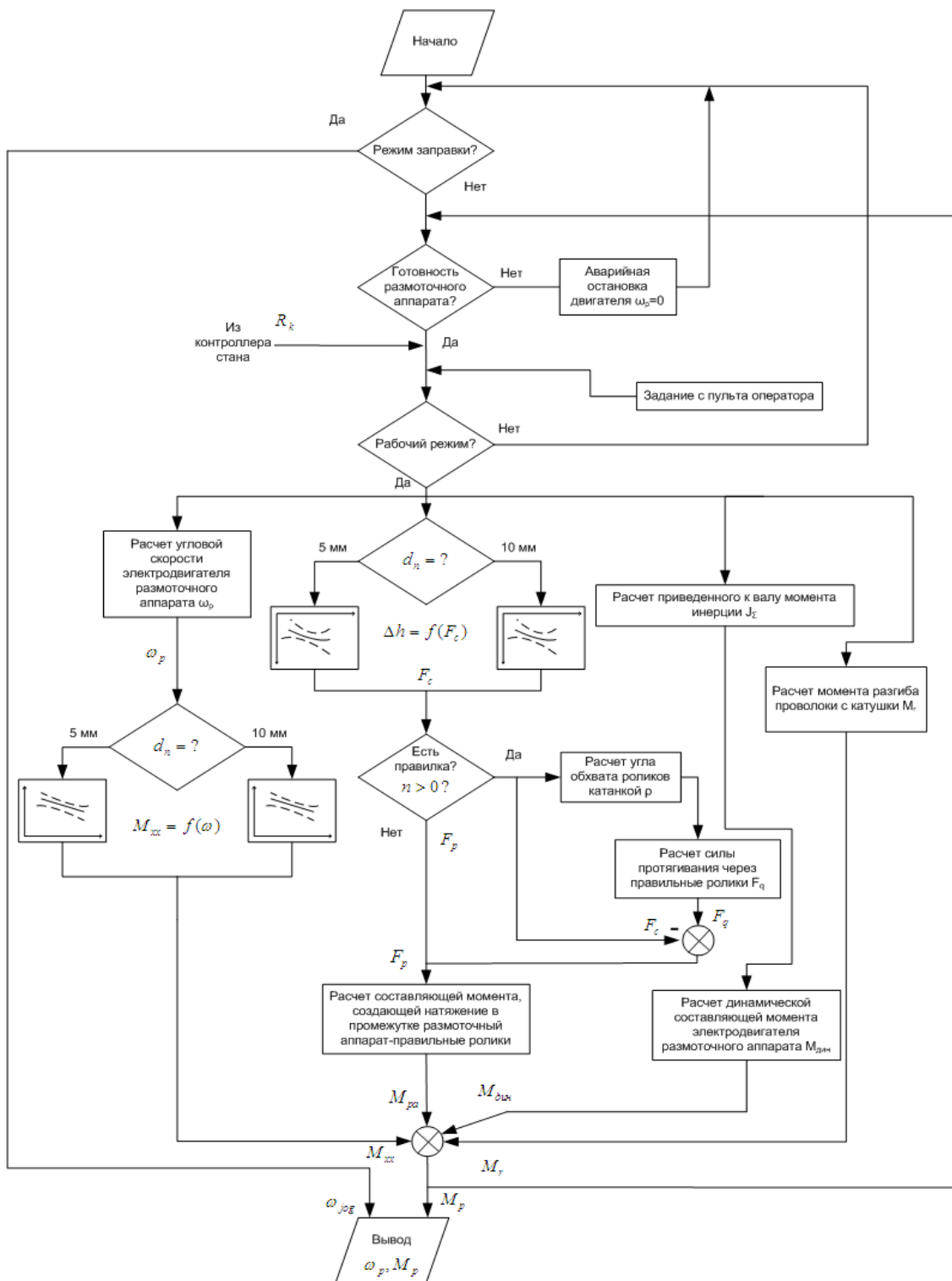


Рис. 2. Графическое представление алгоритма расчета задания на момент электропривода размоточного аппарата стана ISF5

5. Радионов А.А., Карандаев А.С. Автоматизированный электропривод намоточно - размоточных устройств агрегатов прокатного производства. Магнитогорск: МГТУ, 1999. - 131 с.

6. Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э. Исследование влияния параметров настройки электроприводов стана ISF5 на качество продукции [Текст] // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Г.П. Корнилова, Е.А. Пановой. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2013. – Вып. 21. с. 33-40.

7. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод станов для производства стальной проволоки: Монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО “МГТУ”, 2007. - 311 с.

8. Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э. Разработка технологических требований к электроприводу размоточного аппарата линии по производству арматуры [Текст] // Труды VIII международной (XIX всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП–2014 / Ответственный за выпуск И. В. Гуляев. – Том. 2 – Саранск., 2014. с. 315-319.

## АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И НАПЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.Ц. Зориктуев<sup>1</sup>, Б.Н. Файрушин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г.Уфа, Россия

## ALGORITHMS AUTOMATIC CONTROL OF THE PROCESS IONIC IMPLANTATION AND DUSTING OF THE SURFACE OF SHOVELS GAS TURBINE ENGINES

V.C. Zoriktuev<sup>1</sup>, B.N. Fairushin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ufa state aviation technical university, Ufa, Russia

<sup>1</sup>katzor@mail.ru, <sup>2</sup>bulat.fairushin@rambler.ru

**Аннотация.** Обосновываются алгоритмы и структуры систем автоматического управления технологическим процессом ионной имплантации и ионно-плазменного напыления поверхности лопаток газотурбинных двигателей.

**Ключевые слова:** ионная имплантация; напыления поверхности деталей; иерархические системы автоматического управления; микрослой поверхности; ионно-плазменное напыление; интерметаллид; технологический процесс.

**Abstract.** Algorithms and structures of systems of automatic control for the technological process of ionic implantation and ion-plasma dusting of gas turbine engines shovels surface are revealed.

**Keywords:** ion implantation; spraying the surface of parts; hierarchical systems of automatic control; surface microlayer; ion-plasma spraying; intermetallic; technological process.

Лопатки турбин изготавливаются из дорогостоящих жаропрочных сплавов по сложной технологии, например путем направленной кристаллизации или монокристаллического литья, поэтому их стоимость чрезвычайно высока. В связи с этим актуальной задачей для обеспечения ресурса деталей газотурбинного двигателя (ГТД), какими являются лопатки турбин и компрессоров, путем ионной имплантации и ионно-плазменного напыления микрослоев позволяют значительно повысить их эксплуатационные свойства (долговечность, жаростойкость, износостойкость, коррозионная стойкость и т.д.) Более того, нанесение защитных покрытий на такие детали имеет большое экономическое и техническое значение.

В условиях существенной неопределенности производства сложных деталей авиационной техники и высокой требовательности к параметрам формирования поверхности этих деталей необходимо применение интеллектуальных систем управления технологическими процессами[3].

При ионно-плазменном напылении нанесение покрытия происходит на поверхности детали при ее непрерывном вращении в камере установки. Толщина покрытий (количество микрослоев) зависит от режима ионно-плазменного напыления (энергия ионов, скорость вращения детали, составом плазмы и т.д.), а состав, структура и свойства фаз покрытий зависят от параметров ионной имплантации и применения дополнительных термических обработок.

При ионно-плазменном напылении нанесение покрытия происходит на поверхности детали при ее непрерывном вращении в камере установки. Толщина покрытий (количество микрослоев) зависит от режима

ионно-плазменного напыления (энергия ионов, скорость вращения детали, составом плазмы и т.д.), а состав, структура и свойства фаз покрытий зависят от параметров ионной имплантации и применения дополнительных термических обработок.

Порядок нанесения различных микрослоев и их толщина (величина которых может быть в пределах от 0,01 до 300 мкм), а также режимы имплантационных обработок определяются назначением деталей и их ресурса [1,2,4].

Схема установки для ионно-плазменного напыления в сочетании с ионной имплантацией нанесения покрытий приведена на рис.1.

Установка предусматривает камеру для ионно-плазменного напыления с вращающимся столом для установки деталей, системы подачи и регулирования нейтральных и реакционных газов в рабочую камеру, системы контроля и регулирования параметров ионной очистки и напыления, системы контроля и регулирования температуры деталей.

В крышке рабочей камеры установки монтируется ионный источник, в котором предусмотрено получение ионов нейтральных и реакционных газов (азота, ацетилена, метана, кислорода) для имплантации ионами нейтральных газов (аргона, неона). С этой целью источник снабжен автономной системой подачи и регулирования газовых смесей. Кроме того, в имплантере предусмотрен источник металлических ионов. Установка имплантера в крышке установки ионно-плазменного напыления производится таким образом, чтобы поток ионов был направлен на поверхность деталей, которые вращаются с помощью планетарного механизма. При установке имплантера также предусмотрена задвижка для

защиты ионного источника от нежелательного напыления элементами при ионно-плазменном нанесении покрытий на деталь.

Итак, различное количество микрослоев, их состав и толщина достигаются путем изменения условий диффузионной металлизации (временем, составом диффузирующих элементов, температурой и режимом насыщения) или изменением режимов ионно-плазменного напыления и ионной имплантации (температурно-временным режимом, энергией и составом плазмы, параметрами ионной имплантации).

Под термином «микрослой» понимается[4] слой чистого металла, или компонентного сплава, или соединения нескольких металлов между собой интерметаллидов, или твердых растворов на основе этих интерметаллидов, или соединений металлов с неметаллами. Микрослой формируют с помощью ионов или нейтральных частиц в среде соответствующего состава.

Для разработки алгоритмов управления ионно-плазменной обработкой (напыления) необходимо сформировать функциональную (рис.2), динамическую (рис.3) и информационные (рис.4) модели.

Рассмотрим формат IDEF0, представленный на рисунке 2, после получения комплекта конструкторской документации (КД) происходит «Разработка операционной технологии напыления детали лопатка». Управляющим воздействием на данный функциональный блок является: инструкции, приказы, ГОСТы. Результат является входом для остальных двух блоков для ввода параметров процесса ионно-плазменного напыления и разработки управляющей программы для обработки детали. Управляющим воздействием на оба блока являются инструкции и ГОСТы. Механизмом для них выступает SCADA система. Результатом выполнения данных функций является управляющая программа (УП).

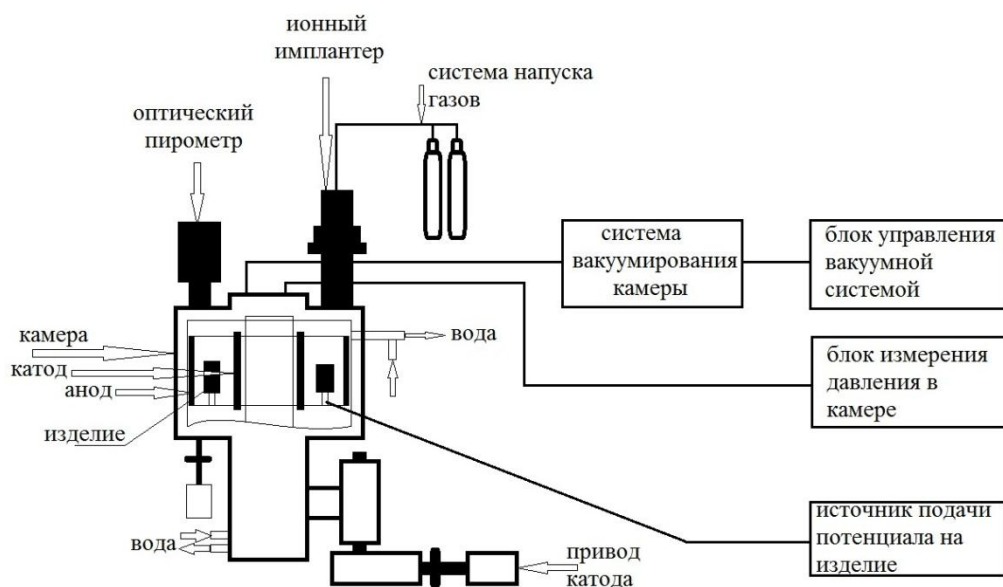


Рис.1. Блок-схема установки для нанесения покрытий и ионной имплантации

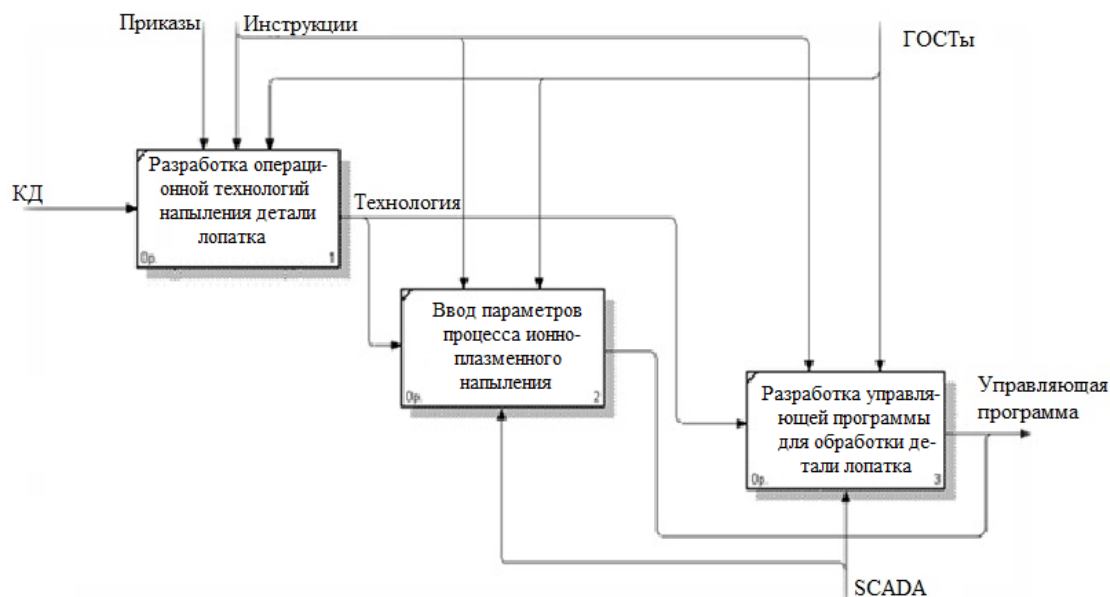


Рис.2. Функциональная модель процесса ионно-плазменного напыления детали (IDEF0)



Далее заготовка подготавливается к обработке и помещается в вакуумную установку ВАТТ 900-3Д. После чего начинается цикл ионно-плазменного напыления, который показан на рисунке 3.

В качестве наиболее эффективной информационной модели (рис. 4) представлена двухуровневая автоматизированная система управления ионно-плазменного напыления с помощью вакуумной установки ВАТТ 900-3Д[4].

Нижний уровень этой системы представляют собой программируемый логический контроллер (ПЛК) формирующий данные об объекте управления и управляющими с помощью, например, программы Микконт – это основная программа, которая служит для

ввода/вывода, калибровки сигналов и хранения коэффициентов ОУ.

Верхний уровень представляет собой персональный компьютер (IBM PC) со SCADA – системой, который служит для общения оператора с системой управления.

Интеллектуальные системы управления процессами ионной имплантации и ионно-плазменного напыления поверхности лопаток ГТД требуют применения динамических экспертных систем, также как и при оптимизации процессов механообработки[5].

Экспертная система содержит в себе базу данных (БД), базу знаний (БЗ), подсистему вывода данных и подсистему интерфейса.



Рис.3. Динамическая модель процесса ионно-плазменного напыления детали (IDEF3)



Рис.4. Информационная модель двухуровневой системы автоматического управления ионно-плазменного напыления (IDEF1X)

База данных (в том числе библиотека моделей) содержит непрерывно обновляемые данные (предыдущие, текущие, прогнозные) о характеристиках объекта и внешней среде, информацию о граничных значениях соответствующих параметров.

База знаний содержит знания о специфике работы конкретного объекта, целях, стратегиях и алгоритмах управления, о результатах идентификации и прогноза его характеристик.

Подсистема логического вывода осуществляет выбор рациональной структуры и параметров управляющих устройств, регуляторов.

Подсистема интерфейса организует интерактивный режим пополнения базы знаний с участием эксперта (режим обучения) и обеспечивает общение с пользователем (оператором), включая механизм принятия решения по управлению.

При изменении условий обработки здесь производится процесс обучения по сигналам с первого (нижнего) уровня. В памяти ЭВМ закладываются: банк данных оборудования, обрабатываемом материале, пакет программ по оптимизации структуры САУ и ведения технологического процесса (ТП), библиотека моделей ТП.

### Заключение

Применение технологий IDEF (Integrated DEFinition) позволяют на основе формирования функциональных, динамических(поведенческих), информационных моделей определить алгоритмы и структуры автоматизированных систем управления сложными перспективными процессами ионно-плазменного напыления и ионной имплантации при создании поверхностей деталей авиа-

ционных двигателей, обеспечивающих существенное повышение ресурса таких ответственных деталей ГТД, как лопатки[6].

Неопределенность, сложность процессов ионно-плазменного напыления и ионной имплантации формируемых поверхностей лопаток ГТД требуют создания динамических экспертных подсистем управления этими процессами в составе интеллектуальных интегрированных систем.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мухин В.С. Поверхность: технологические аспекты прочности деталей ГТД. – М.:«Наука», 2005.-296с.
2. Смыслов А.М., Дыбленко Ю.М. и др. Новая вакуумная установка технология комбинированной упрочняющей обработки, нанесения покрытий на детали ГТД и энергетических установок. Уфа: Вестник УГАТУ, 2013, Т17, №1(54) с.108-113.
3. Зориктуев В.Ц., Загидуллин Р.Р., Лютов А.Г. и др. Управление технологическими процессами в машиностроении. под общ. ред В.Ц. Зориктуева. –Старый Оскол: ТНТ, 2010-512с.
4. Кузнецов Г.Д., Кутхов А.Р. Ионно-плазменная обработка материалов. Москва: изд-во МИСиС, 2008.-180с.
5. Зориктуев В.Ц., Файрушин Б.Н., Рубцов Д.Ю. Методология построения интеллектуальных систем управления процессом механообработки деталей авиационных двигателей. Уфа: Вестник УГАТУ, 2013, Т17, №8(61) с.79-86.
6. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования.- М: изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010.-450с.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

В.Г. Крючков<sup>1</sup>, С.Г. Гончарова<sup>2</sup>, И.Ф. Месягутов<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, Россия.

## FEATURES OF APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN PROBLEMS OF DESIGNING OF CONTROL SYSTEMS FOR TECHNICAL OBJECTS

V.G. Kryuchkov<sup>1</sup>, S.G. Goncharova<sup>2</sup>, I.F. Mesyagutov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ufa state aviation technical university, Ufa, Russia

<sup>3</sup>kats\_ugatu@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена использованию нечетких конечных автоматов в задачах управления техническими объектами вместо классических нечетких регуляторов. Качество управления улучшается за счет нелинейных и динамических свойств предлагаемого регулятора.

**Ключевые слова:** системы автоматического управления; проектирование систем управления; нечеткая логика; нечеткий регулятор; конечные автоматы.

**Abstract.** The article is dedicated to application of fuzzy finite state machines for problems of control systems engineering instead of using classical fuzzy regulators. Control quality is increased due to nonlinear and dynamical properties of the proposed regulator.

**Keywords:** automatic control systems; control engineering; fuzzy logic; fuzzy regulator; finite state machines.

Нечеткая логика и нечеткий логический вывод [1, 2, 3, 4, 5] широко применяются в задачах принятия решений [3]. Нечеткий логический вывод позволяет получать приемлемые результаты при синтезе алгоритмов управления в условиях неопределенности.

В технических системах управления каждый этап вывода должен соответствовать, с одной стороны, математической теории, с другой – иметь четкий управленческий и физический смысл. Нарушение этого принципа приводит к различным негативным последствиям.

Так на первом этапе нечеткого логического вывода, фаззификации, устанавливаются отношения между реальным миром и абстрактными понятиями: значениями физических величин и термами лингвистических переменных. Эти отношения описываются функциями принадлежности, значения которых, с одной стороны, представляют непрерывные, многозначные логические переменные, изменяющиеся от 0 до 1, с другой – степень уверенности (неопределенности) в принадлежности текущих значений физических величин определенному диапазону их изменения.

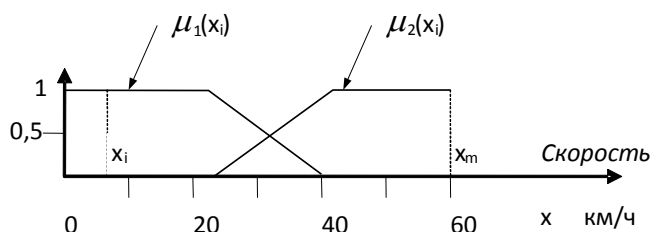


Рис.1. Функции принадлежности термов лингвистической переменной *Скорость*

На рис. 1 обозначено:  $x_i$  – текущее значение физической величины скорости  $x$  (км/ч);  $x_m$  – максимальное значение физической величины скорости  $x$  (км/ч);  $\mu_1(x_i)$ ,  $\mu_2(x_i)$  – функции принадлежности первого и второго терма лингвистической переменной *Скорость*.

Характерно, что значения функций принадлежности на некоторых участках изменяются от 0 до 1, а области их определений пересекаются. Первое обстоятельство свидетельствует об изменении степени уверенности в принадлежности  $x_i$  к определенному диапазону изменения скорости (подмножеству  $X$ ), второе – о возможности альтернативы в выборе термов лингвистической переменной *Скорость*.

При любых формах функций принадлежности эти два обстоятельства являются необходимыми условиями корректной фаззификации и возможности дальнейшего нечеткого вывода. Рассмотрим первый пример.

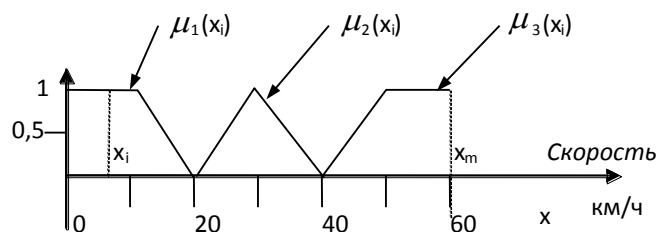


Рис.2. Ошибочное представление функций принадлежности термов лингвистической переменной *Скорость*

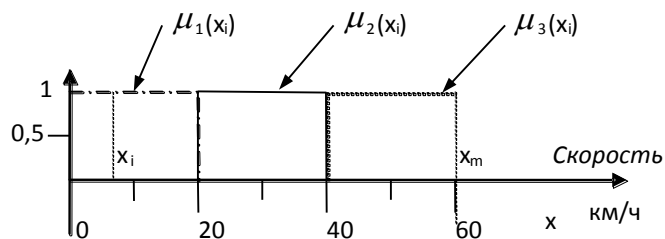
На рис. 2 области определений функций принадлежности не пересекаются. Выбор термов лингвистической переменной *Скорость* невозможен из-за того, что



при значении  $x_i = 20$  или  $x_i = 40$  все функции принадлежности  $\mu_1(x_i), \mu_2(x_i), \mu_3(x_i) = 0$ , т.е. термы не различимы.

Рассмотрим второй пример.

На рис. 3 области определений функций принадлежности не пересекаются, а функции  $\mu_1(x_i), \mu_2(x_i), \mu_3(x_i) = 1$  в соответствующих областях, т.е. нечеткости нет. Происходит дискретизация значений физической величины (скорости).



**Рис.3. Четкое представление функций принадлежности термов лингвистической переменной Скорость**

При этом каждому шагу дискретизации соответствует 2-х уровневая логическая переменная, например  $y_i, i = [1,3]$

$$y_1 = 1, \text{ при } 0 < x_i \leq 20 \quad y_2 = 1, \text{ при } 20 < x_i \leq 40$$

$$y_1 = 0, \text{ при } x_i > 20 \quad y_2 = 0, \text{ при } 40 < x_i \leq 20$$

$$y_3 = 1, \text{ при } 40 < x_i \leq 60$$

$$y_3 = 0, \text{ при } x_i < 60$$

Так нечеткая логика трансформируется в четкую и 2-х уровневую логику с четким логическим выводом.

Следующий этап, нечеткий логический вывод основан на базе правил, в которых по определенной композиции исходных суждений (посылок) формируется новое суждение (вывод). Сами посылки – это логические операции, дизъюнкции или конъюнкции, с термами исходных лингвистических переменных, а результатом вывода являются определенные термы выходной лингвистической переменной. В каждом правиле нечеткого логического вывода терм выходной лингвистической переменной представляет собой нечеткую импликацию логических операций с термами исходных лингвистических переменных, т.е. нечеткие логические отношения входа и выхода являются функциональными. Функциональные отношения не отражают ни логическую, ни временную последовательность формирования термов выходной лингвистической переменной, как последовательности команд алгоритма управления.

В управленческом смысле известные методы синтеза алгоритмов управления на основе нечеткой логики не обеспечивают качество динамических систем управления (требований устойчивости), а в системах ло-

гического управления - логическую последовательность команд.

Для компенсации указанных недостатков предлагается модифицированная методика синтеза алгоритмов управления на основе нечеткой логики. Изменения касаются нескольких стадий нечеткого логического вывода.

1. Логические операции посылок каждого правила вывода опишем формально, посредством логических операций конъюнкции ( $\mu_{AB} = \text{con}(\mu_A, \mu_B) = \min(\mu_A, \mu_B)$ ) и дизъюнкции ( $\mu_{AB} = \text{dis}(\mu_A, \mu_B) = \max(\mu_A, \mu_B)$ ), где  $\mu_A, \mu_B$  – функции принадлежности термов исходных лингвистических переменных.

2. Значение результирующей функции принадлежности термов исходных лингвистических переменных каждого правила представим входной переменной конечного автомата [6, 7]. При этом число входных переменных автомата равно общему количеству термов всех исходных лингвистических переменных. Каждое состояние конечного автомата соответствует конкретному терму выходной лингвистической переменной. Структура автомата представлена двумя модулями (Функция переходов, Память состояний) на рис. 4.

3. Правила традиционного нечеткого логического вывода представляются так: «Если такой-то терм одной исходной лингвистической переменной и такой-то терм другой исходной лингвистической переменной, то такой терм выходной лингвистической переменной». Применение конечного автомата, в памяти которого сохраняется терм выходной лингвистической переменной, позволяет использовать этот терм на следующем шаге нечеткого логического вывода. Правило предлагаемого нечеткого логического вывода учитывает результат применения предшествующего правила, т.е. предшествующий вывод и формулируется так: «Если такой-то терм одной исходной лингвистической переменной и такой-то терм другой исходной лингвистической переменной и предшествующий терм выходной лингвистической переменной, то такой следующий терм выходной лингвистической переменной».

Формальная структура предлагаемого нечеткого логического вывода приведена на рис. 4. На рис. 4 обозначено:  $\mu_A$  – множество функций принадлежности термов исходной лингвистической переменной A;  $\mu_B$  – множество функций принадлежности термов исходной лингвистической переменной B;  $\mu_C$  – множество функций принадлежности термов выходной лингвистической переменной C, множество состояний автомата;  $\mu_{AB}$  – множество результирующих функций принадлежности термов исходных лингвистических переменных;  $\mu_{AB} \times \mu_C \rightarrow \mu_C$  – множество отображений на множество



**Рис.4. Структура модифицированного нечеткого логического вывода**

функций принадлежности термов выходной лингвистической переменной  $C$  декартового произведения множества результирующих функций принадлежности термов исходных лингвистических переменных и множества функций принадлежности термов выходной лингвистической переменной  $C$ ;  $T$  – дискреты времени для динамических систем или внешние события для логических систем, сигналы, инициирующие изменение состояний автомата.

Функцию переходов автомата  $\mu_{AB \times \mu_C \rightarrow \mu_C}$  представим в табл. 1 (внутри таблицы представлены состояния автомата, следующие за состояниями, которые находятся на соответствующей строке, слева от рамки), как один из примеров формализации базы правил, при условии:

$$\mu_{AB}^i \in \mu_{AB}, i = [1, n]; \mu_C^j \in \mu_C, j = [1, m].$$

	$\mu_{AB}^1$	$\mu_{AB}^2$	$\mu_{AB}^i$	$\mu_{AB}^n$
$\mu_C^1$	$\mu_C^1$	$\mu_C^2$	•	$\mu_C^m$
$\mu_C^2$	$\mu_C^1$	$\mu_C^1$	•	$\mu_C^m$
$\mu_C^j$	•	•	•	•
$\mu_C^m$	$\mu_C^2$	$\mu_C^m$	•	$\mu_C^1$

Таблица 1

Переходы в каждое последующее состояние автомата опишем системой логических условий:

$$\begin{aligned} \mu_C^1 &= \text{dis}(\text{con}(\mu_C^1, \mu_{AB}^1); \text{con}(\mu_C^2, \mu_{AB}^1); \\ &\quad \text{con}(\mu_C^2, \mu_{AB}^2); \text{con}(\mu_C^m, \mu_{AB}^n)) \\ \mu_C^2 &= \text{dis}(\text{con}(\mu_C^1, \mu_{AB}^2); \text{con}(\mu_C^1, \mu_{AB}^n); \text{con}(\mu_C^m, \mu_{AB}^1)) \\ &\dots\dots\dots \\ \mu_C^m &= \text{dis}(\text{con}(\mu_C^m, \mu_{AB}^2); \text{con}(\mu_C^2, \mu_{AB}^n)) \end{aligned}$$

Покажем на примере управления автомобилем, точнее рулем, при «заносе» необходимость применения модифицированного нечеткого логического вывода.

Множество функций принадлежности термов выходной лингвистической переменной, как правило, содержат 3-5 элементов, предположим  $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$ , для управления рулем:  $C_1$  – повернуть руль сильно

влево;  $C_2$  – повернуть руль немного влево;  $C_3$  – руль прямо;  $C_4$  – повернуть руль немного вправо;  $C_5$  – повернуть руль сильно вправо.

Перед «заносом» руль находится в состоянии  $C_3$ , происходит «занос» влево - руль в состояние  $C_2$ . На следующем шаге управления «занос» продолжается, но руль переводится в состояние  $C_3$ . Если не перевести руль в состояние  $C_3$ , то начнется «занос» вправо и может начаться развитие колебательного процесса, который приведет к аварии. Следовательно, при выводе автомобиля из «заноса», выборе следующего воздействия на руль, необходимо учитывать предшествующее воздействие.

Остальные этапы, композиции и дефаззификации осуществляются по известным методикам [1, 5].

Модифицированный нечеткий логический вывод – это процесс вывода с учетом его предыстории, что позволяет логически повышать устойчивость динамических систем управления и формировать логическую последовательность команд в системах логического управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ, 2013. – 798 с.
2. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. / Под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
3. Борисов, А. Н., Крумберг, О. А., Федоров, И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
4. Гончарова, С. Г., Крючков, В. Г., Месягутов, И. Ф. Нечеткое логическое управление технологическими процессами. – Уфа: УГАТУ, 2006. – 72 с.
5. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивно-го управления / Под ред. Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
6. Карпов, Ю. Г. Теория автоматов. – СПб.: Питер, 2003. – 208 с.
7. Певзнер, Л. Д. Практикум по математическим основам теории систем. – СПб.: Лань, 2013. – 400 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЦЕХАХ КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ШЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ

В.Л. Евстигнеев<sup>1</sup>, Т.В. Майорова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

## ALGORITHMIC MAINTENANCE OF CRUSHING PRODUCT'S FLAKINESS CONTROL SYSTEM

V.L. Evstigneev<sup>1</sup>, T.V. Mayorova<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>mtv1\_2010@rambler.ru

**Аннотация.** В статье изучены подходы к управлению процессами многостадийного дробления. Получена математическая модель многостадийного дробления и предложены способы повышения производительности.

**Ключевые слова:** дробление рудных материалов; оптимизация управления; производительность; гранулометрический состав.

**Abstract.** The approaches to multistage crushing control have been studied in this paper. The mathematical model of multistage crushing has been determined and the ways to improve performance have been suggested.

**Keywords:** ore material crushing, control optimization, performance, grain-size composition.

Управление состоит в том, чтобы, оказывая на какой-либо объект воздействие, изменять протекающие в нем процессы для достижения определенной цели. Важнейшей целью управления процессом дробления является минимизация затрат электрической энергии в цехе [1].

Затраты энергии на получение дроблёной руды:

$$E_o = E_c + E_x + E_r,$$

где  $E_c$  – общецеховые расходы;  $E_x$  – энергия, затрачиваемая на работу холостого хода технологического оборудования;  $E_r$  – энергия, затрачиваемая на собственно дробление.

Для достижения цели необходимо минимизировать удельные затраты энергии на дробление одной тонны руды:

$$E_{уд} = \frac{E_o}{Q_T} \rightarrow \min$$

Для этого нужно:

$$E_o \rightarrow \min, Q_d \rightarrow \max,$$

где  $Q_d$  – производительность, тонн в час.

Минимизацию затрат  $E_c, E_x$  энергии нужно проводить постоянно путем внедрения энергосберегающего освещения, горюче-смазочные материалы должны соответствовать сезонным колебаниям температур т.д.

Максимальную производительность можно достичь только за счет внедрения высокоэффективных систем автоматического управления [2-5], которые должны обеспечить:

$$Q_d = Q_{max}.$$

Максимальная производительность будет достигнута если:

$$H_d = H_{пр} = const,$$

где  $H_d$  – уровень заполнения дробилки;  $H_{пр}$  – предельно допустимый уровень заполнения дробилки рудой:

$$\varepsilon(t) = H_{пр} - H_d, \varepsilon(t) \equiv 0.$$

Таким образом, задачу оптимизации в данном случае можно свести к стабилизации уровня загрузки.

По сути это задача сохранения или обеспечения баланса между входом и выходом. Для её решения нужно измерять входную и выходную величины и поддерживать заданное соответствие, например с помощью обратной связи.

Приращение количества материала в дробилке за время определим как разность:

$$\Delta M = Q_{вх} \Delta t - Q_{вых} \Delta t$$

из этого выражения получили уравнение материального баланса для вычисления уровня заполнения дробилки рудой:

$$\frac{dH_d}{dt} = K_H \frac{dM_d}{dt} = \frac{(Q_{вх} - Q_{вых})}{dt}$$

где  $Q_{вх}$  – подводимый поток руды;  $Q_{вых}$  – отводимый поток руды;  $M_d$  – количество руды в дробилке;  $K_H$  – коэффициент пропорциональности для расчёта уровня заполнения дробилки.

$$Q_{вх} = f(V_H)$$

Стадия крупного дробления включает в себя бункер с питателем и собственно щековую дробилку.

Уравнение бункера получили в виде:



$$\frac{dM_o}{dt} = \frac{M_3 - Q_{об}}{dt}$$

где  $M_o$  – объем руды оставшейся в бункере;  $M_3$  – объём руды в бункере;  $Q_{об}$  – объём дроблёной руды.

$$Q_{об} = K_o \int_0^t Q_{вых} dt + Q_{об}(0)$$

$K_o$  – коэффициент пересчета дроблёной руды в объём.

$$\frac{dh_6}{dt} = \frac{dM_o}{dt} = K_o \int_0^t Q_{вых} dt + Q_{об}(0)$$

Учтём также, что

$$Q_{вых} = F(S_p, K_k, K_r)$$

где  $S_p$  – площадь разгрузочного отверстия дробилки;  $K_k$  – крепость руды;  $K_r$  – гранулометрический состав руды.

Выполнив качественный анализ приведённых формул, сделали вывод, что скорость убывания руды в приёмном бункере является обобщённым показателем режима работы дробилки.

Вывод: по изменению уровня руды в бункере можно судить о свойствах руды и корректировать задающее воздействие системе [6].

Щековые дробилки первой стадии дробления имеют прерывистый рабочий режим: рабочий режим (дробление руды) сменяется работой холостого хода. Снятие нагрузки вызывается различными причинами: попаданием негабарита (кусок руды, размеры которого превышают размеры приёмного отверстия); недобимых материалов, например металла; остановка последующего технологического оборудования.

Поэтому первым основным требованием для снижения энергозатрат является минимальное время переходного процесса в системе автоматической оптимизации процесса дробления:

$$t_{пр} = \min.$$

Опыт практического применения экспериментального исследования предполагает, что в системе предусмотрены: контроль уровня заполнения дробилки рудой  $h_1$ . Для контроля попадания негабарита необходимо предусмотреть контроль уровня  $h_2$ .

Питатель останавливается и в том случае, если частичное уменьшение скорости не привело к снижению уровня заполнения дробилки рудой.

Для стабилизации заданной производительности применён пропорционально-интегральный закон регулирования. Вход ПИД регулятора блокируется в случае остановки питателя:

$$Q_3 \neq 0, \quad Q_{п} = 0,$$

где  $Q_3$  – заданная производительность щековой дробилки;  $Q_{п}$  – производительность питателя.

Алгоритм функционирования записан в операторной форме. Операторы сбора информации:  $F_1$  – измерение производительности дробилки на выходе  $Q_{в}$ ;  $F_2$  – измерение уровня заполнения дробилки рудой  $h_1$ ;  $F_3$  –

контроль наличия негабарита на дробилке  $h_2$ ;  $F_4$  – контроль режима работы технологической линии в целом;  $F_5$  – измерение времени  $t_ч$  сохранения уровня руды  $h_1$  в дробилке. Операторы переработки информации:  $P_6$  – вычисление величины отклонения фактического значения производительности дробилки от заданного  $Q_3$ ;  $\varepsilon_q = Q_3 - Q_{в}$ ;  $P_7$  – вычисление интеграла  $f = \int \varepsilon_q dt$ ;  $P_8$  – определение величины изменения скорости питателя в соответствии  $\varepsilon_q$  и  $f$ ;  $P_9$  – вычисление разности между измеренным временем сохранения руды  $t_ч$  и заданным  $t_3$ ;  $\Delta t = t_ч - t_3$ ;  $P_{10}$  – проверка условия,  $\Delta t > 0$ .

Операторы воздействия на объект управления:  $R_{11}$  – управление скоростью питателя по интегралу отклонения;  $R_{12}$  – включение/выключение процесса интегрирования;  $R_{13}$  – управление скоростью привода питателя по уровню загрузки рудой дробилки;  $R_{14}$  – оператор пуска и останова привода питателя.

Выделим два основных режима управления: только по уровню руды в дробилке и с подключением управления по производительности.

Средняя производительность по уровню составила 455 т/ч. При работе двухконтурного управления средняя производительность была выше 485 т/ч.

Во время экспериментальных исследований управления по уровню устанавливалась скорость привода питателя и определялась число срабатываний регулятора. За 100% принято 1500 об/мин, за 80% – 1250 об/мин. Установлено, что число срабатываний практически постоянное – 105, но производительность составила 455 т/ч. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

При управлении по уровню легко дробимая руда не будет успевать заполнить дробилку и, наоборот, при подаче крепкой руды дробилка будет постоянно работать. Поэтому при управлении по уровню возрастут потери на переходные процессы из-за частных остановок.

Для решения задачи минимизации потерь времени на переходные процессы нужна информация о дробимости руды. Косвенно свойства руды можно определить по скорости изменения уровня руды в бункере и в дробилке.

### Вариант корректировки задания

Обозначим пропускную способность дробилки или теоретическую производительность  $Q_T$ :

$$Q_3 = Q_T.$$

Если это условие выполняется, то имеем:

$$Q_3 = Q_T = Q_{в},$$

но из-за изменения дробимости руды  $D_p$ :

$$Q_T = f(D_p),$$

имеем  $Q_T = var$  и в работу вступает контур управления по уровню. Это приводит к увеличению дисперсии  $D_{Q_{в}}$ , увеличению времени  $t_ч$  работы на пониженной скорости из-за срабатывания реле уровня, и уменьшению скорости уровня  $\frac{dh_6}{dt}$

$$Q_3 = Q_T - \Delta Q_3,$$

$$\Delta Q_3 = \sum_{i=1}^n K_i \Delta Q_i \quad i = 1, 2, 3.$$

где  $\Delta Q_1$  – поправка на увеличение дисперсии по производительности;  $\Delta Q_2$  – поправка по времени превы-

## Средняя производительность и средние квадратичные отклонения для всех режимов работы системы

Режим работы	$Q_{\text{ср}}$ , т/ч	$\sigma$ , т/ч
1. Управление оператором питателем, оснащенным асинхронным двигателем	431	66
2. Управление оператором питателем, оснащенным приводом с плавным регулированием скорости по системе МУ-В-Д	444	52
3. Работа автоматической системы регулирования с отключенным контуром регулирования по весу, задание максимальное	455	65
4. Работа автоматической системы регулирования с включенным контуром регулирования по весу, задание максимальное	485	29

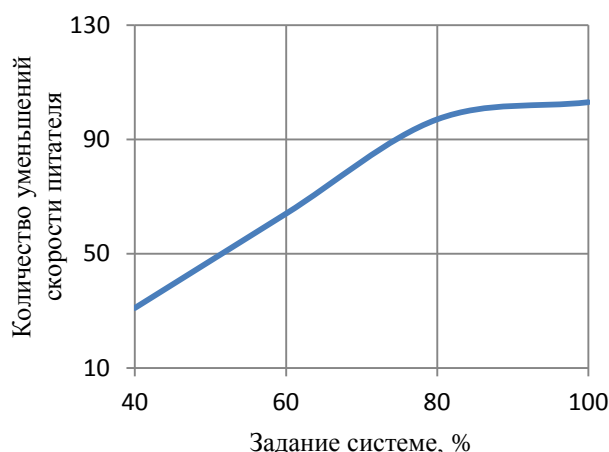


Рис. 1. Зависимость количества уменьшений скорости питателя по уровню от задания системе

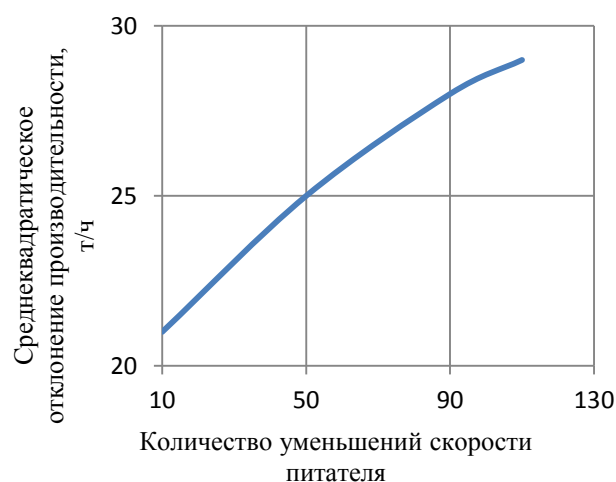


Рис. 2. Зависимость среднеквадратического отклонения производительности от количества уменьшений скорости пластинчатого питателя

шения уровня руды в дробилке;  $\Delta Q_3$  – снижение задания пропорционально скорости опорожнения бункера;  $K_i$  – коэффициент, учитывающий степень влияния соответствующей поправки.

Максимальная производительность дробилки, следовательно, уменьшение времени холостого хода и оптимальный расход электроэнергии достигается при учете свойств дробимой руды при управлении. О свойствах руды можно судить по косвенным показателям работы дробилки.

Разработанный подход применим не только при оптимизации работы щековых дробилок, и может использоваться при решении различных задач [7-9].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Евстигнеев, В.Л. Постановка задачи оптимизации многостадийного дробления [Текст] / В.Л. Евстигнеев // Автоматизированные технологии и производства. 2013. -№5. -С. 263-270.
2. Рябчиков, М.Ю. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности [Текст] / Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Полько П.Г., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. -№ 4. -С. 65-69.
3. Рябчиков, М.Ю. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления [Текст] / Рябчиков

М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А., Полько П.Г. // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. -№ 2. -С. 5-9.

5. Бурнашев, Р.Э. Изучение возможных подходов к управлению дробилками центробежного типа производства ЗАО «УРАЛ-ОМЕГА» с учетом качества получаемого продукта [Текст] / Р.Э. Бурнашев, М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова, Е.С. Рябчикова // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. –№1. –С. 122-128.

6. Бурнашев, Р.Э. Управление работой центробежной дробилки СС-0.36 с учетом значения коэффициента крепости исходного материала по методу Протодяконова [Текст] / Р.Э. Бурнашев, М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова // Автоматизированные технологии и производства. №6. 2014. С. 203-208.

7. Рябчиков, М.Ю. Моделирование комплексного влияния производственных факторов на механическую прочность металлургического агломерата [Текст] / М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова // Металлург. 2013. -№ 4. -С. 40-47.

8. Рябчиков, М.Ю. Контроль качества металлургического агломерата с использованием модели восстановимости [Текст] / М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова, Е.С. Рябчикова // Сталь. 2014. -№ 2. -С.4-8.

9. Гребенникова, В.В. Обзор рентгенофлуоресцентных анализаторов для контроля свойств рудных материалов [Текст] / В.В. Гребенникова, Н.В. Богданов, М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова // Приборы. 2014. -№11. –С. 45-50.

## УПРАВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЕМ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИНЦИПА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Б.Н. Парсункин<sup>1</sup>, С.М. Андреев<sup>2</sup>, Т.Г. Сухоносова<sup>3</sup>, Т.У. Ахметов<sup>4</sup>, М.И. Васильев<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

## CONTROL PRESSURE IN THE WORKING SPACE OF REHEATING FURNACES USING THE FUZZY LOGIC

B.N. Parsunkin<sup>1</sup>, S.M. Andreev<sup>2</sup>, T.G. Sukhonosova<sup>3</sup>, T.U. Ahmetov<sup>4</sup>, M.I. Vasilyev<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

<sup>1,2</sup> pksu035@gmail.com, <sup>3</sup> tgobuhova@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрена методика синтеза системы автоматической стабилизации технологического параметра с использованием принципа нечеткой логики. Составлены функции принадлежности нечетких множеств для двух входных переменных, приведены правила и процедура дефаззификации управляющего сигнала. Авторы предлагают использовать нечеткий регулятор в контуре управления газодинамическим режимом промышленной печи, что позволит улучшить качество управления.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, нечеткий регулятор, газодинамический режим, давление в рабочем пространстве печи, система автоматического управления, дефаззификация.

**Abstract.** The article describes the procedure for the synthesis of automatic stabilization system process variable using the principle of fuzzy logic. Made up the membership functions of fuzzy sets for the two input variables, the rules and procedure of defuzzification of the control signal. The authors suggest the use of a fuzzy controller in the control loop gasdynamic mode of industrial furnaces, which will improve the quality of governance.

**Keywords:** fuzzy logic, fuzzy control, gasdynamic control, the pressure in the working space furnace, automatic control system, defuzzification.

Газодинамический режим или давление в рабочем пространстве промышленных печей определяет величину удельного расхода топлива, влияет на потери металла с окалиной и сохранность печей, а особенно на загазованность атмосферы производственного помещения.

Несмотря на многообразие различных факторов, определяющих величину давления, имеется всего лишь один управляющий параметр – это изменение разряжения в дымоотводящем канале печи, путем изменения положения поворотного клапана.

Автоматическое управление газодинамическим режимом обычно осуществляется путем стабилизации давления под сводом рабочего пространства в зоне выдачи из печи нагретого изделия или металла.

Для многозонных печей, работающих в условиях переменной производительности в работе [1] предложено управление давлением осуществлять по импульсу давления отбираемого на уровне нагреваемого изделия, в зоне, куда подается максимальное количество топлива. Это облегчает условия по обслуживанию места отбора импульса и получения экономического эффекта путем снижения удельного расхода топлива за счет повышения оперативности управления.

В условиях действия множества случайных факторов [9, 12, 13], существенно нелинейной связи между входными и выходными величинами традиционные стабилизирующие автоматические системы управления недостаточно эффективно справляются с задачами управления. В таких

сложных условиях для автоматического управления технологическими процессами целесообразно использовать стабилизирующие автоматические системы, принцип действия которых основан на теории нечетких множеств и нечеткой логики [2, 3].

Вместо двоичных логических схем, характерных для большинства существующих управляющих систем отображающих только ложные и истинные события (0 или 1), принцип нечеткой логики позволяет стабилизирующим САУ функционировать в диапазоне степени нечеткости от 0,0 до 1,0 включительно.

Синтез нечетких систем [5, 6, 10], основанных на формализации и имитации действий эксперта-технолога по управлению технологическим процессом реализуется путем создания рабочих программ для ЭВМ. Это обладает существенным преимуществом перед автоматическими системами, основанными на традиционных способах управления. Поскольку обусловлено заменой упрощенной динамической количественной модели управляемого технологического процесса качественной многосторонней лингвистической моделью, составленной из логических правил, задаваемых в форме «если ...,то ...».

Следует отметить что используя методы синтеза нечетких алгоритмов управления можно осуществлять оптимизацию сложных контуров управления без проведения всесторонних математических исследований, используя сформированную базу правил управления.

В теории нечетких множеств определяющую и центральную роль имеет понятие "лингвистическая переменная" – это переменная, которая принимает свои значения из множества лингвистических (словесных) термов (терминов) в соответствии с функцией принадлежности. Функция принадлежности – это функция, определяющая степень принадлежности элемента (лингвистической переменной)  $x$  к нечеткому множеству (терму) –  $X$  в форме численного значения в диапазоне от 0,0 до 1,0. Это численное значение называется «степенью нечеткости» лингвистической переменной.

Структурная схема САУ давлением в рабочем пространстве промышленной печи, синтезированная на основе теории нечеткой логики представлена на рис. 1.

На вход контура нечеткого управления технологическим оператором подается текущий сигнал задания  $P_3(\tau)$ . Сигнал  $P(\tau)$  формируется датчиком давления в рабочем пространстве печи.

Сигнал рассогласования  $\varepsilon(\tau) = P_3(\tau) - P(\tau)$  с выхода элемента сравнения ЭС одновременно подается на блок масштабирования  $K1$  и далее на вход программно реализованного нечеткого регулятора НР, а также на вход дифференцирующего элемента Д и далее через блок масштабирования  $K2$  на вход НР.

Блоки масштабирования  $K1$  и  $K2$  необходимы для нормирования на предметной области существования входных сигналов нечеткого регулятора. Коэффициенты  $K1$  и  $K2$  влияют на качество управления, являясь параметрами настройки контура управления.

На вход НР поступают два нормированных сигнала, определяемые в соответствии с выражениями:

$$X_1 = \frac{1}{K1} \varepsilon(\tau), \quad X_2 = \frac{1}{K2} \frac{d\varepsilon(\tau)}{d\tau}, \quad (1)$$

где  $X_1$  – нормированный сигнал текущего значения рас-

согласования;  $X_2$  – нормированный сигнал текущего значения скорости изменения рассогласования;  $\varepsilon(\tau)$  – величина сигнала рассогласования, Па;  $d\varepsilon(\tau)/d\tau$  – скорость изменения сигнала рассогласования, Па/с;  $\tau$  – текущее время, с.

На выходе нечеткого регулятора формируется нормированный управляющий сигнал  $Y(\tau)$ , который подается на вход логического элемента сигнум-реле СР, где сравнивается с величиной зоны нечувствительности контура управления  $\Delta Y_H$ .

На выходе СР формируется управляющая функция  $U(\tau) \in (-1; 0; +1)$  определяемая в соответствии с условием:

$$U(\tau) = \begin{cases} -1, & \text{если } Y(\tau) \geq \frac{\Delta Y_H}{2}; \\ 0, & \text{если } -\frac{\Delta Y_H}{2} < Y(\tau) < \frac{\Delta Y_H}{2}; \\ -1, & \text{если } Y(\tau) \leq -\frac{\Delta Y_H}{2}. \end{cases} \quad (2)$$

Управляющая функция определяет текущее направление движения исполнительного механизма ИМ, перемещающего дымовой клапан в соответствии с выражением

$$X_{BX}(\tau) = X_H + \sigma(\tau) \cdot K_{ИМ} \cdot \Delta \tau, \quad (3)$$

где  $X_{BX}(\tau)$  и  $X_H$  – текущее и начальное положение дымового клапана, %;  $\tau$  – текущее время, с;  $\sigma(\tau) \in (-1; 0; +1)$  текущее значение переключающей функции;  $K_{ИМ}$  – средняя скорость перемещения исполнительного механизма, %/с;  $\Delta \tau$  – дискретность расчета, с.

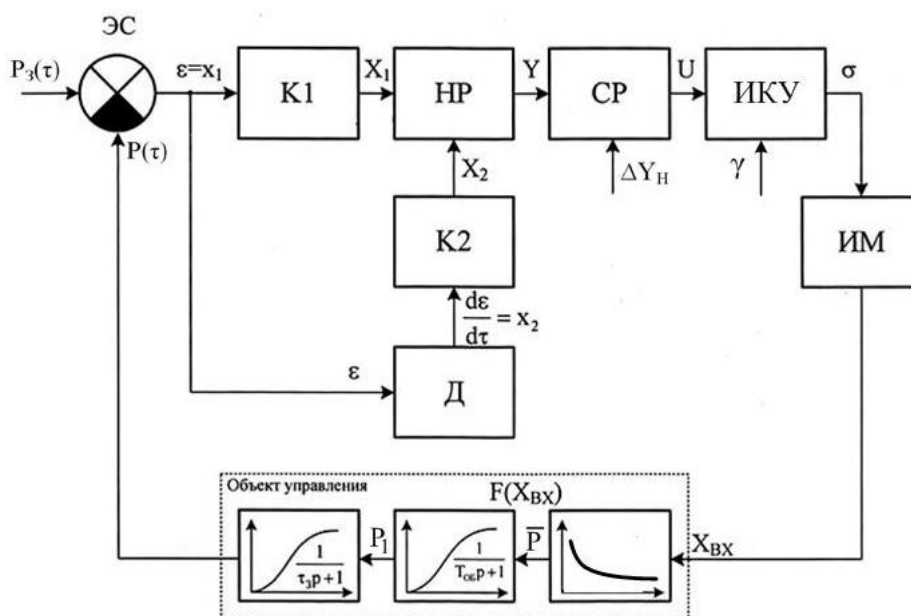


Рис. 1. Структурная схема САУ давлением в рабочем пространстве промышленной печи с использованием принципа нечеткого управления  $\gamma$ : ЭС – элемент сравнения, формирующий сигнал рассогласования; Д – дифференцирующее устройство;  $K1$  – коэффициент масштабирования сигнала рассогласования  $\varepsilon$ ;  $K2$  – коэффициент масштабирования сигнала скорости изменения рассогласования  $d\varepsilon/dt$ ; НР – блок нечеткого регулирования, формирует управляющий сигнал; СР – сигнум-реле, формирует логический сигнал; ИКУ – импульсное коммутирующее устройство; ИМ – исполнительный механизм



Функции  $U(\tau)$  и  $\sigma(\tau)$  эквивалентны по направлению, только функция  $\sigma(\tau)$  дискретна во времени и подается импульсно со скажностью  $\gamma$  для изменения средней скорости ИМ.

Динамические свойства объекта управления ОУ аппроксимированы последовательным соединением трех звеньев: нелинейного статического звена с характеристикой  $P(\tau)=F[X_{BX}(\tau)]$  и двух инерционных звеньев первого порядка с постоянными времени  $T_{OB}$  и  $\tau_3$ . Первое инерционное звено характеризует инерционность передачи давления в объекте  $T_{OB}$ , а второе звено с постоянной времени  $\tau_3$  характеризует величину запаздывания управляемого процесса.

Выбор средней скорости ИМ  $K_{ИМ}$  осуществляется с использованием импульсного коммутирующего устройства ИКУ путем импульсного режима управления ИМ.

В рассматриваемой САУ давлением в рабочем пространстве промышленной печи нечеткий регулятор формирует управляющие воздействия в соответствии с принципом нечеткой логики следующим образом.

Формирование управляющего воздействия с использованием принципа нечеткой логики производится следующим образом. Вводятся лингвистические переменные:  $X_1$  – «рассогласование»;  $X_2$  – «скорость рассогласования»;  $Y$  – «нормированный управляющий сигнал».

В области определения текущего нормированного сигнала рассогласования  $X_1$  вводятся пять нечетких множеств, определяющих значения лингвистической переменной  $X_1$  соответствующими функциями принадлежности  $A_i^{X_1}$ :  $A_1^{X_1}$  = «Положительное большое»;  $A_2^{X_1}$  = «Положительное малое»;  $A_3^{X_1}$  = «Нулевое»;  $A_4^{X_1}$  = «Отрицательное малое»;  $A_5^{X_1}$  = «Отрицательное большое». Аналогично определяем функции принадлежности для значений лингвистической переменной  $X_2$  –  $A_i^{X_2}$ .

Нечеткие множества значений выходной лингвистической переменной  $Y$  определены функциями принадлежности  $B_i$  ( $i = 1-5$ ):  $B_1$  = «Положительное большое»;  $B_2$  = «Положительное малое»;  $B_3$  = «Нулевое»;  $B_4$  = «Отрицательное малое»;  $B_5$  = «Отрицательное боль-

ольшое». Нечеткие множества выходной лингвистической переменной  $Y$  представлены в виде функции:

$$\mu^Y(x) = \delta(x - B) = \begin{cases} 1, & \text{если } X_i = B_i, \\ 0, & \text{если } X_i \neq B_i; \end{cases} \quad (4)$$

где величина параметра  $B_i$  для каждого значения выходной лингвистической переменной представлена в виде вектора  $B_i = [1; 0,5; 0; -0,5; -1]$ .

Графически функции принадлежности нечетких множеств  $\mu(X)$  в зависимости от величины нормированных входных переменных  $X_1$  и  $X_2$  представлены на рис. 2.

В рассматриваемой системе выберем для лингвистических переменных  $X_1$  и  $X_2$  следующие функции принадлежности:

- $A_5^{X_i}$  – Z-функция при  $i=1, 2$ :

$$A_5^{X_i} = \begin{cases} -1, & \text{если } X_1 < -1; \\ -1,25 * X_1 - 0,25, & \text{если } -1 \leq X_1 \leq -0,2; \\ 0, & \text{если } X_1 > -0,2; \end{cases} \quad (5)$$

- $A_4^{X_i}, A_3^{X_i}, A_2^{X_i}$  – L-функция при  $i=1, 2$ :

$$A_4^{X_i} = \begin{cases} \frac{7}{5}X_1 + \frac{17}{10}, & \text{если } -1 \leq X_1 < -0,5; \\ -\frac{10}{7}X_1 + \frac{2}{7}, & \text{если } -0,5 < X_1 \leq 0,2; \\ 0, & \text{если } X_1 > 0,2; \end{cases} \quad (6)$$

$$A_3^{X_i} = \begin{cases} -1,25X_1 + 1, & \text{если } X_1 \leq 0,8; \\ 1,25X_1 + 1, & \text{если } -0,8 \leq X_1 \leq 0; \\ 0, & \text{если } X_1 > 0,8 \text{ или } X_1 < -0,8; \end{cases} \quad (7)$$

$$A_2^{X_i} = \begin{cases} \frac{10}{7}X_1 + \frac{2}{7}, & \text{если } -0,2 \leq X_1 \leq 0,5; \\ -\frac{7}{5}X_1 + \frac{17}{10}, & \text{если } 0,5 < X_1 \leq 1; \\ 0, & \text{если } X_1 < -0,2; \end{cases} \quad (8)$$

- $A_1^{X_i}$  – S-функция при  $i=1, 2$ :

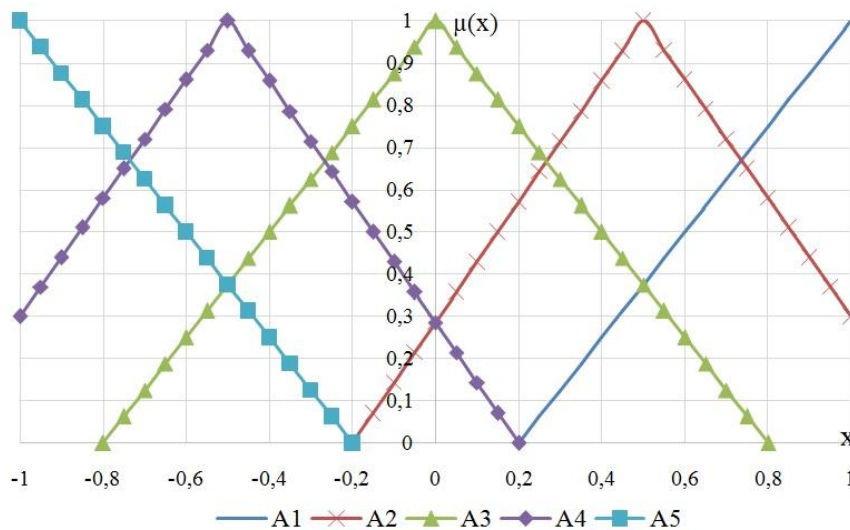


Рис. 2. Функции принадлежности  $\mu(X)$  нечетких множеств для входных переменных  $X_1$  и  $X_2$ :  $A_1^{X_1}, A_2^{X_1}, A_3^{X_1}, A_4^{X_1}, A_5^{X_1}, A_1^{X_2}, A_2^{X_2}, A_3^{X_2}, A_4^{X_2}, A_5^{X_2}$

$$A_1^{X_i} = \begin{cases} 1, & \text{если } X_1 > 1; \\ 1,25X_1 - 0,25, & \text{если } 0,2 \leq X_1 \leq 1; \\ 0, & \text{если } X_1 < 0,2; \end{cases} \quad (9)$$

При реализации нечеткого управления и формулирования базы правил управления принято основное эвристическое правило, которое определяет стратегию нечеткого управления давлением в рабочем пространстве печи. Это правило формулируется следующим образом: «Если наблюдается наличие рассогласования между текущим  $P(\tau)$  и заданным  $P_3(\tau)$  значениями управляемого параметра, тогда необходимо сформировать управляющее воздействие, обеспечивающее компенсацию возникшего сигнала рассогласования; при  $\varepsilon(\tau) = 0$  в течение заданного времени процесс управления считается завершённым».

При составлении базы правил следует учесть следующие обстоятельства:

- в каждом конкретном случае логику управления технологическим процессом следует согласовывать с реальными условиями и условием формирования сигнала рассогласования;

- учитывать обратно пропорциональный вид статической характеристики  $P(\tau) = F[X_{BX}(\tau)]$ , т.е. для увеличения давления следует закрывать дымовой клапан  $U(\tau) = -1$ .

Направление движения ИМ и значение вектора  $B_i$  должно всегда технологически соответствовать требуемому изменению сигнала рассогласования и приближать значение  $\varepsilon(\tau)$  к нулю.

Функционирование рассматриваемой системы нечеткого управления давлением в рабочем пространстве промышленной печи определяется следующей базой правил [7]:

$$\begin{aligned} R_1: (X_1 = A_5^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) &\rightarrow Y = B_5; \\ R_2: (X_1 = A_1^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) &\rightarrow Y = B_1; \\ R_3: (X_1 = A_4^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) &\rightarrow Y = B_4; \\ R_4: (X_1 = A_2^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) &\rightarrow Y = B_2; \\ R_5: (X_1 = A_4^{X_1}) \cap (X_2 = A_4^{X_2}) &\rightarrow Y = B_5; \\ R_6: (X_1 = A_2^{X_1}) \cap (X_2 = A_2^{X_2}) &\rightarrow Y = B_1; \\ R_7: (X_1 = A_4^{X_1}) \cap (X_2 = A_2^{X_2}) &\rightarrow Y = B_3; \\ R_8: (X_1 = A_2^{X_1}) \cap (X_2 = A_4^{X_2}) &\rightarrow Y = B_3; \\ R_9: (X_1 = A_3^{X_1}) \cap (X_2 = A_4^{X_2}) &\rightarrow Y = B_4; \\ R_{10}: (X_1 = A_3^{X_1}) \cap (X_2 = A_2^{X_2}) &\rightarrow Y = B_2; \\ R_{11}: (X_1 = A_3^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) &\rightarrow Y = B_3; \end{aligned} \quad (10)$$

Каждое правило логически характеризует реальную ситуацию и рекомендует соответствующее управляющее воздействие.

Например, правило  $R_1$  расшифровывается следующим образом: если скорость изменения рассогласования близка к нулю ( $A_3^{X_2}$  = «Нулевое») и возникло большое отрицательное рассогласование ( $A_5^{X_1}$  = «Отрицательное большое») вследствие изменения задания на снижение давления, то на выходе НР должен появиться управляющий сигнал пропорциональный максимальному перемещению ИМ в направлении «Отрицательное большое», т.е. в направлении открытия клапана.

Эвристическое правило  $R_3$  расшифровывается сле-

дующим образом: если регулируемая величина  $P(\tau)$  немного больше заданного значения ( $A_4^{X_1}$  = «Отрицательное малое») и скорость изменения рассогласования близка к нулю ( $A_3^{X_2}$  = «Нулевое»), то на выходе НР формируется сигнал пропорциональный небольшому перемещению ИМ для уменьшения давления с целью устранения сигнала рассогласования в направлении «Отрицательное малое», т.е. в направлении открытия клапана.

Аналогичным образом формулируются все остальные правила (10).

Далее с использованием конкретных предметных нормированных значений  $X_1$  и  $X_2$ , полученных из решения методом Эйлера двух дифференциальных уравнений, определяющих динамику изменения регулируемого параметра при теоретическом исследовании или по данным с реального объекта с использованием функций принадлежности (см. рис. 2) определяются конкретные значения для всех лингвистических переменных  $A_i^{X_1} A_i^{X_2}$ .

Затем осуществляется поиск уровней «отсечений» для предпосылок каждого из правил с использованием операции «минимум» в соответствии с базой правил:

$$\begin{aligned} \mu_1^p &= A_5^{X_1} \cap A_3^{X_2} \rightarrow \mu_1^p = \min(A_5^{X_1}; A_3^{X_2}); \\ \mu_2^p &= A_1^{X_1} \cap A_3^{X_2} \rightarrow \mu_2^p = \min(A_1^{X_1}; A_3^{X_2}); \\ &\dots \\ \mu_{10}^p &= A_3^{X_1} \cap A_2^{X_2} \rightarrow \mu_{10}^p = \min(A_3^{X_1}; A_2^{X_2}); \\ \mu_{11}^p &= A_3^{X_1} \cap A_3^{X_2} \rightarrow \mu_{11}^p = \min(A_3^{X_1}; A_3^{X_2}). \end{aligned}$$

С целью преобразования результата нечеткого вывода в четкое физическое значение управляющего воздействия проводится процедура дефазсификации «приведение к четкости». Для этого четкое значение выходной переменной (нормированного управляющего воздействия) определяется по формуле:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{11} \mu_i^R}{\sum_{i=1}^{11} \mu_i^P} = \frac{\sum_{i=1}^{11} (\mu_i^P \cdot \mu_i^Y)}{\sum_{i=1}^{11} \mu_i^P}. \quad (11)$$

Реализацию нечеткого управления давлением в рабочем пространстве рассмотрим на конкретном примере. Экспериментальная статическая характеристика процесса в координатах давление (Па) – положение вала ИМ дымового клапана (% хода исполнительного механизма), при максимальных расходах газа и воздуха представлена уравнением:

$$\begin{aligned} \bar{P}(\tau) &= 62,2 - 1,16X_{BX} + 6,2 \cdot 10^{-3} X_{BX}, \\ \text{при } 10 &\leq X_{BX} \leq 95. \end{aligned}$$

Процесс характеризуется следующими экспериментально полученными динамическими параметрами: коэффициент передачи объекта  $K_{Об} = 0,62$  Па/%; постоянная времени  $T_{Об} = 6$  с, время запаздывания  $t_3 = 0,5$  с.

Начальные условия: давление в рабочем простран-

пространстве печи  $P(\tau=0) = 21,1$  Па; положение дымового клапана 50 %. Скорость ИМ принята постоянной  $K_{ИМ} = 8$  %/с; зона нечувствительности  $\Delta Y_H = 0,1$ . В момент времени  $\tau = 0$  поступает сигнал на изменение задания до  $P_3 = 42$  Па.

При синтезе НР с учетом реальных условий величины нормированных масштабных коэффициентов приняты равными  $K_1 = -48$ ,  $K_2 = -5$ , период дискретизации расчета  $\Delta\tau = 0,5$  с.

При  $\tau = 0$  с:

$$\bar{P}(\tau) = F(X_{BX}(\tau)) = 21,1 \text{ Па};$$

$$\frac{dP_1(\tau)}{d\tau} = \frac{dP(\tau)}{d\tau} = 0 \text{ Па/с};$$

$$\varepsilon(\tau) = P(\tau) - P_{3Ад}(\tau) = 21,1 - 42 = -20,9 \text{ Па};$$

$$X_1 = \frac{\varepsilon(\tau)}{K_1} = \frac{-20,9}{-48} = 0,435;$$

$$X_2 = \frac{d\varepsilon(\tau)/d\tau}{K_2} = \frac{0}{-5} = 0;$$

Для вещественных переменных  $X_1 = 0,435$  и  $X_2 = 0$  определяются соответствующие функции принадлежности используя выражения (5) – (9) или графики на рис. 2:  $A_1^{X_1} = 0,2$ ;  $A_2^{X_1} = 0,8$ ;  $A_3^{X_1} = 0,54$ ;  $A_4^{X_1} = 0$ ;  $A_5^{X_1} = 0$ ; и  $A_1^{X_2} = 0$ ;  $A_2^{X_2} = 0,3$ ;  $A_3^{X_2} = 1$ ;  $A_4^{X_2} = 0,3$ ;  $A_5^{X_2} = 0$ .

В соответствии с базой правил и операции минимум производим поиск уровней «отсечений» для предпосылок каждого из правил:

$$\begin{aligned} \mu_1^p &= \min(A_5^{X_1}; A_3^{X_2}) = \min(0; 1) = 0; \\ \mu_2^p &= \min(A_1^{X_1}; A_3^{X_2}) = \min(0,2; 1) = 0,2; \\ \mu_3^p &= \min(A_4^{X_1}; A_3^{X_2}) = \min(0; 1) = 0; \\ \mu_4^p &= \min(A_2^{X_1}; A_3^{X_2}) = \min(0,8; 1) = 0,8; \\ \mu_5^p &= \min(A_4^{X_1}; A_4^{X_2}) = \min(0; 0,3) = 0; \\ \mu_6^p &= \min(A_2^{X_1}; A_2^{X_2}) = \min(0,8; 0,3) = 0,3; \\ \mu_7^p &= \min(A_4^{X_1}; A_2^{X_2}) = \min(0; 0,3) = 0; \\ \mu_8^p &= \min(A_2^{X_1}; A_4^{X_2}) = \min(0,4; 0,3) = 0,3; \\ \mu_9^p &= \min(A_3^{X_1}; A_4^{X_2}) = \min(0,54; 0,3) = 0,3; \\ \mu_{10}^p &= \min(A_3^{X_1}; A_2^{X_2}) = \min(0,54; 0,3) = 0,3; \\ \mu_{11}^p &= \min(A_3^{X_1}; A_3^{X_2}) = \min(0,54; 1) = 0,54. \end{aligned}$$

Вычислим по формуле (11) четкое значение выходного сигнала НР:  $Y = L/N = 0,9/2,14 = 0,42$ , где

$$\begin{aligned} L &= 0 \cdot (-1) + 0,2 \cdot 1 + 0 \cdot (-0,5) + 0,8 \cdot 0,5 + 0 \cdot (-1) + 0,3 \cdot 1 + \\ &+ 0 \cdot 0 + 0,3 \cdot 0 + 0,3 \cdot (-0,5) + 0,3 \cdot 0,5 + 0,54 \cdot 0 = 0,9; \\ N &= 0 + 0,2 + 0 + 0,8 + 0 + 0,3 + 0 + 0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,54 + \\ &+ 0 + 0,2 + 0 + 0,8 + 0 + 0,3 + 0 + 0,3 + 0,3 + 0,54 = 2,14. \end{aligned}$$

Поскольку  $Y = 0,42 > \Delta Y_H$ , то по формуле (2) управляющий импульс  $U = -1$ , ИМ начинает движение в направлении закрытия клапана для увеличения давления в рабочем пространстве печи.

Тогда при  $\tau = 0,5$  с:

$$X_{BX}(0,5) = X_H + \sigma(\tau) \cdot K_{ИМ} \cdot \Delta\tau = 50 - 1 \cdot 8 \cdot 0,5 = 46 \text{ %};$$

$$\bar{P}(0,5) = 62,2 - 1,16 \cdot 46 + 6,8 \cdot 10^{-3} \cdot 46^2 = 23,23 \text{ Па};$$

В момент  $\tau \geq 0$  произошло возмущение по заданию, то есть параметр  $P(\tau)$  получил возможность к изменению на величину  $\Delta P_1$ :

$$\Delta P_1(0) = \frac{\Delta\tau}{T_{ОБ}} [\bar{P}(0) - P_1(0)] = \frac{0,5}{6} [23,23 - 21,1] = 0,178 \text{ Па};$$

Значит, за 0,5 с промежуточная величина  $P_1(\tau)$  увеличилась на 0,178 Па и стала равной:

$$P_1(0,5) = P_1(0) + \Delta P_1(0) = 21,1 + 0,178 = 21,278 \text{ [Па]}$$

Изменение давления (выходного параметра объекта)  $P(\tau)$  за время первого шага  $\Delta\tau$ :

$$\Delta P(0) = \frac{\Delta\tau}{\tau_3} [P_1(0) - P(0)] = \frac{0,5}{0,5} [21,1 - 21,1] = 0 \text{ [Па]}$$

Значение  $P(\tau=0,5)$  не изменится:

$$P(0,5) = P(0) + \Delta P(0) = 21,1 + 0 = 21,1 \text{ [Па]}$$

На втором шаге расчета произойдет незначительное изменение давления  $P(\tau)$ :

$$\Delta P(1,0) = \frac{\Delta\tau}{\tau_3} [P_1(0,5) - P(0,5)] =$$

$$\frac{0,5}{0,5} [21,278 - 21,1] = 0,178 \text{ [Па]}$$

$$P(1,0) = P(0,5) + \Delta P(0,5) =$$

$$21,1 + 0,178 = 21,278 \text{ [Па]}$$

На первых шагах расчета вследствие инерционности объекта значение  $P(\tau)$  практически не изменяется, а значит, и величина рассогласования тоже изменится незначительно:  $\varepsilon(1,0) = P_3(1,0) - P(1,0) = 42 - 21,278 = 20,722$  Па. Что в свою очередь не окажет заметного влияния на величину  $Y(\tau)$  и на следующие несколько шагов расчета движение ИМ в направлении закрытия дымового клапана сохранится.

Далее расчет повторяется в рассмотренной последовательности до тех пор, пока не будет достигнута цель управления и выходная величина не достигнет задания  $P(\tau) \approx P_3(\tau)$ .

Применение нечеткой логики для формирования управляющего воздействия [5-8, 11] в контуре управления газодинамическим режимом позволяет улучшить качество регулирования, что в свою очередь приведет к улучшению технико-экономических показателей участка нагревательных печей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Парсункин, Б.Н. Определение места отбора импульса для управления давлением в рабочем простран-

стве методических печей / Б.Н. Парсункин, В.В. Дегтярев // М.: Известия вузов Черная металлургия, 1992. – №11, 63-65 С.

2. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэрано, К.Асан, К.Сугено. - М.: Мир, 1993.- 368 с.

3. **Батыршин, И.З.** Основные операции нечеткой логики и их обобщения / И.З. Батыршин. Казань: Отчетство, 2001. – 102 с.

4. **Рутковская, Д.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. М.: Горячая Линия – Телеком, 2004. – 452 с.

5. **Рябчиков, М.Ю.** Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности [Текст] / Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Полько П.Г., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. -№ 4. -С. 65-69.

6. **Рябчиков, М.Ю.** Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления [Текст] / Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А., Полько П.Г. // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. -№ 2. -С. 5-9.

7. **Полько, П.Г.** Алгоритм нечеткого управления для синтеза цифровых контуров автоматической стабилизации технологических параметров / П.Г. Полько, О.С. Логунова, Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков, С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин // Автоматизация в промышленности. 2010. -№ 11. -С. 32-37.

8. **Рябчикова, Е.С.** Разработка поисковой системы оптимального управления энергетическим режимом ДСП, использующий принципы нечеткого экстремального регулирования [Текст] / Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев // Инженерная поддержка инновации и модернизации: сб. науч. тр. международной конф., посвященной 15-летию создания РУО АИН. - Екатеринбург, 2010. С. 91-93.

9. **Головкин, Н.А.** Адаптивная система автоматического управления стохастическими нелинейными процессами [Текст] / Н.А. Головкин, О.С. Логунова, Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев // Научное обозрение. 2013. – № 1. – С.166-170.

10. **Парсункин, Б.Н.** Локальные стабилизирующие контуры автоматического управления в АСУ ТП промышленного производства: монография [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, О.С. Логунова, Т.У. Ахметов // – Магнитогорск: Изд-во «БУКИ ВЕДИ», 2012. - 406 с.

11. **Васильев, М.И.** Моделирование управления давлением в рабочем пространстве промышленных печей при использовании принципа нечеткой логики [Текст] / М.И. Васильев, Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.У. Ахметов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2014. – №2. – С. 35-45.

12. **Шестаков, А.Л.** Коррекция динамической погрешности измерительного преобразователя линейным фильтром на основе модели датчика [Текст] /А.Л. Шестаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1991. Т. 34. № 4. С. 8-13.

13. **Shestakov, A.L.** Modal synthesis of a measurement transducer [Текст] / А. L. Shestakov // Проблемы управления и информатики. 1995. № 4. С. 67-75.



## ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ, МИНИМИЗИРУЮЩЕГО СЕБЕСТОИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ДСП

Е.И. Полухина<sup>1</sup>, Б.Н. Парсункин<sup>2</sup>, О.В. Петрова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

## THE CHOICE OF CRITERION IN THE OPTIMUM MANAGEMENT, MINIMIZING THE PRIME COST OF THE MANUFACTURING METHOD OF BURNING - OUT THE STEELS IN ASF

E.I. Polykina<sup>1</sup>, B.N. Parsynkin<sup>2</sup>, O.V. Petrova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

<sup>3</sup>ov\_petrova67@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрено определение и обоснование выбора критерия оптимального управления энергетическим режимом при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах переменного тока в условиях использования альтернативных источников тепловой энергии и современной конструкции рабочего пространства.

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь (ДСП), критерий оптимального управления, энергетический режим, активная мощность, ток дуги, мощность выделяемая в дуге, потеря энергии.

**Abstract.** The definition and justifications of a choice of the criterion of optimum control of the power mode during the steel smelting in arc furnaces of the alternating current in the conditions of the use of alternative thermal sources and a modern aggregate of the working space are considered.

**Keywords:** are steel - smelting furnace, criterion optimum management, power mode, active power, arch current, power selected in arch energy loss.

В условиях рыночной экономики приоритетное значение имеет решение проблемы минимизации затрат или себестоимости на каждом этапе производства готовой продукции.

В соответствии с основным положением теории оптимального управления [1,2, 9-11, 13] главной целью или критерием оптимального управления может быть решение одной из двух реальных производственных задач:

- достижения максимально возможной производительности автоматизируемого технологического процесса;

- достижения минимально возможной себестоимости выпускаемой продукции в результате автоматизируемого технологического процесса.

Оба эти критерия, несмотря на кажущуюся несовместимость, характеризует общую эффективность производственно экономических показателей оптимизируемого технологического процесса. Поэтому в каждой конкретной производственной ситуации требуется объективный и обоснованный выбор использования соответствующего критерия в текущий момент времени.

Для обеспечения большинства технологических процессов металлургического производства необходимо использование различных источников тепловой энергии, получаемой от сжигания различного вида газов твердого

или жидкого топлива, и электрической энергии.

Затраты на устойчиво дорожающие и как правило не восполняемые источники энергии составляют заметную долю себестоимости готового продукта. Поэтому снижение себестоимости продукции за счет энергосберегающего оптимального управления потребляемой энергией, за счет правильного выбора критерия управления, является актуальной и важной проблемой.

Рассмотрим решение задачи энергосберегающего управления использованием электрической энергии на примере управления выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) переменного тока.

Увеличение производительности ДСП приводит к пропорциональному увеличению потребляемой электрической энергии.

Зависимость общего количество затрачиваемой электрической энергии от объема выплавки стали в ДПС-180 ЭСПЦ ОАО «ММК» представлена на рис. 1.

Общие затраты на потребляемую электрическую энергию с увеличением объема выплавленной стали пропорционально растут.

На величину количества затраченной электроэнергии в процессе конкретной плавки влияет не только масса выплавленной стали, но и технологические условия процесса, особенно способ управления подводимой к ДСП электрической энергии [12, 15, 17, 18].

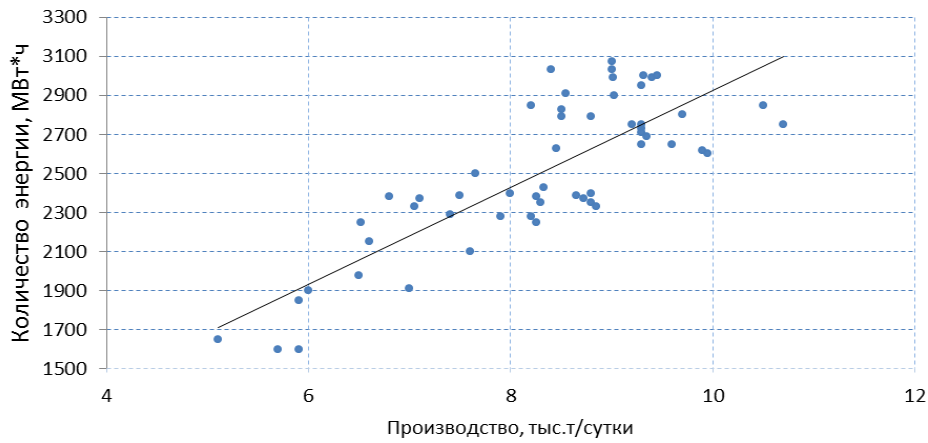


Рис. 1. Зависимость количества затрачиваемой электроэнергии от производства стали в ЭСПЦ ОАО «ММК»

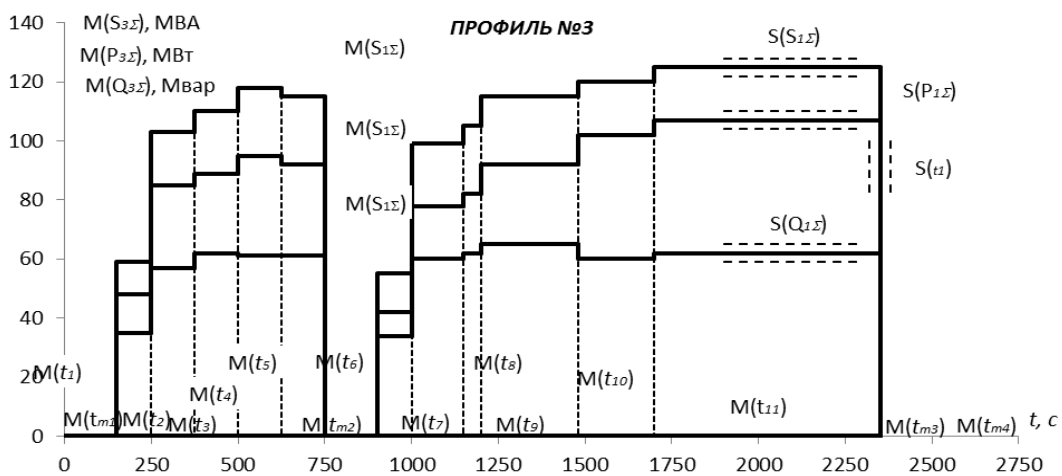


Рис.2. Изменение во времени характерных значений потребляемых ДСП 180 полной  $M(S_{3\Sigma})$ , активной  $M(S_{1\Sigma})$  и реактивной  $M(Q_{3\Sigma})$  мощностей в процессе электродуговой плавки по профилю №3

При работе ДСП на переменном трехфазном токе используется только активная мощность.

Экспериментальные траектории изменения во времени полной, активной и реактивной мощностей фазы А (для двух других фаз В и С изменение аналогично) при проведении плавки 577406 за 27.12.07 по профилю №3 (75% металла и 25% жидкого чугуна) представлены на рис. 2. Завалка металлошихты двумя корзинами (120.483т + 50.89т + 50т чугуна). Чугун залит после расплавления первой корзины перед подвалкой второй корзины с использованием робота.

Общая продолжительность плавки 2760с (46 мин.) работы под током 1980с (33 мин.).

Активная мощность  $P_A$  контролируется по ходу плавки и определяется по формуле:

$$P_A = I \cdot \sqrt{(U_{II} / \sqrt{3})^2 - (I \cdot X)^2}, \quad (1)$$

где  $P_A$  - активная мощность фазы, Вт;  $I$  - ток фазы или дуги;  $A$ ;  $U_{\phi} = U_{II} / \sqrt{3}$  - напряжение на электроде фазы, В;  $U_{II}$  - напряжение на клеммах печного трансформатора,

$B$ ;  $X = X_p + X_c$  - полное индуктивное сопротивление фазы, Ом;  $X_p$  - сопротивление ступени реактора, Ом;  $X_c$  - индуктивное сопротивление подводящей (короткой) цепи, Ом.

Потребляемая ДСП-180 активная мощность каждой фазы -  $P_A$  состоит из выделяемой в электрической дуге полезной мощности -  $P_D$  и потери мощности в подводящей цепи -  $P_{ПЭ}$

$$P_A = P_D + P_{ПЭ}, \quad (2)$$

где  $P_{ПЭ} = I^2 \cdot r$ ;  $r$  - активное сопротивление подводящей цепи, Ом;  $P_D = I^2 \cdot R_D$ ;  $R_D$  - сопротивление электрической дуги, определяемое длиной дуги или положением электрода фазы относительно металла и зависящее от тока дуги.

Длина дуги  $L_D$  зависит от условий электроплавки и определяется в соответствие с выражением [14]:

$$L_D = (1/v) \cdot \left( \sqrt{U_\phi^2 - (I \cdot x)^2} - I \cdot r - a \right), \quad (3)$$

где  $a$  - сумма прикатодного и прианодного падений напряжения, В;  $v$  - градиент потенциала в столбе дуги, В/мм.

Зависимость  $L_D$  от тока дуги имеет нелинейный вид определяет величину тока дуги при выбранном напряжении  $U_{II}$ .

Изменение величины мощности выделяемой в электрической дуге в процессе автоматического управления режимом энергопотребления возможно двумя способами:

- изменением величины подводимого напряжения  $U_{II}$  путем переключения ступеней печного трансформатора от 800 до 1400 В (23 ступени);

- изменением положением электрода (длины дуги) относительно металлической шихты или расплава.

Так, например, величина  $P_A$  при  $I = 60 \text{ kA}$  и  $U_{II} = 1045 \text{ В}$  будет равна:

$$P_A = 60000 \sqrt{(1045 / \sqrt{3})^2 - 60000 \cdot (0,0035 + 0,0041)^2} = 23,7 \text{ МВт}$$

Здесь  $0,0035 = X_C$ ;  $0,0041 = X_P$ .

При увеличении тока дуги или уменьшения длины дуги возрастают потери, поэтому зависимость  $P_A = f(I)$  имеет экстремальный вид, когда при касании электрода металла ( $L_D = 0$ ) величины  $I = I_{mkz}$ , а  $P_A(I_{mkz}) = 0$ . Здесь  $I_{mkz}$  - сила тока при технологическом коротком замыкании достигается при зажигании дуги.

Расчетные зависимости  $P_A = f(I)$  от тока дуги при различных величинах напряжения питания приведены на рис. 3

Зависимость  $P_A = f(I)$  имеют экстремальный вид и это является убедительным и достаточным доказательством возможности оптимизации управления энергетическим режимом ДСП путем определения и поддержания величины тока дуги (длины дуги), при котором подводимая к электродам электрическая мощность используется с максимально-возможной эффективностью.

Вместо контролируемого параметра  $P_A$  при оптимизации управления энергетическим режимом ДСП с целью снижения энергопотребления (себестоимости выплавленной стали) можно использовать расчетное значение мощности выделяемой в электрической дуге:

$$P_D = P_A - P_{IIЭ} = I \sqrt{U_\phi^2 - (I \cdot x)^2} - I^2 r \quad (4)$$

Зависимость  $P_D = Y(I)$  имеет экстремальный вид и более целенаправленно определяет возможность оптимизации управления энергетическим режимом ДСП.

Величина электрической мощности, выделяемой в дуге при  $I = 60 \text{ kA}$ ;  $U_{II} = 1045 \text{ В}$ ;  $r = 0,0005 \text{ Ом}$  в соответствии с (4) равна  $21,863 \text{ МВт}$ . т.е. меньше  $P_A$  подводимой к печи при указанных параметрах.

Электродуговые технологические агрегаты, как и любые электрические устройства переменного тока, характеризуются наличием мощности индуктивных (реактивных) потерь, величина которых характеризуется коэффициентом полезного использования мощности -  $\cos \varphi$ .

Приблизительно коэффициент полезного использования мощности представляет отношение активной мощности к полной мощности потребляемой ДСП (см. рис.2) и определяется по формуле [3], [4]:

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \left( \frac{I \cdot x}{U_{II}} \right)^2} \quad (5)$$

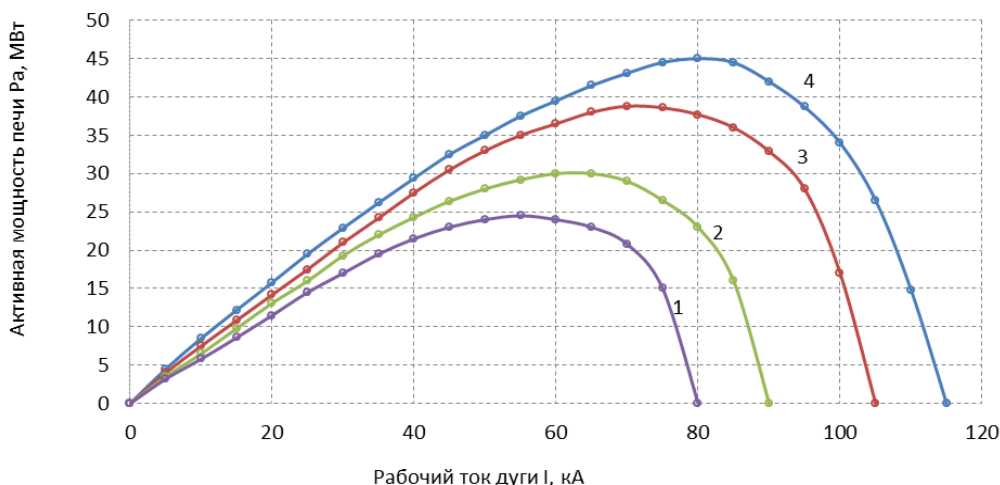


Рис.3. Расчетные зависимости активной мощности фазы печи от рабочего тока дуги при различных значениях напряжения печного трансформатора для ДСП-180 ( $x = 3,5 \text{ МОм}$ ;  $r = 0,5 \text{ МОм}$ ): 1 -  $U = 1045 \text{ В}$ ; 2 -  $U = 1155 \text{ В}$ ; 3 -  $U = 1291 \text{ В}$ ; 4 -  $U = 1345 \text{ В}$  (с учетом сопротивления реактора 4 МОм)

С увеличением тока дуги (уменьшением длины дуги) величина  $\cos \varphi$  снижается (5).

Часовая производительность ДСП  $G(\tau)$  в основном определяется мощностью выделяемой в электрической дуге  $P_d$  и тепловыми потерями при проведении электродуговой плавки. Величина  $G(\tau)$  может быть определена по эмпирическим формулам предложенным в работах [6], [7].

Для высокопроизводительных сверх мощных ДСП, работающих по современной технологии, предусматривающей использование в шихте жидкого чугуна, применение природного газа, продувки металла кислородом и применении водоохлаждаемых панелей в конструкции рабочего пространства выражение для определения часовой производительности  $G(\tau)$  будет иметь вид:

$$G(\tau) = \frac{3P_{d(\tau)} + P_{ГАЗ} - P_{ЭКЗ} + P_{ТП}}{340}, \quad (6)$$

где  $G(\tau)$  - часовая производительность ДСП;  $P_{d(\tau)}$  - количество энергии выделившееся в дуге фазы, Вт;  $P_{ГАЗ}$  - количество энергии, полученное то сжигания природного газа, Вт;  $P_{ЭКЗ}$  - количество энергии полученное в виде физического тепла жидкого чугуна и от экзотермических реакций окисления элементов (включая угар железа), Вт;  $P_{ТП}$  - мощность общих тепловых потерь, Вт; 340 - расчетное количество энергии, необходимое для нагрева и расплавления одной тонны шихты, кВт/ч.

Определения составляющих в (6) кроме  $P_{d(\tau)}$  требует составления уравнений материального и теплового балансов электродуговых плавов.

Потребление энергетических и материальных ресурсов при проведении плавки 577406 за 27.12.2007 на ДСП № 2 ЭСПЦ ОАО «ММК» по профилю № 3 (75% лома и 25% чугуна) представлено в таблице 1.

Завалка металлошихты проведена двумя корзинами (бадьями) с соответствующими весами 120.483т и 50.490т.

Завалка 120.483т. подана корзиной с двумя совками с весами 64.150т и 56.33т. Заливка чугуна проведена после завалки через 6 мин. Продолжительность завалки каждой корзины 3 мин.

Объективным показателем экономической эффективности и себестоимости выплавки стали в ДСП является величина удельного количества электрической энергии затраченной на производство одной тонны стали  $W$  кВт\*ч/т

Для ДСП в условиях использования дополнительных альтернативных источников энергии величину удельного количества электроэнергии по ходу электроплавки в зависимости от тока дуги целесообразно осуществлять с использованием выражения [8].

$$W[I(\tau)] = \frac{3P_A[I(\tau)] \cdot K_{ПЛ}}{K_{Г} \cdot G[I(\tau)]}, \quad (7)$$

где  $K_{ПЛ}$  - коэффициент, определяющий относительную директивно заданную продолжительность электродуговой плавки, с;  $P_A$  - установившееся значение активной мощности, потребляемой при установленной величине тока фазы  $I(\tau)$ ;  $G[I(\tau)]$  - расчетное (6) значение часовой производительности ДСП, т/ч;  $K_{Г}$  - коэффициент выход годного, %.

Расчетные зависимости удельного количества электроэнергии от величин тока дуги  $I(\tau)$  при различных величинах напряжения печного трансформатора для ДСП -180 ЭСПЦ ОАО «ММК» представлена на рис. 4.

Полученные зависимости имеют экстремальный вид и могут быть использованы для энергосберегающего оптимального управления электрическим режимом электродуговой плавки с целью минимизации себестоимости выплавляемой стали.

Для оценки точности и достоверности расчетного определения  $W[I(\tau)]$  по ходу электроплавки в диапазоне рабочих токов от 50 до 70 кА.

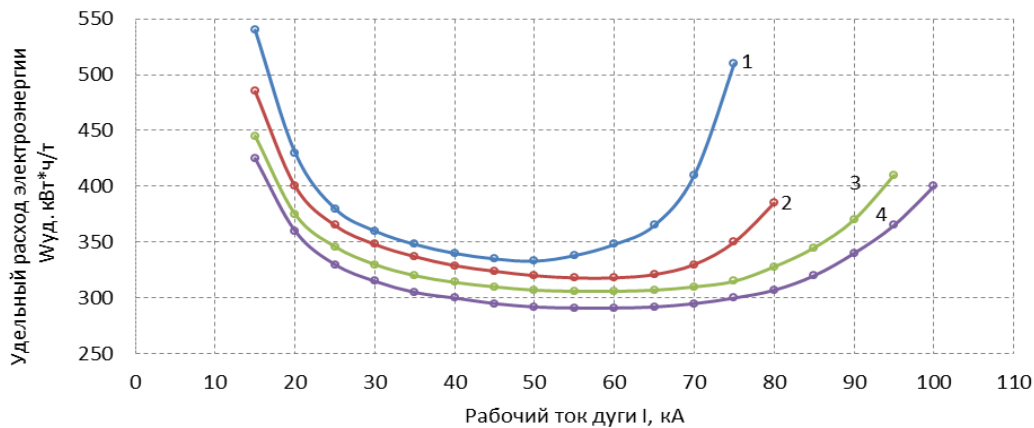
На рис. 5 приведены экспериментальные данные изменения удельного количество затраченной электроэнергии от суточной производительности ДСП-180 ЭСПЦ ОАО «ММК».

Таблица № 1

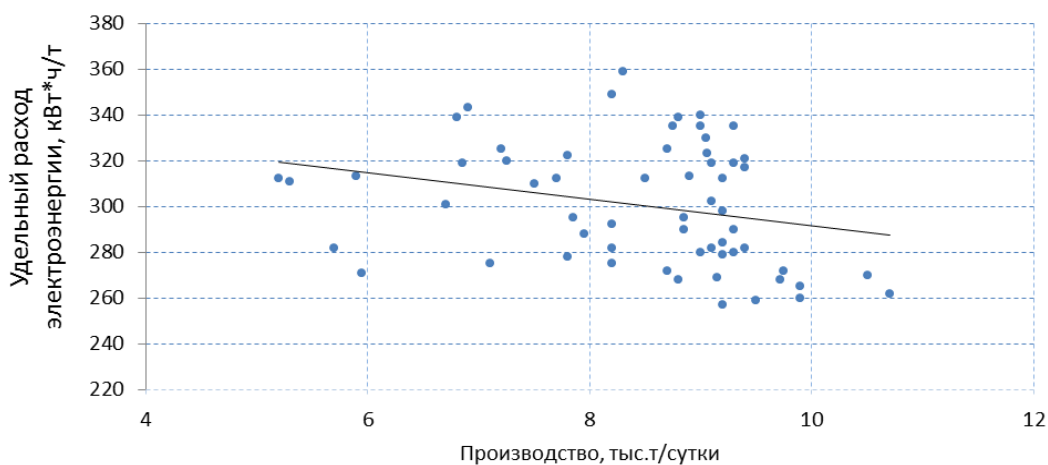
Характерное потребление энергетических и материальных ресурсов при проведении плавки по профилю № 3 (75% лома и 25% чугуна)

Потребление на выплавку	Эл. энергия	Газ. энергия	O <sub>2</sub> энергия	Газ	O <sub>2</sub>	Угл. порошок
<b>Общее</b>	кВт*ч	кВт*ч	кВт*ч	М <sup>3</sup>	М <sup>3</sup>	кг
Плавление	35930	4736	11683	531	4200	475
Доводка	15621	1187	4226	131	1377	368
Всего	51551	5923	15909	662	5577	843
<b>Удельное</b>	кВт*ч/т	кВт*ч/т	кВт*ч/т	м <sup>3</sup> /т	м <sup>3</sup> /т	кг/т
Плавление	190.31	25.08	61.8	2.81	22.24	2.52
Доводка	82.74	6.29	22.38	0.69	7.29	1.95
Всего	273.05	31.37	84.26	3.5	29.54	4.47





**Рис.4** Расчетные зависимости удельного количества энергии от величины рабочего тока дуги для различных значений ступеней напряжения печного трансформатора ДСП-180: 1- при  $U = 1045$  В; 2 - при  $U = 1155$  В; 3 - при  $U = 1291$  В; 4 - при  $U = 1345$  В



**Рис.5.** Зависимость удельного количества затраченной электроэнергии от суточной производительности ДСП-180 ЭСПЦ ОАО «ММК»

Представленная статистическая зависимость  $W(G)$  от производительности показывает что величина  $W = F(G)$  изменяется от 260 до 360 кВт\*ч/т что вполне соответствует расчетным значениям в диапазоне изменения напряжения питания и рабочих токов дуги. С учетом альтернативных источников энергии, которые учтены (см. табл.1) при экспериментальных значениях  $W(G)$ .

В работе [6] для условий работы ДСП при использовании в шихте 100% металлического лома приведены методика расчета себестоимости выплавляемой стали.

Приведенные в работе [5] с использованием метода рекомендованного в [6] расчеты стоимости выплавляемой в ДПС-180 стали показывают, что минимум себестоимости полностью совпадает с минимумом удельного количества затраченной электроэнергии.

Однако некоторые показатели, необходимые для определения текущего значения себестоимости в функции от рабочего тока дуги могут быть определены только после окончания плавки.

Анализ полученных результатов исследования параметров электрического режима, характеризующих по-

казатели производительности и экономической эффективности процесса выплавки стали в ДСП показал следующее.

Наиболее целесообразно в качестве оптимизируемого параметра, обеспечивающего достижения максимально возможной производительности ДСП при практически минимальной себестоимости выплавляемой стали, является непосредственно контролируемая величина активной мощности  $P_A(\tau)$  или более точно расчетная величина мощности выделяемой в электрической дуге  $P_D(\tau)$ .

Предполагаемая методика обоснованного выбора представительного и доступного для оперативного контроля параметра технологического процесса позволит оценить индивидуальное влияние каждой операции этого процесса на общую эффективность производства [20, 21].

В отличие от общепринятой оценки общей эффективности процесса это позволит оценивать экономическую эффективность работы каждого технологического участка индивидуально. Одновременно позволит оптимизировать автоматическое управление процессом с целью достижения наиболее эффективных производственно-экономических показателей технологического

процесса.

В итоге это позволит обоснованно и целенаправленно принимать оперативные решения [16] по увеличению производительности и снижению себестоимости производимой продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бутковский, А.Г.** Методы управления системами с распределенными параметрами [Текст] / А.Г. Бутковский // - М: Наука. 1975. - 568 с.
2. **Бутковский, А.Г.** Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами [Текст] / А.Г. Бутковский // - М: Наука 1965. - 476 с.
3. **Марков, Н.А.** Электрические печи и режимы электропечных установок [Текст] / Н.А. Марков // - М: Энергия. 1975. -204 с.
4. **Лапшин, Н.В.** Новые тенденции управления электрическим режимом дуговых сталеплавильных печей / Н.В. Лапшин, К.А. Чехович // - М: Электрометаллургия 1998. №5. -С. 46-52.
5. **Парсункин, Б.Н.** Автоматизация и оптимизация управления выплавкой стали в электродуговых печах: Монография [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, О.С. Логунова // -Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 304с.
6. **Ефроймович, Ю.Е.** Электрические режимы дуговых сталеплавильных печей [Текст] / Ю.Е. Ефроймович // - М: Metallurgizdat. 1956. -131с.
7. **Свенчанский, А.Д.** Электрические промышленные печи / А.Д. Свенчанский, М.Я. Смоленский // М.: Энергия. 1970. – 267 с.
8. **Рябов, А.В.** Современные способы выплавки стали в дуговых печах / А.В. Рябов, И.В. Чуманов, М.В. Шишимов // Учебн. пособие - М.: «Теплотехник». 2007. – 192 с.
9. **Рябчикова, Е.С.** Применение прогнозной модели для оптимизации управления энергетическим режимом ДСП [Текст] / Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин // Автоматизированные технологии и производства. 2012. -№ 4. -С. 179-189.
10. **Рябчиков, М.Ю.** Оптимизация управления электрическими режимами работы дуговых сталеплавильных печей переменного тока с использованием прогнозирующей системы [Текст] / М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин, Е.С. Рябчикова // Автоматизация в промышленности. 2014. -№11. -С. 52 - 56.
11. **Ишметьев, Е.Н.** Оптимизация энергетического режима работы электродуговой печи [Текст] / Е.Н. Ишметьев, Б.Н. Парсункин, З.Г. Салихов, М.В. Усачев, С.М. Андреев, М.Ю. Рябчиков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2007. – 5. – С.23-27.
12. **Рябчиков, М.Ю.** Оценки эффективности использования электрической энергии на ДСП-180 ОАО «ММК» [Текст] / М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин, Е.С. Рябчикова // Научное обозрение. 2015. -№1. –С. 68-76.
13. **Рябчиков, М.Ю.** Системы экстремального регулирования на основе комбинации поисковых оптимизационных алгоритмов [Текст] / М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова // Мехатроника, автоматизация, управление, 2015. – №5. – С. 300-306.
14. **Рябчикова, Е.С.** Реализация модели электрического контура трехфазной цепи ДСП в программной среде VisSim [Текст] / Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков // Электротехнические системы и комплексы. 2012. - № 20. -С. 327-331.
15. **Рябчикова, Е.С.** Целесообразность оптимизации работы ДСП в рамках фиксированного профиля плавки по критерию минимума удельных затрат электрической энергии [Текст] / Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. -№ 71. -С. 139-142.
16. **Рябчиков, М.Ю.** Выбор режимов работы агрегата ковш-печь с использованием обобщенных оценок качества и затрат на процесс [Текст] / М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин, Е.С. Рябчикова // Черные металлы. 2014. -№ 12 (996). -С. 28-34.
17. **Парсункин, Б.Н.** Оптимизация электрического режима дуговых сталеплавильных печей переменного тока [Текст] / Б. Н. Парсункин, С. М. Андреев, У. Б. Ахметов, М. В. Усачев // Известия Вузов. Черная металлургия. 2006. -№7. –С.26-30.
18. **Ишметьев, Е.Н.** Автоматизация и оптимизация управления технологическими процессами внепечной доводки стали: Монография. [Текст] / Е.Н. Ишметьев, С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин и др.// -Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2008. -311с.
19. **Рябчиков, М.Ю.** Электродуговые технологические агрегаты переменного тока в металлургии: моделирование и управление [Текст] / М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин, Е.С. Рябчикова // -Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. - 279с.
20. **Шестаков, А.Л.** Динамическая точность измерительного преобразователя с корректирующим устройством в виде модели датчика [Текст] / А.Л. Шестаков // Метрология. 1987. № 2. С. 26-34.
21. **Шестаков, А.Л.** Оценка собственного состояния средств измерения [Текст] / А.Л. Шестаков, М.Д. Белоусов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2011. №2(219). С. 19-23.

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ КОЛПАКОВОЙ ПЕЧИ С АЗОТНО-ВОДОРОДНОЙ ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРОЙ

Б.Н. Парсункин<sup>1</sup>, Е.Ю. Мухина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
г. Магнитогорск, Россия.

## TEMPERATURE MODE CONTROL OF THE STOVE WITH NITRO-HYDROGEN PROTECTIVE ATMOSPHERE

B. N. Parsunkin<sup>1</sup>, E.Y. Mukhina<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>mukhinaeu@mail.ru

**Аннотация.** Качество поверхности готового проката напрямую зависит от термической обработки. Применение метода оптимизации параметров настройки регуляторов обеспечило приемлемый вид переходного процесса в контуре управления температурным режимом колпаковой печи.

**Ключевые слова:** температурный режим, печи с азотно-водородной защитной атмосферой, колпаковая термопара, стендовая термопара, оптимальные параметры.

**Abstract.** Quality of the rolled sheet surface directly depends on heat treatment. Using an optimization method of the regulator layout parameters allowed getting an acceptable transient diagram in control loop of hood-stove temperature mode.

**Keywords:** temperature mode, nitro-hydrogen protective atmospheric stove, hood thermocouple, stand thermocouple, optimum parameters.

### Введение

Качество холоднокатаного листа в основном зависит от термической обработки с целью получения заданной структуры и других потребительских свойств готовой продукции.

При современном рулонном способе производства холоднокатаного листа для термической обработки используются протяжные печи и колпаковые печи, обеспечивающие «светлый» отжиг металла в защитной атмосфере [1-4].

### Теоретические решения

Конструкция одностопной колпаковой печи с водородным отжигом приведена на рис. 1.

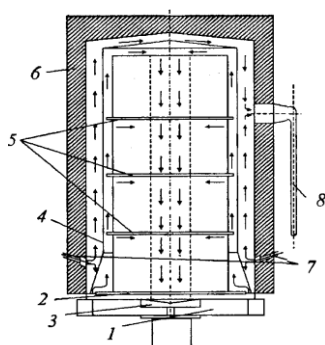


Рис. 1. Колпаковая печь с водородным отжигом: 1 - стенд; 2 - направляющий аппарат; 3 - центробажный вентилятор; 4 - муфель; 5 - конвекторные кольца; 6 - нагревательный колпак; 7 - горелки; 8 - эжектор

Основные технологические режимы термической обработки холоднокатаных рулонов с целью низкотемпературного рекристаллизационного отжига металла из малоуглеродистой стали представлены на рис.2 [5-9].

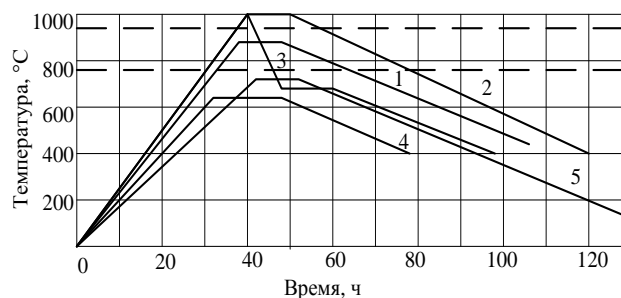


Рис. 2. Основные режимы термической обработки листового металла в колпаковых печах: 1 – неполный отжиг горячекатаного листа; 2 – полный отжиг горячекатаного листа; 3 – изотермический отжиг горячекатаного листа; 4 – высокий отпуск горячекатаного листа; 5 – низкотемпературный рекристаллизационный отжиг листов и рулонов из холоднокатаной малоуглеродистой стали

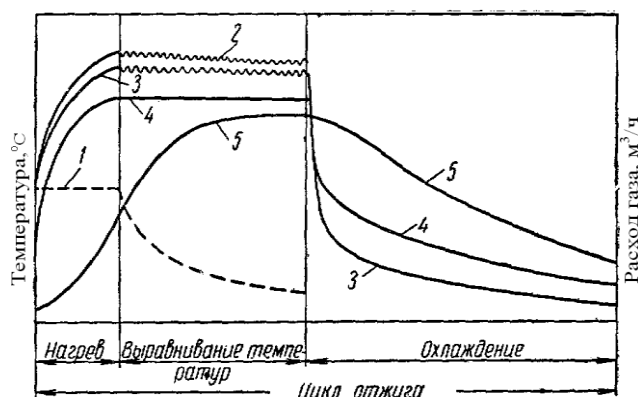
Наиболее часто применяют неполный отжиг, который приводит к понижению пределов текучести и прочности, повышению относительного удлинения и улучшению пробы на холодный изгиб. Полный отжиг применяют сравнительно редко, так как ввиду его большой длительности происходит весьма значительное

окалинообразование. Вместо полного отжига предпочитают проводить изотермический отжиг, аналогичный по результатам, но менее продолжительный. Высокий отпуск, который позволяет при относительно небольшом снижении прочности значительно повысить пластические свойства, применяют обычно для исправления свойств листов.

Тепловой режим колпаковой печи состоит из периодов [10-12]:

- подъем температуры в печи до заданной по зональной термопаре;
- автоматическое регулирование температуры под колпаком по зональной термопаре;
- при достижении по стендовой термопаре заданной температуры начинается промежуточная выдержка и автоматическое регулирование температуры по стендовой термопаре;
- по окончании промежуточной выдержки задание по стендовой термопаре устанавливается в зависимости от марки стали равным 670°, 690° или 710° и начинается окончательная выдержка металла при этой температуре;
- после истечения времени выдержки устанавливается новое задание и начинается следующая выдержка;
- охлаждение.

Схема теплового и температурного режимов представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Схема теплового и температурного режимов: 1 – подача тепла в печь; 2 – температура нагревательного колпака; 3 – температура муфеля; 4 и 5 – соответственно температура наиболее быстро и наиболее медленно нагреваемых частей садки**

В первый период работы подается максимальное количество газа. Все горелки настраиваются на равномерную подачу. Отверстия для подсоса первичного воздуха должны быть отрегулированы на устойчивое горение всех горелок.

Во второй, третий и четвертый периоды проводится автоматическое регулирование заданной температуры путем изменения расхода газа от максимального до минимальных значений.

### Структурная схема управления температурным режимом колпаковой печи

Контур управления температурным режимом содержит объект управления, регулятор и механизм воздействия на управляемый объект [21]. Структурная схема контура управления представлена на рис. 4.

Объект идентифицируется последовательным соединением статического звена с известной характеристикой  $Y=f(x)$ , далее для колпака инерционное звено первого порядка с постоянной времени  $T_{об}$  и звено запаздывания; для стенда два последовательно соединённых инерционных звена первого порядка с постоянными времени  $T_{об}$ ,  $T_1$  и звено запаздывания. Динамические свойства обоих звеньев запаздывания в первом приближении аппроксимируются инерционными звеньями первого порядка с постоянной времени  $T_{зап}$ . Для управления температурой стенда используется ПИД – регулятор, а для колпака ПИ – регулятор. Управляющий сигнал  $S$ , формируется трёхпозиционным релейным элементом и подаётся на импульсное коммутирующее устройство (ИКУ), которое задает среднюю скорость исполнительного механизма [13, 14, 15].

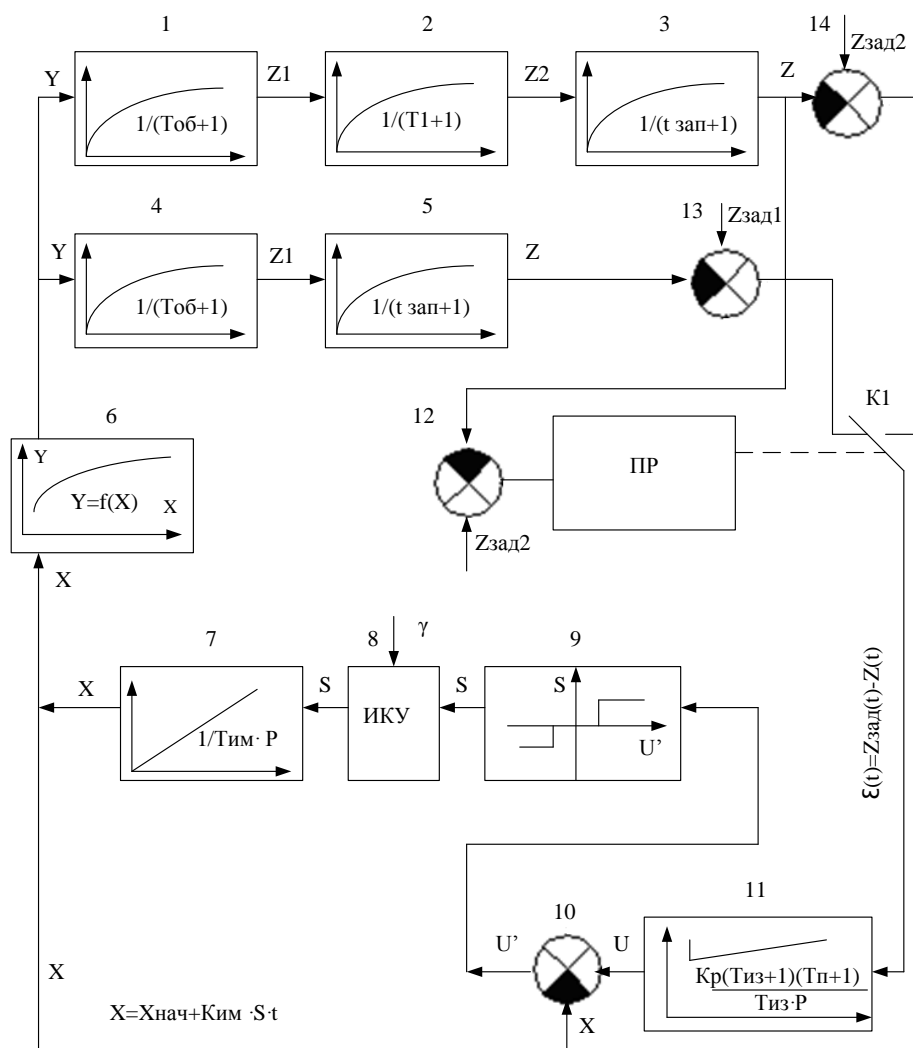
В качестве исполнительного устройства выбран исполнительный механизм постоянной скорости, который изменяет положение регулирующего органа, тем самым, изменяя расход топлива, подаваемого в горелки рабочей зоны колпаковой печи, вследствие чего регулируемая величина приближается к заданному значению.

### Исследование контура регулирования температуры

Для динамической оптимизации объектов с самовывравниванием воспользуемся методом оптимума модуля передаточной функции «ОМ». Такая оптимизация сводится к «пригонке»  $W_3(P)$  к единице для возможно более широкой полосы частот. Так как в цепочке инерционных звеньев первого порядка имеется два звена с большими постоянными времени, то для компенсации этих инерционностей регулятор должен обладать двумя значениями времени упреждения. Иначе контур управления будет реагировать на изменение задания с большим замедлением. Наиболее целесообразно в этом случае использовать ПИД-регулятор. Передаточная функция разомкнутого контура с ПИД-регулятором имеет вид:

$$W_0(P) = \frac{K_p (T_{из}P + 1)(T_{п} + 1)}{T_{из}P} \cdot \frac{K_{об}}{T_{об}P + 1} \cdot \frac{1}{T_1P + 1} \cdot \frac{1}{\tau_{зап}P + 1}$$

Графики переходного процесса и хода исполнительного механизма (ИМ) в моделируемом контуре представлены на рис. 5, 6.



**Рис. 4. Структурная схема управления температурным режимом колпаковой печи: 1, 2, 4 – инерционные звенья первого порядка; 3, 5 - звенья чистого запаздывания; 6 – статическое звено; 7 – исполнительный механизм постоянной скорости; 8 – ИКУ-импульсное коммутирующее устройство; 9 - релейный элемент с зоной нечувствительности; 10, 12, 13, 14 – элементы сравнения; 11 – ПИД регулятор; ПР – переключающее реле; К1 – контакт переключающего реле**

Практически регулирование должно осуществляться без статической ошибки, поэтому регулятор должен обладать интегрирующими свойствами. Для компенсации большей инерционности ему нужно придать ещё и пропорциональные свойства. Этими свойствами обладает ПИ-регулятор. Передаточная функция разомкнутого контура с ПИ-регулятором имеет вид:

$$W_o(p) = \frac{K_p(T_u P + 1)}{T_u P} \cdot \frac{K_{об}}{T_{об} P + 1} \cdot \frac{1}{\tau_{зан} P + 1}$$

В цифровых контурах управления с регулируемой средней скоростью ИМ величина этой скорости является важным параметром динамической настройки.

В данном случае для контура регулирования температуры стендового термометра [23, 24], рекомендуется устанавливать максимально возможную скорость ИМ, а значения  $T_{и} = 2,04 \cdot T_{и.опт}$ ,  $T_{п} = 0,63 \cdot T_{п.опт}$ ,  $K_p = 0,13 \cdot K_{p.опт}$

рассчитанные по методу «ОМ».

Для рассмотренного контура управления температурой стендового термометра настройки регулятора должны быть следующими:  $K_p = 0,14^\circ\text{C}/\% \text{хода}$ ,  $T_{и} = 8 \text{ч}$ ,  $T_{п} = 1 \text{ч}$ ,  $K_{и} = 0,01\%/\text{ч}$ .

Для контура регулирования температуры колпака к качественным показателям переходного процесса предъявляются следующие требования: величины  $\tau_{p1}$  и  $\tau_{p2}$  должны быть минимальными, а перерегулирование не допускается, т.к. превышение температуры колпака выше заданного значения приведёт к перегреву муфеля, последнее сокращает срок его службы.

В этом случае, как показали исследования, оптимальными настройками ПИ-регулятора должны быть следующими:  $K_p = 0,272 \cdot K_{p.опт} = 0,217^\circ\text{C}/\% \text{хода}$ ,  $T_{и} = 2,365 \cdot T_{и.опт} = 4,7 \text{ч}$ ,  $K_{и} = 0,01\%/\text{ч}$ .

Показатели качества ПП следующие:  $\tau_{p1} = \tau_{p2} = 5,5 \text{ч}$ ,  $\Delta Z_{\max} = 0\%$ .



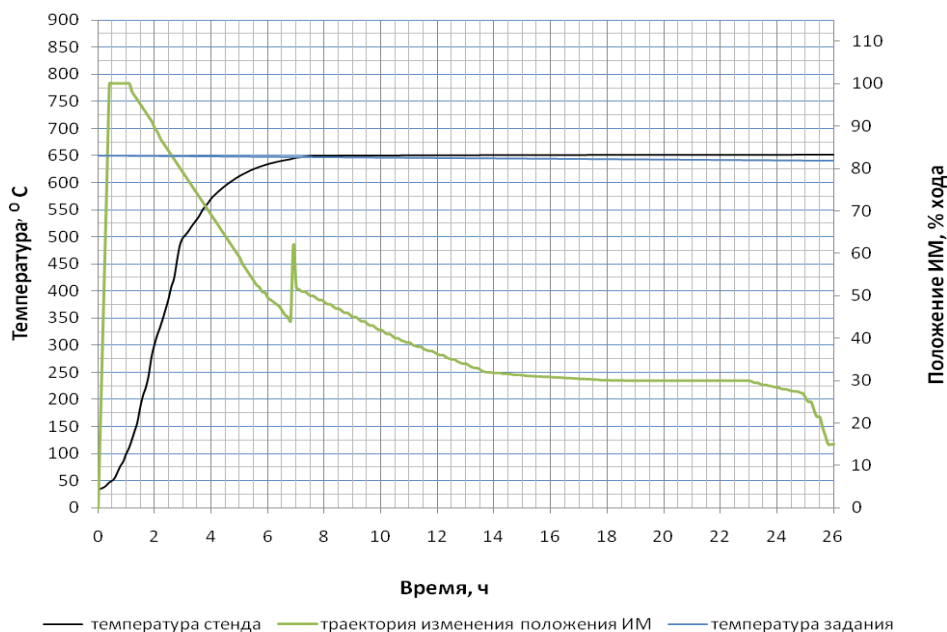


Рис. 5. Графики переходного процесса и хода ИМ для температуры станда ( $T_{п.опт} = 4ч$ ,  $T_{п.опт} = 2ч$ ,  $K_{р.опт} = 0,8 °C/\%хода$ ,  $K_{им.опт} = 0,01\%хода/°C$ )

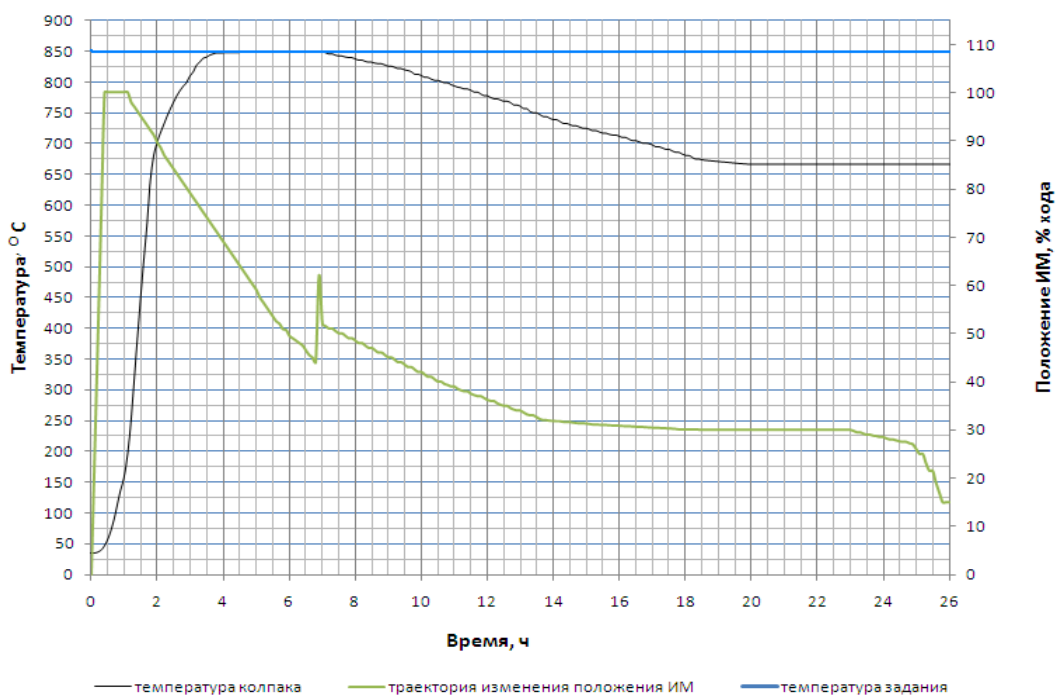


Рис. 6. Графики переходного процесса и хода ИМ для температуры колпака ( $T_{п.опт} = 2ч$ ,  $K_{р.опт} = 0,588 °C/\%хода$ ,  $K_{им.опт} = 0,01\%хода/°C$ )

### Заключение

Исследование разработанного контура автоматизации температурного режима колпаковой печи для термохимической обработки автомобильного листа [16-20, 22] показало его эффективность и приемлемое качество автоматизации при настройках выбранных в ходе проведенных исследований.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Фетисов, Т.П.** Материаловедение и технология металлов [Текст]: Учебник / Т.П. Фетисов, М.Г. Карпман,

В.М. Матюнин и др. Под. ред. Г.П. Фетисова. -М.: Высш. шк., 2002. -638 с.

2. **Зуев, В.М.** Термическая обработка металлов [Текст] / В.М. Зуев. - М.: Высш. шк., 2001. -228 с.

3. **Парамонов, А.М.** О повышении тепловой эффективности и экономичности работы нагревательных печей [Текст] / А.М.Парамонов. / Известие вузов. Черная металлургия -2002.- №6.-С.52-55.

4. **Бегунов, Н.П.** Современные газовые камерные и проходные печи [Текст] / Н.П.Бегунов, В.П.Грунскоой, А.А.Бойко / Металловедение и термическая обработка металлов.- 2012.- №1.-С 39-40.

5. **Кривандина, В.А.** Теория, конструкции и расчёты металлургических печей [Текст] / Под редакцией В.А. Кривандина. - М.: Металлургия, 1986. -365с.
6. **Зобнин, Б.Ф.** Нагревательные печи. Теория и расчет [Текст] / Б.Ф. Зобнин – М.: Металлургия, 1964.-312с.
7. **Кривандин, В.А.** Металлургические печи [Текст] / В.А. Кривандин, Б.Л. Марков. - М.: Металлургия, 1977. -268с.
8. **Лях, А.П.** Состояние и перспективы совершенствования печного оборудования России [Текст] / А. П. Лях, А.П.Шадрин / Печне-трубостроение: тепловые режимы, конструкции, автоматизация и экология: междунар. конгресс. - М., 2004. - С.61-64.
9. **Долотов, Г.П.** Конструкция и расчет заводских печей [Текст]: Учебник для техникумов / Г.П. Долотов, Е.А. Кондаков. – М.: Металлургия, 1973.-272с.
10. **Липухин, Ю.В, Булатов Ю.И.** Автоматизация основных металлургических процессов [Текст] / Ю. В. Липухин. – М.: Металлургия, 1990. – 280с.
11. **Девятков, Д.Х.** Оптимальное управление нагревом металла в камерных нагревательных печах [Текст]: монография / Д.Х.Девятков, В.М.Дубинин, В.М.Рябков и др.: МГТУ: -Магнитогорск, 2010.-241с.
12. **Аптерман, В.Н.** Колпаковые печи [Текст] / В.Н.Аптерман, Е.Г.Двейрин, В.М.Тымчак. – М.: Металлургия, 1965. – 236 с.
13. **Парсункин, Б.Н.** Адаптация и оптимизация контуров цифрового управления [Текст]: учеб. пособие / Б.Н. Парсункин. – Магнитогорск: 1997- 136с.
14. **Мухина, Е.Ю.** Оптимизация процесса термической обработки холоднокатаных полос [Текст] / Е.Ю. Мухина, П.П. Полецков // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Вып.19. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск: гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. - С. 170-176.
15. **Салганик, В.М.** Улучшение качества поверхности холоднокатаных полос [Текст] / В.М. Салганик, П.П. Полецков, Е.Ю. Мухина // Автоматизированные технологии и производства: сб. науч. тр. / под ред. Б.Н. Парсункина. Вып.5. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск: гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. С. 146 – 149.
16. **Рябчиков, М.Ю.** Использование модели нагрева полосы при управлении температурным режимом в протяжной печи башенного типа [Текст] / М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Н.А. Головки // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2011. -№ 5. - С. 41-50.
17. **Рябчиков, М.Ю.** Изучение режимов нагрева стальной полосы в протяжной печи башенного типа для светлого отжига [Текст] / М.Ю. Рябчиков, И.Г. Самарина // Металлообработка. 2013. -№ 1 (73). -С. 43-49.
18. **Рябчиков, М.Ю.** Статистические модели нагрева полосы в протяжной печи башенного типа агрегата непрерывного горячего оцинкования [Текст] / М.Ю. Рябчиков, С.Н. Рахманов, А.А. Беляков // Автоматизированные технологии и производства. 2012. -№ 4. -С. 81-97.
19. **Рахманов, С.Н.** Совершенствование системы управления нагревом полосы на агрегате непрерывного горячего оцинкования с целью снижения количества производимой дефектной продукции [Текст] / С.Н. Рахманов, А.Д. Гурьянов, М.Ю. Рябчиков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2011. -№ 2. -С. 33-35.
20. **Валеев, П.В.** Исследование динамики нагрева полосы в протяжной печи башенного типа [Текст] / П.В. Валеев, М.Ю. Рябчиков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2012. Т. 2. - № 70. -С. 63-65.
21. **Парсункин, Б.Н.** Локальные стабилизирующие контуры автоматического управления в АСУ ТП промышленного производства: Монография [Текст] / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, О.С. Логунова и др. //– Магнитогорск: Изд-во «БУКИ ВЕДИ», 2012. - 406 с.
22. **Самарина, И.Г.** Модель нагрева полосы при отжиге металла в протяжной печи башенного типа [Текст] / И.Г. Самарина, С.М. Андреев // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. Том 2, №3. – С.40-45.
23. **Шестаков, А.Л.** Коррекция динамической погрешности измерительного преобразователя линейным фильтром на основе модели датчика [Текст] /А.Л. Шестаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 1991. Т. 34. № 4. С. 8-13.
24. **Шестаков, А.Л.** Преобразователь температуры без опорного сопротивления [Текст] / А.Л. Шестаков, М.Д. Белоусов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2008. №3(103). С. 29-33.

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ****В.Ц. Зориктуев<sup>1</sup>, В.Н. Новиков<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,  
г. Уфа, Россия**SYSTEM OF A SUPPORT OF DECISION-MAKING AT ORGANIZATIONAL-TECHNOLOGICAL DESIGNING WITH ONTOLOGY****V.Z. Zoriktuev<sup>1</sup>, V.N. Novikov<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Ufa state aviation technical university, Ufa, Russia<sup>1</sup>oka\_project@mail.ru

**Аннотация.** Обосновывается использование онтологий для представления знаний в системах поддержки принятия решений при организационно-технологическом проектировании механосборочных производств.

**Ключевые слова:** объектно-ориентированная методология проектирования систем поддержки принятия решений; онтологическая модель представления знаний.

**Abstract.** Proposes the use of ontology for representation of knowledge in systems of a support of decision-making is proved at organizational-technological designing of machine-assembling manufactures.

**Keywords:** object-oriented methodology of designing of systems of a support of decision-making; ontological model of representation of knowledge.

**Введение**

Важнейшим направлением повышения эффективности машиностроительных предприятий с мелкосерийным и серийным типом производства является обеспечение высокой производительности и гибкости. Постоянно развивающиеся производства и усложнение технологических процессов требуют непрерывного совершенствования методов решения задач, связанных с реализацией технологических процессов и оценкой адекватности проектных организационно-технологических решений. В связи с этим необходимо рассмотреть с системных позиций основные направления повышения эффективности организационно-технологического проектирования автоматизированных производств.

**Анализ предметной области**

Анализ причин низкой эффективности функционирующих автоматизированных производств показывает, что одной из причин отклонений от исходных технологических и организационных решений является дестабилизирующее влияние большого количества производственных факторов и отсутствие методик по их выявлению и локализации [1]. В настоящее время традиционные системы организационно - технологического проектирования, анализа и совершенствования технологических процессов не ориен-

тированы на учёт динамики производственной системы, не имеют возможности прогнозировать результаты работы производственного участка при наличии внутренних и внешних возмущений. Они не позволяют выявлять критические ситуации и соответственно определять необходимость изменения технологических и организационных решений. Вследствие этих недостатков у существующих систем проектирования процессы адаптации технологических процессов и производственного участка осуществляются несвоевременно и не комплексно, то есть тогда, когда критическая ситуация уже наступила (такие ситуации наступают в момент реализации принятых решений), путём решения частных технологических и организационных задач на основе опыта, интуиции и сложившихся традиций. Это снижает устойчивость функционирования производственного участка и приводит к диспропорции в загрузке оборудования.

Под устойчивостью понимается свойство производственного участка сохранять в заданных пределах расчётное значение совокупной длительности производственного цикла изготовления деталей по отношению к внешним и внутренним возмущениям, действующим на участок [1].

Необходимость учёта стохастических факторов процесса организационно-технологического проектирования также существенно усложняет анализ и выбор приемлемых решений, при этом основными факторами, влияющими на качество организационно-технологичес-

ских решений, являются уровень (степень) согласованности решений принятых на разных этапах процесса проектирования, наличие и точность методов и средств, позволяющих генерировать и анализировать решения в сжатые сроки.

Таким образом, организационно-технологическое проектирование уходит за рамки возможностей одного человека и одной подсистемы, связано с неопределённостью и неполнотой информации на каждом этапе, с разными критериями на каждом уровне.

Также необходимо учитывать что, принятие решения при организационно-технологическом проектировании связано с использованием различных моделей (технологических процессов, производственной системы, процессов организационно-технологического проектирования и др.) и требование учета специфики знания всех специалистов, участвующих в выработке решений. Эти модели должны представляться на разных стадиях жизненного цикла организационно-технологических решений в различной форме и с различной степенью детализации.

Рассматриваемая предметная область, состоящая из большого количества различных критериев, предпочтений и ограничений, оказывает сильное влияние на модель представления знаний.

### Выбор формы представления знаний в СППР

Из всех направлений развития искусственного интеллекта наиболее современным и перспективным направлением в области формализации знаний, которое дает возможность использовать накопленные знания для компьютерной обработки и представления, является *онтология*. Подход на основе онтологий является достаточно гибким и универсальным, что обосновывает его применение при решении задач организационно – технологическом проектировании. Использование онтологий позволит использовать знания всех специалистов [5], участвующих в организационно-технологическом проектировании. Также позволит в момент реализации принятых проектных решений, локализовывать возмущения, действующие на производственную систему, которые приводят к отклонению от заданных расчетных, проектных значений, на всех уровнях управления и принятия решений.

Процесс построения онтологий состоит в определении [2]:

- Классов и их свойств.
- Свойств каждой концепции, описывающих различные функциональные возможности и атрибуты концепции, иногда называемые роли.
- Ограничения по слотам (также известных как аспекты/грани, иногда называемые ограничения ролей).

Онтология вместе с множеством индивидуальных экземпляров классов составляют базу знаний. Тогда для описания модели исследуемого объекта (производственной системы) в виде онтологии  $O$  будем понимать упорядоченную тройку вида:

$$O = \{FR, R, F\},$$

где  $FR$  – конечное множество объектов производственной системы, описанные в виде фрейм класса, которую пред-

ставляет онтология  $O$ ;  $R$  – конечное множество отношений между объектами исследуемого объекта.  $F$  – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизации), заданных на объектах или отношениях онтологии  $O$ .

Конечное множество отношений  $R$  представляет иерархический тип отношений между объектами и их частями онтологии  $O$ .

Самыми распространенными типами отношений являются [3]:

1) Отношение классификации  $ISA$  (от английского “is a”). Говорят, что множество (класс) классифицирует свои экземпляры;

2) Отношение между множеством и подмножеством  $AKO$  (“a kind of”);

3) Отношение целого и части. Отношение целого к части (“has part”).

Тогда отношения можно представить как в виде:

$$\begin{aligned} R &= \langle FR, \{is\_a\}, \{\} \rangle \\ R &= \langle FR, \{kind\ of\}, \{\} \rangle \\ R &= \langle FR, \{has\ part\}, \{\} \rangle \end{aligned}$$

На основе изучения особенностей производственных участков, методов и средств организационно-технологического проектирования предлагается использовать обобщенную онтологию:

$$O = (O_i^1, O_j^2, O_k^3)$$

где,  $O$  – обобщенная онтология описания объектов предметной области и процессов принятия решений при организационно-технологическом проектировании;  $O_i^1, i = \{1, 2, \dots, n\}$  – онтология технологических процессов;  $O_j^2, j = \{1, 2, \dots, m\}$  – онтология организации производства;  $O_k^3, k = \{1, 2, \dots, p\}$  – онтология организационно-технологического проектирования

Рассматриваемые процессы принятия решений и модели представления знаний нуждаются в создании соответствующих методов, инструментальных средств проектирования и программной реализации создаваемой систем поддержки принятия решений (СППР).

### Объектно-ориентированная методология проектирования СППР

На сегодняшний день наиболее полно удовлетворяющая описанным выше требованиям является объектно-ориентированная методология анализа, проектирования и программирования сложных систем, позволяющая переходить от исходных требований к реализации создаваемой системы. Ключевой идеей объектно – ориентированного подхода является использование языковых средств, которые на базе концепции абстрактных типов данных позволяют специфицировать новые классы программных объектов, образующих вычислительную среду, ориентированную на конкретную предметную область и позволяющие моделировать предметную область.

Исходя из вышеуказанных требований, предлагает-

ся использовать следующую платформу для разработки СППР, которая состоит из трех базовых уровней (Рис.1).

Архитектура предлагаемой платформы содержит следующие три уровня:

- уровень *Адаптации решений* ;
- уровень *Моделирования предметной области*;
- уровень *Взаимодействия с БД и внешними ПО*.

Такая многоуровневая архитектура платформы разработки СППР позволяет более эффективно взаимодействовать специалистам, отвечающих за анализ предметной области, и конечным пользователям, как на этапе проектирования, так и на этапе функционирования.

Уровень *Адаптации решений* отвечает за конфигурацию рабочего места пользователя, за настройку графического интерфейса, за получение аналитических отчетов в требуемых разрезах.

Уровень *Моделирования предметной области* содержит визуальные инструменты определения объектов системы, их взаимодействия. Также содержит инструменты определения структуры классов, отношения между классами, определение поведения объектов системы.

Уровень *Взаимодействия с БД и внешними ПО* содержит в себе инструменты, поддерживающие современные стандарты и интерфейсы для взаимодействия с СУБД и программным обеспечением, такие как ODBC и OLE.

Особенностью использования данных инструментальные средства заключается в том, что с их помощью можно сгенерировать приблизительно восемьдесят процентов программного кода. Тем самым позволяя сосредоточиться на построении алгоритмов и логики функционирования приложения, которые составляет оставшиеся двадцать процентов кода.

Таким образом, разработка СППР осуществляется в соответствии с CASE (Computer-Aided Software Engineering) технологией, обеспечивающая высокую скорость и гибкость при разработке компьютерных систем, каковыми и являются СППР.

Еще одной существенной особенностью использования предлагаемой архитектуры построения СППР является возможность привлекать пользователей системы и экспертов предметной области на этапе проектирования разрабатываемого программного обеспечения.



Рис. 1. Платформа для построения СППР



Ядром предлагаемой платформы разработки СППР является уровень моделирования предметной области, который позволяет разрабатывать визуальные модели исследуемого производственного участка и процессов организационно-технологического проектирования. Описывать классы и объекты, поведение объектов, взаимоотношения между объектами, используя графический инструмент описания [4].

Использование объектно-ориентированной методологии позволяет представить производственную систему как иерархическую систему, состоящей из элементарных объектов, разнородных по цели, структуре и поведению, в которой объекты могут иметь различную форму представления знаний, что повышает эффективность и скорость проектирования СППР при организационно-технологическом проектировании.

### Заключение

- Для реализации предложенных направлений повышения эффективности организационно-технологического проектирования автоматизированных необходимо исследование взаимосвязанного комплекса разнородных моделей (технологических процессов изготовления деталей, оборудования, процессов принятия решений и др.).

- Использование онтологий позволит использовать знания всех специалистов, участвующих в организационно-технологическом проектировании.

- Реализация предлагаемого комплекса моделей целесообразно и возможно на основе многоязыковой программной среды и объектно-ориентированного подхода к анализу, проектированию и программированию, позволяющих наиболее адекватно описывать реальные объекты и процессы.

- Предлагаемая многоуровневая платформа для программной реализации СППР позволяет акцентироваться на анализе предметной области, определении структуры и поведения объектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Новиков, Н.И.** Использование продукционно-фреймового подхода для представления знаний в имитационной модели механообрабатывающего участка [Текст] / Н.И. Новиков, В.Н. Новиков // Автоматизация и управление технологическими и производственными процессами. Материалы всероссийской научно-практической конференции Уфа. УГАТУ, 2011. -С.139-144.
2. **Муромцев, Д.И.** Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé [Текст] / Д.И. Муромцев. // – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2007. – 62 с
3. **Бессмертный, И.А.** Искусственный интеллект [Текст] / И.А. Бессмертный. // – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 132 с.
4. Modeling Tool User's Guide, Publication Number P40-3804-03, Cincom Systems, Inc. 2011. – 349 с.
5. **Черняховская, Л.Р.** Поддержка принятия решений при управлении сложными производственными системами на основе онтологической базы знаний [Текст] / Л.Р. Черняховская, Е.Б. Старцева, П.В. Муксимов, К.А. Макаров // Вестник УГАТУ. 2007. Т.9, №7 С.41-46

## ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗБУМАЖНОГО ВЫПУСКА ДОКУМЕНТОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Д.В. Кондусов<sup>1</sup>, В.Б. Кузнецова<sup>2</sup>, А.И. Сердюк<sup>3</sup>, А.И. Сергеев<sup>4</sup>  
1,2,3,4 ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

## THE PAPERLESS ISSUANCE TECHNOLOGY OF LOGISTICAL SUPPORT DOCUMENTS AT A MECHANICAL ENGINEERING ENTERPRISE

D.V. Kondusov<sup>1</sup>, V.B. Kuznetsova<sup>2</sup>, A.I. Serduk<sup>3</sup>, A.I. Sergeev<sup>4</sup>  
1,2,3,4 Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>2</sup> valyosha@list.ru

**Аннотация.** В современных условиях организация производственной деятельности направлена на обеспечение слаженности и согласованности в работе всех подразделений машиностроительного предприятия по выпуску конкурентоспособной продукции заданного качества и объема, определяемыми договорами с заказчиками, при оптимальном использовании всех видов производственных ресурсов. В достижении этой цели важнейшую роль играет минимизация затрат на оперативность обработки информации на всех производственных этапах.

**Ключевые слова:** единое информационное пространство, PDM-система, электронный документооборот.

**Abstract.** In modern conditions the organization of production activities aimed at ensuring coherence and consistency in the work of all departments of engineering enterprises producing competitive products specified quality and quantity determined by agreements with customers, while making optimal use of all types of productive resources. In achieving this goal is crucial to minimize the cost of the efficiency of information processing at all stages of production.

**Keywords:** a unified information space, PDM-system, electronic document flow.

Решая производственные вопросы, сотрудники машиностроительных предприятий сталкиваются с необходимостью оперативно донести до руководства информацию. Часто территориально-распределенные подразделения нуждаются в повышении эффективности работы персонала для координации их действий, простоты и прозрачности согласования документов, контроля исполнительской дисциплины. Важно быстро и правильно оформить документ и пройти определенное количество инстанций по его

Формирование служебных записок по оплате счетов

**СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА №**  **от** 14.01.2015

*Прошу произвести оплату по следующим данным:*

Номер договора	335/157-11	Дата	16.03.2011
Сумма договора, в т.ч. НДС	1121124,66	НДС	171019,02
Дата окончания договора			31.12.2011
Документы на оплату (счет, с/фак., акт вып. раб.)	документы на оплату		
Предмет договора, наименование услуги	изготовление панелей ПМЖИ.731178.007		
Номер заказа/Группа			
Вид ТМЦ	3. Кабельно-проводная продукция, ЭРИ и электроматериалы		
Изделие (наименование)	Общезаводские нужды		
Норма на комплект/транзитная норма			
Обеспеченность до оплаты/после оплаты	/ /		
Необходимая обеспеченность			

*Реquisitez контрагента (поставщика):*

Наименование контрагента	ОАО "ОКБ СУХОГО"	ИНН	7714016680
Наименование банка	СБЕРБАНК РОССИИ (ОАО)	КПП	997850001
Расчетный счет контрагента	40702810238290108468	Город	Москва
Назначение платежа	аванс	БИК	044525225
Сумма к оплате в т.ч. НДС (руб., евро, \$)	155686 руб	НДС	23748,71
Вид оплаты (аванс, ок. расчет)			
Срок оплаты, согласно договора			
Срок поставки, оказания услуг	/		
Доп. информация (поояснение)			

Начальник отдела № 151 / Д.Н. Воронин /

Сотрудник отдела 6 / О.В. Козлова /

Сотрудник отдела 5 / Г.Р. Савельева /

/ кондусов дмитрий викторович /

№ телефона / Ф.И.О. исполнителя отдела/цеха

**Рис. 1. Главное окно программы «МЕМО BILL PAYMENT»**

согласованию. Многие на собственном опыте знают длительность согласования письменного документа. Поэтому очень важным фактором является повышение уровня коммуникаций между сотрудниками – их осведомленности, скорости взаимодействия, комфортности коммуникаций. Для достижения этих целей необходимо единое информационное пространство предприятия и автоматизированный электронный документооборот, позволяющий не просто хранить и регистрировать данные, но и управлять этими данными.

Чтобы сократить сроки согласования и повысить оперативность обработки информации в защищенном электронном документообороте предприятия, нами создана программа «MEMO BILL PAYMENT», которая позволяет формировать служебные записки на оплату счетов в электронном виде, сокращает время, которое тратится на согласование и для формализации данных.

Создание процесса согласования служебных записок на оплату счетов представим в виде типовых сценариев работы в среде «MEMO BILL PAYMENT».

После запуска приложения посредством нажатия на ярлык «Формирование служебных записок.exe», находящимся на рабочем столе пользователя, откроется главная форма программы изображенная на рис. 1.

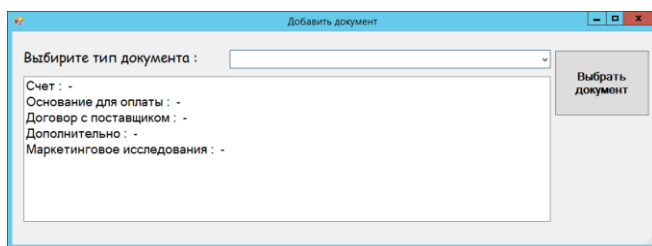


Рис. 2. Окно выбора прикрепляемых документов

Добавление документа к служебной записке осуществляется следующим образом: в раскрывающемся списке нужно выбрать тип прикрепляемого документа, затем нажать на кнопку «Выбрать документ», после чего появится стандартное окно выбора файла, в котором необходимо указать файл.

В результате окно видоизменится и напротив типа документа будет отображаться путь к файлу, как показано на рис. 3.

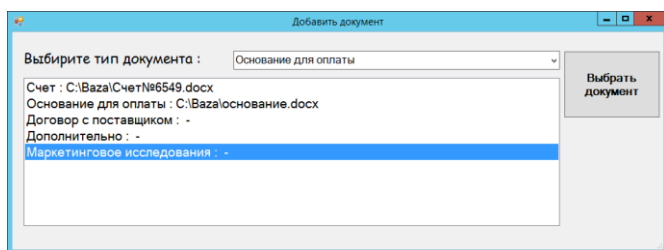




Рис. 3. Вид окна после выбора документов

Кнопка  служит для просмотра выбранных документов и имеет аналогичный интерфейс.

Выбор начальника, сотрудника отдела 6 и сотрудника отдела 5 осуществляется из раскрывающегося списка.

Когда все необходимые данные заполнены и прикреплены документы, нужно нажать кнопку  «Отправить начальнику» и начнется процесс отправки служеб-

ной записки начальнику инициализирующего отдела.

По окончании процесса отправки появится сообщение об отправке, а так же возможность просмотра сформированной записки в Microsoft Office Word, посредством нажатия на появившейся кнопке Просмотр записки.

Справа от кнопки «Отправить начальнику» находятся кнопки «Посмотреть статус записки» и «Просмотреть оплату записок» по нажатию на которые осуществляются одноименные функции.

Команда «Просмотреть статус записки» позволяет пользователю отследить маршрут следования служебной записки и определить где она находится на данный момент. На рис. 4 показано окно просмотра статуса записки.

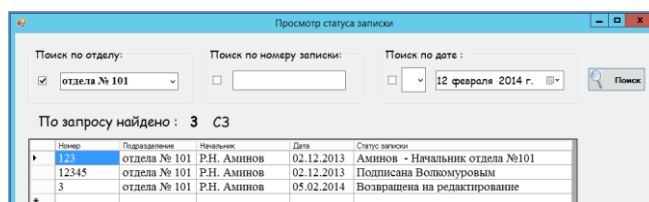


Рис. 4. Окно просмотра статуса записки

Поиск записки осуществляется по отделу, по номеру записки, дате ее формирования или при комбинировании указанных параметров. Необходимо выбрать параметр поиска, ввести/выбрать значение и нажать кнопку «Поиск».

Команда «Просмотреть оплату записок» предназначена для просмотра оплаченных записок, окно просмотра изображено на рис. 5.

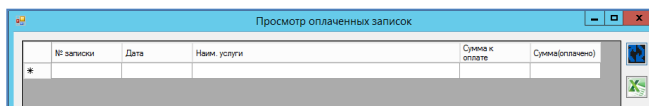


Рис. 5. Окно просмотра оплаченных записок

В процессе согласования записки любой из согласующих лиц может написать замечание исполнителю. Если замечание было сделано, то на экране исполнителя появится всплывающее сообщение.

Для редактирования служебных записок необходимо в области уведомлений на панели задач правой кнопкой мыши нажать на значок программы и выбрать пункт «Просмотр записок».

После этого появится форма программы, изображенная на рис. 6, где отображен список принятых служебных записок на редактирование.

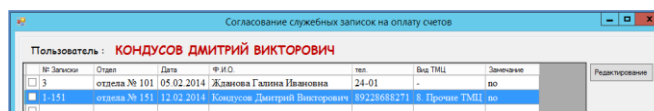


Рис. 6. Окно с записками на редактирование

Чтобы начать работу со служебной запиской нужно сделать ее активной, для этого необходимо нажать по выбранной записке двойным нажатием левой кнопки мыши, вследствие чего строка будет целиком выделена.

В активном режиме доступна функция редактирования записки посредством нажатия на кнопку «Редак-

тирование», вследствие чего откроется главное окно, изображенное на рис. 1, но только с заполненными данными по редактируемой записке.

После исправления замечаний следует нажать на кнопку «Отправить начальнику».

В случаях обнаружения ошибок пользователь видит сообщение на экране в зависимости от совершенного неверного действия.

Представим поэтапно прохождение служебных записок на оплату счетов по подразделениям машиностроительного предприятия, рис. 7.

На любом этапе инициатор может проверить статус служебной записки нажатием кнопки «Просмотреть статус записки» или проверить оплату нажатием кнопки «Просмотреть оплату записок».

Основные проблемы при работе с документами в территориально-распределенной среде связаны со сложностью коммуникаций, когда передача документа в

бумажном виде занимает слишком много времени. При этом отследить местонахождение такого документа в произвольный момент времени крайне непросто, к тому же передача документа в бумажном виде не гарантирует его получения адресатом (он может быть на совещании, в отпуске, на больничном, переведен на другую должность).

Эффективность работы машиностроительного предприятия зависит от оперативности реагирования на возникновение проблемных ситуаций, скорости принятия решений, четкости и слаженности действий сотрудников. Поэтому очень важно, чтобы все документы в организации были всегда «под рукой» и обрабатывались в отведенные для этого сроки.

Сравнение автоматизированного и неавтоматизированного процессов согласования служебных записок, приведено в табл. 1.

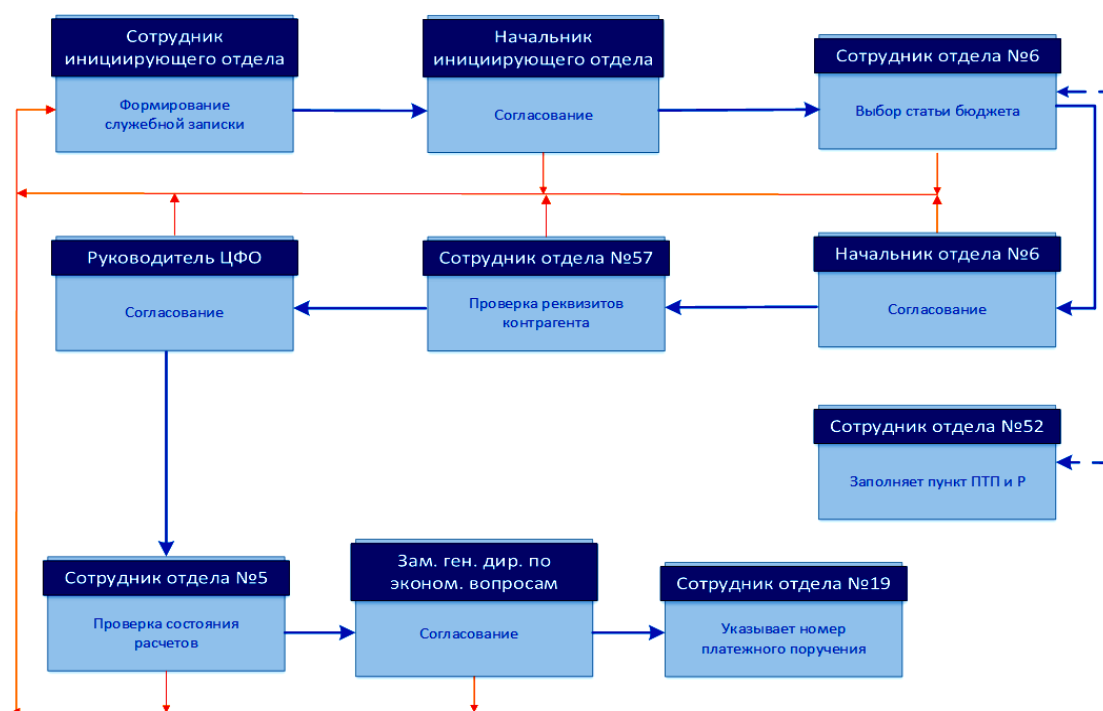


Рис. 7. Этапы прохождения служебных записок на оплату счетов по подразделениям предприятия

Табл. 1. Сравнительные характеристики автоматизированного и неавтоматизированного процессов согласования служебных записок

Наименование этапа согласования СЗ	Время, затрачиваемое на процесс согласования СЗ, мин		Относительное изменение: неавтоматиз./автоматиз., раз
	Неавтоматизированный процесс	Автоматизированный процесс	
Формирование СЗ сотрудником иницирующего отдела	45	20	2,25
Согласование с начальником иницирующего отдела	15	1	15
Согласование с отделом 52	60	1	60
Согласование с отделом 6	60	1	60
Согласование с отделом 57	60	1	60
Согласование с руководителем ЦФО	60	1	60
Проверка состояния расчетов	60	1	60
Согласование с зам. ген. дир. по экономическим вопросам	60	1	60
Указание номера платежного поручения	60	1	60
<b>Итого</b>	<b>480</b>	<b>28</b>	<b>17,14</b>

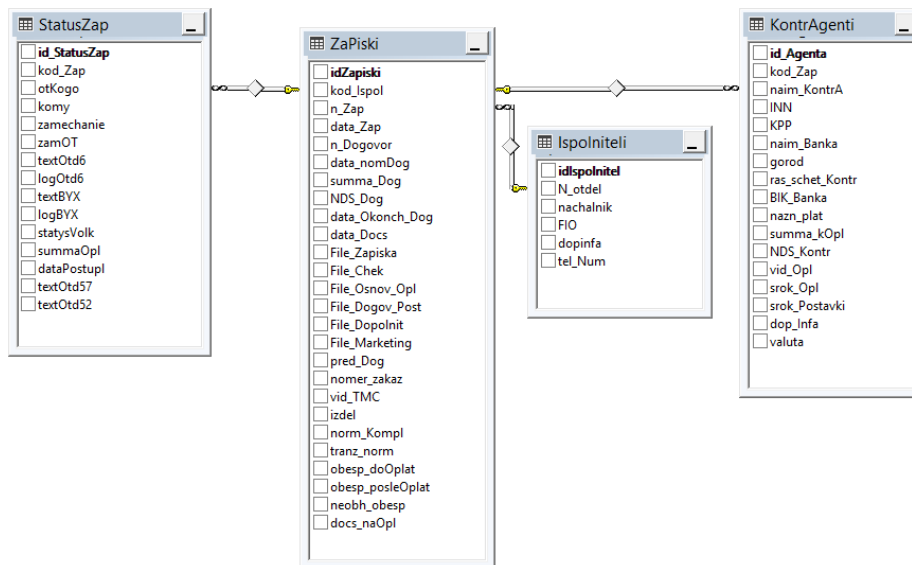


Рис. 8. Структура базы данных

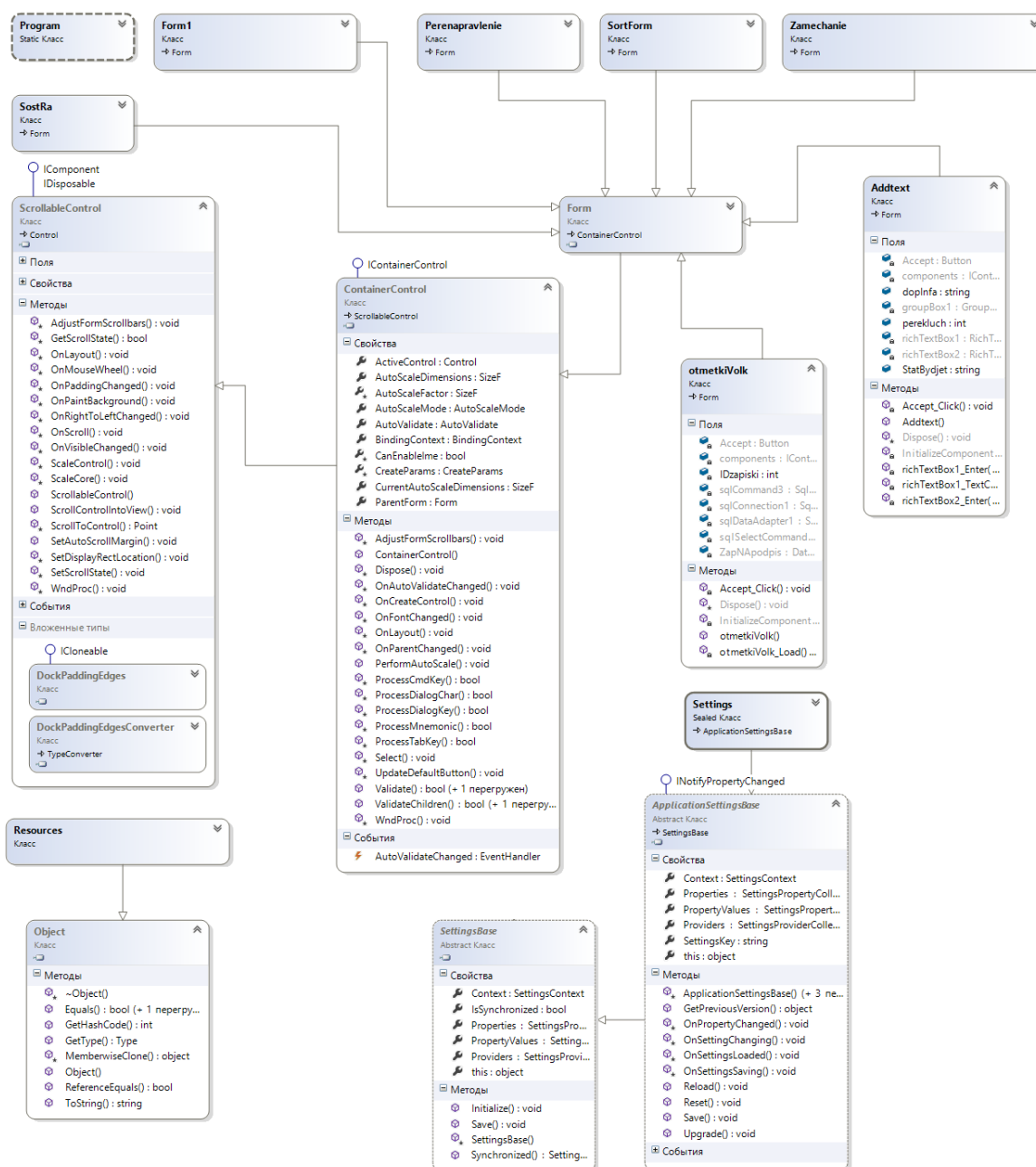


Рис. 9. Диаграмма классов программы «MEMO BILL PAYMENT»



На основе вышеизложенного можем сделать вывод, что благодаря программе «MEMO BILL PAYMENT» трудоемкость процесса согласования служебных записок на оплату счетов снижается в 17 раз, как следствие – у специалистов появляется больше возможностей повысить качество и оперативность работы.

Так как данное приложение имеет объектно-ориентированную архитектуру, то оно с легкостью может стать универсальным средством для документооборота конструкторско-технологической информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под общ. Ред. А.Г. Братухина; ред. совет: Балабуев В.П., Богуслаев В.А., Братухин А.Г., Кивов Г.А. Киев: Техника, 2001. - 437 с.

2. **Кузнецова, В.Б.** Методика внедрения электронного документооборота при производстве сложной авиационной техники / Кузнецова В.Б., Сергеев А.И. // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014 – № 74. – <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=49379>.

3. **Кузнецова, В.Б.** Особенности применения информационных технологий в управлении персоналом машиностроительных предприятий / Кузнецова В.Б. // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 8. – С. 29-32.

4. **Корнипаев, М.А.** Совершенствование оперативного планирования в АСУП на основе ситуационного управления технологическими режимами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / М.А. Корнипаев. – Оренбург, 2007. – 16 с.

5. **Кульга, К.С.** Автоматизация технической подготовки и управления производством на основе PLM-системы // Нефтяное хозяйство. 2008. – 256 с.

6. **Левин, А.И.** Концепция и технологии компьютерного сопровождения процессов жизненного цикла изделий / Е.В. Судов, А.И. Левин // Информационные технологии в наукоемком машиностроении, «Техника». Киев. : 2001. С. 612-625.

7. **Сердюк, А.И.** Программный комплекс для оценки эффективности изготовления изделия / А.И. Сердюк, Л.В. Галина, А.М. Черноусова // Программные продукты и системы. 2010. № 4. С. 32.

8. **Судов, Е.В.** Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. / Е.В. Судов // М. : ООО Издательский дом «МВМ», 2003. – 264 с.

Кафедра «Автоматизированные системы управления» (АСУ) готовит студентов по направлению 220400 - Управление в технических системах, профиль - Системы и средства автоматизации технологических процессов. Уровень подготовки - бакалавриат и магистратура.

На базе кафедры созданы современные лаборатории для обучения особенностям программирования современной микропроцессорной техники (контроллеры Simatic S7-300/400, S7-1200, OВЕН, OMRON, DELTA и др.), изучения технических средств автоматизации и электроники.



### РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПЕЧАТНЫЕ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ КАФЕДРЫ АСУ

Андреев С.М.  
Парсункин Б.Н.

Оптимизация режимов  
управления нагревом заготовок  
в печах проходного типа

Монография

Магнитогорск  
2013

В работе представлены научные основы построения САУ нагревом заготовок в методических печах широкополосных станков для реализации оптимальных режимов нагрева

М.Ю. Рябчиков  
Б.Н. Парсункин  
Е.С. Рябчикова

Электродуговые  
технологические агрегаты  
переменного тока в металлургии:  
моделирование и управление

Магнитогорск  
2014

В работе представлены результаты исследования существующих режимов работы электродуговых агрегатов переменного тока, к которым относятся ДСП и АПК



