

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И
ПРОИЗВОДСТВА**



Министерство образования и науки Российской Федерации

Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова



Посвящается:

**80 – ЛЕТИЮ МАГНИТОГОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМ. Г.И. НОСОВА**

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

AUTOMATION OF TECHNOLOGIES AND PRODUCTION

Сборник научных трудов
Выпуск 6

Под общей редакцией д-ра техн. наук,
проф. Б.Н. Парсункина

Магнитогорск
2014

Редакционная коллегия:

Парсункин Б.Н., докт. техн. наук, проф. (*главный редактор*),
Лисиенко В.Г., президент РУО АИН РФ, докт. техн. наук, проф.,
Салганик В.М., докт. техн. наук, проф.,
Вдовин К.Н., докт. техн. наук, проф.,
Андреев С.М., канд. техн. наук, доцент,
Логунова О.С., докт. техн. наук, проф. МГТУ им. Г.И. Носова,
Спирин Н.А., докт. техн. наук, проф.,
Рябчиков М.Ю., канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Г.И. Носова
(*технический редактор*).

Автоматизированные технологии и производства: сб. научн. тр. / под ред. Б.Н. Парсункина. Вып. 6. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2014. 214 с.

В сборнике публикуются 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 сборника является освящение результатов работ в области управления процессами черной металлургии, а также решения задач энерго- и ресурсосбережения с использованием оптимизирующих алгоритмов управления.

Сборник предназначен для специалистов в области автоматизации технологических процессов, для работников производственных предприятий, эксплуатирующих системы автоматизации, проектных институтов и вузов, специализирующихся в области информационных технологий.

УДК 681.5/62-5

© ФГБОУ ВПО Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выпуск сборника посвящен 80-летию Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, а также 80-летию прокатного производства ОАО «ММК». На сегодняшний момент «ММК» занимает лидирующие позиции среди отечественных производителей листового проката.

Прокатное производство на «ММК» является одним из самых современных в мире. За последнее десятилетие прокатные мощности комбината практически полностью обновились, что стало возможным благодаря непрерывному труду коллектива магнитогорских прокатчиков.

Использование современных микропроцессорных технических средств управления технологическими процессами в металлургии позволяет успешно решать экономические проблемы, возникшие в связи с недостаточным уровнем оснащения промышленных агрегатов современными средствами автоматизации.

Современная автоматизированная система управления технологическим процессом представляет собой многоуровневую человеко-машинную систему управления, которая строится с использованием автоматизированных систем сбора и обработки технологической информации. Основной работой оператора технологического процесса становится работа с информацией. От него требуются не только профессиональные знания о технологическом процессе и основах управления им, но и опыт работы в информационных системах, умение принимать решения в диалоге с автоматизированной системой. Оператор становится главным действующим лицом в управлении технологическим процессом. В этой связи важное значение приобретает разработка и совершенствование методов обучения технологического персонала навыкам управления технологическими процессами.

Одной из наиболее перспективных технологий построения автоматизированных систем, основанных на диалоге с оператором, является технология SCADA, которая нашла применение во многих отраслях промышленности. Интеграция подобных систем с интерактивными средами обучения персонала, а также с экспертными системами поддержки принятия решений играет важнейшую роль в повышении стабильности управления технологическими процессами и снижении доли дефектной продукции.

Представленные в данном выпуске сборника работы освещают решения различных теоретических и прикладных задач, связанных с

автоматизацией технологических процессов и производств в различных отраслях промышленности, включая металлургическое производство. Значительное внимание уделено вопросам решения научно-практических задач контроля и управления технологическими процессами на основе разработки более совершенных алгоритмов управления. Ряд работ посвящен применению искусственных нейронных сетей и аппарата нечеткой логики в задачах управления и создания моделей технологических процессов.

Редакционная коллегия сборника благодарит всех авторов за предоставленные к публикации материалы и надеется на дальнейшее сотрудничество.

*С Уважением, доктор технических наук,
профессор кафедры Автоматизированных систем
управления Парсункин Б.Н.*

УДК 681.5.017

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ
НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ДСП**

Е.С. Рябчикова¹, М.Ю. Рябчиков², Б.Н. Парсункин³

^{1,2,3}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

**THE DEVELOPMENT OF MULTIPARAMETER LOW-
FREQUENCY PERTURBATION MODEL IN EAF**

E.S. Ryabchikova¹, M.Y. Ryabchikov², B.N. Parsunkin³

^{1,2,3}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

¹mika.Elena@mail.ru

Разработана многомерная модель возмущений для ДСП-180 ОАО «ММК», устанавливающая связь между возмущениями по фазным вторичным напряжениям, индуктивным сопротивлениям токоподвода и перемещениям электродов фаз.

Ключевые слова: ДСП, многомерная модель возмущений, авторегрессионная модель скользящего среднего, ARIMA

The multidimensional perturbation model for EAF-180 "MMK" OJSC that establishes the connection between perturbations in phase with secondary voltage, current lead inductive resistance and the phase electrode movement has been developed.

Keywords: EAF, perturbation multidimensional model, autoregressive moving average model, ARIMA

При решении задач автоматического управления электродуговыми агрегатами необходимо учитывать наличие большого числа различных возмущений, которые можно разделить на несколько типов.

Турбулизация плазмы – одна из основных причин возмущений в процессе горения дуги. Показателем уровня возмущений является спектр частот кривой тока, генерируемых дугой. На этот частотный спектр накладывается спектр высокочастотных гармоник [1].

На дугу действуют потоки паров и газов за счет высокого градиента температур в этой области. Также весьма существенно воздействие на дугу электромагнитного поля от соседних электродов и собственного тока, протекающего по электроду и по шихте. Действие этих факторов

приводит к непрерывному изменению положения и длины столба дуги, что обуславливает высокий уровень колебаний тока [2].

В работе [3] показаны найденные параметры авторегрессионной модели скользящего среднего (ARIMA) и ЧАКФ остатков модели возмущений в ДСП, приведенных к единому параметру – току фазы. Однако, необходимо учитывать, что подобная модель практически бесполезна с точки зрения изучения особенностей управления значениями электрических параметров и его оперативной оптимизации [4], поскольку не отражает особенностей дрейфа статической характеристики, как зависимости мощности от тока.

Учитывая, что длина дуги связана с напряжением дуги, из рассмотрения симметричной линейной электрической цепи получим:

$$U_{\partial} = \sqrt{U_{2T}^2 - (Ix)^2} - Ir, \quad (1)$$

где U_{2T}^2 – фазное вторичное напряжение трансформатора; r, x – активное и индуктивное сопротивление токоподвода.

Тогда связь длины дуги с током будет иметь вид:

$$L_{\partial} = \frac{1}{\beta} \left[\sqrt{U_{2T}^2 - (Ix)^2} - Ir - \alpha \right], \quad (2)$$

где β, α – параметры, определяющие связь длины дуги с ее напряжением.

Учитывая (2), целесообразно создать модель возмущений на основе оценки параметров следующих временных рядов: фазного вторичного напряжения трансформатора U_{2T} ; индуктивного сопротивления токоподвода x ; изменения положения электрода в процессе управления существующей системой.

Создание модели возмущений, учитывающей корреляции между разными параметрами по отдельной фазе и между разными фазами можно осуществить на основе разных подходов.

Наиболее полно учесть все особенности процесса позволяет создание многомерной ARIMA. При этом все переменные интерпретируются как векторы и матрицы [5]:

$$Y_t = \sum_{j=1}^p Y_{t-j} P_j + X_t D + U_t, \quad (3)$$

где Y_t – вектор-строка изучаемых переменных; X_t – вектор-строка детерминированных регрессоров; U_t – ошибки, представляющие собой векторный белый шум, т.е. они не коррелированы и имеют постоянную одномоментную ковариационную матрицу $V[U_t] = \Sigma$.

Рассмотрим задачу моделирования m -мерного случайного вектора $\bar{\xi} = (\xi_1, \dots, \xi_m)$, распределенного по нормальному закону $N(A, R)$ с математическим ожиданием A и ковариационной матрицей R :

$$A = (a_i), \quad R = (\sigma_{i,j}), \quad i, j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Обозначим $\bar{\eta} = (\eta_1, \dots, \eta_m)$ стандартный гауссовский m -мерный случайный вектор, то есть случайный вектор, распределенный по нормальному закону $N(0,1)$, где I – единичная матрица. Методы моделирования базируются на следующем подходе [6].

Теорема. Пусть $C = (c_{i,j})$ – действительная $(m \times m)$ -матрица, являющаяся решением матричного уравнения:

$$CC^T = R. \quad (5)$$

Тогда случайный вектор $\bar{\xi}$, являющийся линейным преобразованием $\bar{\eta}$:

$$\bar{\xi} = C\bar{\eta} + A, \quad (6)$$

имеет нормальное распределение $N(A, R)$.

Компоненты вектора η_1, \dots, η_m некоррелированы, следовательно, и независимы, распределение отдельной компоненты η_i – стандартное нормальное $N(0,1)$. Поэтому моделирование $\bar{\eta}$ можно выполнить m -кратным обращением к функции моделирования случайного числа с одномерным стандартным нормальным распределением $N(0,1)$.

Для построения матрицы C использовали метод [6], основанный на использовании неединственности решения (5), требующий, чтобы C была нижней треугольной матрицей: $c_{i,j} = 0$, если $i > j$. Ненулевые элементы $c_{i,j}$ определяются рекуррентно. В силу (6) $\xi_1 = c_{1,1}\eta_1 + a_1$ и выражение (5) дает соотношение $c_{1,1}^2 = \sigma_{1,1}$. Следо-

вательно, $c_{1,1} = \sqrt{\sigma_{1,1}}$. Далее справедлива общая рекуррентная формула:

$$c_{i,j} = \left(\sigma_{i,j} - \sum_{v=1}^{j-1} c_{i,v} c_{j,v} \right) / \sqrt{\sigma_{j,j} - \sum_{v=1}^{j-1} c_{j,v}^2}, \quad (7)$$

где $\sum_{v=1}^0 (\cdot)^\Delta = 0$.

Вычисления по рекуррентной формуле (7) осуществляются по строкам матрицы C , то есть в следующем порядке:

$$C_{1,1}, C_{2,1}, C_{2,2}, C_{3,1}, C_{3,2}, C_{3,3}, C_{4,1}, \dots, C_{m,m}.$$

В таблицах 1, 2 приведены корреляционная матрица и матрица C возмущений для лага $L=1$ секунда при ступени переключателя напряжения печного трансформатора $nT = 8$, ступени реактора $nR = 0$, среднего тока $I = 67 \pm 5$ кА.

Представленные матрицы, наряду с матрицами для лагов $L = 5$ и $L = 25$ позволяют выполнить генерацию 9-ти мерной случайно величины возмущений в широком диапазоне частот ($1 \div 0.01$ Гц) по трем фазам ДСП для указанного отдельного режима. Полные матрицы были рассчитаны для 16-ти различных режимов работы ДСП.

Таблица 1 – Корреляционная матрица для генерации возмущений по трем фазам

	dx_A	dx_B	dx_C	dU_A	dU_B	dU_C	dL_A	dL_B	dL_C
dx_A	1,00	0,54	0,33	0,55	0,27	0,41	0,17	0,03	-0,02
dx_B	0,54	1,00	0,46	0,53	0,55	0,31	0,03	0,15	0,05
dx_C	0,33	0,46	1,00	0,27	0,52	0,58	0,02	0,06	0,19
dU_A	0,55	0,53	0,27	1,00	0,71	0,66	0,10	0,09	0,06
dU_B	0,27	0,55	0,52	0,71	1,00	0,74	0,04	0,08	0,13
dU_C	0,41	0,31	0,58	0,66	0,74	1,00	0,14	0,07	0,15
dL_A	0,17	0,03	0,02	0,10	0,04	0,14	1,00	0,53	0,63
dL_B	0,03	0,15	0,06	0,09	0,08	0,07	0,53	1,00	0,59
dL_C	-0,02	0,05	0,19	0,06	0,13	0,15	0,63	0,59	1,00

Таблица 2 – Матрица C – решение уравнения (5)

	dx_A	dx_B	dx_C	dU_A	dU_B	dU_C	dL_A	dL_B	dL_C
dx_A	1	0	0	0	0	0	0	0	0
dx_B	0,54	0,84	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы 2

	dx_A	dx_B	dx_C	dU_A	dU_B	dU_C	dL_A	dL_B	dL_C
dx_C	0,33	0,33	0,89	0	0	0	0	0	0
dU_A	0,55	0,28	0	0,79	0	0	0	0	0
dU_B	0,27	0,48	0,31	0,54	0,56	0	0	0	0
dU_C	0,41	0,11	0,46	0,51	0,28	0,51	0	0	0
dL_A	0,17	-0,07	-0,01	0,03	0,02	0,12	0,97	0	0
dL_B	0,03	0,16	0	0,03	-0,03	0,06	0,55	0,82	0
dL_C	-0,02	0,07	0,19	0,06	0,01	0,06	0,65	0,27	0,68

Создание матрицы C позволяет выполнить генерацию многомерной случайной величины и далее с использованием параметров моделей ARIMA сгенерировать значения возмущений по фазному вторичному напряжению трансформатора U_{2T} ; индуктивному сопротивлению токоподвода x ; изменению положения электрода при управлении системой, основанной на стабилизации импеданса Z :

$$I = \frac{U_{2T}}{Z}. \quad (8)$$

Приняв $Z = const$ при известном возмущении по U_{2T} , зная исходный ток I_1 (текущий для имитационной модели), определим значение тока I_2 , соответствующее новому значению фазного напряжения:

$$I_2 = \frac{U_{2T_2} \cdot I_1}{U_{2T_1}}. \quad (9)$$

Учитывая, что $L_0 = \frac{1}{\beta} \left[\sqrt{U_{2T}^2 - (Ix)^2} - Ir - \alpha \right]$, изменение длины дуги, соответствующее новому режиму можно оценить как:

$$\Delta L_{01} = \frac{1}{\beta} \left[\sqrt{U_{2T_2}^2 - (I_2 x_2)^2} - \sqrt{U_{2T_1}^2 - (I_1 x_1)^2} \right], \quad (10)$$

где x_2 определяется исходя из предыдущего значения x_1 и значения возмущения по индуктивному сопротивлению токоподвода.

Используя полученные экспериментальные и теоретические [7] данные по коэффициентам передачи тока по перемещению электрода

$dI / dL_{\vartheta} = f(I)$ и длине дуги $dI / dL_{\vartheta} = f(I)$, а также данные о возмущении по положению электрода, определим $\Delta L_{\vartheta 2}$ – изменение длины дуги, связанное с перемещением электрода.

Изменение длины дуги $\Delta L_{\vartheta 2}$ можно представить в виде суммы двух компонент:

$$\Delta L_{\vartheta 2} = \Delta L_{\vartheta 1} + \Delta L_{\vartheta II}, \quad (11)$$

где $\Delta L_{\vartheta II}$ – возмущения по длине дуги, связанные с ходом технологического процесса, особенностями взаимодействия дуги и металла.

Найденный вектор возмущений $F(\Delta x; \Delta U_{2T}; \Delta l_{\vartheta II})$ по каждой фазе используется совместно с разработанной и адаптированной моделью процесса. Общая структурная схема модели возмущений представлена на рис. 1.

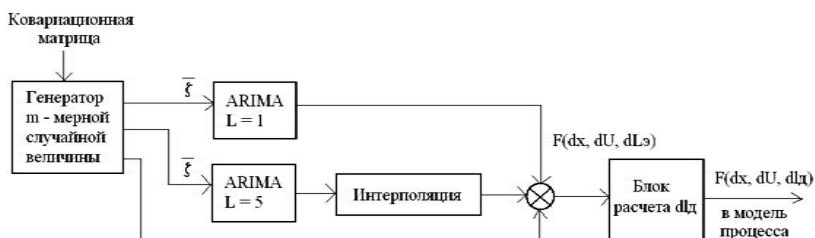


Рис.1. Структурная схема модели возмущений ДСП

Разработанная модель возмущений на основе набора рассчитанных авторегрессионных моделей позволяет решать различные задачи, включая проверку работоспособности систем управления электрическими режимами ДСП в различных режимах, позволяет дать сравнительную оценку качества управления для систем различного типа, оценить приемлемость различных способов оптимизации энергетического режима ДСП [4, 7, 8].

Библиографический список

1. Рябов А.В., Чуманов И.В., Шишимиров М.В.. Современные способы выплавки стали в дуговых печах: Учебное пособие. – М: Теплотехник, 2007. – 192 с.

2. Лапшин И.В. Автоматизация технологических процессов дуговой сталеплавильной печи. – М.: ООО «Квадратум», 2002. – 157 с.
3. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н. Применение прогнозной модели для оптимизации управления энергетическим режимом ДСП // Автоматизированные технологии и производства. 2012. № 4. С. 179-189.
4. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н. Целесообразность оптимизации работы ДСП в рамках фиксированного профиля плавки по критерию минимума удельных затрат электрической энергии // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71. С. 139-142.
5. Цыплаков А. Введение в прогнозирование в классических моделях временных рядов // Квантиль, 2006. №1. С. 3-19.
6. Статистические методы обработки данных: Лаб. практикум для студ. спец. 530102 «Автоматизированные системы обработки информации» всех форм обучения / В.С. Муха, Т.В. Слущанова. – Минск: БГУИР, 2004. – 98 с.
7. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н. Интеллектуальная система прогнозирующего управления энергетическим режимом дуговой сталеплавильной печи // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. С.195-202.
8. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю. Реализация модели электрического контура трехфазной цепи ДСП в программной среде ViSim // Электротехнические системы и комплексы. 2012. № 20. С. 327-331.

ТРЕХСЛОЙНЫЙ ПЕРЦЕПТРОН, СПОСОБНЫЙ ДООБУЧАТЬСЯ

В.Д. Дмитриенко¹, А.Ю. Заковоротный², В.А. Бречко³

^{1,2,3} *Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков, Украина*

THREE-LAYERED PERCEPTRON THAT IS ABLE TO LEARN

V.D. Dmitrienko¹, A.Y. Zakovorotnyi², V.A. Brechko³

^{1,2,3} *National Technical University "KhPI", Kharkov, Ukrainian
arcade@i.ua*

Впервые предложена нейросетевая архитектура и алгоритмы функционирования трехслойного перцептрона, способного дообучаться без потерь запомненной ранее информации. Новая нейронная сеть может стать альтернативой дискретным сетям адаптивной резонансной теории.

Ключевые слова: *перцептрон, способный дообучаться, нейронная сеть, сети адаптивной резонансной теории.*

Neural network architecture and algorithms of a three-layered perceptron that is able to learn without loss of previously stored information were first proposed. The new neural network can become an alternative to discrete networks of adaptive resonance theory.

Keywords: *perceptron that is able to learn, neural network, the network of adaptive resonance theory.*

Постановка проблемы и анализ литературы

Системы распознавания, классификации и управления на основе искусственных нейронных сетей широко применяются для решения самых различных задач. Успешное применение нейронных сетей при решении разнообразных задач обусловлено их универсальностью, возможностью замены различных традиционных проблем, возникающих при решении конкретных прикладных задач, обучением нейронных сетей на примерах, возможностью самообучения и разработки нейронных сетей под решаемую задачу, и т.д. [1 – 7].

При наличии достаточно полной информации об объекте исследования, возможно использование целого ряда различных видов нейронных сетей, подходящих для создания распознающих, классифицирующих и управляющих систем. Однако при разработке систем для реальных объектов зачастую возникают ситуации, когда информация об объекте далеко не полная или будет уточняться в процессе функционирования объекта. Это обстоятельство резко сокращает круг нейрон-

ных сетей, которые целесообразно использовать в таких ситуациях, поскольку обучение новому образу в общем случае приведет к полному переобучению нейронной сети. Также ограничение на применяемые сети накладывает и нечувствительность сетей к новым данным во входной информации. Все вышеперечисленное привело к разработке принципиально новых конфигураций нейронных сетей, использующих в своей основе адаптивную резонансную теорию [8 – 12] и решающих проблему стабильности – пластичности, то есть проблему восприятия и запоминания новой информации при сохранении уже имеющейся.

Нейронные сети адаптивной резонансной теории относят входное изображение к одному из известных классов изображений, если оно в достаточной степени похоже на прототип этого класса. Степень сходства с прототипом класса при этом определяется по заданному параметру сходства. Если найденный прототип соответствует входному изображению с заданной точностью, то он модифицируется, чтобы стать более похожим на предъявленное изображение. Если входное изображение сети адаптивной резонансной теории (АРТ) не похоже в достаточной степени ни на одно из изображений, хранящихся в памяти нейронной сети (в весах связей), то на его основе создается новый класс. Это возможно благодаря наличию в сети избыточных нейронов, которые не используются до тех пор, пока в этом нет необходимости (если избыточных нейронов уже нет и входное изображение не относится ни к одному из известных классов, то оно не вызывает реакции сети). Таким образом, нейронные сети АРТ могут запоминать новую информацию без искажения запомненной ранее информации или переобучения сети.

Указанное достоинство сетей АРТ достигается за счет введения в архитектуру нейронных сетей избыточных нейронов, которые используются только для дообучения сети. Введение избыточных нейронов может позволить решить проблему дообучения или проблему стабильности – пластичности и других нейронных сетей.

Целью статьи является разработка стабильно-пластичных нейронных сетей на основе перцептрона.

Основной раздел

Стабильность дискретных нейронных сетей АРТ-1 [10] обеспечивается наличием дополнительных нейронов, на которые и записывается новая информация. Подобные дополнительные нейроны в скрытом A -слое и выходном Y -слое нейронов может иметь и трехслойный перцептрон (*рис. 1*). Будем использовать эту сеть для запоминания и распознавания только k различных классов изображений, каждый из которых задается сигналом близким к единице на выходе одного Y -нейрона и сигналами близкими к -1 на выходах других Y -нейронов (при би-

полярном кодировании информации). При подаче на входы X -нейронов изображения, относящегося к одному из классов изображений, хранящихся в памяти сети, суммарный выходной сигнал нейронов будет близок к $(k-1) \cdot (-1) + 1 = -(k-2)$. Если входное изображение не относится ни к одному из классов, хранящихся в памяти нейронной сети, то суммарный выходной сигнал будет отличаться от $-(k-2)$.

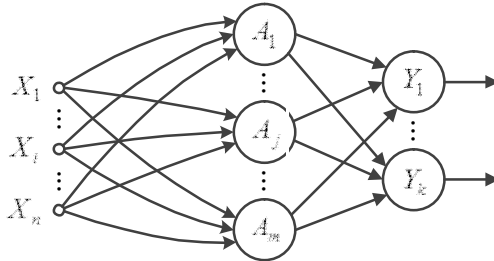


Рис. 1. Трехслойный перцептрон

Архитектуру новой сети условно можно разбить на $(N+1)$ однотипных блоков (рис. 2), каждый из которых хранит в весах своих связей множество изображений $M_l = \{S^{l1}, S^{l2}, \dots, S^{ln_l}\}$, $l = 0, 1, \dots, N$.

Любой l -й ($l = 0, 1, \dots, N$) блок содержит k_l A -нейронов скрытого слоя: $A_1^l, A_2^l, \dots, A_{k_l}^l$, n_l Y -нейронов распознающего или выходного слоя: $Y_1^l, Y_2^l, \dots, Y_{n_l}^l$, и столько же D -нейронов ($D_1^l, D_2^l, \dots, D_{n_l}^l$). D -нейроны имеют функцию активации вида

$$U_{\text{вых } D} = \begin{cases} 1, & \text{если } (1-\delta) \leq U_{\text{вх } D} < 1, \\ 0, & \text{если } (-1+\delta) < U_{\text{вх } D} < 1-\delta, \\ -1, & \text{если } -1 < U_{\text{вх } D} \leq -1+\delta, \end{cases} \quad (1)$$

где $U_{\text{вых } D}$, $U_{\text{вх } D}$ – соответственно выходной и входной сигнал D -нейрона; δ – максимально допустимая ошибка приближения сигналов "1" и "-1" с помощью нейронов с биполярной сигмоидальной функцией активации.

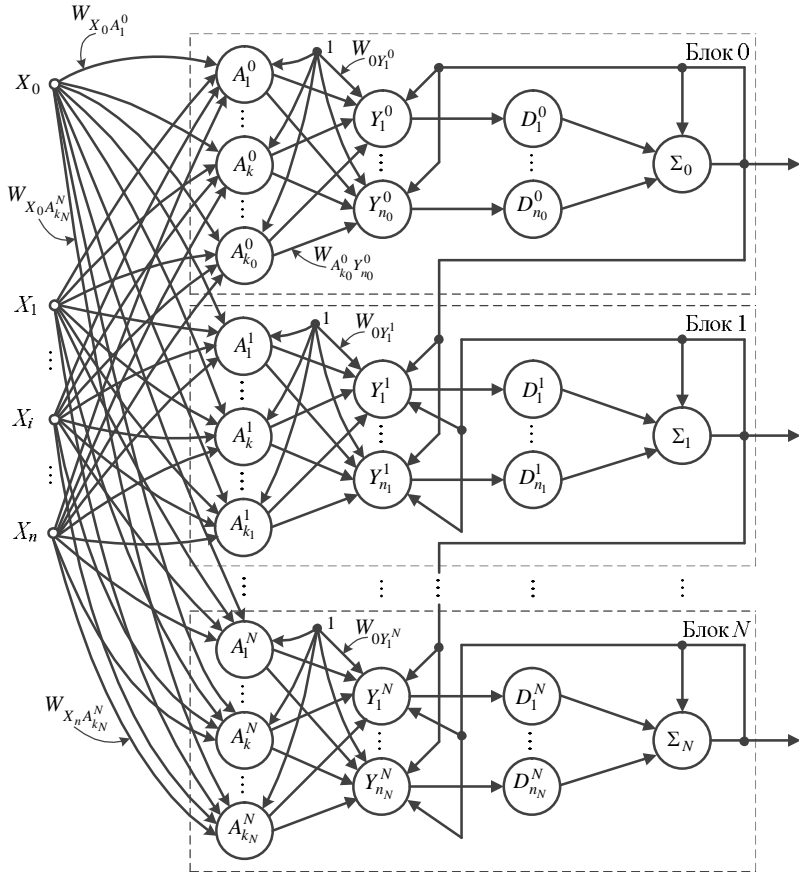


Рис. 2. Архитектура трехслойного перцептрона, который может дообучаться N раз

Каждый блок нейронной сети содержит также управляющий Σ -нейрон, с помощью которого определяется принадлежность входного вектора к соответствующему множеству изображений. Входы A -нейронов всех $(N + 1)$ блоков сети соединены с выходами сенсорных нейронов X_1, X_2, \dots, X_n .

Нейроны $A_1^0, \dots, A_{k_0}^0, Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$ нулевого блока используются для запоминания исходной информации в виде множества изображений M_0 . Блок 1 и последующие блоки нейронной сети используются для обучения перцептрона по мере накопления новой информации и последовательного запоминания множеств изображений M_1, M_2, \dots, M_N . В каждом блоке выходные сигналы Y -нейронов поступают на входы

D -нейронов, имеющих функцию активации вида (1) и преобразующих непрерывные сигналы Y -нейронов в дискретные сигналы: 1, 0 и -1 .

В каждом блоке нейронов сигналы D -нейронов поступают на входы управляющего нейрона, имеющего функцию активации вида

$$U_{\text{вых } \Sigma_d} = \begin{cases} 0, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_d} = \sum_{k=1}^{n_d} U_{\text{вых } D_k^d} = -(n_d - 2), \\ 1, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_d} \neq -(n_d - 2), \quad d = 0, 1, \dots, N, \end{cases} \quad (2)$$

где $U_{\text{вых } \Sigma_d}$, $U_{\text{вх } \Sigma_d}$ – соответственно выходной и входной сигнал нейрона Σ_d , $d = 0, 1, \dots, N$; $U_{\text{вых } D_k^d}$ – выходной сигнал нейрона D_k^d ($d = 0, 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, n_d$); n_d – число Y и D нейронов в блоке d ($d = 0, 1, \dots, N$).

Если $U_{\text{вых } \Sigma_d} = 0$, то это является признаком, что входное изображение принадлежит множеству M_d , а его конкретный класс определяется комбинацией выходных сигналов D -нейронов. Если $U_{\text{вых } \Sigma_d} = 1$, то это означает, что входное изображение не принадлежит множеству M_d . В этом случае выходной сигнал $U_{\text{вых } \Sigma_d}$ по цепи обратной связи фиксирует единичный выходной сигнал нейрона Σ_d , блокирует нейроны $Y_1^d, \dots, Y_{n_d}^d$ и подключает к распознаванию нейроны группы $(d + 1)$.

Рассмотрим алгоритмы функционирования нейронной сети.

Алгоритм обучения перцептрона, способного дообучаться

Шаг 1. Задаются:

- множество M_0 из n_0 обучающих пар (входное изображение – заданный выходной вектор сети);
- максимальное число N возможных дообучений нейронной сети;
- начальные веса связей нейронной сети;
- нулевые выходные сигналы нейронов блока 0 нейронной сети;
- начальное значение параметра l , с помощью которого подсчитывается число дообучений сети, $l = 0$;
- начальное значение параметра r , с помощью которого подсчитывается число нераспознанных входных изображений;

Блокируется работа Y -нейронов всех блоков сети кроме нулевого.

Шаг 2. Одним из алгоритмов метода обратного распространения ошибки блок 0 обучается распознаванию всех изображений из множества M_0 . Увеличивается значение параметра l на единицу.

Шаг 3. Нейронная сеть переводится в режим распознавания или классификации входной информации, задается начальное значение параметра $r = 0$. Формируется множество $M_{l+1} = \{S_1^{(l+1)}, \dots, S_{n_{(l+1)}}^{(l+1)}\}$ входных изображений, информация о которых отсутствует в памяти нейронной сети и которые являются представителями новых классов изображений. При записи в множество M_{l+1} нового изображения $S_k^{(l+1)}$ параметр r увеличивается на единицу и проверяется условие необходимости дообучения нейронной сети (например, по величине параметра r и числу дообучений нейронной сети). Если условие не выполняется, то сеть продолжает функционировать в заданном режиме, иначе – переход на следующий шаг алгоритма.

Шаг 4. Одним из алгоритмов метода обратного распространения ошибки блок $(l+1)$ обучается распознаванию всех изображений из множества M_{l+1} . Число l увеличивается на единицу: $l = l+1$. Проверяется условие окончания работы алгоритма, если оно не выполняется, то переход на шаг 3 алгоритма, иначе – переход на последний шаг алгоритма.

Шаг 5. Останов.

Возможна архитектура сети и алгоритм обучения, когда число групп нейронов и число нейронов в каждой группе не задается заранее, а формируется в процессе обучения.

Алгоритм функционирования перцептрона, способного дообучаться в режиме распознавания

Шаг 1. Иницируются веса связей и обнуляются выходные сигналы всех нейронов сети. Задается число L ($1 < L < N$) дообучений нейронной сети. Задается число l ($l = 0$), с помощью которого подсчитывается число блоков, которые могут быть использованы для распознавания входного изображения. Блокируется работа Y -нейронов всех блоков кроме нулевого.

Шаг 2. На вход сети подается некоторое изображение $S^* = (S_1^*, S_2^*, \dots, S_n^*)$.

Шаг 3. Определяются входные и выходные сигналы нейронов X -слоя:

$$U_{\text{вх}X_i} = S_i^*, U_{\text{вых}X_i} = U_{\text{вх}X_i}, i = 1, \dots, n.$$

Шаг 4. Определяются входные и выходные сигналы нейронов скрытого слоя нулевого блока:

$$U_{\text{вх } A_k^0} = 1 \cdot W_{X_0 A_k^0} + \sum_{i=1}^n U_{\text{вых } X_i} W_{X_i A_k^0}, \quad k = 1, \dots, k_0;$$

$$U_{\text{вых } A_k^0} = f_{A_k^0}(U_{\text{вх } A_k^0}), \quad k = 1, \dots, k_0,$$

где $U_{\text{вх } A_k^0}$, $U_{\text{вых } A_k^0}$ ($k = 1, \dots, k_0$) – соответственно входные и выходные сигналы нейронов скрытого A^0 -слоя; $W_{X_0 A_k^0}$ ($k = 1, \dots, k_0$) – веса связей для сигнала смещения на нейроны $A_1^0, \dots, A_{k_0}^0$; $W_{X_i A_k^0}$ ($i = 1, \dots, n$; $k = 1, \dots, k_0$) – веса связей от нейронов входного слоя к нейронам скрытого слоя; $f_{A_k^0}$ – функция активации нейронов A^0 -слоя.

Шаг 5. Определяются входные и выходные сигналы распознающих нейронов нулевого блока:

$$U_{\text{вх } Y_p^0} = 1 \cdot W_{0 Y_p^0} + \sum_{k=1}^{k_0} U_{\text{вых } A_k^0} W_{A_k^0 Y_p^0}, \quad p = 1, \dots, n_0;$$

$$U_{\text{вых } Y_p^0} = f_{Y_p^0}(U_{\text{вх } Y_p^0}), \quad p = 1, \dots, n_0,$$

где $U_{\text{вх } Y_p^0}$, $U_{\text{вых } Y_p^0}$, $p = 1, \dots, n_0$ – соответственно входные и выходные сигналы нейронов Y -слоя; $W_{0 Y_p^0}$, $p = 1, \dots, n_0$ – веса связей для сигнала смещения на нейроны $Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$; $W_{A_k^0 Y_p^0}$, $k = 1, \dots, k_0$, $p = 1, \dots, n_0$ – веса связей от элементов A -слоя к нейронам Y -слоя; $f_{Y_p^0}$ – функция активации нейронов Y -слоя.

Шаг 6. Определяются входные и выходные сигналы D -нейронов нулевого блока:

$$U_{\text{вх } D_p^0} = U_{\text{вых } Y_p^0}, \quad p = 1, \dots, n_0; \quad U_{\text{вых } D_p^0} = \begin{cases} 1, & \text{если } (1-\delta) \leq U_{\text{вх } D_p^0} < 1, \\ 0, & \text{если } (-1+\delta) < U_{\text{вх } D_p^0} < 1-\delta, \\ -1, & \text{если } -1 < U_{\text{вх } D_p^0} \leq -1+\delta, \end{cases}$$

где $U_{\text{вх } D_p^0}$, $U_{\text{вых } D_p^0}$, $p = 1, \dots, n_0$ – соответственно входные и выходные сигналы нейронов D -слоя нулевого блока; δ – максимально допусти-

мая ошибка приближения сигналов "1" и "-1" с помощью нейронов с биполярной функцией активации.

Шаг 7. Определяются входные и выходные сигналы управляющего нейрона Σ_0 :

$$U_{\text{вых } \Sigma_0} = \begin{cases} 0, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_0} = \sum_{p=1}^{n_0} U_{\text{вых } D_p^0} = -(n-2), \\ 1, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_0} = \sum_{p=1}^{n_0} U_{\text{вых } D_p^0} \neq -(n-2). \end{cases}$$

Если $U_{\text{вых } \Sigma_0} = 0$, то с помощью выходных сигналов D^0 -нейронов определяется класс, к которому относится входное изображение. Затем осуществляется переход на шаг 1 алгоритма. Если $U_{\text{вых } \Sigma_0} = 1$, то – входное изображение не принадлежит множеству M_0 . В этом случае по цепи обратной связи фиксируется единичный выходной сигнал нейрона Σ_0 . Этот сигнал блокирует нейроны $Y_1^0, \dots, Y_{n_0}^0$ и подключает к распознаванию нейроны первой группы.

Шаг 8. Число l увеличивается на единицу: $l = l + 1$. Определяются входные и выходные сигналы нейронов слоев A , Y , D блока l :

$$\begin{aligned} U_{\text{вх } A_k^l} &= 1 \cdot W_{X_0 A_k^l} + \sum_{i=1}^{n_l} U_{\text{вых } X_i} W_{X_i A_k^l}, \quad k = 1, \dots, k_l; \\ U_{\text{вых } A_k^l} &= f_{A_k^l}(U_{\text{вх } A_k^l}), \quad k = 1, \dots, k_l; \\ U_{\text{вх } Y_p^l} &= 1 \cdot W_{0Y_p^l} + \sum_{k=1}^{k_l} U_{\text{вых } A_k^l} W_{A_k^l Y_p^l}, \quad p = 1, \dots, n_l; \\ U_{\text{вых } Y_p^l} &= f_{Y_p^l}(U_{\text{вх } Y_p^l}), \quad p = 1, \dots, n_l; \\ U_{\text{вх } D_p^l} &= U_{\text{вых } Y_p^l}, \quad p = 1, \dots, n_l; \quad U_{\text{вых } D_p^l} = \begin{cases} 1, & \text{если } (1-\delta) \leq U_{\text{вх } D_p^l} < 1, \\ 0, & \text{если } (-1+\delta) < U_{\text{вх } D_p^l} < 1-\delta, \\ -1, & \text{если } -1 < U_{\text{вх } D_p^l} \leq -1+\delta, \end{cases} \end{aligned}$$

где $U_{\text{вх } A_k^l}$, $U_{\text{вых } A_k^l}$ ($k = 1, \dots, k_l$), $U_{\text{вх } Y_p^l}$, $U_{\text{вых } Y_p^l}$, $U_{\text{вх } D_p^l}$, $U_{\text{вых } D_p^l}$ ($p = 1, \dots, n_l$) – соответственно входные и выходные сигналы нейронов A^l -слоя, Y^l -слоя и D^l -слоя блока l нейронной сети; $W_{X_0 A_k^l}$ ($k = 1, \dots, k_l$), $W_{0Y_p^l}$ ($p = 1, \dots, n_l$) – веса связей для сигналов смещения соответствен-

но на нейроны A^l и Y^l слоев; $W_{X_i A_k^l}$, $W_{A_k^l Y_p^l}$ ($i=1, \dots, n$; $k=1, \dots, k_l$; $p=1, \dots, n_l$) – соответственно веса связей от нейронов входного слоя к нейронам скрытого A^l -слоя и от нейронов A^l -слоя к нейронам Y^l -слоя.

Шаг 9. Определяются входной $U_{\text{вх } \Sigma_l}$ и выходной $U_{\text{вых } \Sigma_l}$ сигналы управляющего нейрона Σ_l :

$$U_{\text{вх } \Sigma_l} = \sum_{p=1}^{n_l} U_{\text{вых } D_p^l}; \quad U_{\text{вых } \Sigma_l} = \begin{cases} 0, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_l} = -(n_l - 2), \\ 1, & \text{если } U_{\text{вх } \Sigma_l} \neq -(n_l - 2). \end{cases}$$

Если $U_{\text{вых } \Sigma_l} = 0$, то с помощью выходных сигналов D^l -нейронов определяется класс, к которому относится входное изображение. Затем осуществляется переход на шаг 1 алгоритма.

Если $U_{\text{вых } \Sigma_l} = 1$ и $l = L$, то – переход на шаг 1 алгоритма, поскольку входное изображение не принадлежит множеству M_l и в памяти сети отсутствует класс изображений, к которому может относиться входное изображение. Оно воспринимается как представитель нового класса изображений, который необходимо запомнить на $(L + 1)$ -м дообучении нейронной сети в $(L + 1)$ -м блоке.

Если $U_{\text{вых } \Sigma_l} = 1$ и $l < L$, то входное изображение не принадлежит множеству M_l , но может принадлежать множеству M_{l+1} . Сигнал с выхода нейрона Σ_l по цепи обратной связи фиксирует свой единичный выходной сигнал, блокирует работу нейронов $Y_1^l, \dots, Y_{n_l}^l$ и подключает к распознаванию нейроны группы $(l + 1)$.

Шаг 10. Проверяются условия прекращения работы алгоритма. Если они выполняются, то переход на шаг 11 алгоритма, в противном случае – переход на шаг 8 алгоритма.

Шаг 11. Останов.

Полученные результаты несложно обобщить и на перцептроны, имеющие более трех слоев нейронов.

Выводы

Впервые разработана нейросетевая архитектура и алгоритмы функционирования трехслойного перцептрона, способного дообучаться в процессе своего функционирования.

Библиографический список

1. **Suzuki K.** Artificial Neural Networks: Architectures and Applications / K. Suzuki. – Publisher: InTech, 2013. – 256 p.

2. **Bianchini M.** Handbook on Neural Information Processing (Intelligent Systems Reference Library) / M. Bianchini. – Publisher: Springer, 2013. – 499 p.
3. **Cirrincione M.** Power Converters and AC Electrical Drives with Linear Neural Networks (Energy, Power Electronics, and Machines) / M. Cirrincione, M. Pucci, G. Vitale. – Publisher: CRC Press, 2012. – 631 p.
4. **Галушкин А.И.** Нейронные сети. Основы теории / А.И. Галушкин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 496 с.
5. **Капля В.И.** Системы искусственного интеллекта: учебное пособие. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. – 2011. – 97 с.
6. **Russell S.** Artificial Intelligence: A Modern Approach, Third Edition / S. Russell, P. Norvig. – Publisher: Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
7. **Девятков В. В.** Системы искусственного интеллекта / Гл. ред. И. Б. Фёдоров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
8. **Carpenter G.A.** Massively parallel architecture for self-organising neural pattern recognition machine / G.A. Carpenter, S.A. Grossberg // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54 – 115.
9. **Grossberg S.** Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance / S. Grossberg // Cognitive Science. – 1987. – Vol. 11. – P. 23 – 63.
10. **Fausett L.** Fundamentals of Neural Networks. Architectures, Algorithms and Applications / L. Fausett. – New Jersey: Prentice Hall Int., Inc., 1994. – 461 p.
11. **Дмитриенко В.Д.** Нейросетевое устройство направленных ассоциаций / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, Хавина И.П. // Научные ведомости. Серия: История, политология, экономика, информатика. – Белгород: БГУ, 2010. – № 7(78). Вып. 14/1. – С. 110–119.
12. **Дмитриенко В.Д.** Ассоциативная нейронная сеть АРТ / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, В.А. Бречко // Сборник трудов Международной молодежной конференции "Прикладная математика, управление и информатика". – Белгород: ИД "Белгород", 2012. – Т. 1. – С. 115–118.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ РОЛИКОВОЙ
КЛЕТИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ СТАНА ISF5 ОАО «ММК-
МЕТИЗ»**

Е.Э. Бодров¹, И.Р. Сафин², С.И. Лукьянов³

^{1,2,3}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

**MODELING OF THE PROFILING CRATE'S DEFORMATION
ZONE ON ISF5 ROLLER MILL, OJSC "ММК-МЕТИЗ"**

E.E. Bodrov¹, I.R. Safin², S.I. Lukjanov³

^{1,2,3}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
fortheartist@mail.ru

В статье обоснована необходимость построения математической модели очага деформации роликовой клетки стана по производству арматурного проката для армирования железобетонных конструкций. Разработана математическая модель очага деформации роликовой клетки. По математической модели составлена структурная схема модели в программном пакете MATLAB.

Ключевые слова: арматурный прокат, математическая модель, роликовая клетка, арматура, глубина насечки, электропривод, размоточный аппарат.

In this article the necessity of constructing mathematical models of the deformation roller mill stand used for production of reinforcing bars for concrete reinforcement was found. A mathematical model of the deformation roller stand was developed. According to the model a block diagram of the model was made up in the MATLAB.

Keywords: rebar, mathematical model, roller cage, fittings, the depth of cuts, the electric drive, the unwind unit.

Прокат периодического профиля для армирования железобетонных конструкций является одним из основных видов продукции сталепроволочно-канатного цеха (СКЦ) ОАО «ММК-МЕТИЗ». Производительность стана ISF5 итальянской фирмы Mario Frigerio составляет 10800 тонн/год ($D = 3,0 - 10,0$ мм) [1].

В процессе эксплуатации стана техническими службами периодически выявляется несоответствие продукции требованиям по размерам профиля и механическим свойствам арматурного проката. Основные причины несоответствия продукции требованиям по размерам профиля: неудовлетворительная настройка роликов клетки профилирования; неправильная установка роликов в клетки; неточность изготовления

роликов; износ зубьев ролика; нестабильность обратного натяжения (натяжения между клетью профилирования и размоточным аппаратом), что также иногда вызывает обрыв проволоки-заготовки на выходе из клетки.

В связи с этим на стане ISF5 были проведены экспериментальные замеры глубины насечки прутков, полученных из проволоки-заготовки диаметром 5 (-0,02...+0,05) мм марки стали 80 (содержание углерода 0,79-0,80%) на скорости линии 200 м/мин, а также из проволоки-заготовки 9,98 (+0,10 – 0) мм марки стали 80P (содержание углерода 80 – 82%) на скорости линии 65 м/мин, на выходе стана для различных значений натяжения размоточного аппарата, натяжения между кабестанами, заполнения катушки.

На стане были проведены следующие эксперименты: варьировалось заданное значение натяжения размоточного аппарата $F_{обр}$ (204 – 1025 Н) при постоянном значении натяжения между кабестанами $F_{каб}$; варьировалось $F_{каб}$ (400 кг, 1170 кг) при постоянном значении $F_{обр}$; варьировались $F_{каб}$ и $F_{обр}$.

Результаты полученных измерений были обработаны средствами математической статистики:

1) для оценки влияния варьируемых факторов на функцию цели (глубину профиля) проводился дисперсионный анализ, в котором влияние факторов оценивалось по критерию Фишера;

2) полученные данные были проверены на нормальность распределения и однородность полученных дисперсий;

3) для определения аналитической зависимости проводился регрессионный анализ, в котором:

- методом наименьших квадратов было получено уравнение регрессии;

- полученные уравнения (линейной, квадратичной, логарифмической регрессии) были проверены на адекватность;

- значимость коэффициентов уравнения регрессии было оценено t - критерием Стьюдента;

- были рассчитаны доверительные интервалы для уравнений регрессии.

На основании проведенных исследований [2] были установлены зависимости изменения глубины насечки прутков Δh от натяжения размоточного аппарата $F_{обр}$ (перед входом в клеть профилирования) для проволоки диаметрами 5 и 9,98 мм. Полученные зависимости, удовлетворяющие условиям адекватности и значимости коэффициентов уравнения регрессии, изображены на *рис. 1, 2* (для проволоки диаметром 5 и 9,98 мм соответственно).

В результате дисперсионного анализа установлено, что натяжение размоточного аппарата оказывает существенное влияние на отклонение глубины профиля. Натяжение между кабестанами статистически незначимо.

Таким образом, при построении системы регулирования необходимо построение системы регулирования натяжения размоточного аппарата, чтобы повысить точность глубины профиля. Данная проблема нуждается в решении и первым шагом в этом направлении будет создание математической модели очага деформации.

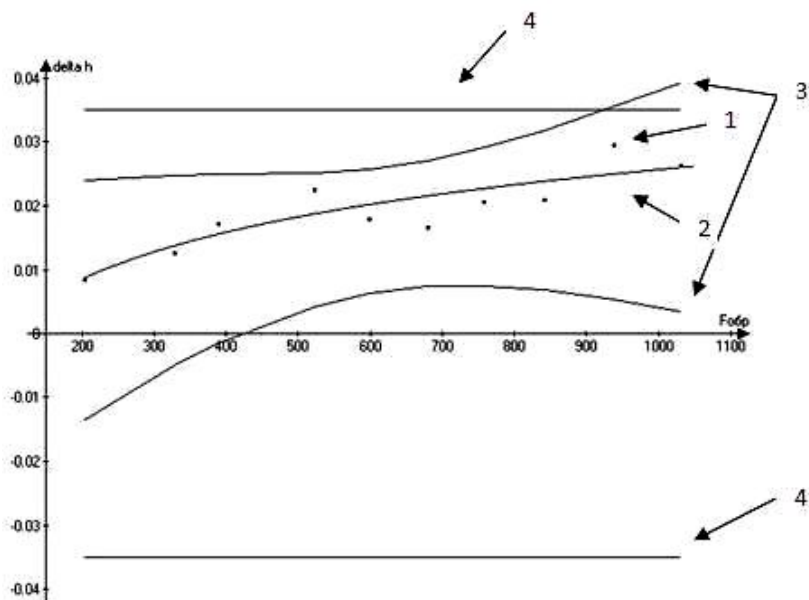


Рис. 1. Экспериментальная зависимость изменения глубины насечки прутков Δh от натяжения размоточного аппарата $F_{обр}$ и модель вида $\Delta h = -0,048 + 0,011 \ln(X_1)$ для прутков диаметром 5 мм: 1- математическое ожидание; 2 – линия регрессии; 3 – доверительный интервал; 4- допуски по технологической инструкции

Технологический процесс низкотемпературного отпуска проволоки и отпуска при установленном натяжении (стабилизация) при производстве проволоки для армирования предварительно напряжённых 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 горизонтального разматывающего устройства 360 м/мин [3].

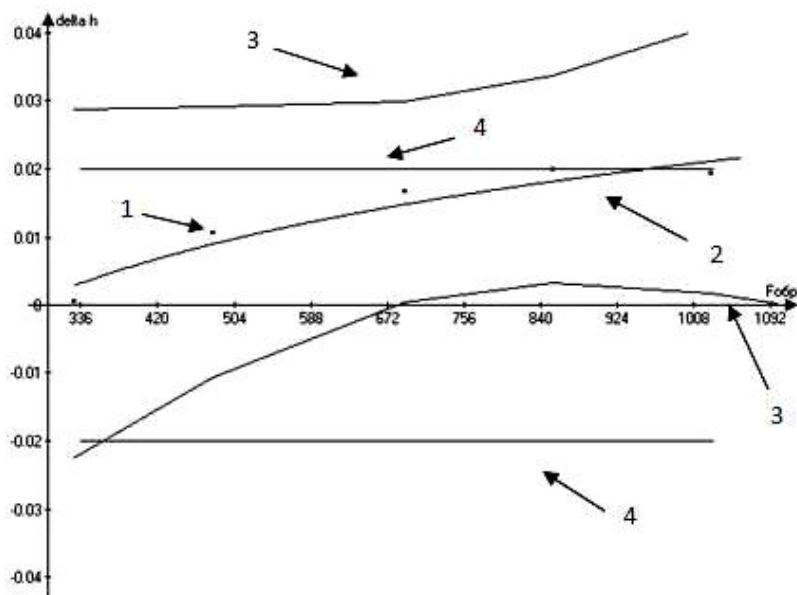


Рис. 2. Экспериментальная зависимость изменения глубины насечки прутков Δh от натяжения размоточного аппарата $F_{обр}$ и модель вида $\Delta h = -0,09 + 0,016 \ln(X_1)$ для прутков диаметром 9,98 мм: 1- математическое ожидание; 2 – линия регрессии; 3 – доверительный интервал; 4- допуски по технологической инструкции

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

Момент, создаваемый электродвигателем размоточного устройства, в общем случае может быть определен как сумма момента на катушке M_p , требуемого для создания натяжения перед входом в клеть профилирования, и момента $M_{хр}$ необходимого для преодоления сил трения в механизме, приведенного к валу двигателя. В свою очередь, момент на катушке M_p , требуемый для создания натяжения перед вхо-

дом в клетку профилирования зависит от радиуса намотанного материала на катушке и установленного значения обратного натяжения на панели оператора. Вытягивание проволоки с размоточного аппарата через роликую клетку профилирования без скольжения производится первой парой кабестанов.

Промежуток размотка – первая пара кабестанов, представленный на рис. 3, состоит из трех участков [5]:

- участка схода проволоки с катушки размоточного аппарата до ее входа в роликую клетку;
- участка от выхода проволоки с роликую клетки до точки соприкосновения с кабестаном 1 первой пары тянущих кабестанов;
- участка проволоки на кабестанах.

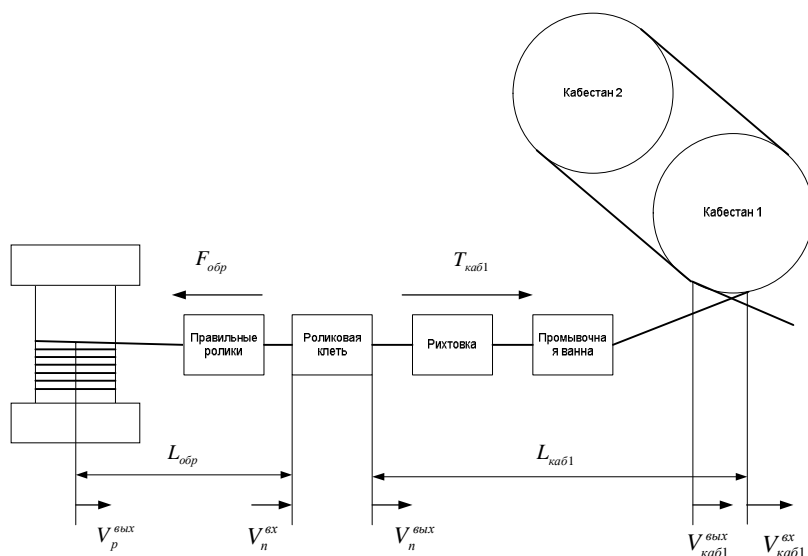


Рис. 3. Расчетная схема промежутка размоточный аппарат – первая пара кабестанов

Система уравнений, описывающая процессы, происходящие в промежутке размотка – первая пара кабестанов, записанная в операторной форме, может быть представлена в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{\text{каб1}}(p) = T_{\text{каб1}}(p)R_{\text{каб1}} - Q_{\text{каб1}}(p)R_{\text{каб1}} \\ F_{\text{обр}}(p) = \frac{E \cdot S_{\text{п}}^{\text{BX}}}{L_{\text{обр}} \cdot p} (V_n^{\text{ex}} - V_p^{\text{быx}}) \\ T_{\text{каб1}}(p) = \frac{E \cdot S_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}}{L_{\text{каб1}} \cdot p} (V_{\text{каб1}}^{\text{ex}} - V_n^{\text{быx}}) \\ V_{\text{каб1}}^{\text{ex}}(p) = \omega_{\text{каб1}}(p) \cdot R_{\text{каб1}} \\ V_p^{\text{быx}}(p) = \omega_p(p) \cdot R_{\text{нам}} \end{array} \right. ,$$

где $T_{\text{каб1}}$ - сила протягивание металла через клеть профилирования, создаваемая первым кабестаном; $R_{\text{каб1}}, R_{\text{нам}}$ - радиусы первого кабестана и намотанного материала на катушке размоточного аппарата; $Q_{\text{каб1}}$ - сила противонапряжения, создаваемая первым кабестаном; E - модуль упругости Юнга; $L_{\text{обр}}, L_{\text{каб1}}$ - длина участков схода проволоки с катушки размоточного аппарата до ее входа в роликовую клеть и от выхода проволоки с роликовой клетки до точки соприкосновения с кабестаном 1 первой пары тянущих кабестанов; $S_{\text{п}}^{\text{BX}}, S_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}$ - площадь поперечного сечения проволоки на входе и выходе роликовой клетки профилирования; $V_n^{\text{ex}}, V_n^{\text{быx}}$ - линейная скорость проволоки на входе и выходе роликовой клетки профилирования; $V_p^{\text{быx}}$ - линейная скорость проволоки на выходе с размоточного аппарата; $V_{\text{каб1}}^{\text{ex}}$ - линейная скорость входа проволоки на первый кабестан.

Площадь поперечного сечения прутка $S_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}}$ после выхода из клетки профилирования изображена на *рис. 4* определяется, как

$$S_{\text{п}}^{\text{ВЫХ}} = \frac{\pi d^2}{4} - 3S_1.$$

Площадь S_1 можно определить, представив сегмент ABC в виде треугольника (*рис. 4, б*), как

$$S_1 = 2 \cdot S_{\Delta ABC},$$

$$S_{\Delta ABC} = \frac{1}{2} a \sqrt{\left(\frac{2\pi r - 3c}{6}\right)^2 - a^2}.$$

Откуда

$$S_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} = \frac{\pi d^2}{4} - 3a \sqrt{\left(\frac{2\pi r - 3c}{6}\right)^2 - a^2}.$$

Система уравнений, описывающая неприводную роликовую клеть профилирования, может быть записана в следующем виде

$$\left\{ \begin{array}{l} M_p = M_{\text{каб1}} - M_{\text{фкл}} - M_m - M_{\text{ххкл}} \\ M_{\text{каб}} = \frac{F_{\text{каб1}} \cdot V_n^{\text{вых}}}{\omega_{\text{рол}}} \\ M_{\text{фкл}} = \sigma \cdot S_n^\gamma \cdot R_{\text{рол}} \cdot \cos \gamma \cdot \ln \mu \\ M_m = 3 \cdot f \cdot \sigma \cdot R_{\text{рол}}^2 \cdot b \cdot \left[\int_\gamma^{\alpha_0} \left(1 - \frac{S_n^\gamma \cdot \cos \gamma}{S_n^\alpha \cdot \cos \alpha}\right) d\alpha + \int_0^\gamma \left(\frac{S_n^\gamma \cdot \cos \gamma}{S_n^\alpha \cdot \cos \alpha} - 1\right) d\alpha \right] \\ \gamma = \frac{\alpha_0}{2} - \frac{M_{\text{кл}}}{6 \cdot f \cdot \sigma \cdot R_{\text{рол}}^2 \cdot b} \\ F_{\text{обр}} = \frac{M_p \cdot \omega_{\text{рол}}}{V_n^{\text{вх}}} \\ S_n^{\text{вх}} = \frac{S_n^{\text{вых}}}{\mu} \\ \sigma_i = \sigma_{i-1} \cdot \sqrt[4]{\mu} \\ S_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} = \frac{\pi d^2}{4} - 3a \sqrt{\left(\frac{2\pi r - 3c}{6}\right)^2 - a^2} \\ \omega_{\text{рол}} = \frac{V_n^{\text{вых}}}{R_{\text{рол}} + \frac{3 \cdot R_{\text{рол}}^2 \cdot b}{S_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}} \cdot (1 - \cos \gamma)} \end{array} \right. ,$$

где $M_{\text{фкл}}$ - момент, затрачиваемый на формоизменения проволоки при протягивании через роликовую клеть; M_p - момент, создаваемый двигателем размоточного аппарата, требуемый для создания натяжения перед входом в клеть профилирования; M_m - момент, затрачи-

ваемый на преодоление сил трения скольжения на контактной поверхности роликов профилирования; $M_{холост}$ - момент холостого хода, необходимый для преодоления сил трения качения в подшипниках роликовой клетки; $\omega_{рол}$, $R_{рол}$ - угловая скорость и радиус роликов клетки профилирования; σ - предел текучести обрабатываемого металла; γ - угол, определяющий линию на поверхности роликов, в которой скорости металла и роликов равны; μ - коэффициент обжатия; f - коэффициент трения; α_0 - угол, определяющий величину зоны отставания при прокатке; a - глубина профиля; c - расстояние между насечками при поперечном сечении (рис. 4, а); r - радиус проволоки.

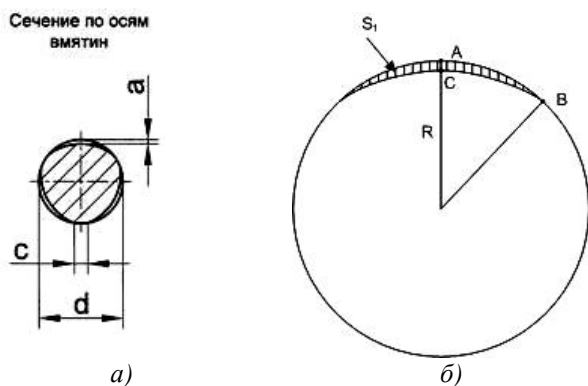


Рис. 4. Площадь поперечного сечения прутка: а – основные размеры, определяющие качество нанесения профиля, б – к определению площади поперечного сечения

Составленная на основе приведенного выше математического описания структурная схема очага деформации приведена на рис. 5. В блоках 1 – 3 происходит вычисление значения моментов по приведенным выше формулам.

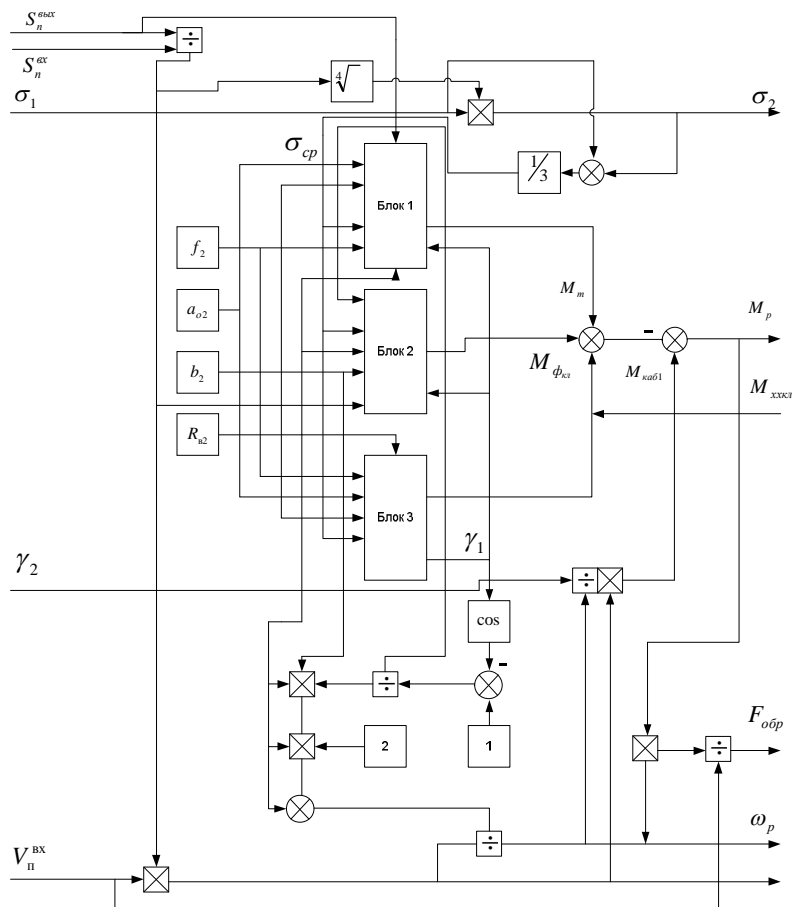


Рис. 5. Структурная схема очага деформации неприводной роликовой клетки

Библиографический список

1. МеталлИнвест Северо-Запад «ММК-МЕТИЗ» увеличивает выпуск арматуры нового поколения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metal-in.ru/news/mmk-metiz-uvelichivaet-vypusk-armatury-novogo-pokoleniya/> (дата обращения 30.09.2013)
2. Сафин, И.Р. Исследование влияния параметров настройки электроприводов стана ISF5 на качество продукции [Текст] / И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, Е.Э. Бодров; под ред. Г.П. Корнилова, Е.А. Пановой // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч.

трудов. – Вып. 21. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2013. – С. 33 – 40.

3. **PC WIRE LINE ISF5** [Текст]: док. к обор.- Italia: 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.

5. **Сафин, И.Р.** Разработка математической модели очага деформации роликовой клетки профилирования стана ISF5 сталепроволочно-канатного цеха ОАО «ММК-Метиз» [Текст] / И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, Е.Э. Бодров; под ред. Г.П. Корнилова, Е.А. Пановой // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. трудов. – Вып. 21. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2013. – С. 41 – 49.

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ВЫБРОСОВ И ВЫНОСОВ ИЗ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА

М.Ю. Рябчиков¹, Т.Г. Сухоносова²

*^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский технический университет имени
Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.*

ON THE ISSUE OF EMISSION AND EJECTION SIMULATION FROM AN OXYGEN FURNACE

M.Y. Ryabchikov¹, T.G. Suhonosova²

*^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
²tgobuhova@gmail.com*

Анализируются причины выбросов и выноса шлако-металлической эмульсии и металла из кислородного конвертера с целью создания автоматизированной системы предупреждения выбросов на основе измерения косвенных технологических параметров. Предложена математическая модель уровня ванны конвертера с учетом вязкости шлака.

Ключевые слова: *математическая модель, конвертер, выбросы, вязкость, шлак.*

The reasons for slag-metal emulsion and metal emission and ejection from an oxygen furnace to create an automated emission warning system based on indirect process variable measurements are analyzed. A mathematical model for furnace bath level with allowance for the slag viscosity has been suggested.

Keywords: *mathematical model, oxygen furnace, emissions, viscosity slag.*

Известно, что повышение интенсивности выбросов – один из основных сдерживающих факторов при интенсификации процесса получения стали в кислородном конвертере. Общие потери стали с выбросами достигают 5÷12 % в зависимости от вида конвертерного процесса.

Выбросы протекают неравномерно, приводят к увеличению времени между плавками, остановкам для очистки и последующим ремонтам охладительной системы или котла-утилизатора [1]. Выбросы и выносы из конвертера имеют различный характер и причины возникновения:

- брызги шлако-металлической эмульсии и металла, связанные с волнообразованием под действием энергии струй верхней продувки;

- выброс вспененной шлако-металлической эмульсии вследствие чрезмерного количества и вспененности шлака;
- вынос пыли при низкой толщине вспененного шлака.

Изучение причин, вызывающих выбросы и вынос металла, создание математических моделей [2] выбросов и систем их предупреждения на основе измерения косвенных технологических параметров являются актуальными задачами.

Очевидно, выбросы металла и шлака возникают из-за вспучивания ванны, то есть повышения уровня в ванне конвертера. Высота подъема ванны зависит от множества факторов, основными являются скорость окисления углерода, особенности шлакообразования, режим дутья, а также различные технологические операции, такие как введение добавок и охладителей [1].

Природа выбросов имеет противоречивый характер, что обуславливает сложности контроля и предотвращения этого процесса. С точки зрения роста производительности следует интенсифицировать конвертерный процесс, увеличивая расход кислорода через верхнюю фурму. Однако это приводит к волнению ванны и формированию всплесков металла, высота которых увеличивается с ростом импульса струй кислорода. Даже использования современных 5 – 6 сопельных насадок на кислородной фурме не решает указанную проблему.

При увеличении кислородного дутья усиливаются процессы волнообразования, что приводит к разрушению пузырьковой структуры вспененной среды и уменьшает слой шлака. Уменьшение вспененного слоя шлако-металлической эмульсии в свою очередь существенно увеличивает выносы металла из конвертера.

С другой стороны, увеличение слоя шлако-металлической эмульсии повышает интенсивность выбросов. Следовательно, существует возможность оптимизации производительности конвертера для поддержания оптимального уровня вспененной ванны, достаточного для уменьшения пылеобразования и для предотвращения всплесков, путем выбора рациональных схем продувки и подачи материалов. Под схемой продувки понимается алгоритм перемещения фурмы и изменения расходов газов на верхнюю и нижнюю продувку.

Для выбора рациональных режимов работы конвертеров целесообразна разработка моделей процесса выбросов с последующей интеграцией с комплексной физико-химической моделью конвертера. Подобная интеграция позволяет в перспективе оценить параметры взаимосвязи контролируемых технологических параметров процесса с вероятностью возникновения выбросов [3, 4].

Как правило, в середине плавки наблюдаются два или три максимума интенсивности выбросов, совпадающие с наибольшими значениями скорости выгорания углерода и подъемом уровня ванны. К числу активных сил, вызывающих вертикальное движение жидкости в

конвертерах с верхним дутьем, относятся архимедовы и инерционно-динамические силы, возникающие со стороны пузырей оксида углерода и обуславливающие вспенивание ванны и выталкивание ее верхних слоев.

Исследования на моделях [1] показали, что повышение уровня ванны зависит от числа Фруда Fr :

$$Fr = \frac{W_{\Gamma}^2}{gH_0} , \quad (1)$$

где H_0 – уровень спокойной ванны, м; W_{Γ} – скорость газа, м/с.

При продувке и барботировании слабо вспенивающейся жидкости всплывающие пузыри газа быстро движутся в жидкости и при выходе из ванны сразу же лопаются, образуя брызги. В этом случае в ванне образуется только зона барботажа. С увеличением расхода газа и критерия Fr относительный уровень ванны dH/H_0 монотонно возрастает (рис.1, пунктирная линия). Такой режим характерен для слабо вспененного шлака в начале и конце продувки при этом $1,5 < Fr^{1/3} < 2,5$.

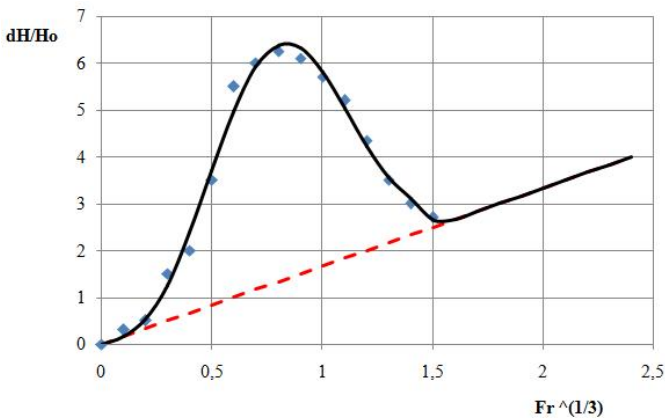


Рис.1. Зависимость относительного подъема уровня ванны конвертера от числа Фруда [1]: пунктирная линия – для слабовспененной жидкости, сплошная линии – для вспененной жидкости

В средний период продувки шлак представляет собой вспениваемую жидкость и с увеличением интенсивности дутья и значений критерия Fr наблюдается сложное экстремальное изменение уровня ванны. На рис.1 при увеличении скорости газа уровень ванны сначала возрастает ($Fr^{1/3} < 0,8$) из-за более медленного разрушения

пузырей на поверхности жидкости, что вызывает образование пены. Уровень ванны поднимается еще и за счет увеличения диаметра пузырей и достигает максимума $Fr^{1/3}=0,8$. Спад уровня ванны сопровождается уменьшением размера пузырей ($0,8 < Fr^{1/3} < 1,5$).

Для вспененного шлака при $Fr^{1/3}=0,8$ относительный уровень ванны в четыре раза больше, чем для невспененного, поэтому оценка вспениваемости шлака является одной из проблем моделирования процесса выбросов.

На вспениваемость конвертерного шлака влияет множество параметров. Например, в [5] показано значительное влияние содержания в нем оксидов железа. Приведенные в [5, 6] данные свидетельствуют о том, что газопроницаемость шлака в первую очередь зависит от его вязкости, что позволяет использовать этот параметр в модели выбросов.

В [6] указано, что в объемной пене газовые пузырьки размещены по всему объему шлака. Они разделены относительно толстыми шлаковыми прослойками. Скорость всплывания газовых пузырьков при объемном вспенивании шлака мала вследствие повышенной вязкости шлака. При нагреве такого шлака вязкость снижается и пена пропадает.

Исследования свойств шлаков проводилось во многих работах, результаты которых представлены в атласе шлаков. Приближенная оценка вязкости η конвертерных шлаков может быть проведена путем сопоставления текущей температуры шлака T_{III} с температурой его затвердевания $T_{ЗАТВ}$ по формулам (2) и (3):

$$\eta = 42,593 \left(\frac{T_{III}}{T_{ЗАТВ}} \right)^2 - 115,1 \left(\frac{T_{III}}{T_{ЗАТВ}} \right) + 79,279. \quad (2)$$

В атласе шлаков вязкость η в значительной степени определяется содержанием оксидов CaO, SiO, FeO. В результате статистической обработки была построена линейная модель вязкости с учетом взаимного влияния факторов:

$$\begin{aligned} \eta = & 22,9 \cdot CaO + 17,03 \cdot SiO_2 + 18,8 \cdot FeO - 0,262 \cdot CaO \cdot SiO_2 \\ & - 0,275 \cdot CaO \cdot FeO - 0,359 \cdot FeO \cdot SiO_2 \\ & + 0,005 \cdot CaO \cdot FeO \cdot SiO_2 + 1,65. \end{aligned} \quad (3)$$

В работе [6] указано, что наличие в шлаковых пленках твердых частиц очень малых размеров повышает механическую прочность шлаковых пленок и способствует стабилизации пены. В этой связи

целесообразно изучение возможности применения уравнения Энштейна для приближенного описания влияния содержания твердых включений на вязкость шлака и его вспениваемость:

$$\nu_B = \nu \cdot (1 - k)^{-2.5}, \quad (4)$$

где k – доля твердых включений; ν – вязкость шлака без твердых включений; ν_B – вязкость шлака с твердыми включениями.

Для решения практических задач [4] также необходима адаптация зависимости относительного подъема уровня ванны конвертера от числа Фруда к условиям конкретного конвертера.

Библиографический список

1. Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С. Конвертерное производство стали. Учебник. – Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2006. – 454 с.

2. Обухова Т.Г., Рябчиков М.Ю. Обзор методов математического моделирования процессов в кислородном конвертере при решении задач управления // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71. С. 146 – 148.

3. Коваленко А.И., Обухова Т.Г., Рябчикова Е.С. Управление режимом продувки кислородом в конвертере по анализу отходящих газов // Автоматизированные технологии и производства. 2013. № 5. С. 259 – 262.

4. Горохов М.А., Обухова Т.Г., Блохин А.И., Рябчикова Е.С. Использование информации о составе отходящих газов для контроля и управления ходом плавки // Автоматизированные технологии и производства. 2013. № 5. С. 224 – 227.

5. Прогнозирование свойств рафинировочных шлаков системы CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-CaF₂ / А.Ф. Хамхотько, Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, О.В. Кукса // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. Днепропетровск: ІСМ НАН України. 2004. – Вып. 9. – С. 170 –177.

6. А.М. Бигеев. Металлургия стали. –М. Издательство Металлургия. 1977. 439 с.

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УСРЕДНЕНИЯ
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СМЕСИ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ АГЛОМЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК»**

В.В. Гребенникова¹, Е.С. Рябчикова², Р.Э. Бурнашев³

^{1,2,3} ФГБОУ ВПО «Магнитогорский технический университет имени
Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

**STATISTICAL ESTIMATION OF CHEMICAL COMPOSITION
AVERAGING LEVEL OF THE ORE MATERIAL MIXTURE FOR
SINTERING AT "MMK" OJSC**

V.V. Grebennikova¹, E.S. Ryabchikova², R.E. Burnashev³

^{1,2,3} Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
¹greb1981@mail.ru

В работе проведена обработка статистических данных по контролю химического состава смеси рудных материалов для последующей агломерации. Показано, что несмотря на эффективное усреднение химического состава смеси, тем не менее следует учитывать неравномерность перемешивания при создании модели возмущений.

Ключевые слова: управление качеством агломерата; механическая прочность агломерата; восстановимость агломерата; модель возмущений; усреднение химического состава

The statistical data processing on the chemical composition monitoring of ore material mixture for subsequent sintering has been carried out in the paper. It is shown that in despite of the effective average of the mixture chemical composition, it should be taken into account the mixing nonuniformity in perturbation model creating.

Keywords: sinter quality management; sinter mechanical strength; sinter recoverability; perturbation model; average chemical composition

Качество агломерата определяется его физическими и физико-химическими свойствами, химическим и минералогическим составом. Исходя из этого, к агломерату для доменного производства предъявляют следующие требования:

1) по физическим свойствам агломерат должен иметь высокую механическую прочность, высокую пористость и противостоять дроблению и истиранию [1];

2) по физико-химическим свойствам он должен обладать высокими восстановимостью и температурой начала размягчения в узком температурном интервале [2];

3) по химическому составу - содержать возможно больше железа, меньше пустой породы и вредных примесей, быть полностью оф-

люсованным и иметь минимальные колебания содержания железа и основности;

4) по минералогическому составу- содержать минералы, обеспечивающие необходимые физические и физико-химические свойства.

Одним из показателей качества в холодном состоянии является механическая прочность агломерата (ТI - Tumble Index), которая находится в прямо пропорциональной зависимости от продолжительности высокотемпературной выдержки материала, влияние которой на горячую прочность агломерата (RDI - Reduction Degradation Index) и восстановимость, как правило, противоположно. Как правило, RDI ухудшается с увеличением продолжительности выдержки спекаемого материала при высокой температуре.

На рис. 1 показана связь [3] между металлургическими свойствами агломерата и продолжительностью высокотемпературной выдержки (временем пребывания при высокой температуре) материала при спекании. Горизонтальными пунктирными линиями на рисунке выделен диапазон качественных характеристик агломерата, удовлетворяющий предъявляемым требованиям к металлургическим свойствам. Приведенный рисунок показывает, что для получения приемлемых величин холодной и горячей прочности агломерата существуют предельные уровни верхнего и нижнего пределов продолжительности выдержки, выход за которые снижает качество агломерата.

На прочность ТI и восстановимость RI существенно влияет расход коксика. С увеличением расхода топлива на всех горизонтах слоя повышается максимальная температура, а также увеличивается время пребывания материала при температуре, обеспечивающее существование расплава. Основной негативной тенденцией увеличения расхода топлива является получение монолитного агломерата, обладающего низкой последующей восстановимостью в шахте доменной печи.

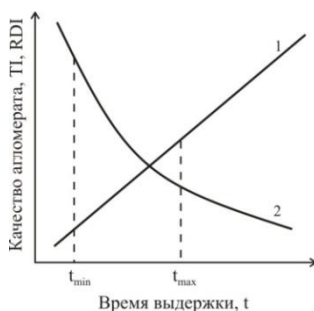


Рис.1. Зависимость качества агломерата от продолжительности высокотемпературной выдержки материала: 1 – механическая (холодная) прочность TI; 2 – прочность при восстановлении (RDI)

Указанные тенденции приводят к тому, что при производстве агломерата, как правило, стремятся получить высоко восстанавливаемый агломерат при минимально допустимой механической прочности. Этому условию соответствует снижение до минимума расхода коксика на процесс [4].

Основной проблемой оперативного управления в таких условиях является отсутствие оперативной информации о колебаниях холодной механической прочности и восстанавливаемости, на которые оказывает влияние значительное количество факторов, например, таких как вид используемого сырья (кварциты, скарны или техногенные компоненты), химический и гранулометрический состав, технологические параметры режима спекания.

Химический состав как готового агломерата, так и усредненной рудной смеси в производственных условиях контролируется постоянно.

Наиболее важно обеспечить постоянство содержания железа, FeO в агломерате и его основности. Отклонения по содержанию железа и FeO не должны превышать $\pm 0,5$ и $\pm 1,5\%$ соответственно, а по основности - не более $\pm 0,02$ абсолютной единицы (например, при заданной основности агломерата 1,2 изменение ее не должно выходить за пределы 1,18-1,22). От этих показателей в значительной мере зависит ровность хода доменной печи, стабильность шлакового и теплового режимов, качество чугуна.

В настоящий момент в условиях ОАО «ММК» внедрена в эксплуатацию система на основе промышленной измерительной станции CON X фирмы Baltic Scientific Instruments, позволяющая осуществить бесконтактное непрерывное определение содержания химических элементов в промышленных продуктах без пробоотбора.

Содержание химических элементов в материале, транспортируемым конвейером, измеряется рентгенофлуоресцентным методом. Характеристическое излучение, которое содержит информацию о количестве химических элементов в материале и возникает при облучении рентгеновской трубкой, попадает на кремниевый диффузионно-дрейфовый детектор, охлаждаемый термоэлектрическим холодильником [5].

Полученная информация о химическом составе как сырья, так и получаемого агломерата может использоваться при управлении с целью получения конечного продукта заданной основности. Дополнив систему автоматическим прогнозом качества агломерата на базе набора пофакторных моделей, теоретически возможно обеспечить получение хорошо восстанавливаемого агломерата с минимально допустимой механической прочностью при минимальных затратах коксика на спекание в условиях действия на процесс возмущений по основности и принадлежности рудного сырья к различным месторождениям [2].

Для моделирования предлагаемых алгоритмов управления качеством агломерата в условиях, приближенных к реальным, целесообразна разработка модели возмущающих воздействий по химическому составу усредненной рудной смеси и флюсов. Интеграция модели возмущений с физико-химической моделью процесса [6] и моделью качества агломерата [1, 2] позволяет решать широкий круг задач, включая обучение персонала металлургических предприятий и разработку систем помощи в управлении агломерационным процессом.

Основной модели возмущений могут являться данные об изменении во времени химического состава компонентов шихты. Однако при создании модели нужно учитывать, что степень усреднения химического состава шихтовых материалов непостоянна. То есть при повторном контроле химического состава [7] через незначительные интервалы времени результаты могут различаться. Различия будут тем больше, чем хуже усреднение свойств шихтовых материалов.

С целью получения достоверных оценок химического состава на ОАО «ММК» проводят два параллельных замера для смеси рудных материалов и флюсов в одно время. Эту информацию можно использовать для оценки степени усреднения материалов с целью последующего учета в модели возмущающих воздействий.

Для расчёта будем использовать данные ОАО «ММК», точнее повторные замеры отклонения от среднего значения основности, SiO_2 и CaO в рудной смеси. По этим данным рассчитаем оценки средних по результатам парных замеров в одно время и определим средний разброс (дисперсию) замеров относительно этих средних.

Для расчёта дисперсии по двум опытам ($n=2$) y_1 , y_2 в отдельный момент k времени считаем внутригрупповые дисперсии:

$$\sigma_k = s_k^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^2 = (y_1 - y_{cp})^2 + (y_2 - y_{cp})^2.$$

Далее считаем средневзвешенную внутригрупповую дисперсию по разным сериям (серии равнозначны, так как везде два опыта):

$$\sigma_{cp} = s_{cp}^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \sigma_k.$$

Таблица 1 – Оценки дисперсий повторных замеров химсостава смеси рудных материалов

Дисперсия основности CaO/SiO_2	Дисперсия процентного содержания SiO_2	Дисперсия процентного содержания CaO
$\sigma_{cp} = 0,00129$	$\sigma_{cp} = 0,04918$	$\sigma_{cp} = 0,07305$

Далее рассчитаем плотность распределения и построим гистограммы плотностей распределения (рис. 2).

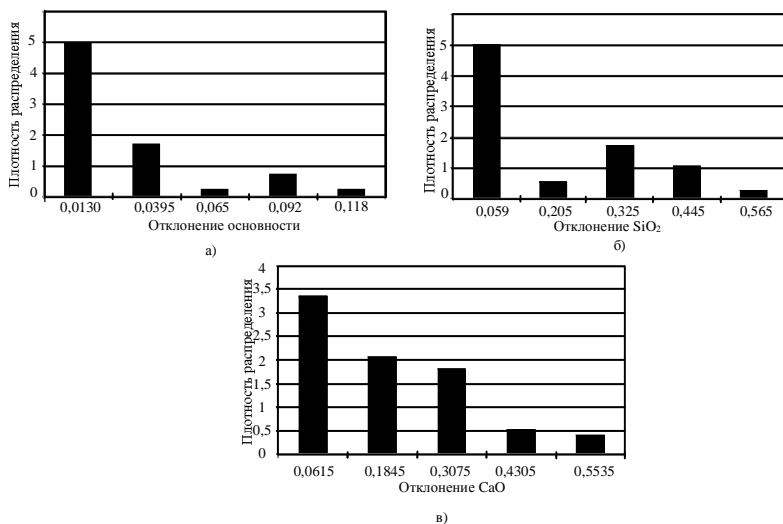


Рис. 2. Гистограммы плотности распределений отклонений измерений от средних по парным одномоментным замерам:
а) для основности; б) для SiO₂; в) для CaO

Из рис. 2 видно, что при контроле основности CaO/SiO₂ вероятна ошибка порядка 0,02÷0,03, что достаточно существенно и должно быть учтено при моделировании алгоритмов оперативной оптимизации [3] работы системы управления агломерационным процессом.

Библиографический список

1. Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В. Моделирование комплексного влияния производственных факторов на механическую прочность металлургического агломерата // *Металлург.* 2013. № 4. С. 40-47.
2. Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В., Рябчикова Е.С. Контроль качества металлургического агломерата с использованием модели восстановимости // *Сталь.* 2014. №2. С. 4-8.
3. Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В., Бурдина О.В. Комплексный критерий оценки качества металлургического агломерата // *Автоматизированные технологии и производства.* 2013. № 5. С. 163-169.
4. Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В. Система помощи в управлении качеством металлургического агломерата с использованием рент-

генофлуоресцентного анализатора // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. С. 191-195.

5. Ишметьев Е. Н., Романенко А. В., Ушеров А. И. и др. Производственно-аналитический комплекс для непрерывного измерения химического состава материалов в потоке в условиях металлургической и горнодобывающей промышленности [Электронный ресурс] // Информатизация и системы управления в промышленности. 2012. № 1(37). – Режим доступа: <http://isup.ru/articles/5/1467/>, свободный. – Загл. с экрана.
6. Бурдина О.В., Гребенникова В.В., Рябчиков М.Ю. Математическое моделирование газодинамического режима агломерационного процесса // Автоматизированные технологии и производства. 2013. № 5. С. 38-42.
7. Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В., Бурдина О.В. Разработка системы оперативного контроля качества металлургического агломерата // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71. С. 148-151.

УДК 004.9:378

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ
АРХИТЕКТРОВ-ДИЗАЙНЕРОВ**

Т.В. Усатая¹, Д.Ю. Усатый²

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

**INFORMATION TECHNOLOGY IN TRAINING FUTURE
ARCHITECTS-DESIGNERS**

T.V. Usataya¹, D.U. Usatyy²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
²Usatyydu@gmail.com

В статье рассматриваются проблемы освоения и внедрения в учебный процесс современных информационных технологий компьютерного моделирования в процессе профессиональной подготовки в рамках концепции развития проектного образования, приводятся рекомендации по освоению технологий компьютерного моделирования.

Ключевые слова: *информационные технологии, технологии компьютерного моделирования, трехмерное моделирование, профессиональная подготовка, проектное образование, проектная деятельность студентов, педагогическая концепция развития проектного образования.*

In article is considered problems of the mastering and introduction in scholastic process modern information technologies modeling in process of the training within the framework of concept of the development of the design formation, happen to the recommendations on mastering technology computer modeling.

Keywords: *information technologies, technologies of computer modeling, three-dimensional modeling, training, design formation, design activity student, pedagogical concept of the development of the design formation.*

В настоящее время информационные технологии создают принципиально новые возможности для организации учебного процесса, которые, к сожалению, недостаточно осознаются в педагогической среде [1]. Разработка концепции проектного образования позволяет решить задачи подготовки высококвалифицированных, разносторонне-образованных и мобильных специалистов в современных условиях развития науки, техники и производства, чья будущая профессиональная деятельность связана с проектированием.

Основным компонентом и системообразующим фактором проектного образования выступает категория проектной деятельности студентов технического университета.

Проектирование определяет свойственный данному этапу научно-технического развития общества способ решения различных технических, экономических и социально-культурных проблем, основанный на использовании научных, технологических достижений, передовой проектной культуры [2].

Мы определяем проектную деятельность – как творческую деятельность, направленную на преобразование окружающей предметно-пространственной среды путем создания качественно новых художественных моделей предметно-пространственной среды, культурных образцов и субъективно или объективно значимых ценностей [3].

Так Г.Л. Ильин считает, что применение принципов организации проектной деятельности в образовании позволяет рассматривать различные виды социальной деятельности как специфические формы непрерывного проективного образования [4, 5].

Проектная деятельность студента университета выступает основой его познания в целостном процессе обучения, воспитания и развития. Кроме того, проектное образование позволяет осуществить персонализацию образования на основе личностно-значимых проектов, тем самым, решая проблему мотивации обучения.

Система управления педагогическим процессом в высшей школе базируется на ряде принципов, современные исследователи выделяют следующие наиболее важные принципы: демократизации, гуманизации, дифференциации и индивидуализации, преемственности, стимулирования потребностей и мотивов к профессиональной подготовке студентов [6].

Концепция проектного образования студентов вуза основана на принципах целостности, комплексного подхода и взаимосвязи педагогической теории и практики учебной проектной деятельности студентов, непрерывности проектного образования студента; общественно-ценной целевой направленности проектной деятельности студентов.

Следует отметить, что в последнее время наблюдаются определенные преобразования и в сфере художественно-проектной деятельности (дизайна), связанные как с активной интеграцией информационных технологий в сложившуюся структуру профессиональной деятельности дизайнера и архитектора, так и с появлением новых видов дизайна, обусловленных современным уровнем развития технологий и производства. Изменения в структуре профессиональной деятельности дизайнеров влекут за собой новые требования к системе профессионального образования в области дизайна [6].

На современном этапе осуществление и освоение проектной деятельности немислимо без информационных технологий, которые сей-

час выходят на первый план в профессиональной подготовке архитекторов-дизайнеров.

По мнению ряда авторов [7,8,9,10], 3D моделирование, визуализация и анимация, наравне с макетированием стали стандартом подачи демонстрационных материалов проектов в области архитектуры и дизайна. В силу своей фотореалистичности и детализации, визуализация проекта дает наиболее полное представление об объекте проектирования. Примерами использования компьютерных технологий в архитектуре можно назвать: Музей современного искусства Гугенхайма в Бильбао (Ф. Гери), автором в 1992 г. применено полное компьютерное моделирование архитектурного сооружения; средиземноморский музей культуры в Сардинии, Италия (З. Хадид, 2007 г.); концертный зал Уолта Диснея в Лос-Анжелесе (Ф. Гери, 2003 г.).

Компьютерная графика сегодня располагает средствами, которые позволяют создать практически любой объект, придать предметам и сооружениям самые невероятные очертания, а дизайнерам и архитекторам позволяет в полной мере раскрыть свои творческие способности.

Впервые для создания графических образов компьютерная техника была применена в 50-х годах 20 века, в то время она использовалась лишь для работы в системах автоматизированного проектирования. В конце 20 века появилась возможность использования компьютерных технологий в кино- и видео- индустрии. Наряду с двухмерной графикой развивалась и трехмерная - это возможность проектирования виртуального пространства в трех измерениях. Одна из задач трехмерной графики – как можно реалистичнее передать виртуальную действительность. Трехмерная графика в настоящее время облегчает взаимодействие человека с компьютером путем применения специальных интерфейсов.

Наилучший метод освоения 3-д графики заключается в объяснении основ, демонстрации средств и методов выполнения практической работы. Для работы с трехмерными объектами необходимо знать геометрию, математику, физику, основы архитектурно-дизайнерского проектирования, фотографии и информатики. Студентам, приступающим к освоению трехмерного моделирования, необходимы знания в рамках школьной программы. Основные программы трехмерного моделирования (используемые в ФГБОУ ВПО «Магнитогорском государственном техническом университете»), необходимые при создании архитектурных и дизайнерских проектов это: Autocad, 3DsMax, Autodesk Revit, Arhcad. 3DsMax – универсальная программа моделирования, визуализации и анимации проектов – позволяет ускорить и наглядно продемонстрировать весь процесс дизайна.

Основные этапы получения трехмерного объекта: 1) моделирование, 2) текстурирование (придание свойств поверхности), 3) освеще-

ние, 4) анимация, 5) визуализация проекта. В процессе создания проекта трехмерной сцены студенты изучают различные виды моделирования: моделирование на основе программных примитивов, на основе сечений - с последующим «натягиванием» поверхности на сечения, на основе математических булевых операций, поверхностное моделирование (поверхность делиться на части и определяются координаты, положение каждой из частей – граней, ребер, вершин), моделирование на основе кривых пространственных линий – это усложненный вид моделирования.

Для студентов направления «Архитектура» и «Дизайн архитектурной среды» предусмотрен курс «Технологии компьютерного моделирования» и «Профессиональные средства подачи проекта», в рамках которого студенты и имеют возможность освоить все этапы и методы моделирования трехмерных сцен и отдельных объектов.

Среди задач освоения данной дисциплины можно выделить: формирование основных компонентов проектной культуры студентов и приобщение их к проектной деятельности посредством изучения основ трехмерного моделирования и анимации (для создания и визуализации проектов); приобретение и развитие студентами практических умений и навыков создания и построения различных трехмерных моделей, сцен, анимации, видов композиций для разработки макетов для буклетов, рекламных материалов; архитектурных форм, ландшафта и дизайна.

В настоящее время в рамках концепции развития проектного образования студенты технического университета имеют возможность освоить полное содержание проектной деятельности и технологий компьютерного моделирования. Так, в университете ведется подготовка студентов по направлениям «Технология и дизайн упаковочного производства», «Дизайн архитектурной среды», «Архитектура». Подготовка студентов по данным направлениям связана с проектной деятельностью, студенты в процессе обучения изучают ряд дисциплин проектного и проектно-графического цикла. Кроме того, с 2008 года в университете студенты имеют возможность получить дополнительную квалификацию «Специалист в области компьютерной графики и WEB-дизайна» с выдачей диплома государственного образца (срок обучения 2 года). Также студент имеет возможность пройти переподготовку по специальности «Компьютерная графика в интерьере», «Компьютерная графика в ландшафтном дизайне» с выдачей диплома государственного образца о переподготовке. Обучение по данным направлениям ведется только на основе информационных технологий в интерактивной форме, с применением технологий компьютерного моделирования в разных областях проектирования и дизайна.

Библиографический список

1. Шадриков В.Д., Шемет И.С. Информационные технологии в образовании: плюсы и минусы // Высшее образование в России. - № 11, 2009. - С. 62. - : Education Online . - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.hse.ru/pubs/lib> – Загл. с экрана.
2. Джонс К. Дж. Методы проектирования /Пер. с англ. / Под ред. В. Ф. Венды. – М.: Мир, 1986. – 376 с.
3. Усая Т.В. Развитие художественно-проектной деятельности в процессе профессиональной подготовки студентов университета. Дис...канд. пед. наук – Магнитогорск, 2004. -164 с.
4. Ильин Г. Л. Научно-педагогические школы: проективный подход. Монография. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 1999. – 50с.
5. Ильин Г. Л. Проблема различия обучения и образования (на примере контекстного обучения и проективного образования) // Альма Матер, 2001. - № 5. – С. 22 – 26.
6. Усая Т.В. Технологии компьютерного моделирования в профессиональной подготовке будущих архитекторов и дизайнеров // Архитектура. Строительство. Образование: материалы международной научн.- практ. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 225-230.
7. О.М. Веремей. Архитектурные чертежи. Учебно-методическое пособие. – изд. 2-е, перераб. и доп. –Магнитогорск: МаГУ, 2007,–142 с.
8. Калина Н.Д. Система формирования профессиональных конструктивно-графических умений у будущих специалистов архитекторов-дизайнеров: Дис. ... канд. пед. наук : 13.00.08 : Владивосток, 2005. - 322 с.
9. Кауда Т. М. Формирование проектной культуры в системе архитектурно-художественного образования: Автореф. дисс. канд. пед. наук. – Великий Новгород, 2000. – 21 с.
10. Черная К.С. Компьютерное моделирование – это новый образ мышления архитектора: АМГТ - сетевой журн. - 2(11), 2010 г.
11. Ляхов И. И. Проектная деятельность: социально-философский аспект: дисс. докт. фил. наук. – М., 1996. – 305 с.
12. Росс А.Ф., Буске М. Autodesk 3DsMax 9. Основы и практика./ Пер. с англ. – Спб.: «ВХВ-Петербург», М.: Издательство «Русская Редакция», 2007. – 704 с.
13. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход. – М.: Мир, 1981. – 454 с.
14. Слэк Л. Что такое дизайн продукта. – Rout Suisse 9 CH-1295 Mies, Switzerland. – RotoVisionSA, 2006. – 256 с.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ
РАБОТЫ ПЕРСОНАЛА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

В.Б. Кузнецова¹

¹ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,
г. Оренбург, Россия

**INFORMATION TECHNOLOGY IN THE ORGANIZATION OF
STAFF PERFORMANCE AT THE MACHINE-BUILDING
ENTERPRISES**

V.B. Kuznetsova¹

¹Orenburg State University, Orenburg, Russia
valyosha@list.ru

Высокая конкуренция заставляет руководителей компаний признать значительную роль информационных технологий в организации работы персонала, управлении персоналом. От этого во многом зависит успешное развитие бизнеса.

Ключевые слова: единое информационное пространство, PDM-система, управление персоналом, информационные технологии.

High competition makes company executives to admit a significant role of information technology in the organization of staff performance and human resources management. The successful development of the business is largely dependent upon these terms.

Keywords: a unified information space, PDM-system, human resources management, information technology.

Особенности современного рынка и среды функционирования машиностроительных предприятий требуют применения современных информационных технологий по оптимизации использования человеческих ресурсов. Для того чтобы деятельность предприятия была успешной необходимо совмещать применение информационных технологий в производстве с организацией работы персонала.

Персонал – это определяющая составляющая успешной реализации стратегии предприятия. Из года в год машиностроительные предприятия решают проблемы поиска высококвалифицированного молодого персонала как ресурса для повышения рентабельности и поиска внутренних резервов предприятия. Для реализации одновременной организации производства и работы персонала необходимо создание единого информационного пространства предприятия.

На сегодняшний день есть множество интегрированных автоматизированных информационных систем PLM/PDM, предлагающих решения по организации работы персонала.

Применение PLM основано на использовании интегрированных моделей данных об изделии и бизнес-процессов предприятия. PLM предполагает новые методы работы с информацией об изделии, позволяя тесно увязать ее с процессами, обеспечивая одновременный доступ к данным различных категорий сотрудников, позволяя в полной мере реализовать принципы параллельного проектирования изделий.

На настоящий момент машиностроительными предприятиями используются PLM системы на базе решений (Siemens plm software) Teamcenter, Аскон Лоцман: PLM, (Dassault systemes) Enovia, PTC Windchill 9.0, AutodeskVault [1].

Комплексный набор инструментов дает возможность выстроить прозрачный цикл разработки и упрощает совместную работу коллектива. Внедрение PDM/PLM системы обеспечивает:

- Упорядоченное хранение проектных данных.
- Поиск и повторное использование проектных данных.
- Управление изменениями.
- Контроль версий каждого документа, участвующего в проекте.
- Управление объектами инфраструктуры.
- Ускорение цикла разработки проекта (сводит к минимуму риск потери данных).
- Стандартизацию процесса обеспечения надежности между подразделениями.
- Оптимизацию ресурсов.
- Снижение затрат на разработку.
- Использование накапливаемых знаний в новых конструкциях изделий и в новых выпусках.
- Сокращение времени вывода изделия на рынок [2].

На основе вышеизложенного, можно сделать вывод, что эффективная работа предприятия невозможна без единого информационного пространства в рамках всего предприятия или нескольких предприятий, ведущих совместную работу над изделиями. В качестве подобного интегрирующего звена должна выступать PDM-система, обеспечивающая решение задач, связанных с управлением данными об изделии на протяжении всего жизненного цикла, от замысла, постановки, требований на изделие, его проектирования и подготовки производства до автоматизации процессов послепродажного технического обслуживания и ремонта; объединяющая результаты деятельности всех подразделений и связывающая все существующие на предприятии автоматизированные системы [2, 3].

Библиографический список

1. **Кузнецова, В.Б.** Сферы возможного применения TEAMCENTER Автоматизация и информационные техноло-

- гии (АИТ-2012) / В.Б. Кузнецова, А.И. Сердюк, А.В. Попов. – Сборник материалов Всероссийской молодежной конференции. – М.: МГТУ «Станкин», 2012. – С. 253-259.
2. **Кульга К.С.** Управление подготовкой мехатронного производства с помощью MES (Manufacturing Execution System) / Учебное пособие с грифом УМО МГТУ им. Н.Э. Баумана // Уфа : Изд. УГАТУ, 2008. – 189 с.
 3. **Яцкевич А.** Построение интегрированной информационной среды предприятия на основе системы управления данными об изделии pdm step suite / А. Яцкевич, Д. Страузов // САПР и графика. – 2002. – № 6.

УДК 65.011.56

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА АРХИВНЫХ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН

Ю.В. Пишнограева¹, Е.С. Суспицын²

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR AUTOMATIC STATISTICAL ANALYSIS OF LONGITUDINAL CRACK EARLY DETECTION SYSTEM ARCHIVE DATA

U.V. Pishnograeva¹, E.S. Suspitsin²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk

¹pishnograeva@mail.ru, ²esuspitsin@gmail.com

В статье приведены сведения о функциональных возможностях специализированного программного обеспечения, разработанного для анализа архивов системы раннего детектирования продольных трещин, формирующихся в корочке непрерывнолитой заготовки в процессе первичной кристаллизации. Сформулированы задачи дальнейших научных исследований, направленных на снижение количества слябовых заготовок с дефектом «продольная трещина» за счёт совершенствования системы раннего детектирования.

Ключевые слова: МНЛЗ, кристаллизатор, трещина, статистический анализ

In this article the functionalabilities of software, which was developed specially for longitudinal crack early detection system archives analysis, are described. Further tasks requiring the use of the developed software to be solved for improving the system and reducing the quantity of defected slabs were formulated and presented in this article.

Keywords: continuous caster, mold, crack, statistical processing

Актуальность работы

На дефект «продольная трещина» приходится наибольшая доля всех дефектов в заготовках, отливаемых на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) №6 кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». В настоящее время на МНЛЗ №6 выполняются научные исследования, целью которых является снижение количества заготовок с дефектом «продольная трещи-

на». Одним из возможных путей достижения поставленной цели является разработка оперативных мероприятий по устранению данного дефекта на ранних стадиях его зарождения и развития в процессе первичной кристаллизации слитка. Для обеспечения эффективности разрабатываемых мероприятий необходимо наличие системы раннего детектирования продольных трещин. Данная система должна обеспечивать низкий процент пропущенных дефектов при высокой достоверности генерируемых сигналов [1, 2].

Основные проблемы и решения

В 2013 году на МНЛЗ №6 ОАО «ММК» внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию система раннего детектирования продольных трещин, формирующихся в слябовой заготовке в процессе первичной кристаллизации. Данная система генерирует предупреждающие сигналы на основании математической обработки показаний термодатчиков, встроенных в кристаллизатор МНЛЗ [1-4].

В результате анализа работы алгоритма детектирования продольных трещин в период опытно-промышленной эксплуатации выявлены следующие возможные пути повышения его эффективности [5]:

- 1) внедрение в программное обеспечение системы процедур предварительной фильтрации исходных показаний термодатчиков;
- 2) применение интерполяционных методов для прогнозирования температур слитка в участках, удалённых от термодатчиков, и определение критериев детектирования продольных трещин по прогнозируемым значениям температур.

Критерии для генерации предупреждающего сигнала, заложенные в существующем алгоритме, сформированы на основании статистической обработки архивных показаний термодатчиков, приведённых в [3, 4]. При этом выполнялся сравнительный анализ показаний в пределах различных интервалов времени до и после момента зарождения продольной трещины. Всего в процессе статистической обработки данных выполнен анализ шестнадцати архивов по тринадцати параметрам в абсолютных и относительных изменениях на четырёх временных интервалах (15, 30, 60 и 90 секунд до и после момента зарождения трещины) для трёх групп термодатчиков (верхнего, среднего и нижнего рядов термодатчиков по периметру кристаллизатора). Таким образом, было получено около пяти тысяч различных числовых критериев, обладающих разной степенью достоверности. С внедрением в программное обеспечение алгоритмов фильтрации и интерполяции возникнет необходимость перерасчёта доверительных интервалов диагностических признаков при каждом изменении параметров фильтров и/или изменении алгоритма интерполяции показаний термодатчиков.

Каждый перерасчёт критериев для генерации предупреждающего сигнала требует обработки большого объёма информации. С целью снижения трудоёмкости этого процесса было разработано специализированное программное обеспечение для автоматизированного анализа архивных данных.

Функциональные возможности разработанного программного обеспечения

Разработанное программное обеспечение (программа «Analiser», интерфейс которой представлен на рис.1) предоставляет возможность графического отображения архивной информации системы раннего детектирования трещин и обладает следующими функциональными возможностями:

- 1) загрузки данных из нескольких суточных файлов архивов с сортировкой данных по фабуле (1, рис. 1);
- 2) сохранения фрагментов архивных данных для последующего анализа (2, рис. 1);
- 3) быстрого перемещения (навигации) по загруженным архивным данным (3, рис. 1);
- 4) визуализации теплового портрета кристаллизатора с применением различных цветовых палитр отображения показаний термодатчиков (4, рис. 1);
- 5) визуализации послойной временной развёртки показаний термодатчиков (5, рис. 1);
- 6) построения и визуализации графиков показаний термодатчиков верхнего, среднего и нижнего слоёв установки в указанной координате по периметру кристаллизатора для указанного момента времени в загруженных архивных данных (6, рис. 1);
- 7) имитации работы штатного алгоритма детектирования продольных трещин в режиме реального времени (полная имитация рабочей версии алгоритма, включая визуализацию и возможность записи архивных данных) (7, рис. 1);
- 8) имитации работы штатного алгоритма детектирования продольных трещин в фоновом режиме (имитация работы штатной версии алгоритма без визуализации с сохранением результатов в файле с форматом архива системы)(8, рис. 1);
- 9) автоматического расчёта диагностических параметров вблизи указанного момента времени с сохранением исходных данных, параметров их обработки и результатов расчёта в файле результатов анализа *.rez (9, рис. 1).

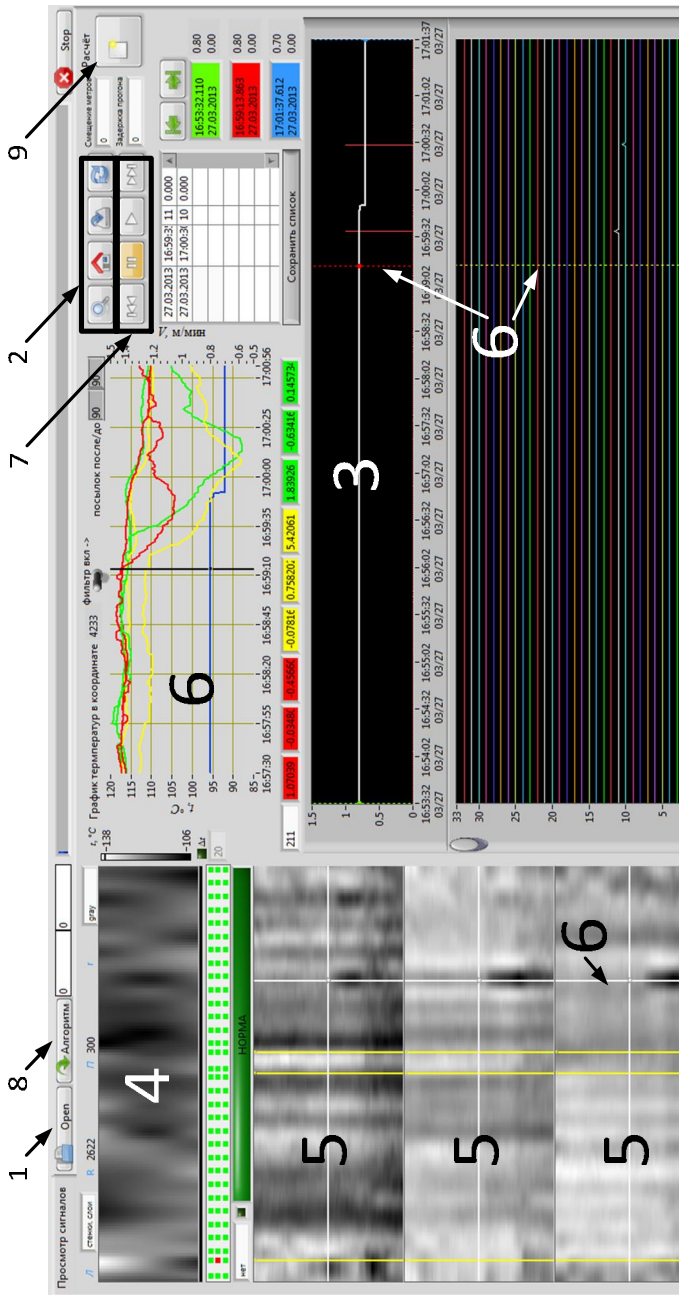


Рис. 1. Интерфейс программы «Analiser»

Основной функцией разработанного программного обеспечения является функция расчёта диагностических параметров вблизи момента зарождения продольной трещины. Для её использования по имеющейся статистической выборке данных отдела контроля производства пользователь программы «Analiser» определяет момент зарождения продольной трещины и её положение на поверхности дефектной заготовки. Затем загружает соответствующий файл архива, устанавливает курсоры (6, рис. 1) на координаты (по времени и положению на заготовке) образования трещины и нажатием кнопки «Расчёт» (9, рис. 1) запускает функцию.

Расчёт диагностических параметров выполняется с учётом результатов исследований, результаты которых приведены в [4,5] и производится следующим образом:

1. Из загруженных архивных данных выделяется фрагмент длительностью 180 секунд (90 секунд до момента образования продольной трещины и 30 секунд после);
2. К выделенному фрагменту исходных данных применяется фильтр постобработки.
3. Фильтрованные данные поступают в процедуру интерполяции, где рассчитываются прогнозируемые значения температур в узлах регулярной координатной сетки, состоящей из трёх строк и заданного количества столбцов.
4. Для каждого узла координатной сетки рассчитываются диагностические параметры на заданных интервалах времени до и после момента образования продольной трещины.
5. Создаётся двумерный массив флагов, размерность которого определяется количеством рассчитываемых диагностических параметров и узлов в координатной сетке прогнозируемых значений температур. В данном массиве напротив каждого из диагностических параметров значениями «TRUE» отмечаются узлы, для которых данный параметр принял максимальное значение среди всех узлов координатной сетки в той же строке и относящихся к той же медной стенке кристаллизатора.
6. Создаётся двумерный массив флагов, аналогичный массиву п.7, где значениями «TRUE» отмечаются узлы, для которых отклонение соответствующего диагностического параметра от среднего его значения по всем узлам координатной сетки в той же строке и относящихся к той же медной стенке кристаллизатора превысило 1,645 среднеквадратического отклонения значений параметра по этим узлам.
7. Данные об условиях проведения расчёта, числовые значения диагностических параметров и заполненные массивы флагов записываются в файл *.rez.

8. Изменяются интервалы времени расчёта диагностических параметров.
9. Повторяются пп. 4-8 для всех интервалов времени расчёта диагностических параметров, внесённых в соответствующий справочник программы.
10. Изменяются координаты стеки (количество столбцов) прогнозируемых значений температур.
11. Повторяются пп. 3-10 для всех координатных сеток, внесённых в соответствующий справочник программы.
12. Изменяется метод расчёта (метод интерполяции) прогнозируемых значений температур в узлах заданной координатной сетки.
13. Повторяются пп. 3-12 для всех методов интерполяции, имеющих в программе.
14. Изменяется алгоритм фильтрации исходных данных (изменяются параметры применяемого фильтра или применяется новый способ фильтрации данных).
15. Повторяются пп. 2-14 для всех предусмотренных в программе способов фильтрации исходных данных.

Структура процедуры расчёта диагностических параметров обеспечивает возможность быстрого изменения (или исключения) любого из условий расчёта: типов и параметров фильтров для обработки исходных данных; методов интерполяции; количества координатных сеток для расчёта прогнозируемых показаний температур; количества диагностических параметров.

Заключение

Разработанное программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс расчёта диагностических параметров для системы раннего детектирования продольных трещин, эксплуатируемой на МНЛЗ №6 ККЦ ОАО «ММК». С учётом результатов проведённых ранее исследований, использование программы «*Analiser*» существенно упрощает процесс оптимизации системы, направленной на повышение достоверности детектирования дефектов при сокращении времени задержки между моментами образования дефекта и генерации сигнала.

Дальнейшие задачи исследования заключаются в обработке имеющихся архивных данных с использованием разработанного программного обеспечения, выборе наиболее информативных диагностических параметров, эффективных методов фильтрации данных и расчёта прогнозируемых значений температур, интервалов времени расчёта диагностических параметров, формулировке выводов о возможности повышения эффективности системы за счёт применения интерполяционных методов обработки исходных данных.

Библиографический список

1. **Апет, А.А.** Разработка системы автоматической диагностики продольной трещины слитка в кристаллизаторе/ А.А. Апет, С.А. Обухов, Д.Ф. Сафиуллина, А.А. Гусев, П.А. Шестаков. // Электротехнические системы и комплексы. – Вып. 20. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012 г.- С.390-394.

2. **Апет, А.А.** Внедрение системы автоматической диагностики продольной трещины слитка в кристаллизаторе / А.А. Апет, Р.С. Пишнограев, Д.В. Швидченко// Электротехнические системы и комплексы. – Вып. 21. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013 г.

3. **Пишнограев, Р.С.** Исследование влияния продольных трещин в теле отливаемой заготовки на характер распределения температур по её поверхности / Р.С. Пишнограев, С.С. Красильников, Д.Ф. Сафиуллина, А.А. Апет // Актуальные проблемы современной науки, техники, образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – Т.2. – 378 с.

4. **Сафиуллина, Д.Ф.** Разработка методики раннего детектирования продольных трещин в районе погружного стакана МНЛЗ с вертикальным участком / Д.Ф. Сафиуллина // Дис. ... магистр.по напр. 210100 – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2013.

5. **Пишнограева, Ю.В.** Математическая обработка показаний термопар кристаллизатора в системе раннего детектирования трещин / Ю.В. Пишнограева, Р.С. Пишнограев, С.С. Красильников, Д.В. Швидченко // Электротехнические системы и комплексы. – Вып. 21. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013 г.

**ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

**С.Г. Гончарова¹, И.Ф. Мезягутов², Г.Н. Ахметшина³,
К.М. Баранова⁴**

*^{1,2,3,4}ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет», г. Уфа, Россия*

**EXPERT SYSTEM FOR DECISION MAKING IN CONTROL
SYSTEMS ENGINEERING**

**S.G. Goncharova¹, I.F. Mesyagutov², G.N. Akhmetshina³,
K.M. Baranova⁴**

*^{1,2,3,4}Ufa state aviation technical university, Ufa, Russia
kats_ugatu@mail.ru*

Статья посвящена экспертной системе для поддержки принятия решений при проектировании систем автоматического управления, построенной на основе теории генетических алгоритмов.

Ключевые слова: системы автоматического управления; проектирование систем управления; генетические алгоритмы; экспертная система; принятие решений.

The article is dedicated to expert system for decision making in process of control engineering. This expert system is based on the genetic algorithms theory.

Keywords: automatic control systems; control engineering; genetic algorithms; expert system; decision making.

В настоящее время практически ни один процесс проектирования систем управления (СУ) не обходится без средств автоматизированного проектирования (САПР). К таким средствам относятся математические программы, предназначенные для математического и имитационного моделирования, средства проектирования электрических схем и печатных плат, SCADA – системы, на базе которых создаются системы сбора, обработки и отображения информации, базы данных, содержащих перечень комплектующих СУ и др. Использование САПР СУ сопряжено с выбором принципов и методов управления, измерительных и вычислительных устройств, устройств для передачи и обмена информацией, инструментальных средств программирования. Процесс выбора – это творческая, трудноформализуемая задача, как правило, решаемая специалистами – системотехниками, электриками, электромеханиками, программистами. Задачу выбора можно рассматривать как задачу принятия решений или оптимизационную задачу, которую в данной работе предлагается возложить на экспертную систему (ЭС)

проектирования, основанную на знаниях перечисленных специалистов.

Составляя спецификацию оптимизационной задачи как формализованное описание процесса проектирования СУ, отмечены следующие особенности: целевые функции, отражающие качество проектирования или желаемые характеристики полученной СУ, составленные на основании технического задания, неунимодальные (многоэкстремальные); аргументы целевых функций – альтернативные варианты проектных решений – не могут быть заданы в количественном виде, а имеют лишь качественное описание; как правило существует базовый вариант СУ, который нужно модернизировать.

Одним из перспективных путей решения подобных оптимизационных задач является применение генетических алгоритмов [1, 2]. Схематически вычисления на основе генетического алгоритма приведены на *рис. 1*. Генетический алгоритм имитирует эволюцию популяции как циклический процесс скрещивания индивидуумов и смены поколений.

Качественные значения аргументов целевых функций, называемые в генетических алгоритмах особями или индивидуумами, кодируются. Все возможные проектные решения образуют популяцию. Начальная популяция – проектные решения, образующие базовые варианты СУ. В результате скрещивания наследуются характеристики систем – прототипов, а в ходе отбора выделяются проектные решения, формирующие СУ с наилучшими характеристиками. Сбои в спроектированной СУ, отсутствие необходимых комплектующих для СУ и другие подобные возмущения можно связать с мутациями.



Рис. 1. Схема вычислений на основе генетического алгоритма

Рассмотрим применение генетического алгоритма для решения задачи выбора методов управления на этапе информационного анализа и синтеза СУ. (Для наглядности иллюстрации реальная задача упрощена).

Выделены следующие характеристики (признаки) объекта управления (ОУ):

a_1 – наблюдается выход и состояние ОУ (погрешностями наблюдения можно пренебречь);

- a_2 – наблюдается выход ОУ (без погрешностей);
- a_3 – наблюдается выход или состояние ОУ (необходимо учитывать погрешности);
- a_4 – нет обратной связи в СУ;
- b_1 – параметры модели постоянные известные;
- b_2 – параметры модели изменяются медленно, не известны их номинальные значения и интервалы изменения;
- b_3 – параметры модели изменяются медленно, известны интервалы изменения;
- b_4 – параметры модели изменяются медленно, известны статические характеристики;
- b_5 – параметры модели изменяются быстро;
- c_1 – структура модели постоянная известная;
- c_2 – структура модели изменяется медленно, область изменения известна;
- c_3 – структура модели изменяется быстро, область изменения известна.

Приведенные характеристики могут принимать два значения 0 или 1.

Ставится задача выбора регулятора из следующего списка:

- 1 – ПИД-регулятор;
- 2 – адаптивный регулятор;
- 3 – модальный регулятор;
- 4 – оптимальный линейно-квадратичный регулятор;
- 5 – оптимальный программатор, синтезированный по принципу максимума Понтрягина;
- 6 – робастный регулятор;
- 7 – стохастический регулятор;
- 8 – нечеткий регулятор.

Экспертами составлена следующая целевая функция:

$$\begin{aligned}
 J = & (18 - (x-1)^{2 \cdot a_2 \cdot b_1 \cdot c_1 \cdot (1-a_1)(1-a_3)(1-a_4)} - \\
 & - (x-2)^{2 \cdot a_1 \cdot b_2 \cdot c_1 \cdot (1-b_1)(1-a_3)} - \\
 & - (x-3)^{2 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot c_1 \cdot (1-a_2)(1-b_2)(1-a_3)(1-a_4)} - \\
 & - (x-4)^{2 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot c_1 \cdot (1-a_2)(1-b_2)(1-a_3)(1-a_4)} - \\
 & - (x-5)^{2 \cdot a_4 \cdot b_1 \cdot c_1 \cdot (1-a_1)(1-a_2)(1-a_3)} - \\
 & - (x-6)^{2 \cdot a_3 \cdot b_5 \cdot c_3 \cdot (1-c_1)(1-c_2)} - \\
 & - (x-7)^{2 \cdot a_3 \cdot b_4 \cdot c_2 \cdot (1-c_1)(1-b_3)(1-b_5)} - \\
 & - (x-8)^{2 \cdot a_3 \cdot b_3 \cdot c_2 \cdot (1-c_1)(1-b_4)(1-b_5)} \rightarrow \max,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где x – номер варианта регулятора, $x \in \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 \}$.

Предположим, требуется найти x , доставляющий максимум функции (1) при $a_2=1$, $b_1=1$, $c_1=1$. Остальные характеристики принимают нулевое значение.

Рассмотрим одну итерацию генетического алгоритма. Каждое значение x закодировано путем перевода в двоичную систему счисления.

Пусть в качестве исходной популяции выбраны пробные решения задачи, приведенные в табл. 1.

Таблица 1 – Исходная популяция

Особь	Двоичное число	Приспособленность
2	0010	10
3	0011	7
5	0101	-5
4	0100	2

Приспособленность особи в данном случае определяется целевой функцией: чем больше значение целевой функции, тем более приспособленной является особь. В процессе отбора исключаются особи, у которых приспособленность ниже определенного порогового значения. В данном случае пороговое значение равно нулю, поэтому исключаем особь 5. Особь 2 имеет наилучшую приспособленность, поэтому может участвовать в размножении дважды. Процесс создания первого поколения потомков показан в табл. 2.

Таблица 2 – Процесс скрещивания и мутации

Первая особь-родитель	Вторая особь-родитель	Точка скрещивания	Особи - потомки после скрещивания	Потомок после мутации
0010	0100	2	0000 0110	0010 0111
0011	0010	1	0010 0011	0011 0010

В результате скрещивания особей 2 и 4 формируются два потомка. У потомка с кодом 0000 младшие два бита наследуются от родителя 4, а старшие от родителя 2, у потомка с кодом 0110 младшие два бита наследуются от родителя 2, а старшие от родителя 4. Аналогично для второй пары родителей.

Результаты имитационного моделирования работы генетического алгоритма приведены на *рис. 2* и *рис. 3*.

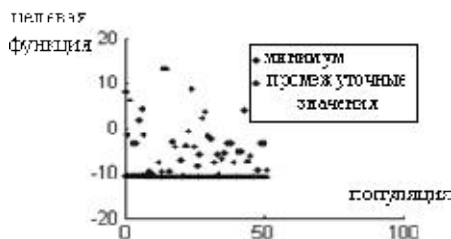


Рис. 2. Изменение значений целевой функции

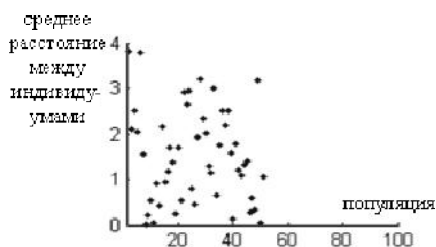


Рис. 3. Изменение расстояния между особями в поколениях

Из рис. 2 видно, что на 51 популяции получен минимум целевой, при этом, наилучшая особь $x=1$; в последних 5 поколениях особи становятся одинаковыми, т.е. хеммингово расстояние равно нулю. Таким образом, когда наблюдается выход ОУ без погрешностей, параметры модели постоянные известные, структура модели постоянная известная, наилучшим решением будет ПИД-регулятор.

Разработанная ЭС представляет собой программный модуль, который в дополнение к вышеперечисленным средствам автоматического проектирования служит консультантом при выборе наиболее рационального проектного решения. ЭС наделена возможностью обучаться, что позволяет накапливать опыт проектирования и совершенствовать ее работу, а также гибко перестраиваться на решение новой задачи.

Библиографический список

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.

2. **Панченко, Т. В.** Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / Т. В. Панченко. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с.

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ
ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕХАНООБРАБОТКИ АВИАОБОРУДОВАНИЯ**

И.П. Хавина¹, В.В. Лимаренко²

^{1,2}*Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков, Украина
slaw_lww@ukr.net*

**DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MACHINING PROCESS
OPTIMIZATION AVIATION EQUIPMENT**

I.P. Havina¹, V.V. Limarenko²,

^{1,2}*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine
slaw_lww@ukr.net*

В статье показана разработанная структура системы поддержки принятия решений для автоматизации и оптимизации технологических процессов механообработки авиаоборудования. Рассмотрены основные функциональные блоки СППР и их назначение. Приведено обоснование применяемых математических моделей и методов.

Ключевые слова: *СППР, оптимизация, автоматизация, технологический процесс, механообработка, авиаоборудование.*

The article describes the structure of the developed decision support system for the automation of machining process optimization aviation equipment. The main functional blocks of the DSS and their purpose. The substantiation of the applied mathematical models and methods.

Keywords: *DSS, optimization, automation, process, machining, aviation equipment.*

Сегодня при изготовлении авиационного оборудования и комплектующих для авиационных двигателей общепринятой практикой является применение современного дорогостоящего оборудования и инструментальных комплексов. При этом производство авиационных комплектующих и двигателей имеет ряд особенностей: средние по величине габаритные размеры выпускаемых изделий; высокая точность деталей и изделий в целом; сложность конфигурации деталей; широкое применение труднообрабатываемых и дорогих материалов; большое разнообразие используемых процессов механообработки; жесткий контроль качества; сравнительно частая смена объектов производства; наличие мелкосерийного производства и использование одного и того же оборудования для производства целого ряда изделий, имеющих совершенно разные конфигурации и размеры партий [1]. С

учетом этих особенностей значительное внимание уделяется проблеме повышения производительности технологического процесса (ТП).

Уменьшение затрат времени и средств на изготовление единицы изделия, гарантированное получение изделий с необходимым уровнем качества и заданными свойствами, являются обязательными условиями ТП механообработки [2].

Задачи синтеза ТП решаются в два этапа:

- первый – синтез структуры ТП;
- второй – параметрическая оптимизация.

Синтез структуры технологического процесса направлен на создание оптимальной структуры в виде последовательности операций – технологического процесса, а целью параметрической оптимизации является поиск оптимальных режимов выполнения операции, с учетом всех ограничивающих факторов.

Из теории оптимизации известно, что параметрическую оптимизацию можно осуществлять только после оптимизации структуры объекта, в том числе технологической системы, в которую входят технологический процесс обработки, оборудование и инструмент [3, 4].

Задача структурного синтеза ТП механообработки является сложной задачей, т.к. ТП механообработки характеризуется низкой формализацией при многовариантности решений, многомерностью, наличием эмпирической информации и скрытых объективных законов.

Автоматизировать процесс поиска оптимальной структуры и параметров ТП можно с применением системы поддержки принятия решений (СППР) и методов искусственного интеллекта.

Целью оптимизации ТП механообработки может быть, как уменьшение энергозатрат, повышение производительности, уменьшение себестоимости, так и различные комбинации данных целей. В связи с этим задача оптимизации структуры ТП механообработки превращается в многокритериальную оптимизационную задачу (МОЗ) [5-7].

Традиционные инженерные методы решения МОЗ строятся на принципах сведения МОЗ к некоторой однокритериальной задаче [8, 9]. Для этого применяются различные методы: метод последовательных уступок, метод главного критерия, метод линейной свертки, метод относительного минимакса и т.п. При использовании данных методов инженеры вынуждены идти на определенные уступки и приближения, которые, в свою очередь, в большей или меньшей степени искажают полученный результат, внося в него определенные ошибки и погрешности, размер которых зависит от конкретного метода и размера принятых условий.

В общем случае МОЗ не имеет решения в классическом смысле данного понятия, но существуют методы, которые позволяют минимизировать возможные ошибки, характерные для метода свертки МОЗ. Таким методом является метод построения Парето-оптимального решения [8, 9].

Суть Парето-оптимального решения состоит в том, что между критериями существует область компромисса, содержащая так называемые эффективные решения, для которых не возможно одновременное улучшение всех критериев. Эффективность решения означает, что оно не может быть улучшено по какому-либо критерию без ухудшения по остальным. Но, при этом, все остальные критерии находятся в области достаточно близкой к оптимальной [8].

Недостаток данного метода в большом объеме вычислений, которые необходимо провести, и в зависимости полученного результата от полноты использованных в расчетах критериев и параметров, которые, в свою очередь, так же должны быть рассчитаны.

Эффективность как структурной так и параметрической оптимизации процесса резания определяется полнотой используемых входных данных. Входными данными для СППР являются, как параметры, характеризующие физические явления в процессе резания, так и технические факторы, влияющие на сам процесс резания. В [10] были приведены основные физические явления и факторы, влияющие на параметры процесса резания, которые должны быть использованы в качестве входных.

Одним из возможных методов определения оптимальной структуры ТП изготовления изделий с помощью механообработки, то есть нахождения оптимальной альтернативы из множества возможных альтернатив, является применение продукционных правил реализованных с помощью языка VisualProlog.

Рассмотрим структуру разработанной системы поддержки принятия решений для оптимизации технологических процессов механообработки авиаоборудования. Общая структурная схема системы показана на рис.1.

Для функционирования системы бала разработана и создана база знаний, которая включает в себя данные по станкам, операциям, приспособлениям, инструментам и т.п. данные, необходимые как для проведения расчетов, так и для операций синтеза. Структура разработанной базы знаний показана на рис. 2.

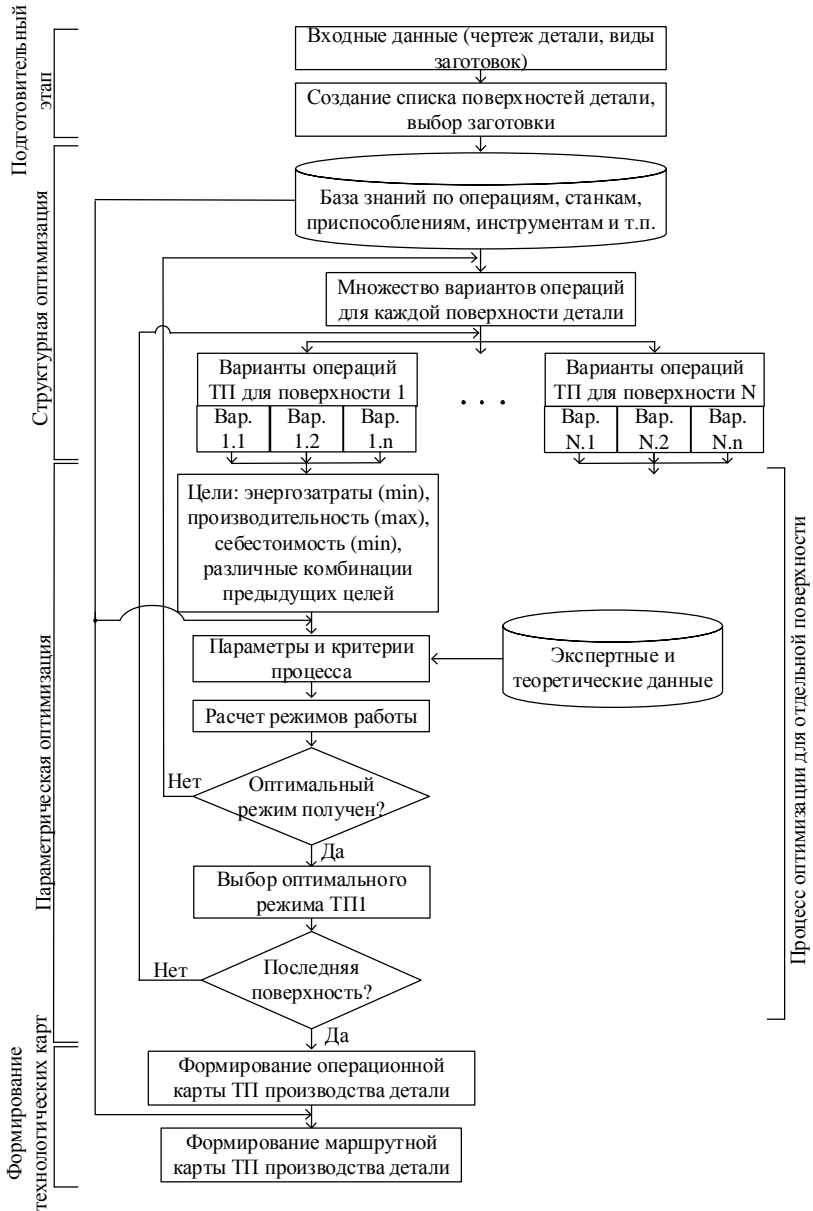


Рис. 1. Структурная схема системы

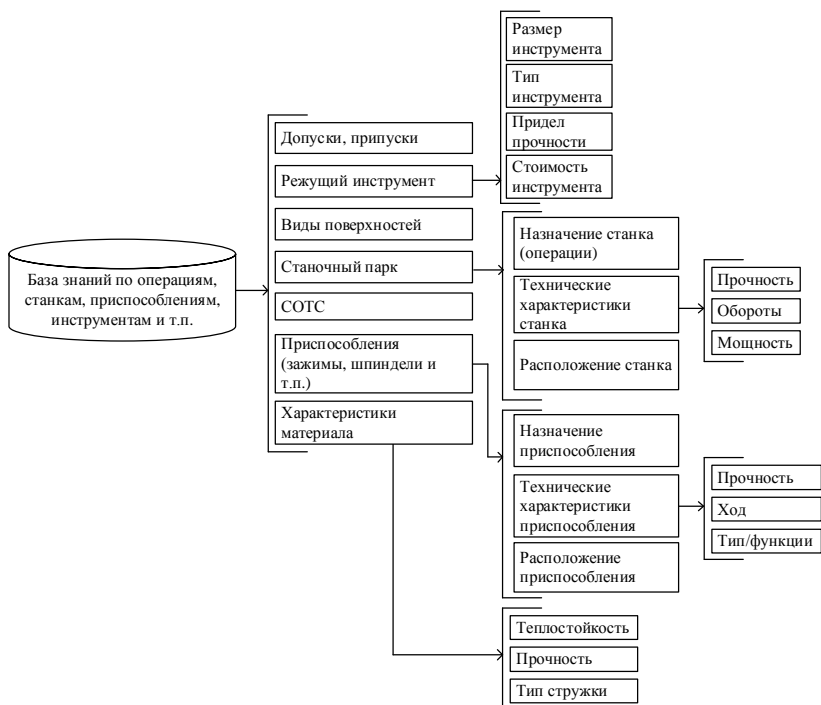


Рис. 2. Структурная схема базы знаний по операциям, станкам, приспособлениям, инструментам и т.д.

Работу системы можно разбить на четыре этапа:

- подготовительный этап. Его задача – создание списка поверхностей детали и выбор заготовки. На основе чертежа детали, создается список поверхностей детали, их размеры, типы материалов из которых будет создана деталь (марка стали) и определяется базовая поверхность для начала обработки детали;

- структурная оптимизация. Задача данного этапа – на основе данных, полученных на предыдущем этапе, и данных из базы знаний СППР (см. рис.2) создать множество возможных вариантов операций для обработки каждой поверхности, с целью выбора наиболее оптимального варианта для каждой из них. В дальнейшем из этих вариантов и будет синтезирован общий ТП механообработки. Работа данного блока базируется на использовании возможностей языка VisualProlog.

- параметрическая оптимизация. Задача данного этапа – определить параметры, при которых будет выполняться каждая операция ТП при конкретных технических условиях. Если же оптимальное решение, которое найдено в результате работы данного этапа, невозможно практически осуществить на имеющемся оборудовании, то работа системы

вернется к этапу генерации нового множества возможных вариантов ТП.

- формирование технологических карт. Это завершающий этап работы системы. Задача данного этапа – формирование карты ТП из операций, которые были выбраны на предыдущих этапах и расчет оптимального ТП для гибкого производственного модуля (ГПМ).

В результате работы данной системы планируется получить оптимальный технологический процесс в виде технологических карт с учетом необходимых на данном этапе существования предприятия целей оптимизации ТП.

Использование данной системы позволит автоматизировать расчет ТП механообработки изделий, в значительной мере сократить необходимый объем инженерного времени на разработку ТП. Так же данная система позволит смоделировать ТП механообработки при различных критериях оптимизации и выбрать наиболее стратегически выгодный для экономики предприятия.

Библиографический список

1. Богуслаев А.В. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография / А.В. Богуслаев, Ал.А. Олейник, Ан.А. Олейник, Д.В. Павленко, С.А. Субботин. – Запорожье: ОАО Мотор Сич, 2009. – 468 с.
2. Вейц В.Л., Максаров В.В., Лончих П. А. Динамика и моделирование процессов резания при механической обработке. – Иркутск: РИО ИГИУВа, 2000.-189 с.
3. I. Davim, J. Paulo. Machining: fundamental and recent advanced / London: Springer, – 2008. – 364 p.
4. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев. -М.: Радио и связь, 1984. – 248с.
5. Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Рыжов Э.В. – Киев: Наукова думка, 1989. -344 с.
6. П.И. Ящерицын. Теория резания. / Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. — 3-е изд., испр. и доп. — Мн.: Новое знание, 2008. — 512 с.
7. Системный анализ, структурная и параметрическая оптимизация технологических процессов. / Верезуб Н.В., Островерх Е.В., Симонина А.А. – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – 170с.
8. Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
9. Феофанов А.Н., Иевлев И.В. О методах многокритериальной оптимизации в связи с их применением к задаче построения гибких

автоматических линий (ГАЛ)//Стружка. “Роспечать”. – 2006. – № 3 (14). с. 20-23 (www.struzhka.ru).

10. Хавина И.П. Применение нейронных сетей в технологических процессах механообработки //Хавина И.П., Лимаренко В.В. Автоматизированные технологии и производства. Сборник научных трудов. Магнитогорск: издательство Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2013, 326 с.

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ
В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ
ПРЕДПРИЯТИЯ**

В.Б. Кузнецова¹, А.И. Сергеев², А.В. Попов³

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»,
г. Оренбург, Россия

³ОАО «ПО «Стрела», г. Оренбург, Россия

**VALUE ANALYSIS IN A UNIFIED INFORMATION SPACE OF
THE ENTERPRISE**

V.B. Kuznetsova¹, A.I. Sergeev², A.V. Popov³

^{1,2}*Orenburg State University, Orenburg, Russia*

³*Joint-Stock Company Production Association «Strela», Orenburg, Russia*
valyosha@list.ru

Чтобы оставаться конкурентоспособными в условиях глобализации рынка, предприятиям требуется снизить затраты и сократить сроки изготовления продукции. В достижении этой цели важнейшую роль играет оптимизация затрат при оценке стоимости проекта на всех производственных этапах.

Ключевые слова: функционально-стоимостный анализ, затраты, единое информационное пространство, PDM-система, безбумажный выпуск конструкторско-технологических документов.

To remain competitive in a globalized market, enterprises need to reduce costs and to shorten the production time. In achieving this goal the cost optimization costs in estimating the valuation of the project at all stages of production plays an important role.

Keywords: value analysis, costs, a unified information space, PDM-system, paperless issuing of engineering and design documents.

В условиях высокой конкуренции среди машиностроительных предприятий, необходимым условием становится наличие и рациональное применение новых информационных технологий, обеспечивающих процесс жизненного цикла изделия. Современные машиностроительные предприятия ведут совместную работу над изделиями в рамках единого информационного пространства, стремясь сократить затраты времени и средств на разработку, производство и эксплуатацию при сохранении качества и количества выпуска изделий.

В литературных источниках доказано, что применение функционально-стоимостного анализа (ФСА) наиболее эффективно на этапе проектирования, однако не описано применение методологии ФСА при разработке конструкторско-технологической документации (КТД)

в едином информационном пространстве с использованием PDM-систем [1, 2, 3].

Создание интегрированной системы управления производством, как основы управления всем предприятием – один из инструментов обеспечивающих эффективность управления. В качестве подобного интегрирующего звена должна выступать PDM-система, обеспечивающая решение задач, связанных с управлением данными об изделии на протяжении всего жизненного цикла; объединяющая результаты деятельности всех подразделений и связывающая все существующие на предприятии автоматизированные системы [4, 5, 6].

Нами разработан алгоритм выпуска КТД для эффективного функционирования в рамках организации электронного документооборота (рис. 1).

В различных информационных источниках выделяют разное количество этапов проведения функционально-стоимостного анализа. Это зависит от различных вариантов комплектования этапов между собой. Однако сама программа функционально-стоимостного анализа не зависит от количества этапов. Чаще всего можно встретить следующие этапы ФСА: подготовительный, информационный, аналитический, творческий, исследовательский, рекомендательный этапы и этап внедрения и контроля [7, 8, 9, 10]. Традиционные этапы ФСА адаптированы к работе с электронными инженерными данными.

Подготовительный этап – подбор квалифицированных, творчески мыслящих специалистов, обладающих определенными инженерными и экономическими знаниями, а также знаниями в области подготовки и организации производства, из которых формируется исследовательская рабочая группа.

Информационный этап – сбор, систематизация и всестороннее изучение информации по исследуемому объекту.

Аналитический этап – оценка затрат, связанных с информационной поддержкой жизненного цикла изделия.

Исследовательский этап – отбор оптимальных вариантов решений с учетом предупреждения возникновения рисков, которые после соответствующей проработки можно представить в качестве предложений-рекомендаций ФСА.

Рекомендательный этап состоит в том, что выводы и результаты доводятся до уровня конкретных предложений в целях формирования оптимальной структуры затрат и эффективного расходования средств предприятия.

Этап внедрения и контроля – внедрение полученных результатов в производство, контроль за их исполнением и оценка фактической экономической эффективности от реализации данных предложений.

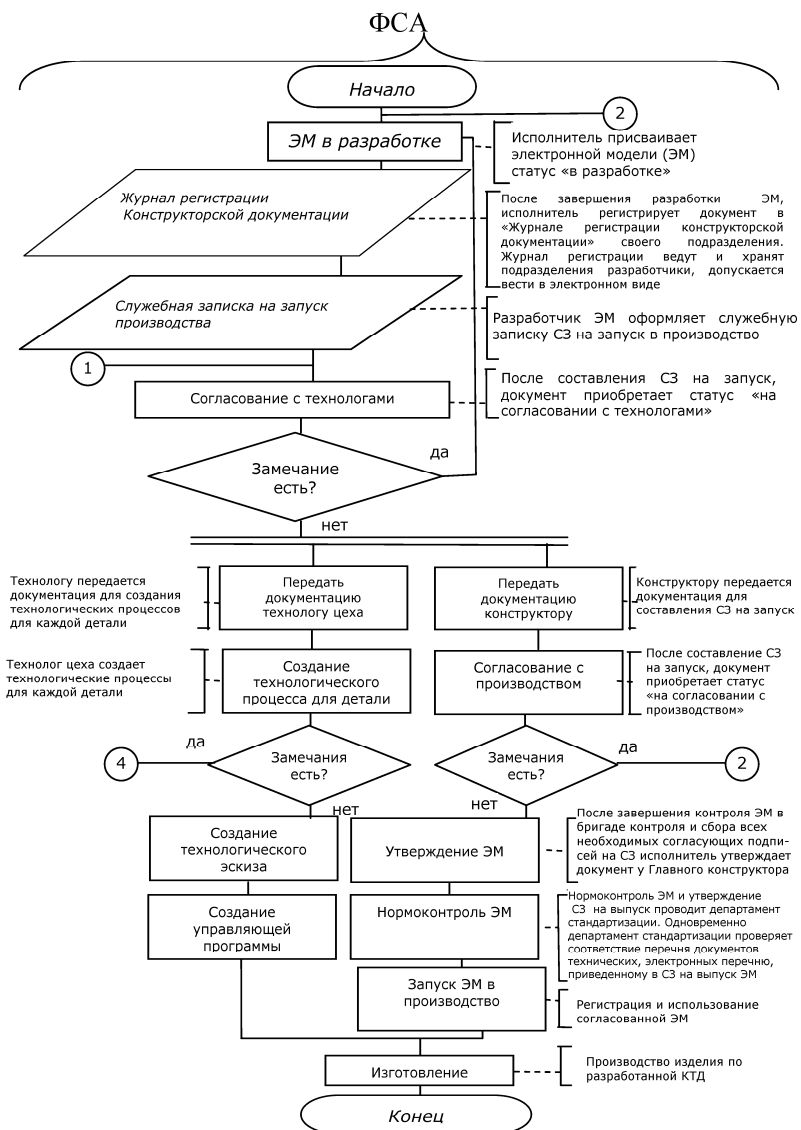


Рис. 1. Алгоритм безбумажного выпуска конструкторско-технологической документации

Наиболее трудоемким является исследовательский этап, на котором обосновывается выбор проекта изделия с учетом предупреждения возникновения рисков.

Для оценки вероятности возникновения рисков ситуаций, обусловленных различными факторами, создается группа экспертов.

В помощь экспертам разработано программное средство для расчета себестоимости комплексом статистических методов в ФСА, экранные формы которого представлены на рис. 2. На программу имеется свидетельство о регистрации в Роспатенте № 2011611953.

Плкий темп роста уровня, в %	Базисный темп роста уровня, в %	Цепной темп прироста уровня, в %	Базисный темп прироста уровня, в %	Абсолютное значение одного процента прироста
0	0	100	0	0,00%
97,69	97,69	-2,31	-2,31	58 544,17р
164,21	160,41	64,21	60,41	57 190,36р
133,81	214,64	33,81	114,64	93 910,36р
85,41	183,31	-14,59	83,31	1 25 659,73р
81,99	150,29	-18,01	50,29	107 319,80р
90,62	136,2	-9,38	36,2	87 987,95р
174,32	236,25	74,92	136,25	79 737,70р
90,09	190,62	-19,91	90,62	139 493,36р
125,97	240,36	25,37	140,36	111 711,57р
81,53	195,97	-14,47	95,97	140 719,45р
55,53	108,83	-44,47	305,23	114 730,12р
122,63	133,45	22,63	33,45	63 711,05р
136,19	181,74	36,19	81,74	78 126,65р
70,1	127,4	-29,9	40,295	106 398,00р
90,73	115,58	-9,27	15,58	74 584,36р
116,33	134,46	16,33	34,46	67 667,78р
63,67	85,6	-36,33	-14,4	78 715,77р
144,77	123,93	44,77	23,93	50 115,98р
81,14	100,56	-18,86	0,56	72 552,13р

Рис. 2. Программа для расчета себестоимости продукции комплексом статистических методов в функционально-стоимостном анализе

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что применение ФСА, как способа оценки стоимости проекта в едином информационном пространстве позволит предупредить и устранить неэффективные производственные и эксплуатационные затраты и избежать возникновения рисков ситуаций при применении на предпроизводственном и производственном этапах соответственно.

Библиографический список

1. Кузнецова, В.Б. Формирование подхода к проведению функционально-стоимостного анализа на основе оценки структуры и динамики затрат и расходов на производство изделия // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – № 2. – С. 104-110.

2. **Кузнецова, В.Б.** Статистические методы моделирования в исследованиях возможных вариантов принятия управленческих решений по результатам функционально-стоимостного анализа // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (25). – С. 124-127.

3. Сердюк А. И. Совершенствование процесса изготовления сложных изделий с использованием pdm-систем на ОАО «ПО «Стрела» / А.И. Сердюк, В.Б. Кузнецова, А.И. Сергеев, А.В. Попов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2013. – №4. – С. 54 – 61.

4 **Асатрян, С.Р.** Интегрированная система управления мелкосерийным машиностроительным производством на базе современных информационных технологий : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / С. Р. Асатрян. – Москва, 2000. – 16 с.

5 **Яцкевич, А.** Построение интегрированной информационной среды предприятия на основе системы управления данными об изделии pdm step suite / А. Яцкевич, Д. Страузов // САПР и графика. – 2002. – № 6.

6. **Карпунин, М.Г.** Функционально-стоимостной анализ в отраслевом управлении эффективностью / М.Г. Карпунин, Б.И. Майданчик. – М.: Экономика, 1983. – 199с.

7 **Кузнецова, В.Б.** Внедрение методики параллельного инжиниринга на основе PLM-системы TEAMCENTER на ОАО «ПО «Стрела»: ежегодный сборник научных трудов Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова под эгидой регионального уральского отделения академии инженерных наук (РУО АИН) РФ «Автоматизированные технологии и производства» / В.Б. Кузнецова, А.И. Сергеев, А.В. Попов. – Магнитогорск, 2013. С.111-113

8. Основы функционально-стоимостного анализа / М.Г. Карпунин, Б.И. Майданчик, Е.А. Грамп [и др.]. – М.: Энергия, 1980. – 174 с.

9. **Сосновский, Я.Щ.** Функционально-стоимостной анализ / Я.Щ. Сосновский, П.Г. Ткаченко. – К.: Техника, 1986. – 143 с.

10. Справочник по функционально-стоимостному анализу / А.П. Ковалев, Н.К. Моисеева, В.В. Сысун и др. ; под ред. М.Г. Карпунина, Б.И. Майданчика. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 431 с.

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ

УДК 65.011.56

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОДОЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ СЛИТКА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

С.И. Лукьянов¹, А.А. Апет²

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

INDUSTRIAL TESTING OF LONGITUDINAL CRACKS OF THE INGOT IN THE CRYSTALLIZER SELF DIAGNOSIS SYSTEM RESULTS

S.I. Lukyanov¹, A.A. Apet²

*^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
²apetaa@mail.ru*

В статье представлены результаты внедрения системы автоматической диагностики продольной трещины слитка в кристаллизаторе.

Ключевые слова: *МНЛЗ, продольная трещина, автоматизация.*

The paper presents the results of the implementation of the automatic diagnosis of longitudinal cracks in the ingot in the crystallizer

Keywords: *CCM, longitudinal crack, automatization.*

Одним из существенных дефектов непрерывнолитой заготовки является продольная трещина на поверхности сляба. Наличие трещины не позволяет отправить слябовую заготовку в прокатку. Для устранения трещины осуществляют огневую зачистку сляба, т.е. срезают часть поверхности заготовки на глубину залегания трещины. При этом возникают дополнительные затраты, связанные с оплатой труда, потерей металла и прочими расходами.

Хотя причины образования продольных трещин и известны [1,2], полностью их устранить в существующих условиях ОАО «ММК» не удаётся.

Добиться этого можно при помощи системы раннего обнаружения возникновения трещины, позволяющей своевременно детектировать наличие трещины и предпринимать меры по её устранению. Такой подход не может обеспечить полное отсутствие заготовок с данным дефектом, но способен сократить их количество [3].

С целью определения диагностических признаков зарождения и окончания трещины был произведен сбор архивов, произведен анализ технологических параметров и показаний термодатчиков, встроенных в кристаллизатор [4].

Система раннего обнаружения возникновения трещины была внедрена в августе 2013г. на МНЛЗ №6 ОАО «ММК».

На главном посту МНЛЗ №6 был установлен монитор с аудиоколонками для отображения информации о зарождении трещины и выдачи сигнала. Также была написана инструкция для технологического персонала и произведено обучение операторов.

Окно «Мониторинг» (рис. 1) является основным рабочим окном работы программы и предназначено для отображения диагностической информации. Перечень основных элементов окна:

1. Индикатор состояния поверхности слитка.
2. Индикатор временной развертки теплового поля верхнего слоя термопар кристаллизатора.
3. Индикатор временной развертки теплового поля среднего слоя термопар кристаллизатора.
4. Индикатор временной развертки теплового поля нижнего слоя термопар кристаллизатора.
5. Схематичное изображение медных стенок кристаллизатора с установленными термопарами
6. Индикаторы значений средних температур, полученных с трех слоев термопар.
7. Временные диаграммы средних температур, полученных с трех слоев термопар за 3 минуты.
8. Временные диаграммы средних температур, полученных с трех слоев термопар за 60 минут.
9. Регуляторы настройки цветовой палитры для временных разверток тепловых полей.
10. Индикаторы разницы температур между средними значениями температур, полученных с различных слоев термопар.
11. Временная диаграмма значений скорости разливки за 3 минуты.
12. Временная диаграмма значений уровня металла за 3 минуты.
13. Индикатор суммарной длины отлитой заготовки в серии.

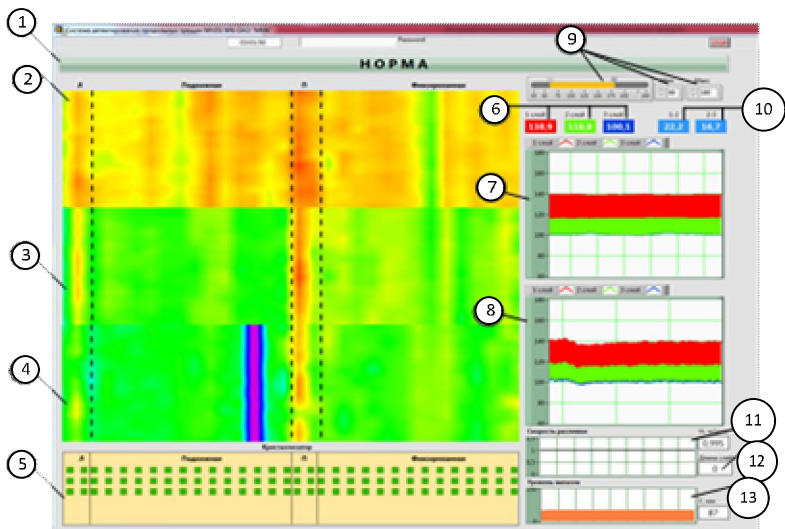


Рис. 1. Окно «Мониторинг»

При обнаружении трещины в области какого-либо столбца термопар генерируется сигнал «Трещина». При этом индикатор состояния поверхности слитка (рис. 2) становится красного цвета, появляется надпись «Трещина!»; формируется звуковой сигнал низкой тональности.

На индикаторе развертки теплового поля среднего слоя термопар кристаллизатора 3 (рис. 3) маркерами 1 указывается область наблюдения повышенной неравномерности. На индикаторе расположения термопар кристаллизатора дополнительно отображается цифровой индикатор 2 с номером столбца термопар, в области которого обнаружена повышенная неравномерность теплообмена, кроме того указанный столбец выделяется прямоугольником.



Рис. 2. Индикатор состояния поверхности слитка при обнаружении трещины в теле слитка

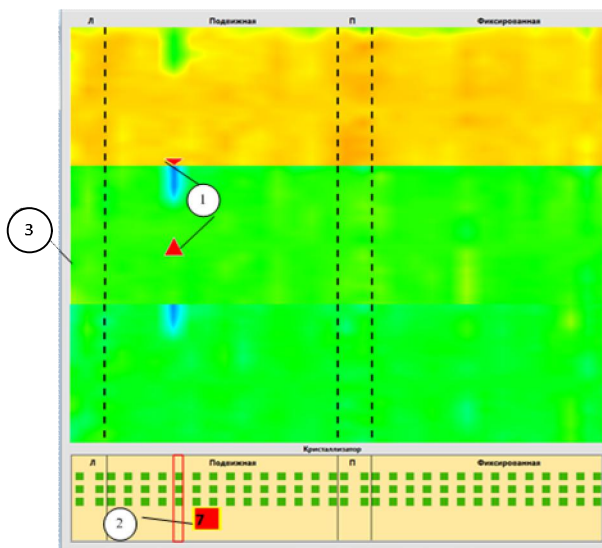


Рис. 3. Фрагмент окна «Мониторинг» при выявлении отклонения в теплообмене в области 7-го столбца термопар кристаллизатора

За отчетный период получены следующие результаты:

- Из разлитых и проинспектированных 1418 заготовок по данным отдела контроля продукции было выявлено слябов с продольной трещиной: 15 шт.;
- Всего предупреждающих сигналов «ТЕХНОАП»: 107 шт.;
- Всего снижений рабочей скорости на 0,1 м/мин при неравномерности по «MMS» с предшествующим неравномерности сигналом «ТЕХНОАП»: 17 шт.;
- Количество снижений скорости при неравномерности по «MMS» при отсутствии сигнала «ТЕХНОАП»: 5 шт.;
- Количество трещин детектированных системой «ТЕХНОАП», но без снижения рабочей скорости на 0,1 м/мин»: 4 шт.;
- Количество трещин выявленных ОКП не обнаруженных системой «ТЕХНОАП» за отчетный период: 0;
- Интервал времени между началом сигналом детектирования «ТЕХНОАП» и началом снижения скорости разливки от 10 сек. до 1 мин. 55 сек.;
- Результаты за отчетный период также приведены на рис. 4.

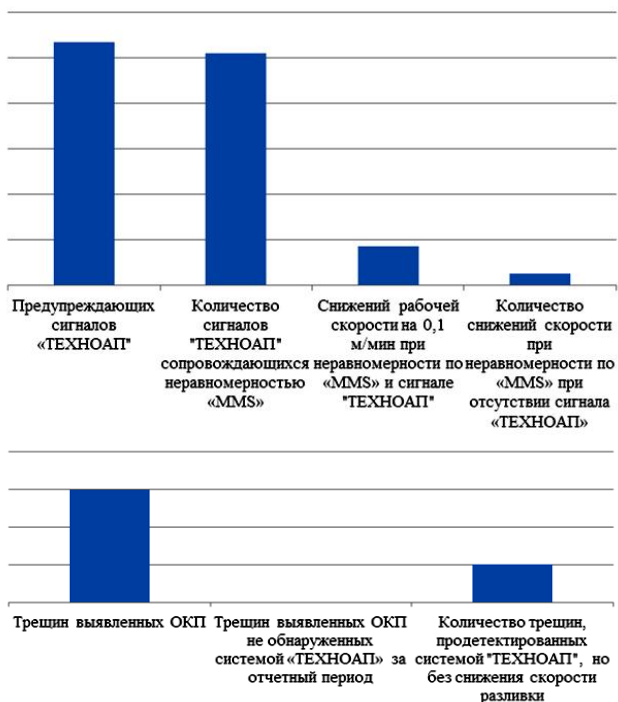


Рис. 4. Результаты за отчетный период

При смещении непрерывной трещины в правую или в левую сторону в системе повторно формируется сигналы «Трещина» фиксируемый другим столбцом термопар. С учетом этого можно принять количество сигналов «Трещина» в количестве 83 шт.(против 107 шт. раздельных).

В анализе не учтены сигналы «Трещина» в количестве 43 шт. при разливке слябов шириной 1560 мм марки стали S355JR-211 (пл. № 215613) 26.07.13 в связи с опробованием измененного ПО с отдельным алгоритмом для узких сечений (1400-1800мм).

Библиографический список

1. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали: учебник. Донецк: ДонГУ, 2011. 482 с.
2. Непрерывная разливка стали: учебное пособие / А.П. Огурцов, А.Г. Величко, Е.И. Исаев, А.В. Гресс. Днепродзержинск: ДГТУ, 1999. 306 с.

3. А.А. Апет, С.А. Обухов, Д.Ф. Сафиуллина, А.А. Гусев, П.А. Шестаков. Разработка системы автоматической диагностики продольной трещины слитка в кристаллизаторе // Электротехнические системы и комплексы – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012.- С. 340-349.
4. Исследование влияния продольных трещин в теле отливаемой заготовки на характер распределения температур по ее поверхности / Р.С. Пишнограев, С.С. Красильников, Д.Ф. Сафиуллина и др. //Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегиональной научно-технической конференции.-Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т.2.- С. 35-37.

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В
СЛОЖНЫХ МЕХАТРОННЫХ КОМПЛЕКСАХ АГРЕГАТОВ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЦЕХОВ**

Абаимов М.Ю.

ООО «Электроремонт», Магнитогорск, Россия.

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR TROUBLESHOOTING
MECHATRONIC COMPLEXES AGGREGATES OF
METALLURGICAL PLANTS**

Abaimov M.Y.

«Elektroremont», Magnitogorsk, Russia.

mikhailabaimov@yandex.ru

В статье приведен принцип построения алгоритмов для диагностики мехатронных систем на примере механизмов центровки полос на сварочной машине травильного агрегата.

Ключевые слова: *мехатроника, диагностика, алгоритм, программа, сварка полос, центрователи.*

In the article bring principle construction algorithm for diagnostics mechatronics system on example mechanism centering strips on welding pickling line.

Keywords: *mechatronics, troubleshooting, algorithm, program, strip welding, centering.*

На сегодняшний день широкое применение получили технологические агрегаты, совмещающие в себе, электронные, гидравлические, механические элементы.

Именно на стыке различных направлений решается проблема мехатроники в сфере машиностроения: создание принципиально новых видов движущихся устройств, модулей, машин и комплексов, отвечающих потребностям современных производств [1].

Однако при эксплуатации и ремонте данного оборудования применяется устаревшая система, а именно обособленный подход различных инженерных направлений к решению проблемы. Данная методика негативно сказывается на качестве сервисного обслуживания данных агрегатов, что приводит к увеличению простоев и снижению объемов выпускаемой продукции. Это является недопустимым для предприятия стремящегося снизить себестоимость продукции и увеличить свою рентабельность.

Сегодняшний подход к диагностике мехатронного оборудования подразумевает, не только работу специалиста с высокой квалификацией, но и использования им определенных алгоритмов, которые могут

быть реализованы с помощью современных программных приложений [2].

Для примера составления алгоритма взят агрегат : комплекс центрователей полосы стыкосварочной машины непрерывно-травильного агрегата №1 ЛПЦ-5 ОАО"ММК". Для непрерывного процесса травления металла во входной части линии установлена стыкосварочная машина, которая предназначена для сварки заднего и переднего концов полос горячекатаных рулонов.

Когда рулон практически полностью размотан, его хвостовая часть правится, обрезается и конечная часть рулона (хвост) передается на сварочную машину, где она останавливается для выполнения соответствующей последовательности сварки. Затем головная часть нового рулона заправляется до сварочной машины для начала цикла сварки.

Чтобы обеспечить точное позиционирование полос при сварке относительно линии травления, стыкосварочная машина оснащена пятью центрователями полосы. Следящая электрогидравлическая система привода центрователей выполняет операции сведения подвижных центрирующих упоров на величину соответствующую заданной ширине свариваемого листа. Центрователи №1,2 осуществляют установку заднего конца полосы, центрователи №4,5 переднего конца полосы. Внутренний центрователь №3 выполняет точное совмещение полос в момент электродуговой сварки. На *рис. 1* представлена схема расположения центрователей относительно стыкосварочной машины и линии агрегата.

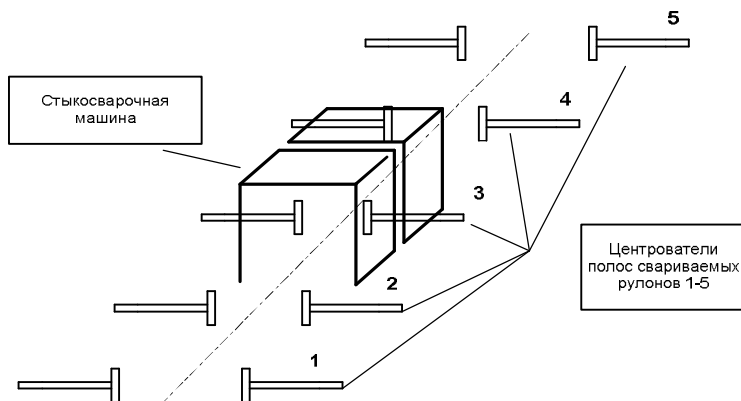


Рис. 1. Схема расположения центрователей

При вводе в эксплуатацию комплекса центрователей сервисные службы столкнулись с рядом проблем, требующих точной диагностики и своевременного устранения.

Основные проблемы: механическое заклинивание цилиндра, отсутствие давления в полости струйного гидроусилителя, в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндра, самопроизвольное движение центрователей, сбой в работе датчика положения, потеря связи со шкафом удаленной периферии, выход из строя модулей в стойках.

С целью устранения данных отказов в работе агрегата был произведен анализ гидравлических, электрических, кинематических контуров, а также определен перечень программных и технических средств, с помощью которых будет реализован алгоритм диагностики.

Для данного объекта разработаны два окна визуализации на основе приложения WinCC и рабочей программе на языке Step7. Фрагмент видеокadra механогидравлической системы представлен на *рис. 2*.

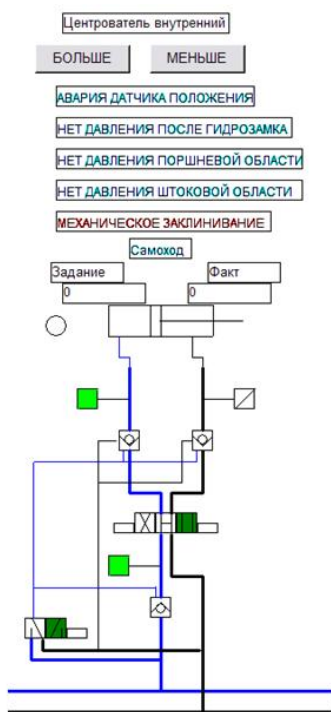


Рис.2. Фрагмент видеокadra механогидравлической системы

Цветом выделяются сигналы управления, датчики давления, положение механизма, а так же движение рабочей жидкости по гидросистеме. Датчики давления окрашиваются в зеленый цвет при достижении давления на данных участках равного 80% от давления в подающей магистрали, при отсутствии давления в красный. Гидроприводы окрашиваются в синий цвет при движении по ним рабочей жидкости. На отсечном и струйном распределителях отображаются темно-зеленым цветом сигналы управления. В верхней части экрана изображены шесть полей, информирующие о возникшей неисправности.

Отображение ширины сведения центрователя дает представление о фактическом положении механизма и его отклонении от заданного значения.

Данная страница дает возможность наблюдать за всеми процессами, происходящими в механогидравлическом контуре посредством цветового выделения элементов системы, а так же аварийными сообщениями. При возникновении аварийного сообщения программно снимаются сигналы управления с данного механизма для предотвращения его поломки [3].

Принцип диагностики основан на сборе информации с датчиков удаленной периферии, обработки их в программе диагностики, на основе разработанного алгоритма, и формировании выходных сигналов на окно визуализации. На *рис. 3* представлен алгоритм поиска неисправностей в механогидравлическом контуре.

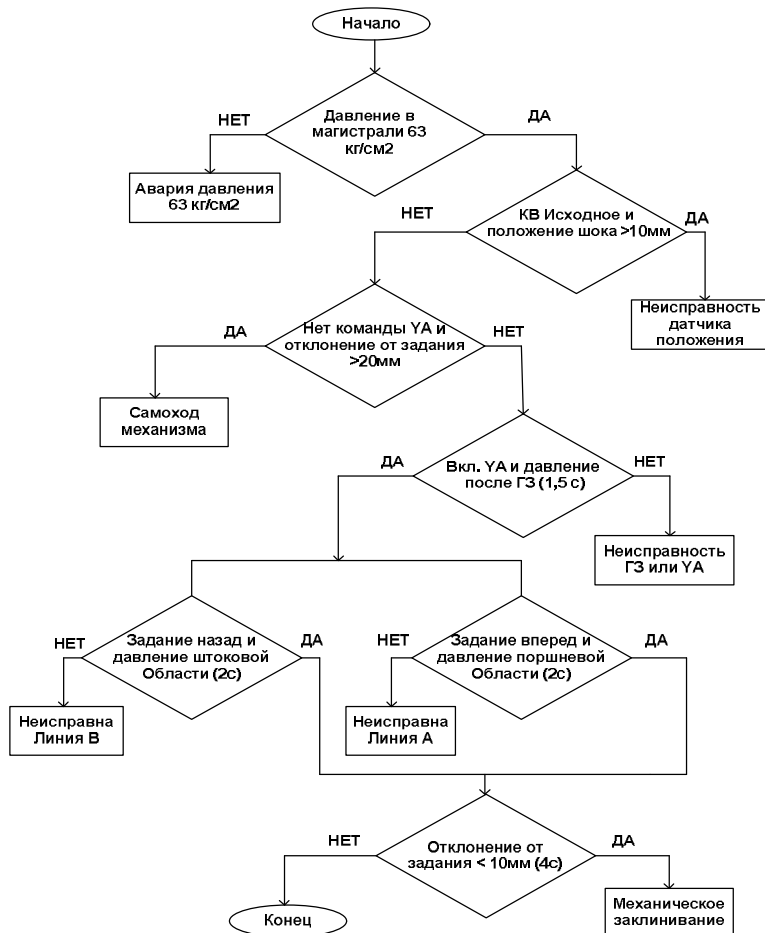


Рис. 3. Алгоритм поиска неисправностей в механогидравлическом контуре

На *рис. 4* представлен фрагмент видеокадра диагностики электрической системы.

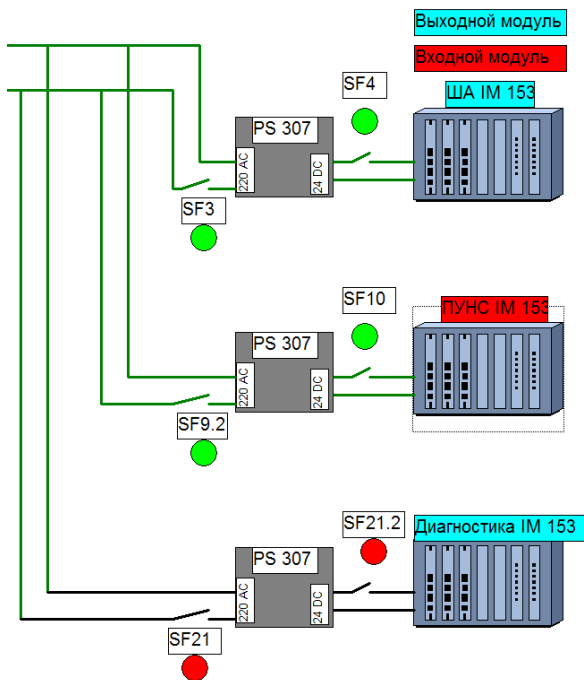


Рис. 4. Фрагмент видеокadra электрической системы

На видеокadre электрической системы выделены цветом активные линии питания, включенные автоматы, для контроля готовности аппаратной части.

Для анализа состояния связи со станциями удаленной периферии программно организован опрос аппаратной части с использованием организационного блока диагностических прерываний ОВ 82. При потере связи со станцией удаленной периферии ее название окрашивается в красный цвет и определяется тип модуля из-за которого произошло прерывание. Одновременно с типом неисправного модуля получаем конкретную информацию о возникшей ошибке. Для проверки работы программной части используется опрос с помощью организационного блока ошибок программирования ОВ 121. С помощью него определяется блок в котором произошла ошибка, а так же источник ошибки.

На рис. 5 представлен алгоритм поиска неисправностей в электрическом контуре.

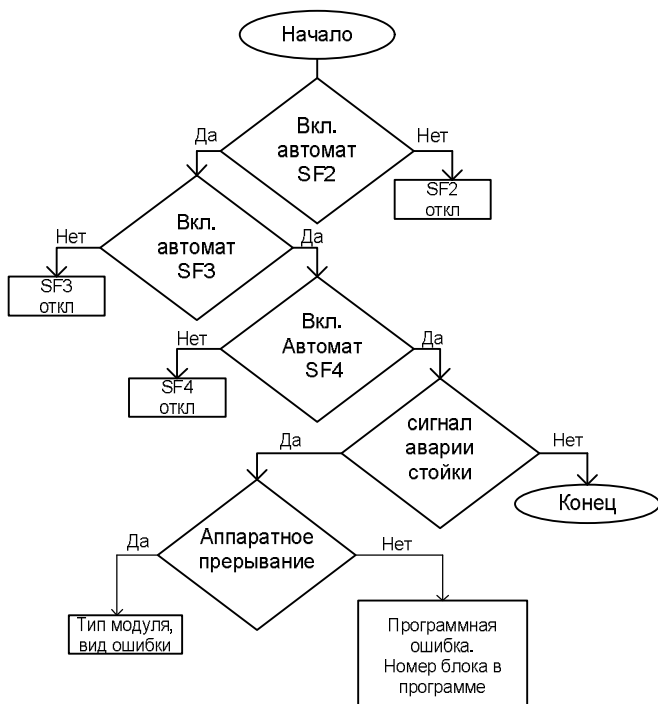


Рис. 5. Алгоритм поиска неисправностей в электрическом контуре

Разработанная система позволяет обеспечить визуализацию и контроль за технологическим процессом, локализацию причины отказа, определение источника отказа, быстрый поиск и устранение неисправностей, снижение времени простоев.

Библиографический список

1. Тахаутдинов Р.С., Бодяев Ю.А., Носов А.Д. Совершенствование технологии в ОАО ММК// Сборник научных трудов центральной лаборатории ОАО ММК – Магнитогорск: Дом печати, 2002г. - №6. - С. 93 -97.
2. Погонин А.А. Вопросы автоматизации в машиностроении. Под редакцией Погонина А.А.. Погонин А.А., Чепчуров М.С., Схиртладзе А.Г., Тимирязев В.А.- Белгород: БГТАСМ, 2004, 201с.
3. Стесин С.П. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод. – М.: Академия, 2006г. – 335 с.

**РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТЖИГА РУЛОНОВ В
КОЛПАКОВЫХ ПЕЧАХ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТА
«ИЗЛОМ» НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОСЫ**

В.М. Салганик¹, П.П.Полецков², Е.Ю. Мухина³

^{1,2,3}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия

**THE DEVELOPMENT OF NEW METHOD OF COIL ANNEALING
IN BELL-TYPE FURNACE TO DEBUG "BREAK" ON THE STRIP
SURFACE**

V.M. Salganik¹, P.P. Poletskov², E.Y. Mukhina³

^{1,2,3}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

³mukhinaeu@mail.ru

На ОАО «ММК» разработана технология термической обработки рулонов холоднокатаной полосы, позволяющая улучшить качество поверхности готового проката.

Ключевые слова: термическая обработка, дефект «излом», внутренние напряжения, печи с водородной защитной атмосферой.

A technology of cold rolled coil thermal processing, which allows to improve the surface quality of finished products has been developed at "ММК" OJSC.

Keywords: thermal processing, defect "break", the internal stresses, hydrogen protective atmosphere furnace.

Дефект «излом» - это повреждение (изменение) поверхности проката вследствие слипания витков полосы при отжиге рулонов. Выглядит в виде темных шероховатых полос и разветвленных линий, расположенных преимущественно под углом 45 градусов к направлению прокатки и дрессировки, образовавшихся вследствие местных напряжений, превышающих предел текучести металла [1-5]. Причиной его появления является слипание-сварка витков полосы в рулоне при отжиге из-за высоких температур и контактных напряжений сжатия, малой шероховатости поверхности холоднокатаной полосы.

Основным направлением проведённого исследования является разработка мероприятий в области термической обработки холоднокатаных полос с применением моделирования внутренних напряжений, возникающих в рулоне в процессе нагрева и охлаждения, в программной среде Deform-3D.

DEFORM [6] – специализированный инженерный программный

комплекс, предназначенный для анализа процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки. DEFORM позволяет проверить, отработать и оптимизировать технологические процессы непосредственно за компьютером, а не в ходе экспериментов на производстве методом проб и ошибок. Благодаря этому существенно сокращаются сроки выпуска продукции, повышается ее качество и снижается себестоимость. Разработан американской компанией Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC), являющейся лидером в области моделирования процессов обработки металлов давлением.

DEFORM позволяет моделировать практически все процессы, применяемые в обработке металлов давлением (ковка, штамповка, прокатка, прессование и др.), а также операции термической обработки (закалка, старение, отпуск и др.) и механообработки (фрезерование, сверление и др.).

Режимы отжига, применяемые для металла в условиях ЛПЦ-5 ОАО «ММК», приведены в *табл. 1*.

Таблица 1 - Режимы отжига холоднокатаного металла в печах с водородной защитной атмосферой фирмы «Эбнер»

Способность к вытяжке	Температура по зональной термопаре, °С	Температура по стендовой термопаре, °С	Температура ядра в конце нагрева, °С	Продолжительность регулируемого охлаждения по стендовой термопаре, ч		Продолжительность выдержки под нагревательным колпаком, ч
				до 640 °С	от 640 до 600 °С	
ВОСВ	820	710	690	4	3	5
ОСВ	820	700	680	4	3	5
СВ	820	680	660	3	3	5
ВГ, Г	820	670	650	2	3	5

Эти режимы базируются на принципе медленного (регулируемого с подачей тепла и без подачи под колпаком) охлаждения для снижения сжимающих напряжений в теле рулонов при остывании после отжига. Тем самым предотвращается свариваемость витков металла.

В программной среде Deform-3D был проанализирован уровень внутренних напряжений в рулонах при таких режимах отжига [7].

На основании моделирования был предложен другой принцип формирования режимов рекристаллизационного отжига, сущность которого заключается в снижении внутренних напряжений не только в процессе остывания, но и в процессе нагрева. Для этого предлагается снизить температуру по зональной термопаре и градиент температур между стендовой термопарой и ядром рулона. Для гарантированной процедуры рекристаллизации температура ядра остается прежней. Ос-

тивание металла после отжига ограничивается технологией используемой для обычного металла (выдержка под колпаком до 5 часов). Предлагаемые режимы представлены в *табл. 2*.

Таблица 2 - Предлагаемые режимы отжига
холоднокатаного металла

Способность к вытяжке	Температура по зональной термопаре, °С	Температура по стендовой термопаре, °С	Температура ядра в конце нагрева, °С	Продолжительность выдержки под нагревательным колпаком
ВОСВ	790	700	690	от 3,8 до 6 часов в зависимости от толщины полосы
ОСВ	780	690	680	
СВ	780	670	660	
ВГ, Г	770	660	650	

Результаты моделирования внутренних напряжений в среде Deform-3D при предлагаемых режимах отжига представлены на *рис. 1*.

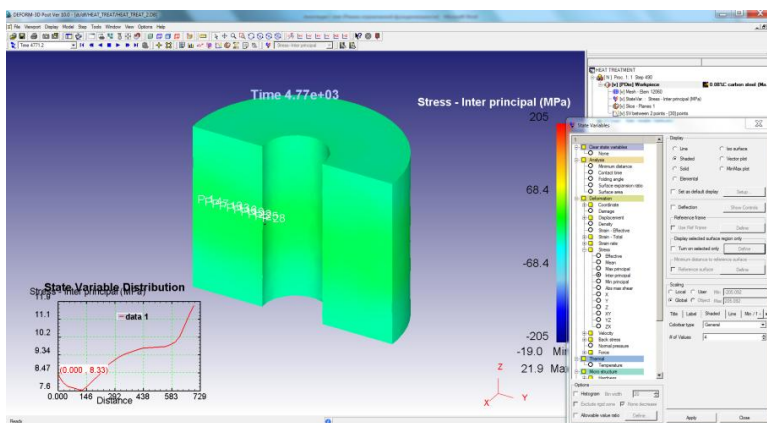


Рис. 1. Фрагмент расчетов полей напряжений в теле рулона в программной среде Deform-3D для случая предлагаемого режима отжига

Расчетный уровень внутренних напряжений представлен в *табл. 3*. Были получены положительные результаты (*табл. 4*). Кроме того, за счет исключения регулируемого охлаждения в процессе остывания металла после отжига при опытном варианте режима термической обработки не задействована работа исполнительного механизма управления процессом в колпаковой печи, что увеличивает ресурс службы оборудования (при регулируемом охлаждении этот механизм срабатывает в среднем 15 раз) [8].

Таблица 3 - Расчетные внутренние напряжения в теле рулона при различных режимах отжига

Операция отжига	Внутренние напряжения, МПа			
	Существующий режим отжига		Предлагаемый режим отжига	
Нагрев	-31	+29	-12	+19
Выдержка	0		0	
Охлаждение	+28	-13	+14	-16
"+" - растягивающие, "-" – сжимающие				

Таблица 4 - Результаты применения новых режимов отжига

№	Параметр	Режим отжига	
		Опытный	Существующий
1	Средняя продолжительность отжига, ч	57,81	58,09
2	Количество отоженного металла, т	782,52	786,57
3	Отсортировка по дефекту «излом», т	22,17	36,94
	%	2,83	4,70

Выводы

1. В программной среде Deform-3D проанализирован уровень внутренних напряжений в рулоне в процессе отжига.

2. На основании моделирования в среде Deform-3D были разработаны новые режимы отжига в колпаковых печах с водородной атмосферой, отличающиеся сниженным уровнем внутренних напряжений.

3. Применение разработанных режимов снижает вероятность образования дефекта «излом» в 1,7 раза и увеличивает ресурс службы исполнительных механизмов управления процессом.

Библиографический список

1. Мелешко В. И., Качайлов А. П., Кудин Д. П. Поперечные изломы на предварительно изогнутой растягиваемой полосе. // В кн.: Прокатное производство (ИЧМ). М.: Металлургия. 1971. Том XXXV. -С. 70-75.

2. Чернов П. П., Сосулин В. П., Лялько Н. А. и др. Уменьшение изломов на холоднокатаном металле. // Черная металлургия. Бюл. Инта Черметинформация. 1979. № 9. -С. 34-35.

3. Мелешко В. И., Качайлов А. П., Ксензук Ф. А., и др. Уменьшение изломов полосы при рулонной дрессировке. // Сталь. 1969. № 6. - С. 537-540.

4. Файнберг Л. Б., Радюкевич Л. В., Колов М. И., и др. Уменьшение дефекта "излом" при рулонном способе производства холоднокатаного автолиста // Металлург. 1971. № 4. -С. 25-26.

5. Смирнов П. Н., Девятченко Л. Д., Елесин П. З. и др. Уменьшение изломов отожженной полосы при размотке рулонов. // Черная металлургия: Бюл. НТИ. 1978. № 21 (833). -С. 37.

6. Современные технологии в промышленности. Инженерные программы [Электронный ресурс]. – Режим доступа (свободный): <http://www.thesis.com.ru> . -Заглавие с экрана.

7. Салганик В.М., Полецков П.П., Мухина Е.Ю. Улучшение качества поверхности холоднокатаных полос // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №5. С. 146 – 149.

8. Мухина Е.Ю., Полецков П.П. Оптимизация процесса термической обработки холоднокатаных полос // 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.

**МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕРНОГО
ОТПЕЧАТКА НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ГИСТОГРАММЫ ЯРКОСТИ**

И.А. Посохов¹, О.С. Логунова²

*^{1,2} ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск, Россия*

**CLASSIFICATION METHOD OF SULFUR PRINT IMAGE BASED
ON CHARACTERISTICS OF HISTOGRAM**

I.A. Posokhov¹, O.S. Logunova²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

¹posohof@gmail.com, ²logunova66@mail.ru

Приведены особенности изображений образцов используемых при оценке качества полуфабрикатов и готовой продукции в металлургической промышленности. Выдвинута гипотеза о возможности разделения изображений на три класса. Построена методика классификации изображений по гистограмме яркости. Методика была опробована в ходе вычислительного эксперимента. Ил.7. Табл. 2. Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: *изображение, гистограмма, принятие решения.*

Enumerated the features of image samples used in assessing the quality of semi-finished and finished products in the metallurgical industry. Hypothesized the possibility of dividing the image into three classes. Introduced the image classification method based on the histogram. Method has been tested in the computational experiment. Images 7. Tables 2. Refs. 11.

Keywords: *image, histogram, decision-making.*

**Краткий теоретический анализ проблемы исследования
изображений металлургической продукции**

Современное промышленное производство выдвигает новые требования к системам управления многостадийными производствами. Эти требования обусловлены внедрением новых приоритетных направлений, определенных государственной политикой в России. Одно из таких направлений – развитие информационно-телекоммуникационных технологий, которые являются неотъемлемой частью автоматизированных систем управления (АСУ) производством крупных промышленных предприятий. Использование новых модулей АСУ для многостадийных производственных процессов способствует повышению

эффективности функционирования агрегатов и обеспечивает снижение доли продукции пониженного качества [1, 2].

При разработке и внедрении новых модулей, дополняющих существующие АСУ производства, появляется необходимость использования графической информации, получаемой в ходе оценки качества готовой продукции и полуфабрикатов.

В области теории и практики использования графической информации и принятия решений в условиях АСУ производств накоплен значительный положительный опыт. Вопросы получения, обработки и сегментации изображений отражены в трудах зарубежных и российских исследователей. Труды [3 – 5] определили развитие математической теории в области обработки графической информации.

Однако, несмотря на проведенные исследования и значительное число публикаций в области обработки графической информации, остаются актуальной проблема: отсутствие комплексных методик, позволяющих выполнять автоматическую обработку изображений, характерных при формировании базы данных информации и качестве металлургической продукции.

В сложившихся условиях возникает необходимость в разработке автоматической гибкой системы обработки изображений, включающей отделение фона и объекта исследования, а также идентификации в пределах выделенного объекта исследования элементов, соответствующих нарушению сплошности образца.

Определение цели и задач исследования

Учитывая проблемы оценки исходных изображений для металлургической продукции, была определена цель исследования как совершенствование существующих методов и средств анализа обработки графической информации металлургической продукции для ее последующего использования в управлении системой многостадийного производства непрерывнолитой заготовки.

Для достижения цели авторами работы решаются задачи:

- проведение теоретико-информационного и теоретико-множественного анализа многостадийного производства непрерывнолитой заготовки и определение возможности и необходимости внедрения в систему управления производством эргатического модуля анализа изображения серного отпечатка;

- построение комплекса методик, включающего алгоритмы анализа графической информации на основе классификации изображений по гистограмме яркости, автоматического отделения фона от объекта исследования, классификацию и идентификацию объектов на изображении, соответствующих нарушению сплошности заготовки;

– построение методики экспертной оценки информации и принятие решений с использованием результатов идентификации объектов на изображениях.

В рамках представляемой статьи представлена методика анализа графической информации на основе классификации изображений по гистограмме яркости.

Характеристика набора исходных изображений для оценки качества

По результатам пассивного экспериментального исследования, включающего сбор графической информации о качестве непрерывнолитой заготовки была сформирована база данных, содержащая 32 серных отпечатка. Изображения представляют собой оцифрованные серные отпечатки непрерывно литой заготовки (рис. 1). Размер серного отпечатка составляет в среднем 175×230 мм.

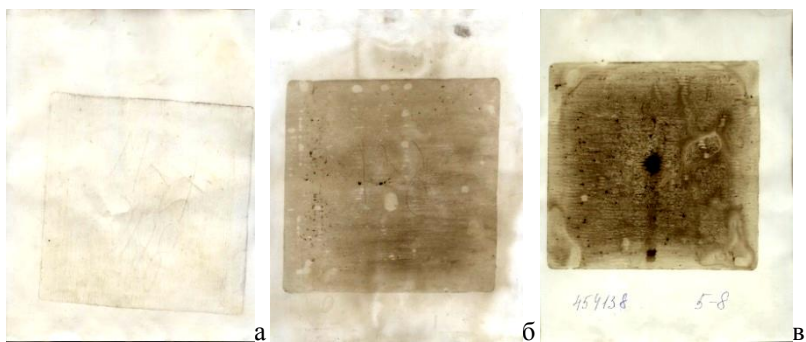


Рис. 1. Изображения серных отпечатков поперечных темплетов непрерывнолитой заготовок квадратного сечения: а – типовое изображение группы А с незначительным отличием яркости фона и объекта исследования; б - типовое изображение группы В со средним отличием яркости фона и объекта исследования; в - типовое изображение группы С с резким отличием яркости фона и объекта исследования

В ходе визуального анализа всех изображений было выявлено две особенности:

– изображение отпечатка всегда содержит объект исследования (непосредственно изображение поперечного сечения заготовки размером 100×100 мм) и окружающий фон, причем положение поперечного сечения (изучаемого объекта) является неопределенным (рис. 2);

– все изображения можно разделить на три группы по отношению яркости объекта исследования и фона изображения. Типовые изобра-

жения каждой групп в порядке возрастания этого отношения приведены на рис. 1.

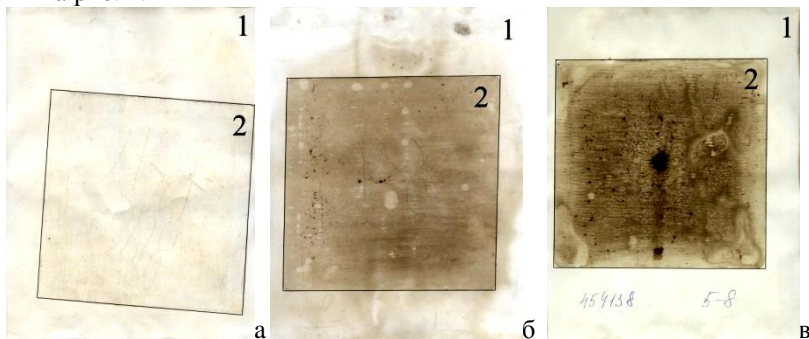


Рис. 2. Структура исследуемых изображений в терминах «Объект исследования – Фон»: а,б,в – номером 1 обозначен фон, номером 2 – объект исследования

Для сокращения объемов интерактивного определения области непосредственного исследования принято решение о построении алгоритма автоматического выделения этой области. Для автоматического поиска объекта на изображении многими авторами [9-10] предлагается использовать методы, основанные на сегментации изображений. Наиболее простым представителем методов сегментации является пороговая обработка. Данный метод применим для изображений содержащих известное число однородных по яркости классов точек, распределение вероятностей которых унимодальны. Кроме этого, граничные участки между замкнутыми областями должны занимать сравнительно небольшую площадь изображения.

Предлагается также применить методы сегментации на основе выделения границ (контуров). Методы требуют, чтобы между областями изображения существовал резкий перепад яркости, что характерно не для всех исходных изображений.

Поэтому авторы работы предлагают классифицировать изображения по гистограмме яркости преобразованного полутонового изображения.

Гистограммы яркости и преобразование изображения в полутоновое

Авторами работы предварительно был проведен анализ гистограмм яркости для каждого канала пространства RGB¹ и гистограмм

¹ В RGB модели каждый цвет представляется красным, зеленым и синим первичными основными цветами (компонентами).

яркости преобразованного полутонового изображения. Исходные растровые изображения серных отпечатков являются полноцветными и представлены в цветовой модели RGB с глубиной цвета 24 бита на пиксель и приводятся к полутоновым изображениям с глубиной цвета 8 бит на пиксель. Под полутоновыми изображениями в контексте работы понимаются изображения в оттенках серого. Каждый пиксель такого изображения содержит информацию об интенсивности (яркости). Суммарное число возможных градаций яркости для 8-битового полутонового изображения составляет $2^8 = 256$. Минимальное значение яркости – 0 соответствует черному цвету, максимальное – 255 соответствует белому цвету.

Основная стратегия преобразования полноцветного изображения в полутоновое заключается в использовании принципов фотометрии для сопоставления яркости изображения в оттенках серого и яркости исходного цветного изображения [6]. Яркость результирующего пикселя вычисляется как взвешенная сумма трех значений интенсивности модели RGB. Веса цветовых компонент выбраны в соответствии со стандартом ITU-R BT.709, который учитывает особенности человеческого восприятия, большая чувствительность к зеленому цвету и меньшая к синему:

$$Y = 0,2126 \cdot R + 0,7152 \cdot G + 0,0722 \cdot B,$$

где Y – яркость результирующего пикселя; R, G, B – значения цветовых компонент пикселя исходного изображения [7].

Гистограммой цифрового изображения называется дискретная функция

$$h(r_k) = n_k,$$

где r_k – k -ый уровень яркости; n_k – количество пикселей изображения с яркостью r_k [4]. Для 8-битового изображения k изменяется в пределах [0; 255].

На рис. 3 – 5 приведены гистограммы для типовых изображений серных отпечатков, приведенных на рис. 1 каждого класса. На рис. 3-5 введено обозначение: N – количество пикселей на изображении заданного канала, тыс. шт. Для каждой группы изображений были получены гистограммы, имеющие характерные отличия в форме:

– гистограммы изображений группы А унимодальны, так как фон и объект исследования имеют сравнительно одинаковую яркость. Значимые уровни яркости занимают узкую (10÷15% в диапазоне [215, 255]) полосу, показывая, что изображения имеют низкий контраст.

Полоса смещена к левому краю, что свидетельствует о высокой яркости изображений;

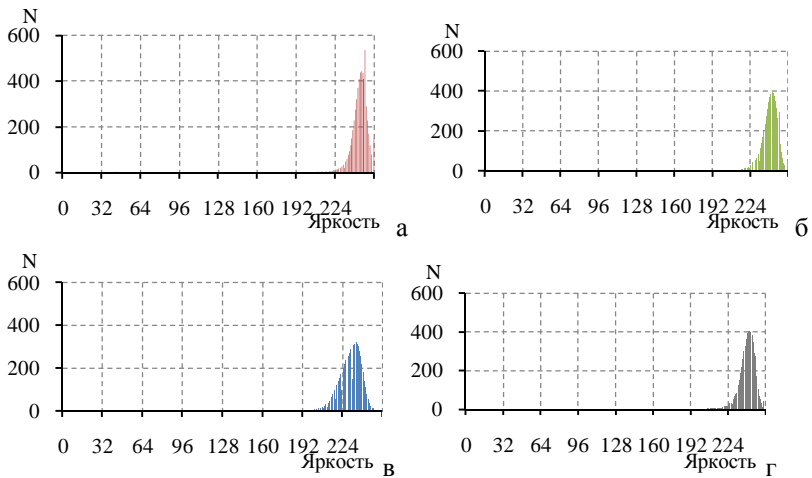


Рис. 3. Гисторагмы для изображения группы А: а – гисторагма для красного канала; б – гисторагма для зеленого канала; в – гисторагма для синего канала; г – гисторагма полутонового изображения

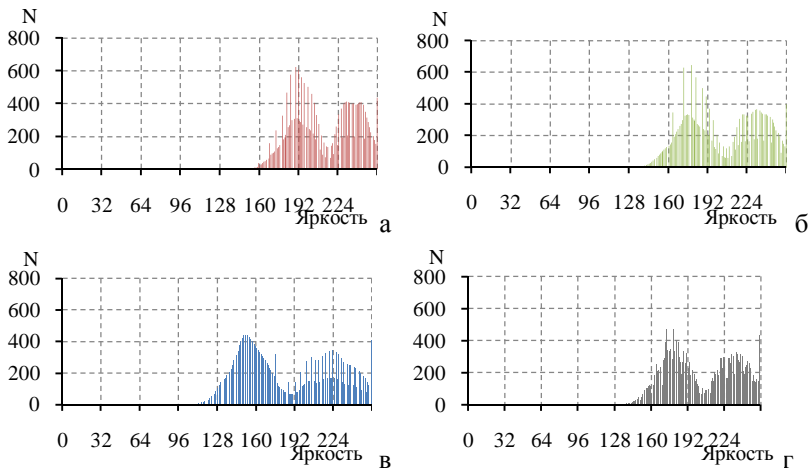


Рис. 4. Гисторагмы для изображения группы В: а – гисторагма для красного канала; б – гисторагма для зеленого канала; в – гисторагма для синего канала; г – гисторагма полутонового изображения

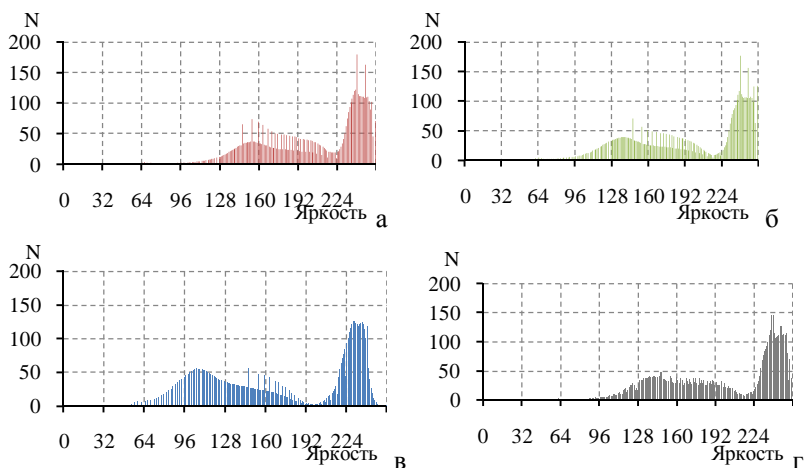


Рис. 5. Гистограммы для изображения группы С: а – гистограмма для красного канала; б – гистограмма для зеленого канала; в – гистограмма для синего канала; г – гистограмма полутонового изображения

– для гистограмм изображений группы В характерно наличие двух выраженных пиков, сопоставимых по площади, так как фон и объект исследования имеют различную яркость. Значимые уровни яркости занимают полосу шириной 40÷50% в диапазоне [140, 255] – изображение имеет нормальную контрастность;

– гистограммы изображений группы С также имеют два пика, однако левый пик занимает более широкую полосу и меньшее максимальное значение. Фон и объект исследования имеют существенно отличающуюся яркость. Ширина полосы значимых уровней яркости 70% в диапазоне [80, 255], что соответствует высококонтрастному изображению.

Таким образом, оценка полученных гистограмм по каждой группе показала, что:

– гистограмма полутонового изображения является достаточной для классификации изображений, так как отклонение положений порога и максимумов канальных гистограмм по сравнению с гистограммой полутонового изображения составляет не более 15%;

– начальное предположение о разделении выборки изображений на три группы подтверждена результатами вычислительного эксперимента и появилась необходимость в разработке методики идентификации формы гистограммы изображении серного отпечатка.

Методика идентификации формы гистограммы яркости серого отпечатка

Для отнесения гистограммы к одному из классов изучены методы нахождения порогового значения по источникам [3-5,8,11]. Согласно этим источникам пороговое значение – это величина яркости, относительно которой гистограмма делится на две части.

Разделение гистограммы на две части позволяет найти максимумы яркости каждой части. Поиск порогового значения яркости основан на использовании метода Оцу [8]. Метод позволяет разнести пиксели изображения на два класса, рассчитывая такой порог, чтобы внутриклассовая дисперсия была минимальной. Такая дисперсия выражается через взвешенную сумму дисперсий двух классов:

$$\sigma_{\omega}^2(t) = \omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t), \quad (1)$$

где веса ω_i – это вероятности двух классов, разделенных порогом t ; σ_i^2 – дисперсия этих классов.

Вероятность для каждого уровня интенсивности рассчитывается как:

$$p(t) = \frac{n(t)}{N}, \quad (2)$$

где $n(t)$ – количество пикселей изображения с яркостью t ; N – общее количество пикселей изображения.

Автор метода [8] доказал, что минимизация дисперсии внутри класса равносильна максимизации дисперсии между классами

$$\sigma_b^2(t) = \sigma^2 - \sigma_{\omega}^2(t) = \omega_1(t)\omega_2(t)[\mu_1(t) - \mu_2(t)]^2, \quad (3)$$

где μ_i – среднее арифметическое класса.

После применения метода Оцу и нахождения значения порога яркости методика предполагает нахождение положения максимумов дискретной функции для каждой части гистограммы. Блок-схема методики классификации изображений низкой контрастности на основе гистограммы яркости приведена на рис. 6. Поиск выполнен простым перебором значений дискретной функции гистограммы в каждой ее части.

В блок-схеме приведенной на рис. 6 подпроцесс «Получение изображения» включает в себя чтение полноцветных изображений серных отпечатков непрерывнолитой заготовки с носителя и размещение его в памяти в виде массива пикселей.

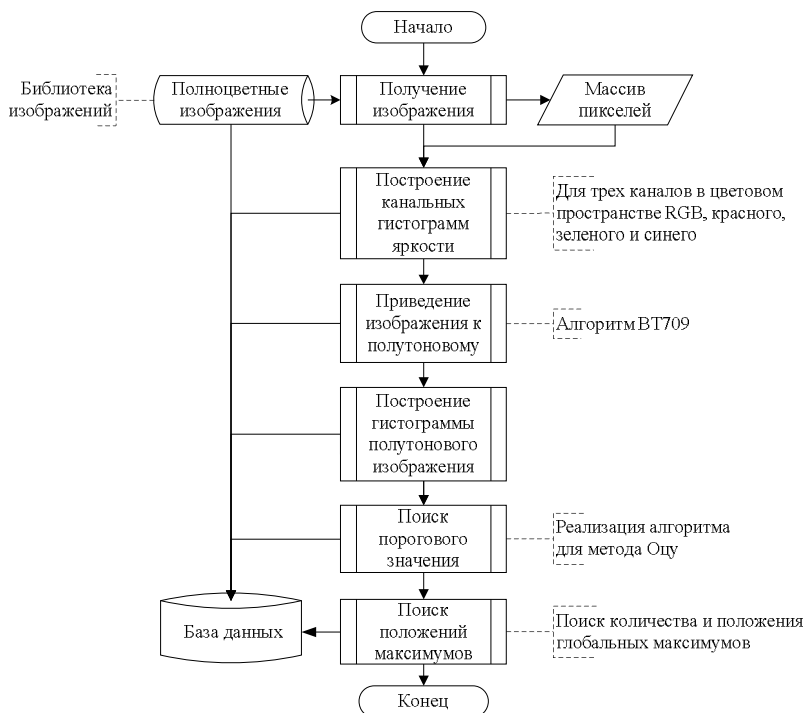


Рис. 6. Блок-схема методики классификации изображений на основе гистограммы яркости

Подпроцесс «Построение канальных гистограмм яркости» выполняет построение гистограммы яркости для каждого из трех каналов в цветовом пространстве RGB, красного, зеленого и синего. В подпроцессе «Изображение к полутоновому» происходит преобразование изображения из полноцветного в полутоновое, используя алгоритм ВТ709. За ним следуют подпроцессы «Построение гистограммы полутонового изображения» для построения гистограммы изображения полученного на предыдущем шаге. Действия, входящие в подпроцессы «Поиск порогового значения» и «Поиск положений максимумов», представлены на блок-схеме (рис. 7).

В результате применения методики формируется база данных, которая содержит следующие сведения: исходное изображение, полутоновое изображение, дискретные функции для построения гистограмм для красного, зеленого и синего канала, а также полутонового изображения, пороговое значение и значения максимумов в обеих частях гистограммы.

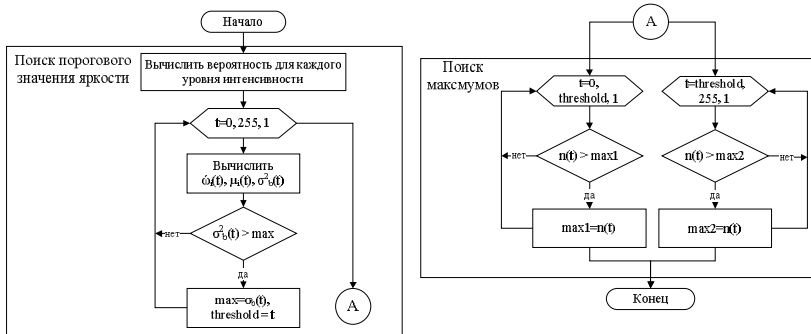


Рис. 7. Блок схема поиска порогового значения яркостности и максимумов дискретной функции гистограммы изображений

Результаты тестирования методики классификации изображений на основе гистограммы яркости

Для разработанной методики были проведены вычислительные эксперименты для всех собранных изображений. Для изображений, приведенных на рис. 1 были получены результаты, приведенные в табл. 1.

В табл. 1 введены обозначения: T_r, T_b, T_g, T_{gs} – значение дискретной функции для порога яркости для каждого канала и полутонового изображения; $M_{1r}, M_{1b}, M_{1g}, M_{1gs}$ – значение максимума слева от порога яркости дискретной функции гистограммы для каждого канала и полутонового изображения; $M_{2r}, M_{2b}, M_{2g}, M_{2gs}$ – значение максимума справа от порога яркости дискретной функции гистограммы для каждого канала и полутонового изображения; r, b, g – индексы для обозначения цветowych каналов соответственно красного, синего и зеленого; gs – индекс соответствия полутоновому изображению.

В табл. 2 приведены результаты классификации изображений, включенных в общую базу данных на основе разработанной методики.

Таблица 1 – Результаты оценки порога яркости и максимальных значений дискретной функции для тестовых изображений

Изображение	Красный канал			Зеленый канал			Синий канал			Полутоновое		
	T_r	M_{1r}	M_{2r}	T_g	M_{1g}	M_{2g}	T_b	M_{1b}	M_{2b}	T_{gs}	M_{1gs}	M_{2gs}
Рис. 1а	219	212	248	224	201	242	227	226	234	217	196	245
Рис. 1б	214	189	255	178	205	255	190	151	255	206	179	254
Рис. 1в	199	154	240	194	146	240	177	146	230	217	145	241

Таблица 2 – Результаты классификации полутоновых изображений серных отпечатков поперечного сечения непрерывнолитой заготовки

Группа	Количество изображений	Значение показателей					
		Порог яркости		Максимум слева		Максимум справа	
		минимум	максимум	минимум	максимум	минимум	максимум
А	4	216	223	193	211	239	254
В	21	193	231	147	218	233	254
С	7	217	240	145	239	236	247

Таким образом, для принятия решения об отнесении изображения к одной из групп (А, В или С) можно построить функцию принадлежности адаптивного вида:

$$R = \sum_{i=0}^3 i \left((T_{i \min} \leq T \leq T_{i \max}) \wedge (m_{i \min} \leq m \leq m_{i \max}) \wedge (M_{i \min} \leq M \leq M_{i \max}) \right), \quad (4)$$

где R – множество возможных решений, состоящее из четырех элементов {0, 1, 2, 3}, значение которого соответствуют группам изображений: 1 – группа А; 2 – группа В; 3 – группа С; 0 – группа, объединяющая изображения не входящие ни в одну из групп классификации; T, m, M – количественные характеристики гистограммы изображения, выбранного для классификации: порог, максимум слева и максимум справа соответственно; $T_{i \min}$, $T_{i \max}$, $m_{i \min}$, $m_{i \max}$, $M_{i \min}$, $M_{i \max}$ – эмпирические границы диапазона порога, максимума слева и максимума справа, определенные на основе эмпирического исследования и адаптируемые при обучении системы принятия решения о классификации изображений.

Заключение

Таким образом, авторами по результатам визуального анализа была выдвинута гипотеза о возможности разделения изображений серных отпечатков непрерывнолитой заготовки на три класса. Для классификации изображений была построена методика классификации изображений по гистограмме яркости, учитывающая ее основные характеристики – значения порога яркости, максимум слева и справа.

Построенная методика была опробована в ходе вычислительного эксперимента, по результатам которого выполнено построение адаптивной функции принадлежности изображений к выбранным классам. Адаптация функции возможна в реальном времени при расширении базы данных изображений серных отпечатков в автоматическом режиме. В результате проведенного вычислительно эксперимента показано, что нет оснований для отклонения гипотезы о разделении исходных изображений на три класса.

Библиографический список

1. Logunova, O.S. Integrated system structure of intelligent management support of multistage metallurgical processes / O.S. Logunova, I.I. Matsko, I.A. Posochov. – Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university, 2013. – № 5. – Pp. 50 – 55.

2. Логунова, О.С. Система интеллектуальной поддержки процессов управления производством непрерывнолитой заготовки: монография / О.С. Логунова, И.И. Мацко, И.А. Посохов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – 175 с.
3. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИ-НОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
4. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
5. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.
6. Poynton, C. Rehabilitation of gamma / Charles Poynton. – Photonics West'98 Electronic Imaging. International Society for Optics– 1998.
7. A Standard Default Color Space for the Internet – sRGB / M. Stokes, M. Anderson, S. Chandrasekar, R. Motta., 1996. URL: <http://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB.html>(дата обращения 06.01.2014)
8. Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms/ Nobuyuki Otsu. – IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62-66.
9. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.
10. Волков, В.Ю. Выделение прямолинейных кромок на зашумленных изображениях / В.Ю. Волков, Л.С. Турецкий, А.В. Онешко. – Информационно-управляющие системы. – 2011. – № 4. – С. 13–17.
11. Ridler, T.W. Picture thresholding using an iterative selection method / T.W Ridler, S. Calvard. – IEEE Trans. System, Man and Cybernetics– 1978, SMC-8: 630-632.

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТНОЙ
ПРОДУКЦИИ НА АГРЕГАТЕ НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО
ЦИНКОВАНИЯ**

И.Г. Самарина

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

**ANALYSIS OF THE DEFECTIVE PRODUCTS OCCURRENCE
REASONS AT THE CONTINUOUS HOT-DIP GALVANIZING UNIT**

I.G. Samarina

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
ig_samarina@inbox.ru*

Рассмотрены проблемы управления тепловым режимом протяжной печи, связанные с получением некондиционной продукции, на примере системы управления процессом нагрева полосы на агрегате непрерывного горячего оцинкования в цехе покрытий ОАО «ММК».

Ключевые слова: *протяжная печь для отжига полосы, светлый отжиг, модель, оцинкование, анализ качества продукции*

Zinc-coated rolled sheet received on the unit of continuous hot galvanizing is in great demand. One of the major objects during the galvanization process is to provide technologically preset heating modes infringement which can lead to defects of a strip.

Keywords: *Strand type furnace, bright annealing, model, hot dip galvanizing, product quality analysis*

Часто по числу дефектов или объему дефектной продукции судят о проблемах ведения технологического процесса. То есть, кроме основных параметров процесса, по которым ведется регулирование, используют альтернативные признаки.

Нарушение технологически заданных режимов нагрева может привести к возникновению дефектов полосы, доля которых по отдельным отчетным периодам достигает 7 % от всей производимой на АНГЦ-1 оцинкованной стали ОАО «ММК». На одном рулоне готовой продукции может присутствовать одновременно несколько типов дефектов. Распределение некондиционной продукции по типам дефектов, предположительно не связанных с механической обработкой листа, показано на рис. 1.

Из рисунка видно, что 82% всех дефектов связаны с наплывом цинка и непроцинковкой полосы. На анализе причин этих дефектов

следует сосредоточить внимание, как на наиболее значимых, причем 79% дефектных рулонов изготовлены из стали марки 08ПС [1,3,4].

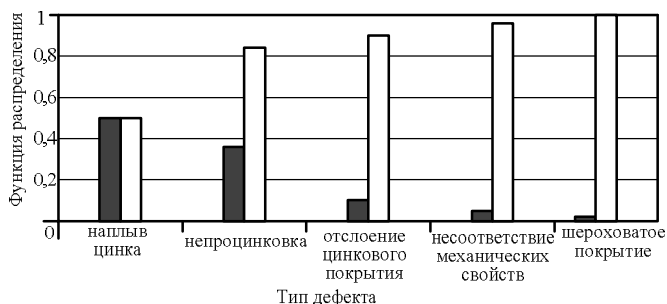


Рис. 1. Распределение некондиционной продукции по типам дефектов: темный цвет – функция плотности распределения; светлый – интегральная функция распределения

Но выявить основные источники брака, еще не значит определить его причины. Так как причин может быть много, как и факторов, вызывающих эти причины. Прежде, чем искать причины, необходимо обозначить наиболее вероятные факторы, которые эти причины инициируют. Японский ученый К. Исикава первым предложил методику поиска причин, которая называется диаграммой Исикавы. Эта диаграмма имеет еще несколько названий: диаграмма причин и результатов, диаграмма “речных притоков”, диаграмма “рыбий скелет”. Последние два названия связаны с графической интерпретацией диаграммы [2].

Рассмотрим построение диаграммы Исикавы, рис. 2.

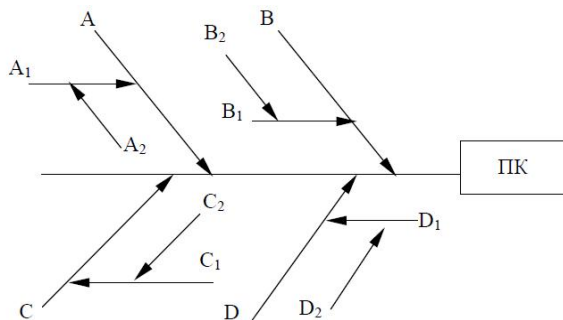


Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма с разделением причин по уровням



Рис. 3. Диаграмма Исикавы для анализа причин возникновения дефектов полосы на АНГЦ

На первом этапе необходимо выделить (сформулировать) проблему. Например, выход за пределы допуска размера параметра качества. График диаграммы похож на скелет рыбы, на котором центральный хребет представляет собой анализируемый показатель качества (ПК), а большие кости скелета, направленные к хребту почти вертикально (но с небольшим наклоном назад, от головы, где сформулирована проблема), представляют собой главные причины (А, В, С, D), которые могут привести к отклонению показателя качества.

К главным причинам (костям) под углом проводятся горизонтальные отрезки причин второго порядка (А1, В1, С1, D1), третьего (А2, В2, С2, D2) и т.д. Количество второстепенных костей, соответствующих причинам низшего порядка значимости, зависит от глубины дальнейшего анализа.

На втором этапе команда специалистов методом “мозгового штурма” выделяет наиболее вероятные (главные и второстепенные) причины отклонений показателя качества.

На третьем этапе производится сортировка причин по их предполагаемой значимости (вероятности). При сортировке можно использовать диаграмму Парето (рис. 1) с целью экспериментальной проверки в первую очередь тех вероятных причин, суммарная значимость которых превышает 75-80 %.

На четвертом этапе разрабатываются мероприятия по экспериментальной проверке этих причин. Анализ и проверка продолжаются, пока не будут выяснены истинные причины отклонения показателя. При длительных безуспешных поисках выделенных причин целесообразно вернуться к диаграмме и определить новые направления поиска. Процесс поиска можно считать законченным, если издержки производства по данному показателю качества снизились в 2-5 раз.

Составим диаграмму Исикавы для анализа причин возникновения дефектов полосы на АНГЦ, рис. 3.

Причины возникновения дефектов на АНГЦ можно отсортировать согласно предполагаемой значимости следующим образом:

- недостаточный нагрев полосы в печи для отжига;
- чрезмерное охлаждение полосы в зонах закрытого и глубокого охлаждения;
- точка росы защитной атмосферы.

Влияние температурного режима отделения нагрева и выдержки на температуру полосы рассмотрено в [1,4,5], где рассмотрены вопросы создания и адаптации модели теплообмена при нагреве. Для изучения вопросов, связанных с оценкой влияния режимов управления скоростью движения полосы требуется также модель ее охлаждения в отделениях замкнутого и глубокого охлаждения.

Библиографический список

1. Рябчиков М.Ю., Самарина И.Г. Изучение режимов нагрева стальной полосы в протяжной печи башенного типа для светлого отжига // *Металлообработка*. 2013. №1(73). С. 43 – 49.
2. Ефимов В. В. Статистические методы в управлении качеством продукции: Учебное пособие.- Ульяновск, 2003.- 138 с.
3. Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Рябчиков М.Ю., Целых В.Н. Концепция нейросетевой системы управления многозонными нагревательными устройствами протяжного типа // *Электротехнические системы и комплексы*. 2007. -№14. –С.344-351.
4. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Квасова Н.А., Пузанкова Е.А., Ласьков С.А., Целых В.Н. Математическая модель процесса термического отжига металлической ленты на АНГЦ цеха покрытий ОАО «ММК». // *Математика. Приложение математики в экономический, технический и педагогических исследованиях: Сб. науч. тр. Вып.4. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. -С.173-181.*
5. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Головкин Н.А. Использование модели нагрева полосы при управлении температурным режимом в протяжной печи башенного типа // *Нейрокомпьютеры: разработка и применение 2011. -№5. -С.41-50*
6. Радионова Л.В., Субботина Ю.М. Преимущества и недостатки способа горячего оцинкования стальной полосы. Проблемы цинкования // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. -2013. -№2. –С.3-9.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

УДК621.771.3

МЕХАНИЗМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ИНЖЕКЦИИ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

К.В. Лицин

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

THE WAY TO DETERMINE THE ANGULAR POSITION ROTOR OF SYNCHRONOUS MOTOR WITH HIGH-FREQUENCY INJECTION

K.V. Litsin

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

k.litsin@rambler.ru

В данной статье рассмотрен механизм высокочастотной инжекции сигнала, который позволяет определить угловое положение ротора синхронного двигателя при нулевой и низкой скорости вращения. Представлены необходимые проекции тока и напряжения, возникающие при инжекции сигнала напряжения и тока. Рассмотрены возможные оси, в которых будут происходить процессы инжекции. Эти оси позволят облегчить механизм расчёта необходимых величин для дальнейшего бездатчикового углового определения положения ротора синхронного двигателя.

Ключевые слова: *высокочастотная инжекция, угловое положение ротора, бездатчиковый контроль электропривода.*

In this paper, the mechanism of the high-frequency signal injection was viewed, which allows you to determine the angular position of the rotor synchronous motor at zero and low speed. Presented the necessary projection of the current and voltage that occur during the injection of the signal voltage and current. The possible axis, which will take place during injection. These axes will facilitate the mechanism for calculating the values needed to further determine the angular position sensorless rotor synchronous motor.

Keywords: *high-frequency injection, angular position of rotor, sensorless control of electric drive.*

Принцип способа высокочастотной инжекции заключается в том, что высокочастотный ток или напряжение накладывается на сигнал возбуждения двигателя. В результате сигнал высокой частоты возбуждает напряжение или ток, которые содержат информацию о положении ротора. Используя подходящие методы обработки сигналов можно оценить положение ротора. Главное преимущество этого подхода заключается в том, что данный метод позволяет оценивать положение ротора при нулевой и низкой скорости [1]. Поэтому метод с использованием высокочастотной инжекции сигнала позволяет осуществить разработку бездатчикового (электрического) определения углового положения ротора, которое в настоящее время получает все большее распространение в электроприводе.

Рассмотрим механизм высокочастотной инжекции подробнее. На рисунке 1 показана реакция высокочастотного тока синхронного двигателя в момент времени, когда ротор инжектируется постоянной величиной напряжения высокой частоты, представленной в виде круга. Величина подаваемого напряжения $U_{инж}$, а тока $I_{инж}$. $\Theta_{инж}$ – это инжекционный угол между осями dq.

На рис. 1 он отрицательный. Из-за явнополюсности синхронного двигателя реакция высокочастотного тока имеет форму эллипса. Это означает, что сопротивление по оси d не равно сопротивлению по оси q.

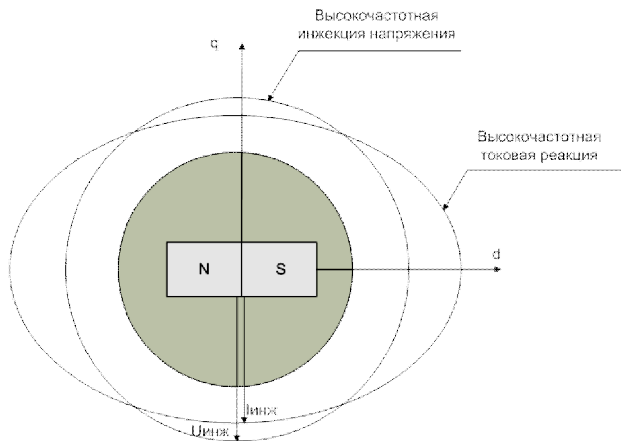


Рис. 1. Высокочастотная токовая реакция синхронного двигателя как функция положения ротора при инжектировании постоянной величины напряжения

Данное различие вызвано потоком постоянного магнита, который производит некоторое насыщение магнитного сердечника. В этом случае реактивное сопротивление синхронного двигателя по оси d меньше, чем сопротивление по оси q , поэтому величина тока по оси d выше, чем по оси q , даже если величина инъекционного напряжения постоянна. Высокочастотная индуктивность по оси d меньше, чем индуктивность по оси q из-за эффекта насыщения магнитного сердечника вокруг оси d [2].

На рис. 2 показана кривая полного сопротивления синхронного двигателя. Как можно увидеть для постоянной величины высокочастотного инъекционного напряжения высокочастотное полное сопротивление по оси d меньше, а по оси q больше.

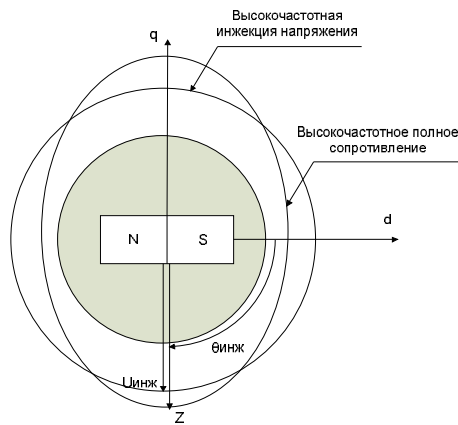


Рис. 2. Кривая высокочастотного полного сопротивления синхронного двигателя

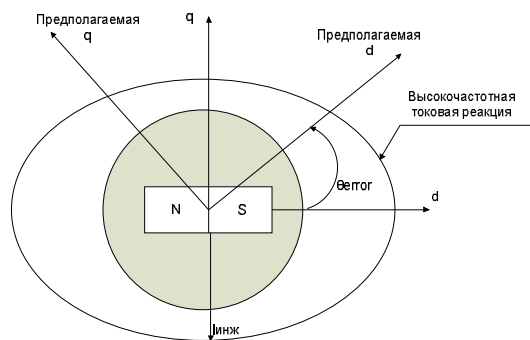


Рис. 3. Реальная и предполагаемая dq оси

На рис. 3 показаны реальная и предполагаемая dq оси. Реальная dq ось фиксирована на роторе, в то время как предполагаемая нет. Θ_{error} определен как угол между предполагаемой и реальной dq -осями и называется оценивающей ошибкой электрического положения ротора.

На рис. 4 так же показан результирующий ток dq -осей на реальные dq -оси. Ток по оси d нарисован больше, нежели напряжение на этой оси только для лучшей наглядности и чтобы показать, что сопротивление по этой оси меньше, а значит ток больше. С другой стороны, ток по оси q нарисован меньшим, нежели напряжение по оси q для того, чтобы отметить, что сопротивление по оси q высокое, а значит результирующий ток небольшой. Следует отметить, что если бы не было явнотоплюсности, то значение тока должно было быть пропорционально приложенному напряжению по оси dq [3]. Как можно увидеть результирующий вектор тока имеет не такое же направление, как вектор напряжения. Если бы не было явнотоплюсности, то вектор тока имел бы то же направление, что и вектор напряжения независимо от того, была бы оценивающая ошибка или нет.

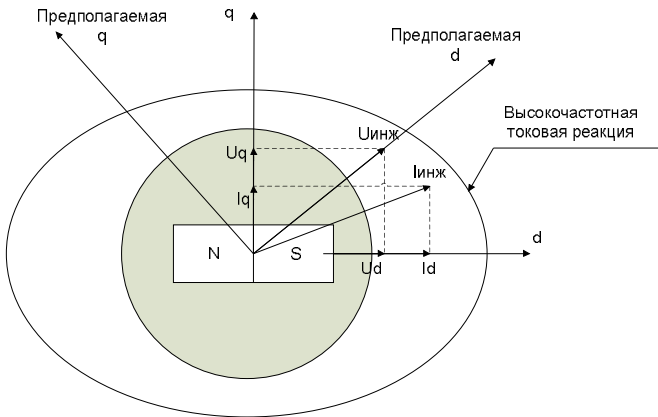


Рис.4. Проекция результирующего вектора тока на оси dq

На рис. 5 показана проекция вектора тока на предполагаемые dq оси. Как можно заметить, в этом случае (угол Θ_{error} положительный) присутствует проекция тока на предполагаемую ось q , называемая i_{qe} . Если бы не было явнотоплюсности или Θ_{error} был бы равен нулю, то тогда проекция i_{qe} так же была бы равна нулю.

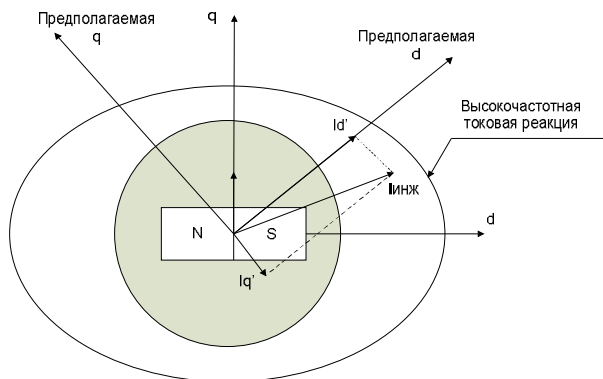


Рис.5. Проекция вектора тока на предполагаемые оси dq

На рис. 6 показано отклонение кривой высокочастотного полного сопротивления при нагрузке.

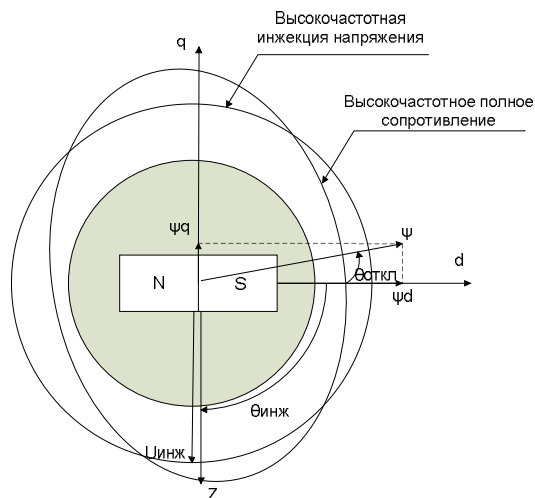


Рис. 6. Отклонение точки минимума сопротивление в зависимости от нагрузки на синхронном двигателе

Когда синхронный двигатель не нагружен точка минимума сопротивления лежит на оси d , которая является осью потока постоянно магнита. Когда синхронный двигатель нагружен, то ток i_q не равен нулю и пропорционален электромагнитному моменту. Этот ток производит магнитный поток с величиной равной:

$$\Phi_q = L_q i_q . \quad (1)$$

Точка минимума общего сопротивления смещается в направлении общего вектора потока из-за эффекта насыщения, что ее воспроизводит.

Изложенные выше выводы можно подтвердить расчётом. Если двигатель нагружен моментом величиной в 10Нм ток по q-оси равен:

$$i_q = \frac{M_e}{\frac{3}{2} p \Phi} . \quad (2)$$

Подставляя значения в формулу (2.11) и учитывая, что постоянный магнитный поток $\Phi = 0,123Вб$ получим:

$$i_q = \frac{10}{\frac{3}{2} \cdot 4 \cdot 0,123} = 13,55A$$

Тогда поток по оси q согласно формуле (1) будет равен:

$$\Phi_q = 0,002 \cdot 13,55 = 0,0271Вб$$

Величина общего магнитного потока будет равна:

$$\Phi_{ОБЩ} = \sqrt{\Phi^2 + \Phi_q^2} . \quad (3)$$

Тогда из формулы (3) имеем:

$$\Phi_{ОБЩ} = \sqrt{0,123^2 + 0,0271^2} = 0,126Вб$$

Теоретически угол отклонения минимальной точки может быть рассчитан как:

$$\theta_{ОТКЛ} = \arccos \frac{\Phi}{\Phi_{ОБЩ}} \quad (4)$$

Подставляя рассчитанные значения в формулу (4):

$$\theta_{откл} = \arccos \frac{0,123}{0,126} = 12^{\circ} 42'$$

Очевидно, что угол отклонения кривой высокочастотного полного напряжения не превышает 13° .

В результате, в данной статье был рассмотрен механизм инжектирования напряжения в синхронном двигателе, который позволяет добиться необходимых величин тока и напряжения для определения углового положения ротора синхронного двигателя.

Библиографический список

1. **Басков, С.Н.** Высокочастотная инжекция сигналов при бездатчиковом методе определения углового положения ротора [Текст] / С.Н. Басков, К.В. Лицин. // Электронный журнал «Машиностроение». – 2013. №1. Стр 28-34.
2. **Басков, С.Н.** Способ определения положения вектора потокосцепления ротора синхронного двигателя бездатчиковым способом [Текст] / С.Н. Басков, К.В. Лицин // Сборник научных и научно-практических докладов всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов. – Старый Оскол. - 2013. – 1 том. с. 138-140.
3. **Cristian Busca.** Open loop low speed control for PMSM in high dynamic application.- Aalborg, Denmark.: Aalborg universitet. - 2010.

АКТИВНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

А.А. Радионов¹, А.С. Маклаков², А.В. Белый³

*^{1,2}ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия*

*³ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

PWM BOOST RECTIFIER AS OBJECT OF CONTROLLING

A.A. Radionov¹, A.S. Maklakov², A.V. Belyi³

^{1,2}South Ural State University (National Research), Chelyabinsk, Russia

*³Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov,
Magnitogorsk, Russia*

¹radionovaa@rambler.ru, ²maklakovsasha@yandex.ru,

³huhicheta1@mail.ru

В статье выполнено математическое описание активного выпрямителя напряжения с целью представления его как объекта управления. Было определено, что активный выпрямитель представляет собой нелинейный объект и синтез системы автоматического регулирования координат следует проводить на базе линеаризованных моделей для конкретно исследуемых режимов работы. С целью синтеза устойчивой и адекватной системы регулирования для всех режимов работы активного выпрямителя можно использовать нелинейные регуляторы, учитывающие среди прочего и все нелинейности в объекте регулирования.

Ключевые слова: *активный выпрямитель напряжения, математическое описание, объект управления, система автоматического регулирования*

The article presents mathematical description of PWM boost rectifier as an object of controlling. Active rectifier is a nonlinear object and synthesis of automatic control system should be carried out on the basis of linearized models. To synthesize an adequate control system for all modes of active rectifier can use non-linear regulators, taking into account, inter alia, all the nonlinearity in the object of controlling.

Keywords: PWM boost rectifier, mathematical description, object of controlling, automatic control system

Введение

Преобразователи частоты (ПЧ) с промежуточным звеном постоянного тока, предназначенные для управления координатами электроприводов автоматизированных технологических агрегатов и режимами работы электроэнергетических систем, являются одним из важных элементов АСУТП. Большинство типов современных ПЧ работает по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ), от вида которой зависят технико-энергетические режимы работы преобразователя. Оптимально выбранный принцип ШИМ для ПЧ может существенно улучшить энергетические и эксплуатационные характеристики объекта автоматизации [1-4].

В настоящее время в электротехнических установках большой и средней мощности для питания ПЧ широкое применение нашли выпрямители на полностью управляемых полупроводниковых ключах, работающие в роли преобразователя переменного напряжения в постоянное. В отечественной литературе такие выпрямители с конденсатором в звене постоянного тока называются активными выпрямителями напряжения (АВН), а в зарубежной литературе – activefrontend (AFE) converter, pulsewidthmodulation (PWM) boostrectifier, AC-DC converter, back-to-backconverter или gridconverter. АВН в большинстве своём выполняются на базе транзисторных IGBT (insulatedgatebipolartransistor) или IEGT (injectionenhancedgatetransistor) модулей, тиристоров с интегрированным управлением IGCT (integratedgate-commutatedthyristor) и МОП-транзисторах MOSFET (metal-oxide-semiconductorfieldeffectctransistor) [5-7].

Причинами широкого распространения АВН в промышленности в первую очередь являются [8]:

1) возможность двунаправленной передачи электрической энергии между питающей сетью и нагрузкой;

2) хорошая электромагнитная совместимость с питающей сетью;

3) высокое быстродействие и точность системы автоматического регулирования (САР) различных координат АВН (напряжения в звене постоянного тока, потребляемого тока и, как следствие, активной и реактивной мощности) на базе современной микропроцессорной техники.

Следует отметить, что в настоящее время в отечественной литературе активный выпрямитель напряжения недостаточно полно рассмотрен как объект управления, что затрудняет решение вопросов синтеза систем автоматического регулирования. Поэтому целью настоящей работы является математическое описание активного выпрямителя напряжения как объекта регулирования.

АВН как объект управления

Принципиальная схема АВН, удобная для дальнейшего рассмотрения и синтеза системы управления представлена на рис. 1.

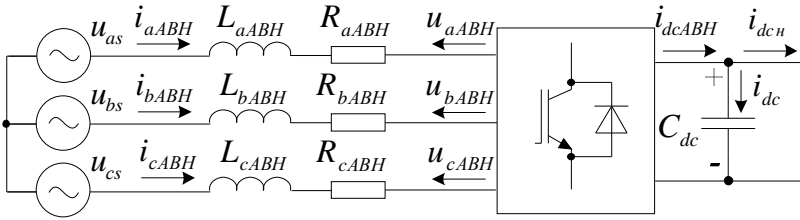


Рис.1. Принципиальная схема АВН

Система уравнений, составленная по первому и второму законам Кирхгофа с учётом идеальности силовых полупроводниковых ключей, симметрии питающего напряжения, равенства активных сопротивлений и индуктивностей по фазам имеет вид:

$$\begin{aligned}
 u_{as} &= i_{aABH} \cdot R_{aABH} + L_{aABH} \cdot p \cdot i_{aABH} + u_{aABH}; \\
 u_{bs} &= i_{bABH} \cdot R_{bABH} + L_{bABH} \cdot p \cdot i_{bABH} + u_{bABH}; \\
 u_{cs} &= i_{cABH} \cdot R_{cABH} + L_{cABH} \cdot p \cdot i_{cABH} + u_{cABH}; \\
 i_{dcABH} - i_{dcH} &= i_{dc}; \\
 C_{dc} \frac{du_{dc}}{dt} &= i_{dcABH} - i_{dcH}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

В системе (1) величины приняты следующие обозначения: u_{as} , u_{bs} , u_{cs} – мгновенные значения фазных напряжений питающей сети; u_{aABH} , u_{bABH} , u_{cABH} – мгновенные значения фазных напряжений АВН; i_{aABH} , i_{bABH} , i_{cABH} – мгновенные значения фазных токов АВН; R_{aABH} , R_{bABH} , R_{cABH} – эквивалентные фазные активные сопротивление на входе АВН; L_{aABH} , L_{bABH} , L_{cABH} – эквивалентные фазные индуктивности на входе АВН; i_{dcABH} – выпрямленный ток АВН; i_{dcH} – ток нагрузки; i_{dc} – ток через ёмкость звена постоянного тока (DC); u_{dc} – напряжение DC; C_{dc} – ёмкость DC; $p = d/dt$ – оператор дифференцирования.

Для дальнейшего анализа удобно использовать вращающуюся систему координат $dq0$, частота вращения которой относительно сис-

темы координат abc будет определяться частотой сети. При абсолютной симметрии питающего напряжения нулевая составляющая системы координат $dq0$ равна нулю.

Система уравнений (1) в системе координат dq примет вид

$$\begin{aligned} u_{ds} &= R_{dABH} \cdot i_{dABH} + L_{dABH} \cdot p \cdot i_{dABH} - \omega_c \cdot L_{qABH} \cdot i_{qABH} + u_{dABH}; \\ u_{qs} &= R_{qABH} \cdot i_{qABH} + L_{qABH} \cdot p \cdot i_{qABH} + \omega_c \cdot L_{dABH} \cdot i_{dABH} + u_{qABH}; \\ i_{dcABH} - i_{dcH} &= i_{dc}; \\ C_{dc} \frac{du_{dc}}{dt} &= i_{dcABH} - i_{dcH}. \end{aligned} \quad (2)$$

В системе (2) величины по осям $dq0$: u_{ds} , u_{qs} – напряжения питающей сети; u_{dABH} , u_{qABH} – напряжения АВН; i_{dABH} , i_{qABH} – потребляемый из сети ток; R_{dABH} , R_{qABH} – эквивалентные активные сопротивления; L_{dABH} , L_{qABH} – эквивалентные индуктивности; $\omega_c = const$ – частота питающей сети.

Уравнение баланса мощности между стороной переменного напряжения и постоянного напряжения имеет вид

$$S_{ABH} = \sqrt{P_{ABH}^2 + Q_{ABH}^2} = u_{dc} \cdot i_{dc}, \quad (3)$$

где S_{ABH} , P_{ABH} , Q_{ABH} – полная, активная и реактивная мощности на входе АВН. Выражение для активной реактивной мощности можно получить из системы уравнений (2)

$$\begin{aligned} P_{ABH} &= \frac{3}{2} \cdot (u_{ds} \cdot i_{dABH} + u_{qs} \cdot i_{qABH}); \\ Q_{ABH} &= \frac{3}{2} \cdot (u_{qs} \cdot i_{dABH} - u_{ds} \cdot i_{qABH}), \end{aligned} \quad (4)$$

или с учетом точной синхронизации с питающей сетью ($u_{ds} = u_m$ и $u_{qs} = 0$)

$$\begin{aligned} P_{ABH} &= \frac{3}{2} \cdot u_{ds} \cdot i_{dABH}; \\ Q_{ABH} &= -\frac{3}{2} \cdot u_{ds} \cdot i_{qABH}. \end{aligned} \quad (5)$$

Анализ выражения (5), позволяет сделать вывод, что величина потребляемой активной мощности АВН зависит от составляющей вектора потребляемого тока по оси d , а реактивной мощности – по оси q [9-11].

Если подставить выражение (5) в выражение (3) получим следующие уравнение баланса мощности

$$S_{ABH} = u_{ds} \cdot \sqrt{i_{dABH}^2 + i_{qABH}^2} = u_{dc} \cdot i_{dc}, \quad (6)$$

на основании которого можно получить уравнение для определения величины выпрямленного тока i_{dc}

$$i_{dc} = \frac{3 \cdot u_{ds}}{2 \cdot u_{dc}} \cdot \sqrt{i_{dABH}^2 + i_{qABH}^2}. \quad (7)$$

Тогда функциональная зависимость между токами i_{qABH} и i_{dABH} запишется следующим образом

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{ABH}}{S_{ABH}} = \frac{u_{ds} \cdot i_{dABH} + u_{qs} \cdot i_{qABH}}{\sqrt{(u_{ds} \cdot i_{dABH})^2 + (u_{qs} \cdot i_{qABH})^2}} = \frac{i_{dABH}}{\sqrt{i_{dABH}^2 + i_{qABH}^2}},$$

где $\cos(\varphi)$ – заданный коэффициент мощности АВН.

В работе [12] для тока по оси q получено выражение

$$i_{qABH} = tq(\varphi) \cdot i_{dABH}. \quad (8)$$

Если подставить уравнение (8) в уравнение (7) можно записать

$$i_{dc} = \frac{3 \cdot u_{ds}}{2 \cdot u_{dc}} \cdot i_{dABH} \cdot \sqrt{1 + tq(\varphi)^2}. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что составляющая $\sqrt{1 + tq(\varphi)^2}$, зависящая от заданного коэффициента мощности АВН, вносит существенную нелинейность в зависимость между вектором потребляемого тока по оси d и выпрямленным током, а следовательно и выпрямленным напряжением. Для составления структурной схемы АВН как объекта управления примем заданный коэффициент мощности равный единице, вследствие чего исключим нелинейность, поскольку $\sqrt{1 + tq(\varphi)^2} \rightarrow 1$, и упростим задачу дальнейшего синтеза САР [13].

Структурная схема АВН составленная на базе уравнений (2), (9) представлена на рис.2.

Из структурной схемы на рис. 2 видно, что АВН как объект управления можно разделить на последовательно соединенные два звена: звено выпрямленного тока, в которое входит линейное двух-мерное инерционное звено первого прядка с антисимметричными перекрёстными связями, и звено напряжения, состоящего из интегрального звена [14].

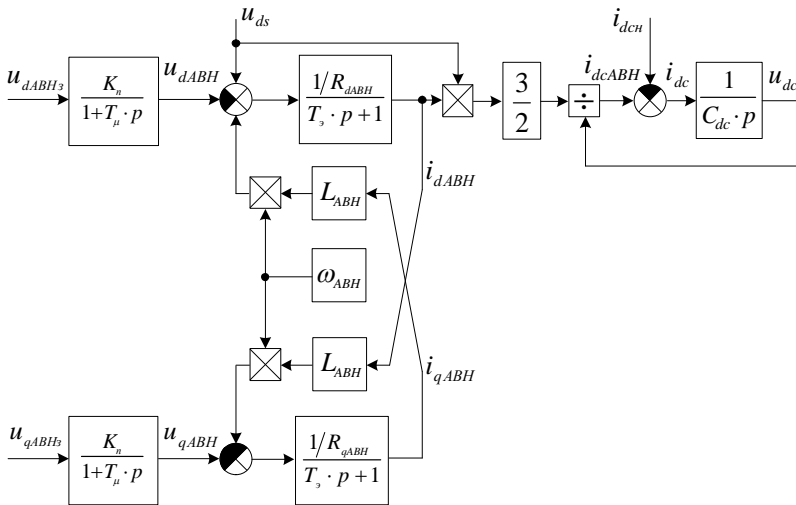


Рис.2. Структурная схема АВН как объекта управления

Зависимость между сигналом задания и выходным напряжением АВН (рис.2) формируется инерционным звеном первого прядка с постоянной времени T_μ и коэффициентом передачи K_n .

Постоянная времени $T_\mu \approx 1/(2 \cdot f_c)$ – это минимальная некомпенсируемая постоянная времени АВН, которая складывается из постоянной времени преобразователя и постоянной времени обработки алгоритма управления микропроцессором, где f_c – частота опорного сигнала ШИМ. Коэффициент передачи АВН K_n можно определить следующим выражением.

$$K_n = u_{dc} \cdot k_{ШИМ}, (10)$$

где $k_{\text{ШИМ}}$ – коэффициент, зависящий от вида ШИМ. Для синусоидальной ШИМ $k_{\text{ШИМ}} = 1/2$.

Теперь рассмотрим уравнение характеризующее процессы в DC на базе уравнения (9), которое при коэффициенте мощности равном единице, примет вид

$$C_{dc} \cdot \frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3 \cdot u_{ds}}{2 \cdot u_{dc}} \cdot i_{dABH} - i_{dcn}. \quad (11)$$

Уравнение (11) является нелинейным, ввиду зависимости выпрямленного напряжения u_{dc} от трёх переменных составляющих u_{ds} , i_{dABH} и u_{dc} . Это существенно усложняет процесс синтеза САР и проверки устойчивости нелинейной модели.

С целью качественного анализа переходных процессов и анализа устойчивости нелинейной модели (рис.2) можно рассмотреть область вокруг установившегося значения заданного выпрямленного напряжения АВН. Так как выпрямленное напряжение АВН, при условии поддержания коэффициента мощности равном единице, должно поддерживаться на номинальном уровне u_{dcn} , то линеаризацию системы следует проводить именно для этой точки. Для линеаризации можно использовать формулу разложения в ряд Тейлора нелинейной функции трёх переменных $F(x, y, z)$ вокруг заданных состояний $F(x_0, y_0, z_0)$. Формула линейной аппроксимации выглядит следующим образом

$$\frac{dx}{dt} = F(x, y, z) \Rightarrow \frac{d\Delta x}{dt} = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{\substack{y=y_0 \\ z=z_0}} \cdot \Delta x + \left. \frac{\partial f}{\partial y} \right|_{\substack{x=x_0 \\ z=z_0}} \cdot \Delta y + \left. \frac{\partial f}{\partial z} \right|_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0}} \cdot \Delta z,$$

где x_0, y_0, z_0 – заданные состояния исследуемой точки, $\frac{dx}{dt}$ – заданная функция.

Линейная аппроксимация выражения (11) вокруг заданной точки, определяемой номинальным напряжением DC примет вид

$$C_{dc} \cdot \frac{d\Delta u_{ds}}{dt} = \frac{3 \cdot u_{ds0}}{2 \cdot u_{dcn}} \cdot \Delta i_{dABH} + \frac{3 \cdot i_{dABH0}}{2 \cdot u_{dcn}} \cdot \Delta u_{ds} + \frac{3 \cdot u_{ds0} \cdot i_{dABH0}}{2 \cdot (u_{dcn})^2} \cdot \Delta u_{ds} - i_{dcn}, \quad (12)$$

где $u_{ds0} = u_m = const$ – амплитуда фазного напряжения сети, $u_{dcn} = const$ – номинальное напряжение DC, $i_{dABH0} \approx i_{dcn} = const$ – составляющая вектора потребляемого тока АВН по оси d .

Анализ уравнения (12) показывает, что для линеаризации представляет интерес только зависимость выпрямленного напряжения от изменения тока Δi_{dABH} . Тогда можно записать следующее аппроксимированное уравнение

$$C_{dc} \cdot \frac{d\Delta u_{ds}}{dt} = \frac{3 \cdot u_{ds0}}{2 \cdot u_{dcn}} \cdot \Delta i_{dABH},$$

где $\frac{3 \cdot u_{ds0}}{2 \cdot u_{dcn}} = K_a$ – коэффициент линеаризации [15].

Или после применения преобразования Лапласа

$$\frac{\Delta u_{ds}(p)}{\Delta i_{dABH}(p)} = \frac{3 \cdot u_{ds0}}{2 \cdot u_{dcn}} \cdot \frac{1}{p \cdot C_{dc}}. \quad (13)$$

Один из вариантов структурной схемы АВН в замкнутой системе регулирования с учетом всех рассмотренной ранее линеаризации и компенсации перекрёстных связей представлен на рис. 3.

На базе структурной схемы (рис.3) не трудно выполнить настройку регулятора токов и напряжения DC воспользовавшись, например, принципом подчиненного регулирования координат с последовательной коррекцией.

Заключение

Активный выпрямитель напряжения с точки зрения управления представляет собой сложный нелинейный объект, синтез системы автоматического регулирования координат которого следует проводить на базе линеаризованных моделей для конкретно исследуемых режимов работы. С целью синтеза устойчивой и адекватной САР для всех режимов работы АВН можно использовать нелинейные регуляторы, учитывающие среди прочего и все нелинейности в объекте регулирования.

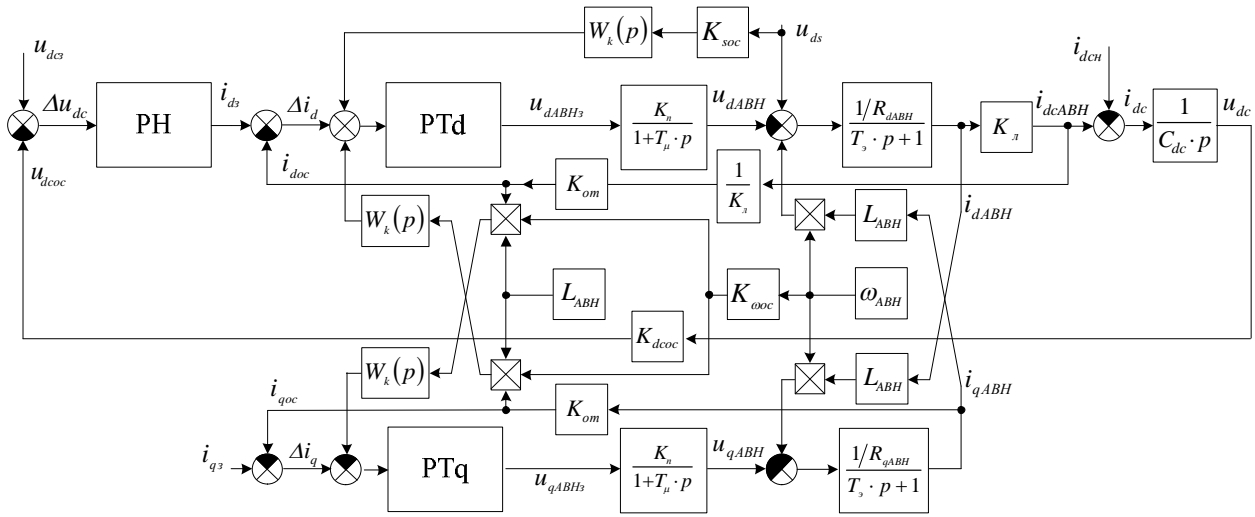


Рис.3. Линеаризованная структурная схема активного выпрямителя напряжения в замкнутой системе регулирования

Библиографический список

1. FredeBlaabjerg. Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems / FredeBlaabjerg, Remus Teodorescu, Marco Liserre, Adrian V Timbus // *Industrial Electronics*. – 2006. – Vol. 53, Issue 5. – P. 1398-1409.
2. Храмшин Т.Р. Исследование воздействия активных выпрямителей большой мощности на питающую сеть / Т.Р. Храмшин, Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Р.Р. Храмшин, Д.С. Крубцов // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2013. – №1. – С. 80-83.
3. Маклаков А.С. Влияние на сеть трёхфазного мостового двухуровневого активного выпрямителя напряжения при различных видах ШИМ / А.С. Маклаков, А.А. Радионов // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2013. – №2. – С. 40-47.
4. Храмшин Т.Р. Расчет электромагнитных процессов в трехфазном двухуровневом инверторе напряжения / Т.Р. Храмшин, Р.Р. Храмшин, Г.П. Корнилов // *Электротехнические системы и комплексы: межвуз. сб. науч. тр.* – Магнитогорск: МГТУ, 2010. – Вып. 1. – С. 212.
5. Храмшин Т.Р. Оценка методов широтно-импульсной модуляции напряжения активных выпрямителей прокатных станов / Т.Р. Храмшин, Д.С. Крубцов, Г.П. Корнилов // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2013. – №2. – С. 48-52.
6. Радионов А.А. Исследование влияния на сеть трёхуровневого активного выпрямителя на базе восемнадцатипульсной схемы выпрямления / А.А. Радионов, А.С. Маклаков // *Сборник трудов Международной научно-технической конференции им. Леонардо да Винчи. Wissenschaftliche Welt*, 2013. – Т. 1. – С. 176-178.
7. Radionov A.A. Operating conditions of an induction motor with frequency converter, based on VSI with PWM, and AFE rectifier during voltage dips / A.A. Radionov, A.S. Maklakov // *Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013»*. – Одесса. КУПРИЕНКО, 2013. – Выпуск 1, Том 5. – С. 23-29.
8. José R Rodríguez. PWM regenerative rectifiers: state of the art / José R Rodríguez, Juan W Dixon, José R Espinoza, Jorge Pontt, Pablo Lezana // *Industrial Electronics*. – 2005. – Vol. 52, Issue 1, – P. 5-22.
9. Brando G. Optimized Control of Active Front-Ends to Improve Efficiency and Power Quality in Systems with Closed-Loop Controlled Electrical Drives. / G. Brando, A. Coccia, A. Del Pizzo // *Energy Efficiency in Motor Driven Systems*. – 2003. – P. 508-513.

10. Шрейнер Р.Т. Активный фильтр как новый элемент энерго-сберегающих систем электропривода / Р.Т. Шрейнер, А.А. Ефимов // Электричество, 2000. – № 3. – С. 46.

11. Виноградов, А.Б. Бездатчиковый электропривод подъемнотранспортных механизмов / А.Б. Виноградов, А.Н. Сибирцев, С.В. Журавлев // Силовая электроника. – 2007. – №1. – С. 46-52.

12. Маклаков А.С. Анализ работы активного выпрямителя напряжения в режимах компенсации реактивной мощности / А.С. Маклаков // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2013. – №1. – С. 43-50.

13. Радионов А.А. Компенсация реактивной мощности в сети с помощью активного выпрямителя напряжения / А.А. Радионов, А.С. Маклаков // Электротехнические системы и комплексы: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2013. – Вып. 21. – С. 226-231.

14. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УРО РАН, 2010. – 654 с.

15. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. – Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008 – 298 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

УДК 662.869:65.011.056

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

*Б.Н. Парсункин¹, Т.У. Ахметов², А.Р. Бондарева³,
О.В. Петрова⁴, Е.И. Полухина⁵*

*^{1,2,3,4}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический уни-
верситет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

ENERGY-EFFICIENT THERMAL CONDITIONS CONTROL UNDER CONTINUOUS FURNACES VARYING CAPACITY

*B.N. Parsunkin¹, T.U. Akhmetov², A.R. Bondareva³,
O.V. Petrova⁴, E.I. Poluhina⁵*

*^{1,2,3,4}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
asm@magtu.ru, albina_bondareva_2012@mail.ru*

Уменьшение удельного количества тепла при нагреве непрерывно-литых заготовок в методических печах перед прокаткой является актуальной проблемой при автоматическом управлении температурным режимом по температуре поверхности металла.

Ключевые слова: *температура поверхности, температура греющей среды, производительность печи, расход топлива, оперативность.*

The heat specific amount reducing during continuously cast billets heating in reheat furnaces before rolling is of current interest in the temperature conditions automatic control according to the metal surface temperature.

Keywords: *surface temperature, heating ambient temperature, furnaces performance, fuel rate, operational efficiency.*

В условиях нестационарной работы прокатного стана, когда производительность стотонной печи изменяется от 25 до 130т/ч при одновременном нагреве заготовок с начальной температурой от 200 до 800°С, обеспечение энергосберегающего режима нагрева представляет сложную задачу.

Реальное изменение во времени часовой производительности методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК» до реконструкции печей представлено на рис.1.

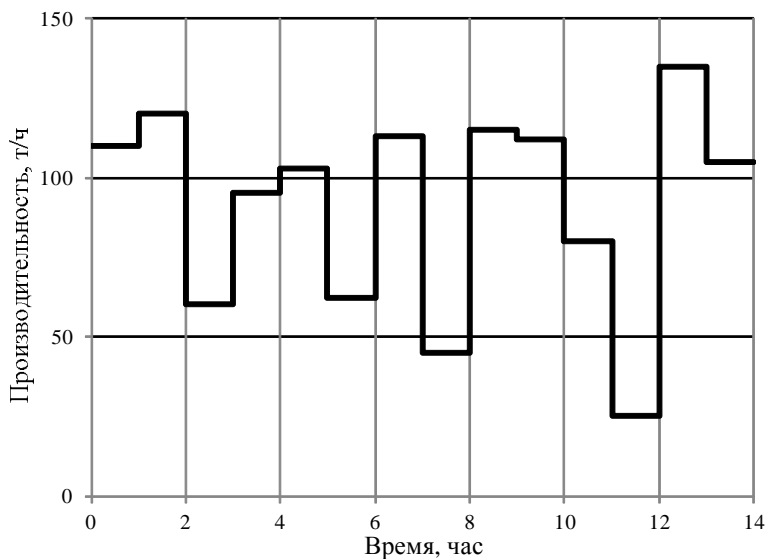


Рис.1. Изменение во времени производительности печи №1 стана 2500 ОАО «ММК»

Причем в пределах одного часа производительность печи так же изменится вследствие неравномерной выдачи заготовок.

Широко применяемое управление тепловым режимом в отапливаемых зонах методических печей по температуре рабочего пространства $t_{рп}$, измеряемой термопарами в защитных карборундовых чехлах, не удовлетворяет условиям оперативного управления по энергосберегающим режимам [1, 4-9, 11].

Температура $t_{рп}(\tau)$ не оперативно, а главное необъективно характеризует текущее состояние нагреваемого металла при нестационарных режимах работы печей.

В качестве примера этого утверждения на рис. 2 представлено изменение во времени параметров теплового режима в первой зоне методической печи №1 стана 2000 ОАО «ММК» при управлении тепловым режимом по $t_{рп}(\tau) = t_{гс}(\tau)$, где $t_{гс}(\tau)$ – температура греющей среды [14].

При незначительном изменении температуры $t_{рп}(\tau) = t_{гс}(\tau)$ температура поверхности нагреваемого металла, измеряемая пирометром частичного излучения, изменяется в значительных пределах.

Динамические параметры информационного канала по $t_{рп}(\tau)$ составляют: $T_0 = 220 \div 240$ с – постоянная времени, характеризующая инерционность измеряемого параметра; $\tau_3 = 10 \div 20$ с – время запаздыва-

ния, определяемое условием теплопередачи через карборундовый чехол толщиной $4,5 \div 5$ мм.

Аналогичные показатели для информационного канала по $t_{\text{пов}}(\tau)$ получим следующие: $T_0 = 15 \div 20$ с; $\tau_3 = 3 \div 5$ с.

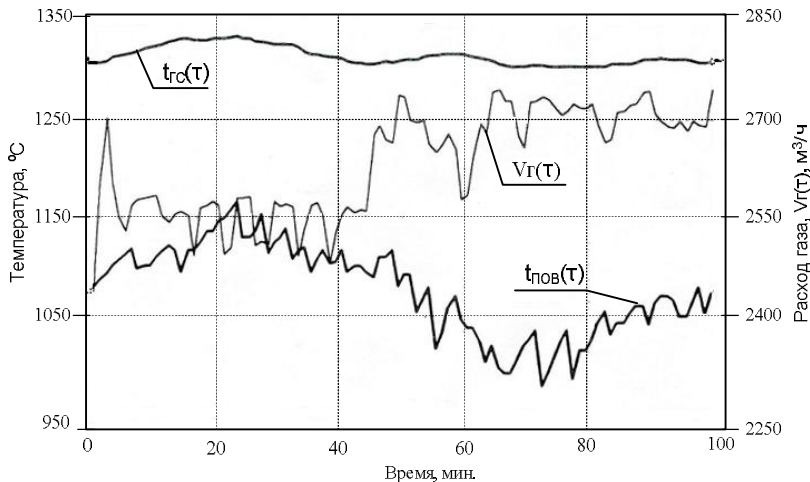


Рис.2. Изменение температуры поверхности металла $t_{\text{пов}}(\tau)$, температуры $t_{\text{с}}(\tau)$ и расхода газа $V_{\text{г}}(\tau)$ в зоне №1 методической печи №1 стана 2000 ОАО «ММК»

Использованию $t_{\text{пов}}(\tau)$ для оперативного энергосберегающего автоматизированного управления тепловым режимом препятствует вполне объективное, но значительно преувеличенное теоретическое утверждение о значительной ошибке при использовании оптических методов измерения температуры покрытого слоем окалины «серой» поверхности металла через селективно излучающий слой продуктов сгорания при влиянии отраженного теплового излучения от факела и огнеупорной кладки рабочего пространства.

Как показала многолетняя практика использования $t_{\text{пов}}(\tau)$, влияние указанных негативных факторов на объективность информационного канала можно существенно уменьшить за счет правильной и определенной установки оптического пирометра [1].

Следует отметить, что не все так благополучно и со стабильностью нормированных статических характеристик (градуировок) платиносодержащих термопар. Наличие даже незначительных примесей SiO_2 в материале защитного чехла разрушает платину вследствие образования силицидов Pt_5Si_2 и легкоплавкой (830°C) эвтектики $\text{Pt}-\text{Pt}_5\text{Si}_2$, отлагающейся по границам зерен [2]. Это нарушает стабильность нормированной статической характеристики термопары.

Возможно в стационарном и установившемся режиме работы печи и обеспечивается достаточно точное измерение $t_{pn}(\tau)$ в месте установки термпары. В динамическом же нестационарном режиме при переменной производительности печи этот параметр неоперативно, а главное что необъективно характеризует текущее тепловое состояние нагреваемого металла. В то время как от системы автоматического управления требуется быстрое и целенаправленное формирование управляющего воздействия, соответствующее текущей производственной ситуации.

Теоретически обоснованно, что энергосберегающее управление тепловым режимом, при наличии резерва времени на нагрев, обеспечивается интенсификацией нагрева на заключительном интервале времени нагрева [3-9].

Это означает, что на начальной стадии нагрева необходимо точное и оперативное управление подачей топлива в зависимости от реального теплового состояния нагреваемого металла на входе в отапливаемые зоны печи.

Для практического использования технологически обоснованного (рационального) энергосберегающего управления тепловым режимом с учетом изменения производительности печи на нагрев непрерывнолитых заготовок предлагается малозатратный при реализации, но эффективный способ коррекции режима нагрева металла в первой по ходу зоне печи.

Управляющий сигнал температурного параметра в первой верхней сварочной зоне определяется в соответствии с условием

$$t_{nov}^3(\tau) = \frac{t_{nov1}(\tau) + t_{nov2}(\tau)}{k_{ec1}},$$

где $t_{nov}^3(\tau)$ – заданное значение температуры поверхности нагреваемого металла в первой сварочной зоне печи; $t_{nov1}(\tau)$ – текущее значение температуры поверхности нагреваемой заготовки в методической зоне печи, примерно на расстоянии 3÷3,5 м от начала первой сварочной зоны; $t_{nov2}(\tau)$ – текущее значение температуры поверхности металла примерно на 2/3 длины первой сварочной зоны; k_{ec1} – настроечный коэффициент ориентировочно определяемый по формуле

$$k_{ec1} = 1 + \frac{t_{nov1}^o(\tau)}{t_{nov1}^*(\tau)},$$

где $t_{нов1}^o(\tau) = t_{нов1}(\tau)$ при $t_{нов2}(\tau) = t_{нов2}^*(\tau)$; $t_{нов2}^*(\tau)$ – предельное значение температуры поверхности металла в первой сварочной зоне, при которой гарантированно обеспечивается нагрев металла в печи до заданного качества.

Управление тепловым режимом в нижней первой по ходу металла зоне нагрева, где измерение температуры поверхности затруднено, целесообразно осуществлять по схеме объемного пропорционирования расходов топлива с ведущим расходом топлива в первую верхнюю зону с коэффициентом $0,8 \div 0,9$ [3, 10, 12, 13].

Значение коэффициента $k_{вс1}$ уточняется при технологической наладке системы в реальных производственных условиях.

Использование рассмотренного способа управления тепловым режимом в верхних зонах методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК» (до реконструкции печей) по температуре поверхности нагреваемого металла позволило, за счет повышения оперативности и целенаправленности управления, улучшить качество нагрева металла (стабилизацию температуры раската) и уменьшить удельный расход условного топлива на 4,1 кг/т по сравнению с управлением тепловым режимом по температуре рабочего пространства печи $t_{рп}(\tau)$, измеряемой пирометром полного излучения, свизированным на дно карборундового стакана, установленным в своде печи.

В денежном выражении экономия только за счет снижения количества природного газа составила 38912 руб. в год на одну печь при стоимости 1000 м^3 природного газа 16 руб. Сейчас эта стоимость 1000 м^3 превышает 900 руб., значит, экономия в современных ценах превышает 2 млн. руб.

К сожалению, все новые импортные печи на ММК используют в качестве управляемых температурных параметров температуру рабочего пространства, измеряемую термопарами.

Библиографический список

1. Парсункин Б.Н. Снижение удельного расхода топлива при управлении тепловым режимом по температуре поверхности нагреваемого металла / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Обухова, Т.У. Ахметов // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №.5. С. 302-309.

2. Белевцев А.В. Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие. / А.В.Белевцев, В.В.Богатов, А.В. Каржавин, Д.В.Петров и др. // «СТА», 2004. – №2. – С.67 – 69.

3. Парсункин Б.Н. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: монография / Б.Н. Парсункин, С.М.

Андреев, У.Б. Ахметов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. университета им. Г.И. Носова, 2006. – 198 с.

4. Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Обоснование требований при реализации энергосберегающих режимов нагрева металла // Сталь. – 2002. – №2. – С.47-51

5. Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Бушманова М.В. Оптимизация управления тепловым режимом нагревательных печей // Сталь. 2003. – №9. – С. 65-67.

6. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Нужин Д.В., Волков А.В. Информационное обеспечение топливосберегающего нагрева металла // Сталь. 2007. – №9. – С.56-59.

7. Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Нужин Д.В. Автоматизированная система управления топливосберегающим несимметричным нагревом металла перед прокаткой в современных методических печах // Автоматизация и современные технологии. 2010. – №1. – С. 14 – 20.

8. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Жадинский Д.Ю. Исследование энергосберегающего режима нагрева непрерывнолитых заготовок // Сталь 2007. №4. – С.53-56

9. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Жадинский Д.Ю., Паргин В.Н., Чеботов В.М. О реализации энергосберегающих режимов нагрева непрерывнолитых заготовок перед прокаткой // Сталь 2005. №12. – С.44-46

10. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г. Исследование оптимального энергосберегающего процесса сжигания топлива в рабочем пространстве металлургических печей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. – №4. – С. 28-36.

11. Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Система оптимального управления тепловым режимом промышленных печей // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. – №2. – С.18-29.

12. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов Т.У., Бондарева А.Р. Оптимальное энергосберегающее управление сжиганием топлива в промышленных печах // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. – №1. – С.22-27.

13. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Akhmetov T.U., Mukhina E.Y. Optimal energy-efficient combustion process control in heating furnaces of rolling mills. Vestnik of Nosov Magnitogorsk State University, 2013, no.5, pp. 58-62.

14. Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Оптимизация режимов управления нагревом заготовок в печах проходного типа: монография. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – 376 с.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ
ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА МЕТАЛЛА**

С.М. Андреев¹, Б.Н. Парсункин²

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

**THE EXPERIMENTAL TEST OF THE ENERGY EFFICIENT
METAL HEATING BEST PERFORMANCE**

S.M. Andreev¹, B.N. Parsunkin²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
¹andreev.asc@gmail.com

Теоретические исследования энергосберегающих режимов нагрева металла перед прокаткой определяют общую стратегию оптимального управления. Практическая реализация этой стратегии для реальных условий дает возможность оценить возможность применения энергосберегающих режимов и их реальную эффективность.

В работе проведены исследования реализации энергосберегающих режимов нагрева на лабораторном стенде при нагреве заготовки. Приведены данные по адаптации модели нагрева к реальным условиям. Реализованы несколько вариантов энергосберегающих режимов нагрева с учетом действующих ограничений, определена эффективность этих режимов.

Ключевые слова: *система оптимального управления, нагрев металла, энергосберегающие режимы нагрева, система автоматического управления*

The theoretical studies of the energy efficient metal heating best performance before the rolling define the general optimal control strategy. This strategy practical implementation for real conditions enables to estimate the application possibility of power-saving conditions and their real effectiveness.

Energy efficient heating conditions were analysed on the laboratory bench in workpiece heating. The data on the adaptation model of heating to the real conditions are presented in the paper. Several energy-saving conditions of heating options with allowance for the existing restrictions have been implemented; the effectiveness of these conditions has been defined.

Keywords: *optimal control system, heating the metal, energy-saving heating modes, automatic control system*

Нагрев металла перед прокаткой на широкополосных станах является одной из самых энергоемких операций по переделу в прокатном

производстве [1]. Так же затраты энергии в главных приводах прокатных клетей зависят от теплового состояние нагретого металла на задаче из печей. Комплексный критерий затрат включает в себя расходы тепловой энергии на нагрев и электрической энергии на прокатку заготовки [2].

Проблема использования оптимальных энергосберегающих режимов нагрева в металлургических печах камерного или проходного типа сводится к расчету и реализации такой траектории изменения температурного состояния нагреваемого изделия во времени или по длине рабочего пространства, которая сводила бы стоимость нагрева (определяемую в основном стоимостью количества затраченного на нагрев топлива и стоимостью металла, потерянного при окислении) к минимуму [3].

Расчетные режимы оптимальных энергосберегающих режимов нагрева характеризуются интенсификацией нагрева на конечном интервале заданной общей продолжительности нахождения металла в печи [4]. Действие технологических и конструктивных ограничений снижает эффективность энергосберегающего режима [3].

Исследования по разработке систем оптимального управления нагревом позволили обосновать требования к информационному [5, 6, 7] и математическому [8] обеспечению этих систем, и определить состав и функции системы оптимального управления нагревом заготовок [9 - 13].

Для экспериментальной проверки работы системы оптимального управления нагревом и проверки разработанных алгоритмов был разработан лабораторный стенд [14], на котором производились исследования различных режимов нагрева с учетом разных технологических ограничений и сравнения эффективности этих режимов.

Поскольку практический интерес представляет процесс нагрева заготовки по толщине, то в качестве элемента объема бесконечной пластины была выбрана заготовка, представляющая собой цилиндр (стержень) из углеродистой стали диаметром 25 мм и высотой 125 мм установленный вертикально. Нагрев заготовки осуществлялся через одну (в эксперименте нижнюю) грань. Остальная поверхность цилиндрической заготовки была теплоизолирована. Такая постановка эксперимента наиболее приближена к симметричному нагреву бесконечной пластины [1], так как теплоизолированная цилиндрическая заготовка может быть представлена как элемент этой пластины, а значит, и его нагрев может быть математически описан уравнениями для такой пластины. Структурная схема лабораторного стенда приведена рис.1,а.

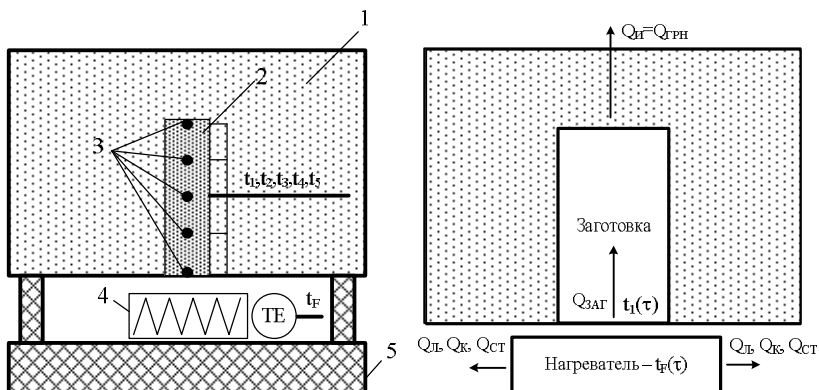


Рис.1. Структурная схема лабораторной установки по реализации и исследованию оптимального управления режимами нагрева: а) расположение элементов стенда; б) распределение тепловых потоков, составляющих тепловой баланс при нагреве заготовки

Экспериментальная установка представляет собой электрическую нагревательную печь, плоский нагревательный элемент (4) которой закреплен на футерованной поверхности (5). Над нагревательным элементом гранью к нему располагается нагреваемая цилиндрическая заготовка (2). Расстояние между гранью заготовки и нагревательным элементом составляет 4-5 мм, что обеспечивает радиационный нагрев. Вся нагреваемая заготовка, кроме грани обращенной к нагревательному элементу, располагается в слое теплоизолятора (1). По высоте нагреваемой заготовки через равные промежутки располагаются зачеканенные на глубину её радиуса пять термопар (3) градуировки ТХА. Кроме того термопара (ТЕ) приварена к самому нагревательному элементу.

Сигналы с термопар t_1 - t_5 , t_H – поступают на измерительные преобразователи и фиксируются в памяти управляющего микропроцессорного контроллера. Там же, в соответствии с алгоритмом реализации энергосберегающего режима нагрева, формируется сигнал на управление температурой нагревателя в соответствии с алгоритмом [9, 15] с учетом заданной продолжительности нагрева и вида реализуемой стратегии управления.

Конструкция стенда позволяет осуществить реализацию любого режима нагрева заготовки в соответствии с принятой стратегией управления во времени и является в какой-то мере универсальной. Ис-

пользуемая структура управления позволяет проверить работоспособность программного и технического обеспечения системы управления режимом нагрева для реальных условий промышленного производства.

Для реализации и экспериментального исследования энергосберегающих оптимальных режимов нагрева на исследовательском стенде, была проведена адаптация математической модели энергосберегающего режима нагрева под реальные условия теплообмена в системе «электрический нагреватель – нагреваемая заготовка – окружающая среда». На рис.1,б показаны направления тепловых потоков составляющих тепловой баланс в исследовательском стенде.

Математическую модель теплового баланса при нагреве заготовки на исследовательском стенде можно описать выражением

$$Q_{НАГР} = Q_{ЗАГ} + Q_{Л} + Q_{К} + Q_{И} + Q_{СТ}, \quad (1)$$

где $Q_{НАГР}$ - энергия от нагревателя; $Q_{ЗАГ}$ - энергия, идущая на нагрев заготовки; $Q_{Л}$ - потери энергии от нагревателя за счет лучистого теплообмена с окружающей средой (нагреватель не изолирован); $Q_{К}$ - потери энергии от нагревателя за счет конвективного теплообмена нагревателя с окружающей средой; $Q_{И}$ - потери энергии через изоляцию, в которую помещена заготовка; $Q_{СТ}$ - сторонние потери, идущие на нагрев несущих конструкций экспериментальной установки.

Энергия от нагревателя $Q_{НАГР}$ является известной величиной и может быть измерена количеством затраченной электрической энергии. Потери энергии за счет лучистого $Q_{Л}$ и конвективного $Q_{К}$ теплообмена вызваны тем, что нагреватель не изолирован и часть энергии теряется в окружающую среду. Потери энергии через изоляцию $Q_{И}$, в которую помещена заготовка, делятся на потери через боковую поверхность заготовки (цилиндра) $Q_{БОК}$ и через его верхнюю грань $Q_{ГРН}$.

$$Q_{И} = Q_{БОК} + Q_{ГРН} \quad (2)$$

Сторонние потери $Q_{СТ}$ представляют собой энергию, затрачиваемую на нагрев изоляционного материала и несущих конструкций установки.

Если потери энергии через изоляцию представить только как потери через верхнюю грань, т.е. $Q_{И} = Q_{ГРН}$, то в этом случае для описа-

ния процесса теплопередачи в заготовке достаточно использовать одномерное уравнение теплопроводности, а задача о нагреве бесконечной пластины дополнится определением граничных условий на верхней грани заготовки.

Адаптация математической модели производилась при ступенчатом известном изменении температуры греющей среды при постоянной температуре нагревателя равной $t_{ГC}(\tau) = 400^{\circ}\text{C}$ до наступления регулярного режима.

В рамках проводимого исследования на лабораторном стенде были проведены несколько опытных нагревов с различными типами ограничений накладываемых на процесс нагрева. Опытные нагревы производились для режима максимального быстрогодействия.

На рис. 2 показаны траектории наискорейших нагревов с различным числом ограничений на технологические параметры нагрева. Также на рис.2, г приведены величины ограничений и затраты энергии на нагрев при этих ограничениях.

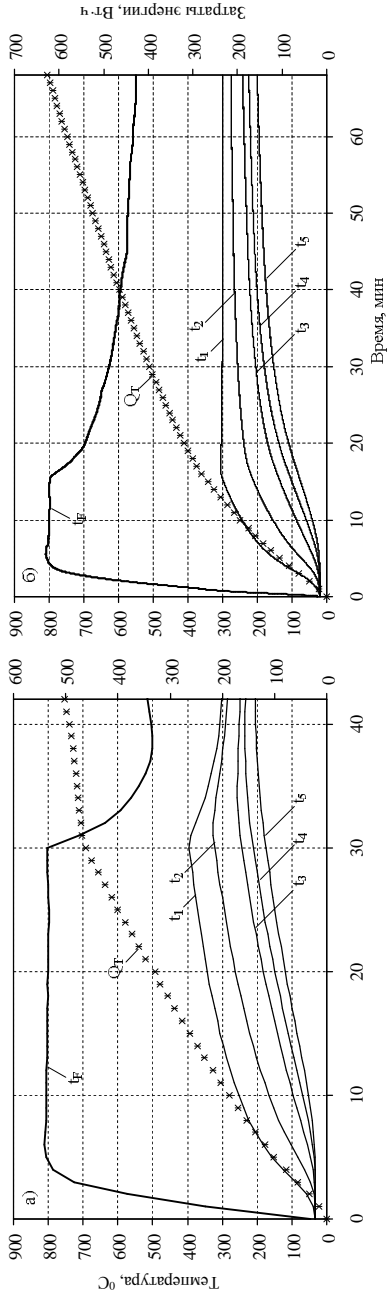
Приведенные экспериментальные данные сочетаются с теоретическими исследованиями. При увеличении числа ограничений затраты энергии при реализации наискорейшего нагрева возрастают, что вполне согласуется с данными теоретических исследований.

Также на установке проводились исследования по реализации энергосберегающих режимов нагрева для различного времени нагрева. Заданное время нагрева варьировалось от 42 мин (наискорейший нагрев) до 180 мин. На процесс нагрева накладывалось ограничение на температуру нагревателя $t_{ГC}^{3АД}(\tau) = 800^{\circ}\text{C}$.

Результаты экспериментальных энергосберегающих нагревов для различных величин времени нагрева представлены на рис. 3,а – в.

На графике, представленной на рис.3,а, интенсификация нагрева происходит в начальный момент времени, что свидетельствует о реализации режима наискорейшего нагрева. Нагрев до заданного теплового состояния происходит за 42 мин. Нагрев заготовки, графики которого показаны на рис.3,б,в, происходит за время превышающее время наискорейшего нагрева и это время составляет 90 и 180 мин соответственно.

Траектории управляющего воздействия $t_{ГC}^{3АД}(\tau)$ смещены в сторону интенсификации нагрева на заключительном этапе общего времени нагрева, причем интенсификация нагрева происходит тем позднее, чем больше заданное время нагрева.



Г)

Режим нагрева	Действующие ограничения	Время нагрева до заданного температурного состояния	Затраты энергии на нагрев	
			Вт·ч	%
а)	Ограничение на температуру нагревателя 800 °С	42	542	100
б)	Ограничение на температуру нагревателя 800 °С и температуру поверхности 300 °С	68	634	117
в)	Ограничение на температуру нагревателя 800 °С, температуру поверхности 300 °С и на максимальный перепад температуры по сечению 150 °С	75	675	125

Рис. 2. Режимы наискорейшего нагрева с ограничениями на параметры нагрева: t_f – температура нагревателя; t_1 – температура поверхности; t_2 – температура центра; t_3, t_4, t_5 – температура по сечению; Q_T – количество энергии затраченной на нагрев, Вт·ч

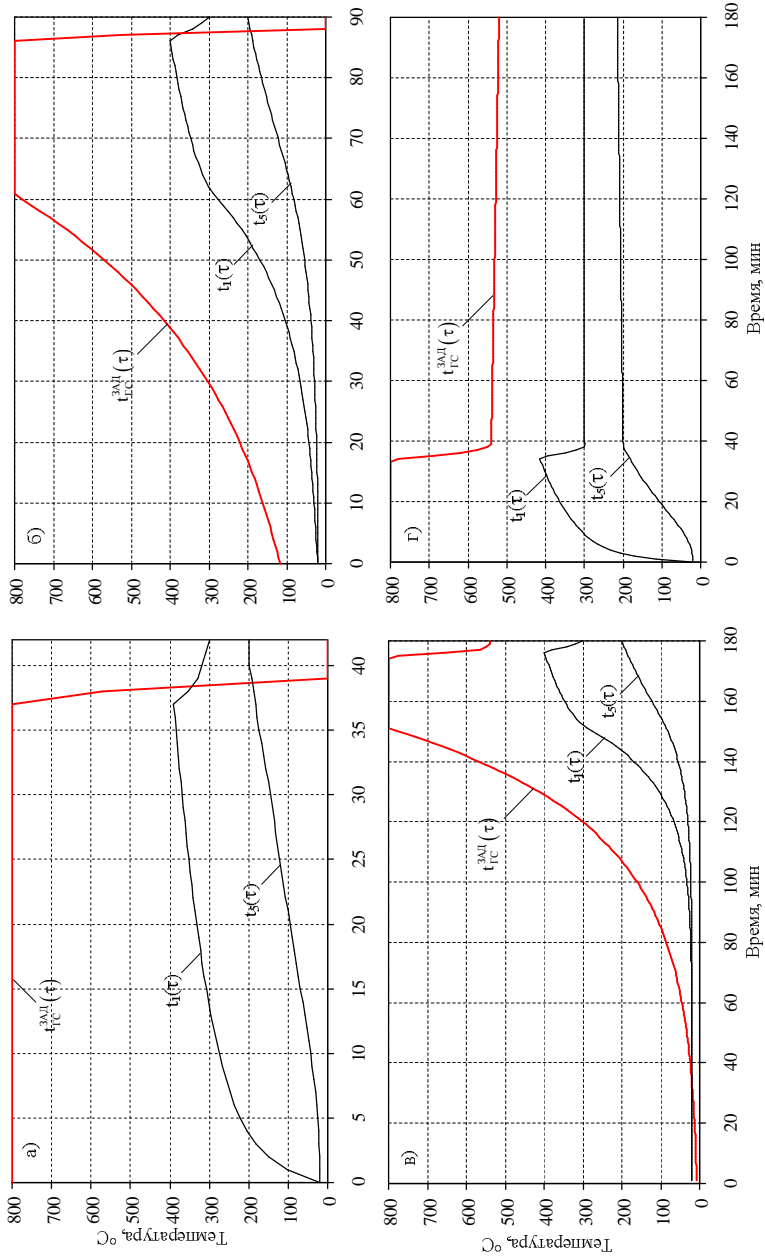


Рис.3. Результаты экспериментальных нагревов реализующих энергосберегающие (а - в) и затратные (г) режимы управления

На рис.3, г представлен результат нагрева при затратном режиме за время 180 мин. В начальный момент времени был произведен интенсивный нагрев заготовки, а затем длительная (до конца времени нагрева) выдержка. Такой режим нагрева достаточно часто реализуется технологами - операторами при отсутствии точной информации о моменте времени, к которому следует подготовить нагреваемую заготовку и обеспечить её требуемое тепловое состояние. Фактически нагрев был закончен за 42 мин и в период времени 40 - 180 мин нагрева заготовка имела требуемое тепловое состояние. В реальных условиях это означало бы, что в любой момент времени, после 42 минут нагрева, заготовку можно было бы выдать в прокатный стан.

Сравнение энергетических затрат при реализации энергосберегающих режимов нагрева для разной заданной продолжительности нагрева приведено на рис.4. Кроме того была проведена оценка затрат энергии при затратном режиме нагрева (рис.3,г) которые составили 1833 Вт·ч, что в 2,28 раз выше, чем при энергосберегающем режиме за такое же заданное время нагрева (по рис. 3,в).

Полученные на исследовательском стенде экспериментальные данные полностью согласуются с теоретическими положениями об энергосберегающих режимах нагрева и также подтверждаются исследованиями проведенными на реальных проходных печах прокатных станов [16].

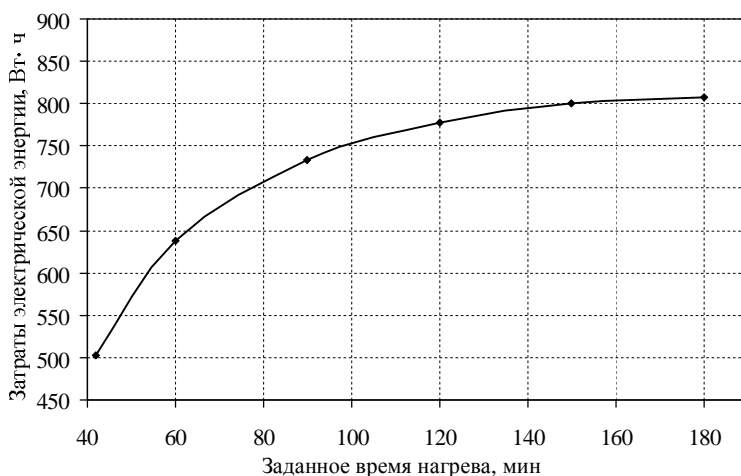


Рис.4. Энергетические затраты при оптимальном энергосберегающем управлении нагревом для разного заданного времени нагрева

При увеличении заданного времени нагрева заготовки в проходной нагревательной печи (что соответствует снижению производительности) от минимально возможного удельный расход энергии на нагрев заготовки увеличивается.

Проведенное экспериментальное исследование подтвердило возможность практической реализации расчетных оптимальных режимов нагрева заготовок в реальных производственных условиях в условиях действия на процесс нагрева конструктивных и технологических ограничений.

Библиографический список

1. Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Оптимизация режимов управления нагревом заготовок в печах проходного типа: монография. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2013. – 376 с.
2. Генкин А.Л. Моделирование и оптимизация процесса горячей прокатки полос. –М.:ЛЕНАНД, 2012. – 168с.
3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Комарова А.В. Оптимальный режим использования топлива при энергосберегающем нагреве // Известия Вузов. Черная металлургия. –2004, -№12. –С. 48-53.
4. Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Обоснование требований при реализации энергосберегающих режимов нагрева металла // Сталь. –2002. –№2. - С.47-51.
5. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г., Седельников С.В., Овчинников И.Ю.Опробование информационной системы контроля теплового состояния заготовок перед выдачей из методической печи // Сталь. –2006. –№ 12. – С. 75–78
6. Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Жадинский Д.Ю. Информационное обеспечение энергосберегающих режимов нагрева непрерывнолитых заготовок перед прокаткой // Металлург. –2005. –№9. –С. 64–67.
7. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Нужин Д.В., Волков А.В. Информационное обеспечение топливосберегающего нагрева металла // Сталь. –2007. –№9. - С.56-59.
8. Lee D. E., Kim M. Y. Optimum residence time for steel productivity and energy saving in a hot rolled reheating furnace. Journal of Mechanical Science and Technology, 2013, vol. 27, Iss. 9, pp. 2869–2877
9. Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Нужин Д.В. Автоматизированная система управления топливосберегающим несимметричным нагревом металла перед прокаткой в современных методических печах // Автоматизация и современные технологии. –2010. –№1. –С. 14 – 20
10. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Ахметов Т.У. Методика оценки теплового состояния нагреваемого металла перед выдачей из печей при энергосберегающем режиме управления // Автоматизация в промышленности. –2014. –№1. –С. 52–56

11. Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Система оптимального управления тепловым режимом промышленных печей // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2013. – №2. –С.18–29.
12. Сайров А.М. Оптимизация управления тепловым режимом в рабочем пространстве нагревательной печи // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №5. С. 296 – 301.
13. Обухова Т.Г. Определение теплового состояния заготовок на выходе из печи // // Автоматизированные технологии и производства. 2012. №4. С. 192 – 197.
14. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Жадинский Д.Ю. Исследование энергосберегающего режима нагрева непрерывнолитых заготовок // Сталь 2007. №4. –С.53–56
15. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Нужин Д.В. Расчет энергосберегающей траектории несимметричного нагрева НЛЗ в методической печи // Электротехнические системы и комплексы. –2007. –№.14. – С.352–362.
16. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Жадинский Д.Ю., Партин В.Н., Чеботов В.М. О реализации энергосберегающих режимов нагрева непрерывнолитых заготовок перед прокаткой // Сталь 2005. №12. –С.44–46.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
БЕЗРЕДУКТОРНЫМ ПОДЪЕМНЫМ МЕХАНИЗМОМ
ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА**

А.А. Бойко¹, Н.В. Акчебаши²

^{1,2}Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

**AUTOMATED CONTROL SYSTEMS GEARLESS PASSENGER
ELEVATORS HOISTING MECHANISM**

A.O. Boyko¹, N.V. Akchebash²

^{1,2}Odessa national polytechnic university, Odessa, Ukraine

¹dart77@ukr.net, ²akchebash@mail.ru

Предложено использование инновационного бесколлекторного двигателя постоянного тока с дисковым ротором в лифтовых безредукторных подъемных механизмах. Полученная математическая модель позволяет проводить исследования динамических режимов работы лифтового электропривода (ЭП). Приведена функциональная схема бесколлекторного ЭП постоянного тока. Приведены осциллограммы скорости и тока, полученные математическим моделированием и экспериментально.

Ключевые слова: *пассажирский лифт, безредукторная лебедка, управляемый электропривод, бесколлекторный двигатель постоянного тока с дисковым ротором, 12 секций обмоток, двухполярная широтно-импульсная модуляция, математическое моделирование, эксперимент на действующей установке.*

The use of innovative brushless DC motor with a disk rotor in the gearless elevator mechanisms is proposed. The resulting mathematical model allows the study of dynamic modes of operation of the electric elevator (EP). Functional diagram of the EP brushless DC is shown. Given the speed and current waveforms which were obtained using the mathematical model and by experiment

Keywords: *passenger elevator, gearless machine, operated electric, bezkollektorny DC motor with disc rotor windings 12 sections, the bipolar pulse-width modulation, mathematical modeling, experiment on the operating facility*

Введение

В существующих электроприводах (ЭП) пассажирских лифтов используется червячный редуктор с двухскоростным асинхронным двигателем. Данный ЭП имеет ряд важных недостатков технико-экономического характера. В номинальном режиме работы коэффициент полезного действия (КПД) редукторной лебедки не достигает 70 %, а в переходных режимах снижается до 40–50 % [1]. Такие существ-

венные потери являются следствием работы контактных поверхностей червячной пары, трение в подшипниках, вязкость масла и т.п. Наличие масла создает дополнительные проблемы в эксплуатации [2].

Перечисленные недостатки приводят к выводу о возможном отказе от червячного редуктора при проектировании новых лифтовых систем. В безредукторных лифтовых механизмах подъема канатоведущий шкив устанавливается непосредственно на вал приводного двигателя. Таким образом, уменьшаются размеры лебедки, и она становится более компактной, чем ее предшественники, что так же упрощает ее расположение в лифтовой шахте. При этом их ККД выше, соотношение массы груза и других движущихся масс распределено в пользу груза, появляется возможность рекуперации значительных величин энергии и т.п. [3].

Основные проблемы и решения

Серьезной проблемой при создании безредукторных лебедок есть необходимость иметь соответствующие по параметрам приводные двигатели. Двигатель, сохраняя ту же мощность (или меньше мощность, с учетом мощности потерь в редукторе), должен быть тихоходным и развивать пропорционально увеличенный рабочий момент. Решением проблемы может быть использование инновационного безколлекторного двигателя с дисковым ротором постоянного тока (БДПТ), который был разработан в Одесском национальном политехническом университете [4].

Двигатель состоит из неподвижного статора, на котором расположены обмотка возбуждения с обмоткой якоря, и ротора в виде диска с ферромагнитными полюсами. Принцип действия двигателя основан на поочередной коммутации секций обмоток якоря.

Конструктивное решение БДПТ с дисковым ротором дает ряд преимуществ [5, 6]:

- масса двигателя сопоставима с массой быстроходного асинхронного двигателя в базовом варианте;
- повышенный КПД по сравнению с другими низкоскоростными двигателями;
- большая перегрузочная способность (коэффициент перегрузки $K_p = 10 \div 15$);
- отсутствие щёточно-коллекторного узла;
- уменьшенная инерционность ротора двигателя;
- модульная конструкция позволяющая повышать мощность и момент на валу двигателя за счёт использования дополнительных модулей;
- улучшенные энергетические показатели.

Цель работы.

Обзор вопросов, касаемо особенностей создания безредукторных лебедок пассажирских лифтов с БДПТ [4, 7].

Материалы исследования

При исследовании ЭП пассажирского лифта с БДПТ детально учитываются параметры механической и электрической частей лифта та реальна структура цикла работы от начала движения до наложения электромагнитного тормоза [8]. Технические данные используемого БДПТ приведены в табл. 1:

Таблица 1 – Технические данные БДПТ

Название параметра	Единицы измерения	Значение
Номинальная мощность	кВт	5,9
Номинальная частота вращения	об/мин	60
Номинальное напряжение	В	442
Номинальный ток	А	15,6
Номинальный КПД	%	87
Момент инерции	кг·м ²	7,5
Номинальный момент	Н·м	951
Сопrotивление якорной обмотки	Ом	0,3708
Индуктивность якоря	Гн	0,013

Механическая часть лифта описывается в [9].

ЭП лифтового без редукторного подъемного механизма состоит из силовой части и системы управления, функциональная схема которого представлена на рис. 1.

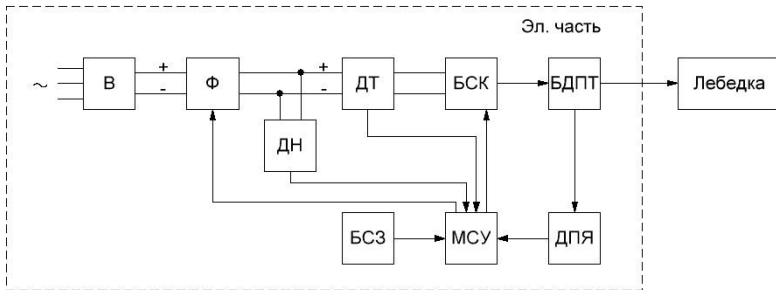


Рис. 1. Функциональная схема ЭП постоянного тока

В состав силовой части входит трехфазный неуправляемый выпрямитель, выполненный за мостовой схемой (В), С-фильтр (Ф), блок силовых ключей (БСК) та безколлекторный двигатель постоянного тока (БДПТ). Система управления имеет в своем составе датчики напряжения (ДН), тока (ДТ), датчик скорости и положения якоря двига-

теля (ДПЯ), блок сигналов задания (БСЗ) и микропроцессорную систему управления (МСУ).

Поскольку обмотка двигателя имеет 12 секций, то в качестве силовых ключей используются 4 интеллектуальные силовые IGBT модули, каждый из которых имеет в себе 6 транзисторов с обратными диодами, а также драйверы для их управления. Блок силовых транзисторов собран за 12-фазную мостовую схему. Такая конструкция позволяет управлять двигателем и коммутацией обмоток за счет двухполярной широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Выходные сигналы управления интеллектуальными силовыми модулями поступают с программируемой логической интегральной схемы, которая выполняет функции дешифратора сигналов от оптического датчика положения ротора и получает ШИМ последовательность от управляющего контролера.

В качестве управляющего контролера лифтового ЭП используется контролер фирмы ATMEL типа ATmega32, на котором собран ШИМ модулятор и трехконтурная система подчиненного управления, а также модуль расчета скорости цифрового энкодера.

Моделирование БДПТ выполняется на базе уравнений классического двигателя постоянного тока [7]:

$$U_{я} = R_{я} \cdot i_{я} + L_{я} \frac{di_{я}}{dt} + e, \quad (1)$$

$$e = C \cdot \omega, \quad (2)$$

$$M = M_c + J_{сум} \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

где $U_{я}$ – напряжение якоря двигателя; $R_{я}$ – сопротивление якоря; $L_{я}$ – индуктивность якоря; $i_{я}$ – струм якоря двигателя; e – электродвижущая сила двигателя; C – коэффициент двигателя; ω – угловая скорость; M , M_c – электромагнитный и статический моменты двигателя; $J_{сум}$ – суммарный момент инерции двигателя.

Регуляторы трехконтурной системы подчиненного управления с БДПТ следующие: регулятор тока – релейный, регулятор скорости – пропорционально-интегральный (ПИ), настроенный на симметричный оптимум, регулятор положения – пропорциональный (П), настроенный на модульный оптимум. Соответствующие передаточные функции регуляторов приведены ниже:

$$H_{pc}(p) = \frac{1}{K_{dc}}, \quad (4)$$

где $K_{дс}$ – коэффициент датчика тока; $T_{му}$ – некомпенсированная постоянная времени.

$$H_{рш}(p) = \frac{K_{дс} \cdot J_{сум}}{4 \cdot T_{му} p \cdot C \cdot K_{дш}} \cdot \frac{(8 \cdot T_{му} p + 1)}{8 \cdot T_{му}}, \quad (5)$$

где $K_{дш}$ – коэффициент датчика скорости.

$$H_{рп}(p) = \frac{K_{дш}}{16 \cdot T_{му} \cdot K_{дп}} = K_{рш}, \quad (6)$$

где $K_{дп}$ – коэффициент датчика положения; $K_{рш}$ – коэффициент регулятора скорости.

Для компенсации нежелательного опережения используется фильтр на входе регулятора скорости. Передаточная функция имеет вид:

$$H_{ф}(p) = \frac{1}{8T_{му}p + 1}. \quad (7)$$

При анализе работы лифтового ЭП с бесколлекторным двигателем постоянного тока учитывалась поездка на один этаж. Во время остановки на этаже кабина лифта удерживается в неподвижном состоянии за счет дискового тормоза. За время остановки кабины лифта на этаже совершается посадка (высадка) пассажиров. Перед началом движения кабины лифта вверх (вниз) происходит процесс снятия тормоза с одновременным включением ЭП лифта, вследствие чего совершается процесс электрического удержания кабины за счет момента двигателя. После полного снятия тормоза двигатель стоит в режиме короткого замыкания и ждет команду на пуск. При получении команды пуск кабина лифта начинает двигаться по заданной траектории с заданным ограничением рывка и ускорения с максимально допустимой постоянной скоростью движения. При подъезде к назначенному этажу происходит процесс торможения по заданной траектории с ограничением динамических параметров движения кабины лифта. После остановки ЭП работает в режиме электрического удержания кабины, что необходимо для уверенного наложения тормоза, и только после этого отключается. В случае использования управляемого ЭП для режима точной остановки нет необходимости использовать датчик точной остановки, поскольку система замкнутая, и обрабатывает с высокой точностью заданную траекторию. Режим электрического удержания кабины лиф-

та за счет работы ЭП происходит на протяжении 0,5 с, что есть достаточным для уверенного снятия и наложения тормоза.

Исследование работы лифтового ЭП во время поездки на один этаж с загрузкой кабины 75 кг выполнено при помощи математического моделирования. Результат исследования в виде графиков скорости и тока приведено на рис. 2.

С рис. 2 видно, что благодаря использованию трехконтурной системы подчиненного управления, предоставляется возможность точного воспроизведения БДПТ заданной траектории движения кабины и точной остановки, которая выполняется на определенном этаже без дополнительных операций подхода к заданной точке. Движение выполняется согласно с рассчитанной траекторией с ограничением заданной скорости на уровне номинальной, ускорение – до 1 м/с^2 и рывка – до 3 м/с^3 , что соответствует угловым величинам $\xi=4,17 \text{ 1/с}^2$ и $\rho=12,5 \text{ 1/с}^3$. Эти параметры соответствуют условиям комфортного перемещения пассажиров. Расчетная форма графика скорости – трапециидальная с ограничением рывка.

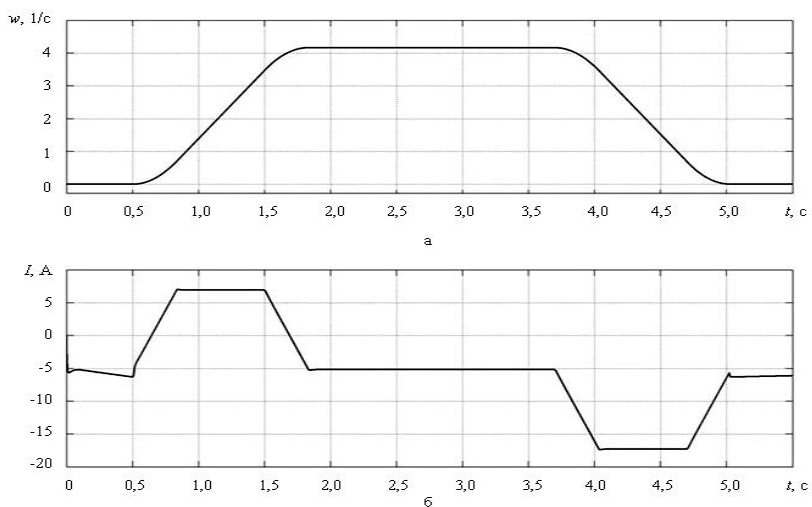


Рис. 2. График скорости (а) и тока (б) при перемещении кабины с загрузкой в 75 кг (моделирование)

Экспериментальные характеристики перемещения и скорости ЭП с БДПТ, которые были сняты на действующей установке, приведены на рис. 3 и 4. Разница между экспериментальными данными и результатами моделирования не превышает 7 % в статических и 15 % – в динамических режимах.

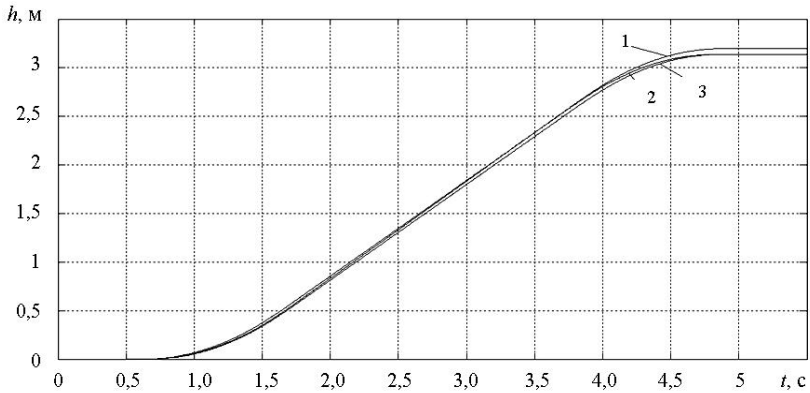


Рис. 3. Диаграмма пройденного пути кабины лифта при задании пути: 1 – с учетом дробной части; 2 – с целой частью; 3 – на выходе двигателя при целочисленном задании

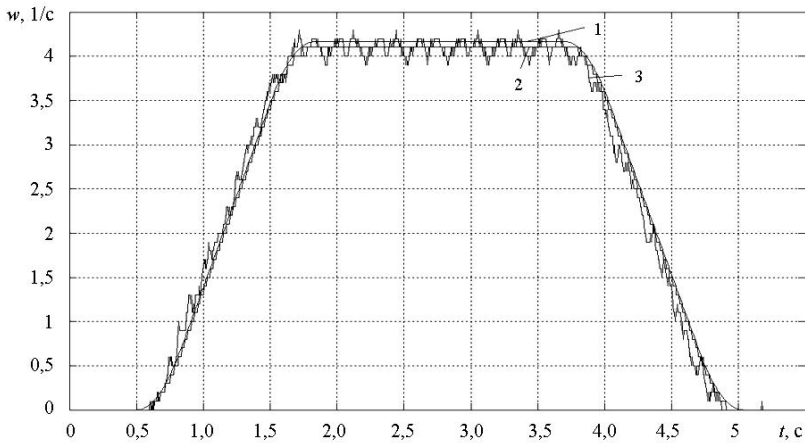


Рис. 4. График угловой скорости во время перемещения кабины с загрузкой 75 кг при ее задании: 1 – с учетом дробной части; 2 – с целой частью; 3 – на выходе двигателя при целочисленном задании

Для формирования ШИМ последовательности используется 8-битный ШИМ, поэтому задания скважности состоит из целых чисел от 0 до 255. В полученных расчетных значениях задание скважности использовалось с учетом дробной части и с округлением до целочисленных значений. Диаграмма скорости 1 соответствует заданию с дробной частью при поездке на один этаж (3,2 м). Пройденный путь 1 в этом

случае составляет 3,1395 м, что на 6см меньше необходимого. Результатом этого является то, что на вход регулятора скорости вместо 4,16 с-1(max задание на S-характеристике) было подано задание в виде $4,1с-1 \cdot 10 = 41$ дискреты.

При использовании значения задания с целочисленным числом ошибка пройденного пути 2 составляет 0,12 мм, соответствующая диаграмма скорости обозначена как 2.

Угловая скорость и пройденный путь на выходе двигателя при целочисленном задании обозначены 3 соответственно.

Для компенсации разницы между заданием с дробной частью и целой частью необходимо вводить поправочный коэффициент или увеличивать разрядность ШИМ до 10 бит, что больше рационально, но не всегда возможно.

Выводы

Переход к безредукторным лебедкам лифтового ЭП требует использование тихоходного двигателя с улучшенными массогабаритными и энергетическими показателями. Благодаря этому энергетическая эффективность улучшается в 10 раз по сравнению с редукторной лебедкой с двухскоростным асинхронным двигателем.

В качестве приводного тихоходного двигателя лифтового механизма подъема может быть использован инновационный бесколлекторный двигатель постоянного тока с дисковым ротором.

Использование современной элементной базы позволило создать ЭП для лифтовых механизмов с цифровым микропроцессорным управлением. Данная автоматизированная система управления с бесколлекторным двигателем постоянного тока с дисковым ротором обладает высокой точностью с максимальной ошибкой по перемещению 0,12 мм, является надежной и простой в эксплуатации.

Библиографический список

1. Janovsky L. Testing of Elevator Mashines [текст] / L. Janovsky // Elevator Technology. – 1988. – № 2.
2. Strakosch G. R. Vertical transportation [текст] / G. R Strakosch – Welley, New-York, 1987. – 365 p.
3. Андрющенко О. А. Повышение технического уровня пассажирских лифтов Украины, эволюция или революция? [текст] / О. А. Андрющенко, А. А. Бойко // Экономист. – 2011. – № 8. – С.75 – 79.
4. Булгар В. В. Применение двигателей постоянного тока с безбмоточным ротором в низкоскоростных безредукторных электроприводах [текст] / В. В. Булгар, Д. А. Ивлев // Труды Одесского политехнического университета. Одесса, – 2010. – № 1(33)-2(34). – С. 99 – 104.

5. Патент РФ № 2286642С2. Н02К23/00. Электрический двигатель постоянного тока индукторного типа. / В.В.Булгар, В.В.Гололобов, А.Д.Ивлев, А.В.Яковлев, Д.А.Ивлев // Бюл № 30. – 2006г.
6. Патент України № 89072С2. Н02К21/12. Торцевий електричний двигун постійного струму з комбінованим збудженням. / В.В.Булгар, А.Д.Івлєв, О.В.Яковлєв, Д.А.Івлєв // Бюл № 24. – 2009р.
7. Андриющенко О. А. Вимоги до приводного двигуна безредукторної лебідки пасажирського ліфта [текст] / О. А. Андриющенко, А. А. Бойко, В. В. Булгар и др. // Электротехнические и компьютерные системы. – К. : Техніка. – 2011. – № 03 (79). – С.163 – 166.
8. Архангельский Г. Г. Основы расчета и проектирования лифтов [текст] / Г. Г. Архангельский, А. А. Ионов // Учебное пособие. – М. : МИСИ, 1985. – 74 с.
9. Волков Д. П. Лифты [текст] / Д. П. Волков // Учебник для вузов. – М. : АСВ, 1999. – 480 с.

**НЕЧЕТКОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ
В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ТОЧЕНИЯ**

И.Ф. Месягутов¹, С.Г. Гончарова², А.В. Вавилова³

^{1,2,3}ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный
технический университет», г. Уфа, Россия

**FUZZY DYNAMIC PROGRAMMING IN MACHINING
PROCESS CONTROL**

^{1,2,3}**I.F. Mesyagutov¹, S.G. Goncharova², A.V. Vavilova³**

Ufa state aviation technical university, Ufa, Russia

kats_ugatu@mail.ru

Статья посвящена методике синтеза алгоритма управления процессом точения на основе метода нечеткого динамического программирования.

Ключевые слова: управление процессом механообработки; нечеткие множества; нечеткая логика; оптимальное управление; динамическое программирование.

The article is dedicated to synthesis of machining process control law on the base of fuzzy dynamic programming method.

Keywords: machining process control; fuzzy sets; fuzzy logic; optimal control; dynamic programming.

В настоящее время основными системами управления в механообработывающих станочных модулях являются системы ЧПУ, работающие по управляющей программе. В ряде случаев, в частности при аварийных ситуациях, с целью повышения эффективности механообработки возникает необходимость коррекции управляющей программы в оперативном режиме в ходе обработки деталей. Наиболее сложной, как в методическом, так и в техническом плане является переназначение глубины резания. В данной работе предложена методика назначения оптимальной глубины резания в процессе точения заготовки в условиях изменяющегося припуска.

Глубина резания $t[k]$ на k -й технологической операции рассчитывается на основании припусков, значения которых варьируются вследствие погрешностей заготовки. Слишком большое значение глубины не допускают технологические и конструкторские условия, наиболее существенными из которых являются мощность привода главного движения станка, предел прочности державки резца, стрела прогиба заготовки и резца, возникающие в результате их деформации под действием температур и усилий обработки, шероховатость и остаточные напряжения поверхностного слоя детали. Эти условия, переведенные на формальный язык теории систем, формируют ограничения на мак-

симальное значение глубины резания. В свою очередь малое значение глубины резания неэффективно, вследствие слишком длительного машинного (основного) времени обработки. Анализ вышеуказанной технологической задачи показал, что процесс формирования глубины резания может быть формализован в виде дискретной динамической недетерминированной модели.

Один из путей решения этой задачи возможен в применении метода нечеткого динамического программирования [1, 2]. В его основе лежит понятие нечеткого множества (НМ) [3]. НМ $A = \{x, \mu_A(x)\}$ есть совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов x универсального множества X и соответствующих функций принадлежности (ФП) $\mu_A(x)$. ФП $\mu_A(x)$ осуществляет отображение универсального множества X в значения из отрезка $[0,1]$

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1].$$

Здесь ФП может быть интерпретирована как функция полезности и мера допустимости.

Постановка задачи нечеткого динамического программирования. Управление объектом ведется на временном интервале $i \in [0, I]$. В каждый момент времени объект может принимать любое из $S = \{S_1, S_2, \dots, S_l, \dots, S_n\}$ состояний. Причем текущее состояние в данный момент времени известно. Управляющий сигнал выбирается из заданного множества дискретных значений $u = \{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_m\}$. На управляющий сигнал в каждый момент времени наложены ограничения, представленные функциями ограничений

$$\begin{matrix} u[k] & u_1 & u_2 \dots & u_j \dots & u_m \\ \mu_C(u, i) & \mu_C(u_1, i) & \mu_C(u_2, i) \dots & \mu_C(u_j, i) \dots & \mu_C(u_m, i) \end{matrix},$$

где $i=2..I$.

Модель объекта управления описывается функцией переходов

$$S[i] = F(S[i-1], u[i-1]).$$

Целевая функция представлена функцией полезности в конечный момент времени I

$$\begin{matrix} S[I] & S_1 & S_2 \dots & S_l \dots & S_n \\ \mu_G(S, I) & \mu_G(S_1, I) & \mu_G(S_2, I) \dots & \mu_G(S_l, I) \dots & \mu_G(S_n, I) \end{matrix}.$$

Необходимо выбрать последовательность управляющих воздействий $u[i]$, удовлетворяющих целевой функции на всем временном интервале, чтобы перевести объект из нулевого состояния в конечное (желаемое) при заданных ограничениях.

Решение задачи представляет собой итерационную процедуру, которую следует осуществлять в направлении от заключительного момента времени к начальному моменту. На каждой итерации вычисляется нечеткая функция Беллмана, выражающая функцию полезности (1), а также происходит выбор наиболее компромиссного для данного этапа значения управляющего сигнала (2).

$$\mu_G(S_l, i-1) = \max_{u_1, \dots, u_m} \left\{ \min[\mu_C(u_1, i-1), \mu_G(F(u_1, S_l, i-1), i)], \dots, \right. \\ \left. \min[\mu_C(u_m, i-1), \mu_G(F(u_m, S_l, i-1), i)] \right\} \quad (1)$$

$$u[i-1] = \arg \sup \left\{ \min[\mu_C(u_1, i-1), \mu_G(F(u_1, S_l, k-1), i)], \dots, \right. \\ \left. \min[\mu_C(u_m, i-1), \mu_G(F(u_m, S_l, k-1), i)] \right\} \quad (2)$$

Рассмотрим распределение глубины резания только на токарных операциях: пусть $k=1$ – черновая обработка, $k=2$ – чистовая обработка.

На основе экспертных оценок технологов составлено множество альтернативных решений – возможных значений глубины резания на k -й технологической операции

$$u[k] = \{t_0[k], t_1[k], t_2[k], t_3[k], t_4[k], u_0[k]\},$$

где $u_0[k]$ – аварийная остановка или конец обработке.

Аналогично составлено множество состояний – возможных значений диаметра заготовки

$$S[k] = \{d_0[k], d_1[k], d_2[k], d_3[k], d_4[k], O[k]\}.$$

Диаметр измеряется в начале технологического перехода с помощью шупа или резца, выступающего в роли шупа, либо прогнозируется с помощью модели поведения.

Исходными (начальными) состояниями могут быть $d_1[1]$, $d_2[1]$, $d_3[1]$, $d_4[1]$.

Поведение объекта представлено табл. 1.

Таблица 1 – Модель поведения объекта

	$d_0[k]$	$d_1[k]$	$d_2[k]$	$d_3[k]$	$d_4[k]$	$O[k]$
$t_0[k]$	$d_4[k+1]$	$d_0[k]$	$d_1[k]$	$d_2[k]$	$d_3[k]$	$O[k]$
$t_1[k]$	$O[k]$	$d_4[k+1]$	$d_0[k]$	$d_1[k]$	$d_2[k]$	$O[k]$
$t_2[k]$	$O[k]$	$O[k]$	$d_4[k+1]$	$d_0[k]$	$d_1[k]$	$O[k]$
$t_3[k]$	$O[k]$	$O[k]$	$O[k]$	$d_4[k+1]$	$d_0[k]$	$O[k]$
$t_4[k]$	$O[k]$	$O[k]$	$O[k]$	$O[k]$	$d_4[k+1]$	$O[k]$

На основе экспертных оценок получена функция полезности:

$$\begin{array}{cccccccc}
 S[i, k] & O[2] & d_4[2] & d_3[2] & d_2[2] & d_1[2] & d_0[2] & d_4[3] \\
 \mu_G(S, i, k) & 0 & 0 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 1
 \end{array}$$

и отношение предпочтения:

$$\mu_P(t_0[k]) < \mu_P(t_1[k]) < \mu_P(t_2[k]) < \mu_P(t_3[k]) < \mu_P(t_4[k]) . \quad (3)$$

На основе расчетов по эмпирическим формулам и экспертных оценок технолога получены нечеткая функция ограничения для черновой обработки

$$k = 1: \quad \begin{array}{cccccc}
 u[i-r, k] & t_0[k] & t_1[k] & t_2[k] & t_3[k] & t_4[k] \\
 \mu_C(u, i-r, k) & 1 & 1 & 0,8 & 0,3 & 0
 \end{array}$$

и ограничение для чистовой операции

$$k = 2: \quad \begin{array}{cccccc}
 u[i-r, k] & t_0[k] & t_1[k] & t_2[k] & t_3[k] & t_4[k] \\
 \mu_C(u, i-r, k) & 1 & 1 & 0,9 & 0,5 & 0,3
 \end{array} .$$

Решение задачи следует начать с распределения глубины резания на чистовой операции при $k = 2$. Функции Беллмана (полезности) и управляющие воздействия определим по формулам (1), (2).

$$\begin{array}{cccccccc}
S[i-1, k] & O[2] & d_4[2] & d_3[2] & d_2[2] & d_1[2] & d_0[2] & d_4[3] \\
\mu_G(S, i-1, k) & 0 & 0,6 & 0,7 & 0,9 & 1 & 1 & 1
\end{array}$$

где i – номер технологического перехода в пределах данной операции.

$$\begin{array}{cccccccc}
S[i-1, k] & O[2] & d_4[2] & d_3[2] & d_2[2] & d_1[2] & d_0[2] & d_4[3] \\
u[i-1, k] & u_0[2] & t_2[2] & t_2[2] & t_2[2] & t_1[2] & t_0[2] & u_0[3] \\
S[i-2, k] & O[2] & d_4[2] & d_3[2] & d_2[2] & d_1[2] & d_0[2] & d_4[3] \\
\mu_G(S, i-2, k) & 0 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
S[i-2, k] & O[2] & d_4[2] & d_3[2] & d_2[2] & d_1[2] & d_0[2] & \\
u[i-2, k] & u_0[2] & t_1[2] \text{ или} & t_1[2] & t_0[2] \text{ или} & t_0[2] \text{ или} & t_0[2] & \\
& & t_2[2] & & t_1[2] & t_1[2] & &
\end{array} \quad (4)$$

Разрешив конфликтную ситуацию на основе отношения предпочтения (3) получим следующие управляющие воздействия

$$\begin{array}{cccccccc}
S[i-2, k] & O[2] & d_4[2] & d_3[2] & d_2[2] & d_1[2] & d_0[2] & \\
u[i-2, k] & u_0[2] & t_2[2] & t_1[2] & t_1[2] & t_1[2] & t_0[2] &
\end{array} \quad (5)$$

По решениям на двух заключительных этапах видно, что чистовая технологическая операция разбивается на два перехода. На этапе $i-3$ рассматривается черновая операция, $k=1$.

$$\begin{array}{cccccccc}
S[i-3, k] & O[1] & d_4[1] & d_3[1] & d_2[1] & d_1[k] & d_0[1] & d_4[2] \\
\mu_G(S, i-3, k) & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
S[i-3, k] & O[1] & d_4[1] & d_3[1] & d_2[1] & d_1[1] & d_0[1] & \\
u[i-3, k] & u_0[1] & t_0[1] \text{ или} & t_0[1] \text{ или} & t_0[1] \text{ или} & t_0[1] \text{ или} & t_0[1] & \\
& & t_1[1] & t_1[1] & t_1[1] & t_1[1] & &
\end{array}$$

Разрешив конфликтную ситуацию по формуле (3), окончательно получим

$$\begin{array}{cccccccc}
S[i-3, k] & O[1] & d_4[1] & d_3[1] & d_2[1] & d_1[1] & d_0[1] & \\
u[i-3, k] & u_0[1] & t_1[1] & t_1[1] & t_1[1] & t_1[1] & t_0[1] &
\end{array} \quad (6)$$

По полученному алгоритму рассмотрим выбор оптимальной глубины резания, если заготовка имеет диаметр $d_3[1]$. Согласно решению (6) принимаем глубину резания на черновой операции $t_1[1]$. Согласно таблице 1 переходов в результате выбранного решения очередным состоянием окажется $d_1[1]$. Вновь по предписанию (6) выбираем $t_1[1]$ и попадаем в $d_4[2]$. Черновая обработка заверена. Дальнейшее значение глубины резания выбираем на основе решения (5). Оно равно $t_2[2]$. Согласно таблице 1, попадаем в $d_1[2]$. Затем на основе решения (4) принимаем $t_1[2]$ и оказываемся в целевом состоянии $d_4[3]$.

Рассмотренная методика позволяет сократить сроки подготовки производства, повысить его эффективность за счет автоматизации технологических процессов.

Библиографический список

1. Гончарова, С.Г., Крючков, В.Г., Месягутов, И.Ф. Нечеткое логическое управление технологическими процессами. – Уфа: УГАТУ, 2006. – 72 с.

2. Борисов, А.Н., Крумберг, О.А., Федоров, И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184с.

3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744с.

**ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ПРИРОДНОГО
ГАЗА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ
РАСХОДА КОКСА**

М.В. Баранкова¹, Б.Н. Парсункин²

*^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

**COKE CONSUMPTION MINIMIZATION BY MEANS OF
NATURAL GAS CONSUMPTION CONTROLLING
OPTIMIZATION TO THE BLAST FURNACE**

M.V. Barankova¹, B.N. Parsunkin²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

¹nansy_stokli@mail.ru

В данной статье приведена схема оптимизации управления подачей природного газа в доменную печь. Критерием оптимизации является минимизация расхода кокса. Приведены расчеты переходных процессов при разных шагах оптимизации.

Ключевые слова: *доменная печь, расход природного газа, расход кокса, оптимизация управления.*

This article anatural gas consumption controlling optimization scheme to the blast furnace is described. Coke consumption minimization is an optimization aim. It is contained the transients calculations at optimization different steps.

Keywords: *blast furnace , natural gas consumption , coke consumption, controlling optimization.*

Актуальным направлением развития технологии доменной плавки является внедрение мероприятий, направленных на снижение удельного расхода кокса. Одним из эффективных способов экономии считается компенсация части дорогостоящего кокса природным газом [1,5]. Такая замена приведет к снижению себестоимости чугуна в связи с тем, что стоимость 1 тонны кокса составляет 2500 руб, 1000 кубометров природного газа – 900 руб.

Экономия кокса при вдувании природного газа достигается за счет увеличения непрямого и уменьшения прямого восстановления, замены части углерода кокса на углерод природного газа и уменьшения прихода серы в печь и выхода шлака вследствие уменьшения расхода кокса, вызываемого первыми двумя факторами.

Доказано, что зависимости между величиной удельного расхода кокса и величиной удельного расхода природного газа имеют экстремальный характер [1,3].

Минимальный расход удельного расхода кокса зависит не только от удельного расхода природного газа, но и от удельного расхода кислорода в дутье. С увеличением удельного расхода кислорода в дутье минимально возможный расход кокса уменьшается с неравномерной интенсивностью, т.е. экстремальные статические характеристики в зависимости от удельного расхода кислорода имеют заметный дрейф.

Увеличение удельного расхода кокса при значительных удельных расходах природного газа определяются большими затратами тепла на термическое разложение природного газа и неэффективным использованием образовавшегося сажистого углерода в восстановительных процессах доменной плавки.

Исходной информацией для математического описания статической характеристики оптимизируемого процесса являются полученные экспериментальные данные об установившихся значениях выходного параметра процесса при фиксированных значениях входного параметра [1]. Статическая зависимость удельного расхода кокса от удельного расхода природного газа была получена аппроксимацией экспериментальных данных полиномом $Y(X) = -9908.0943 + 503.187X - 9.0567063X^2 + 0.07161X^3 - 0.00021X^4$ (рис. 1).

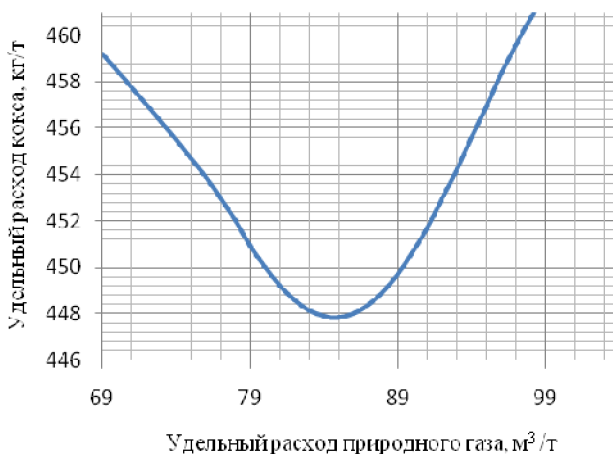


Рис. 1. Зависимость удельного расхода кокса от удельного расхода природного газа при удельном расходе 80-99 м³/т кислорода в дутье

Для определения и поддержания минимально возможного расхода кокса при текущем удельном расходе кислорода целесообразно ис-

пользовать систему автоматической оптимизации управления (САОУ) [4] шагового (дискретного) типа для управления подачей природного газа в печь. Это обуславливается существенной (до 10ч) инерционностью управляемого процесса по каналу «удельный расход природного газа - удельный расход кокса».

В широко используемой системе экстремального регулирования (СЭР) с запоминанием экстремума при поиске минимума управляющее воздействие формируется с учетом величины разности между наименьшим, достигнутым в предыдущий момент времени, и текущим значением выходного параметра оптимизируемого значения. Для улучшения показателей эффективности поисковых процессов В.В. Казакевичем было предложен метод по запоминанию скорости изменения параметра. При переводе на дискретное управление по величине изменения приращений в САОУ сохраняется периодический колебательный процесс. Это позволяет компенсировать негативное влияние инерционности доменной печи, оставляя колебательный вид поискового режима, который снижает эксплуатационную надежность технических средств. Поэтому в таких системах была предложена остановка исполнительного механизма в момент, когда текущее значение скорости уменьшается на величину большую, чем зона нечувствительности [2].

Структурная схема контура управления представлена на рис.2.

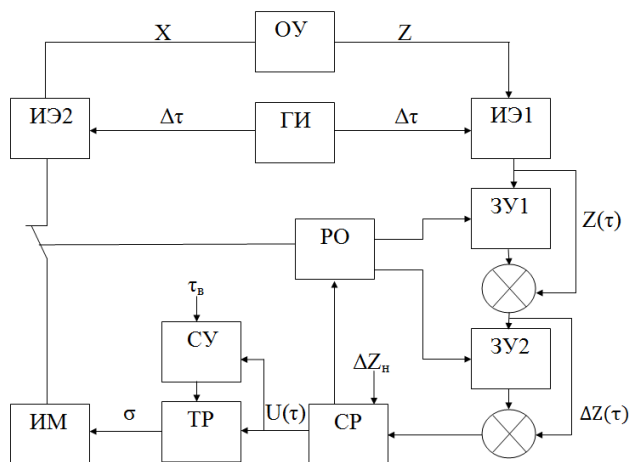


Рис.2. Структурная схема контура управления: ОУ – объект управления; ГИ – генератор импульсов; ИЭ1, ИЭ – импульсные элементы; ЗУ1, ЗУ2 – запоминающие устройства; СР – сигнал-реле; РО – реле останова; ТР – триггер-реле; СУ – стабилизирующее устройство; ИМ – исполнительный механизм

Объект управления аппроксимирован статической зависимостью удельного расхода кокса от удельного расхода природного газа и двумя звеньями первого порядка с постоянными времени, равными постоянной времени доменной печи (8 часов) и времени запаздывания объекта (2 часа).

Данная схема отображает следующую математическую модель (1):

$$\begin{aligned}
 & \text{если } \tau=(0; \Delta\tau_u), \text{ то } x(\tau)=x_0+\sigma K_u \tau, \\
 & \text{если } \tau=(\Delta\tau_u; \Delta\tau_u), \text{ то } x(\tau)=x_0+\sigma K_u \Delta\tau_u=\text{const}; \\
 Y(\tau)=f[x(\tau)] &= -9908.0943 + 503.187X - 9.0567063X^2 + 0.07161X^3 - 0.00021X^4; \\
 Y_1(\tau) &= 28800 \, dY_1/d\tau + Y_1(\tau) = f[x(\tau)]; \\
 Z(\tau) &= 7200 \, dZ/d\tau + Z(\tau) = Y_1(\tau); \tag{1} \\
 \text{если } Z(\tau) < Z_{\min}(\tau): & Z_{\min}(\tau) = Z(\tau); \\
 \text{если } Z(\tau) \geq Z_{\min}(\tau): & Z_{\min}(\tau) = Z(\tau-1); \\
 \text{если } \Delta Z(\tau) > \Delta Z_{\max}(\tau): & \Delta Z_{\max}(\tau) = \Delta Z(\tau); \\
 \text{если } \Delta Z(\tau) \leq \Delta Z_{\max}(\tau): & \Delta Z_{\max}(\tau) = \Delta Z(\tau-1); \\
 U(\tau) = \begin{cases} +1 & \text{если } \Delta Z(\tau) - \Delta Z(\tau)_{\max} + \Delta Z_H \geq 0, \text{ то } \sigma(\tau+1) = \sigma(\tau) \\ 0 & \text{если } \Delta Z(\tau) - \Delta Z(\tau)_{\max} + \Delta Z_H < 0, \text{ то } \sigma(\tau+1) = 0 \\ -1 & \text{если } \Delta Z(\tau) + \Delta Z_H < 0, \text{ то } \sigma(\tau+1) = -\sigma(\tau), \end{cases}
 \end{aligned}$$

где τ – текущее время, $\Delta\tau_u$ – время импульса, $\Delta\tau_u$ – время одного полного цикла, $x(\tau)$ – текущее значение входного параметра оптимизируемого процесса, x_0 – начальное значение входного параметра $x(\tau)=x_0$, σ – переключающая сигнум-функция, определяющая текущее направление изменения $x(\tau)$, $K_u=dx/dt=\text{const}$ – постоянная скорость ИМ, $Z(\tau)$ – текущее значение выходного параметра, ΔZ_u – зона нечувствительности СЭР, $U(\tau)$ –управляющая функция.

РО осуществляет остановку ИМ при уменьшении величины притока выходного параметра и сбрасывает запомненные значения величин с каждого запоминающего устройства.

Для прерывания монотонного поискового изменения $Z(\tau)$ в момент остановки ИМ необходимо периодически через заданный интервал $\tau_o=3\div 4 T_o$ времени производить принудительный реверс с использованием стабилизирующего устройства.

Результаты моделирования переходных процессов в системе представлены на рис. 3 и рис.4.

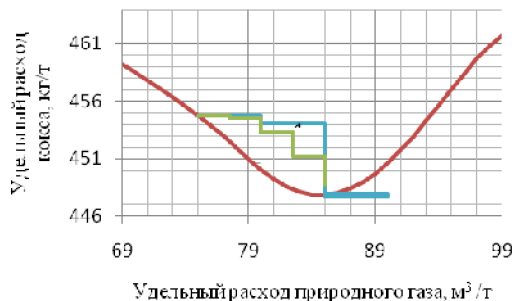


Рис.3. – Поисковый процесс в ШСЭР по запоминанию максимума приращений выходного параметра и остановкой ИМ: 1 – переходный процесс при шаге оптимизации 5 м³/т; 2 – переходный процесс при шаге оптимизации 2,5 м³/т

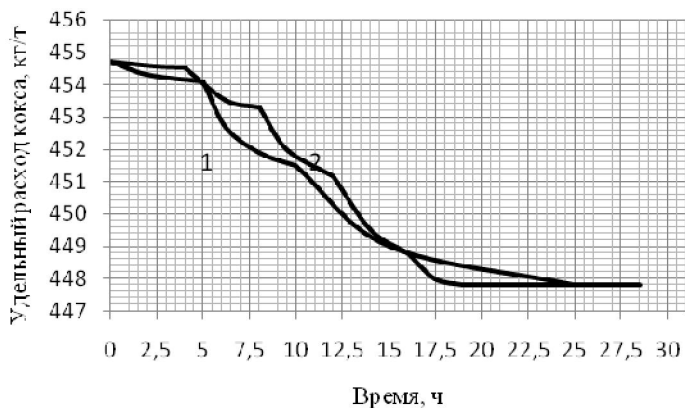


Рис.4. Результаты моделирования во времени: 1 – переходный процесс при шаге оптимизации 5 м³/т; 2 – переходный процесс при шаге оптимизации 2,5 м³/т

В итоге был достигнут минимум выходного параметра, равный 448 кг/т. Теоретически рассчитанный оптимальный удельный расход кокса составляет 447,84 кг/т. Судя по абсолютной погрешности, которая составляет 0,16 кг/т, можно говорить об эффективности данного метода. Исходя из полученных результатов во времени, было выяснено, что на продолжительность поискового процесса влияет величина шага оптимизации. При уменьшении шага изменения входного параметра, сокращается время выхода на оптимум на 6 часов.

Библиографический список

1. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: Монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. – 198 с.
2. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В. Расчеты переходных процессов в системах экстремального регулирования с запоминанием экстремума: Учеб.пособие. – Магнитогорск: МГТУ им Г.И. Носова, 2001. – 164 с.
3. Майорова Т.В., Андреев С.М. Проблемы автоматической стабилизации теплового состояния доменной печи // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. -№4. –С. 42-43.
4. Парсункин Б.Н., Сеничкин Б.К., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. -№4. -С. 69 - 73.
5. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Повышение эффективности нагрева дугтя в доменных воздуходогревателях // Электротехнические системы и комплексы. 2005. -№11. -С.131-137.

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

О.В. Пыхова

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

**AUTOMATIC CONTROL OPTIMIZATION FOR ORE
MATERIALS GRINDING PROCESS**

O.V. Pykhova

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
olgapihova1@gmail.com*

Наличие экстремальной статической характеристики процесса измельчения рудных материалов требует применения систем поиска и поддержания максимальной производительности измельчительных агрегатов при наличии неконтролируемых внешних возмущений. Наличие неконтролируемых возмущений на процесс измельчения, а также влияние предыдущих стадий измельчения требует усложнения системы поисковой оптимизации с целью обеспечения устойчивости процесса управления.

В работе предлагается структура двухконтурной системы оптимизации управления процессом измельчения осуществляющий непрерывный поиск максимального значения производительности процесса измельчения и способствующей повышению итоговых производственно-экономических показателей эффективности работы обогатительных фабрик.

Ключевые слова: *автоматическое управление, поисковая оптимизация, измельчение рудных материалов, нечеткая логика, система автоматической оптимизации*

The extreme static characteristics presented in the process of ore materials grinding requires the use of a retrieval system and crusher maintenance at peak performance granting the uncontrollable outward perturbations. The uncontrolled perturbations on the grinding process, as well as the impact of the previous grinding stages need to complicate the optimization retrieval system in order to ensure the control process sustainability.

The structure of a double-loop control system for the grinding process optimization continuously searching for the grinding process performance peak value and contributing to the rise in the total production and economic indicators for concentrating mill overall performance is introduced in this paper.

Keywords: *automatic control, retrieval system optimization, ore materials grinding, fuzzy logic, automatic optimization system*

Актуальность работы

Использование локальных проектов на отдельных горно-обогатительных комбинатах с применением современных средств автоматизации [1] не обеспечивают решение проблемы оптимизации управления энергоемким процессом измельчения рудных материалов.

Исследование статических и динамических характеристик процесса измельчения рудных материалов в мельницах [2,3] показало, что зависимости управляемых параметров от управляющих воздействий нелинейны, нелинеен и характер ограничений. Статическая характеристика процесса измельчения, определенная в координатах «расход питания – расход выходного продукта» по массе твердого материала имеет явно выраженный экстремум. Положение экстремума статической характеристики непостоянно и зависит от твердости руды и текущих параметров мельницы.

В таких условиях наиболее приемлемым и эффективным способом оптимизации управления процессом измельчения медно-цинковых рудных материалов является использование поисковой системы автоматической оптимизации управления [4-6].

Основные проблемы и решения

Для синтеза и последующего математического исследования процесса оптимизации управления процессом измельчения рудных материалов необходимо разработать функциональную модель системы управления.

Общая функциональная схема системы оптимизации процесса измельчения рудных материалов представлена на рис. 1.

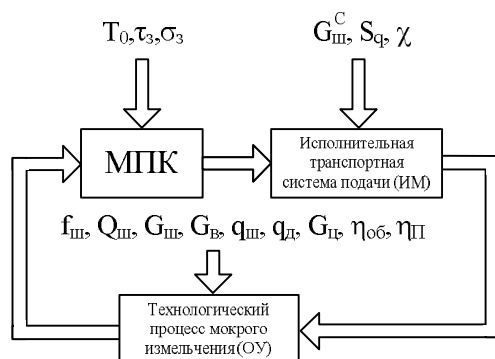


Рис. 1. Функциональная схема системы оптимизации управления процессом измельчения рудных материалов

Предлагаемая система автоматической оптимизации управления процессом измельчения включает следующие основные блоки замкнутого контура:

- блок, представляющий исполнительную транспортирующую систему подачи питания;
- блок, представляющий технологический процесс (объект управления) многостадийного мокрого измельчения;
- блок, представляющий микропроцессорный комплекс (МПК) управления и оптимизации управления процессом измельчения рудных материалов.

На объект управления и другие элементы системы действуют различные возмущающие воздействия технологического и случайного типа: f_{III} – изменение физических параметров (особенно твердости) исходного материала; Q_{III} – изменение производительности агрегатов предыдущих стадий измельчения; G_{III} – изменение массы твердого материала на входе в агрегаты стадий измельчения; G_B – изменение расхода воды в агрегаты каждой стадии измельчения; q_{III} – изменение плотности пульпы; q_d – изменение массы дробящих элементов (стержней и шаров) в барабанах агрегатов; G_{II} – изменение расхода циркулирующей нагрузки в контурах замкнутого цикла; η_{II} – изменение уровня пульпы в зумпфах стадий измельчения; G_3 – изменение заданной величины производительности цикла измельчения за счет питания; G_{III}^C – изменение массы шихты из-за неравномерного расхода материала из расходных бункеров; T_0, τ_3 – изменение динамических параметров процесса вследствие технологических возмущений; S_q – изменение скорости двигателей при работе частотных преобразователей; χ – стохастические факторы случайного типа, влияющие на величину питания цикла; η_{OB} – изменение скорости вращения барабанов.

Большинство из перечисленных возмущений на реальном объекте не поддаются контролю, поэтому корректировка алгоритма управления процессом с учетом действия этих возмущений сильно затруднена.

Задача оптимизации управления режимом измельчения решается с использованием совместной работы двух управляющих подсистем, составляющих структуру блока МПК (микропроцессорного контроллера).

Первая стабилизирующая подчиненная система управления подачей рудного материала (СР) и вторая командная система оптимизации управления обеспечивает коррекцию текущего режима питания цикла измельчения с целью достижения экстремума целевой функции (максимума производительности цикла). Структурная схема взаимодействия подсистем блока МПК представлена на рис. 2.

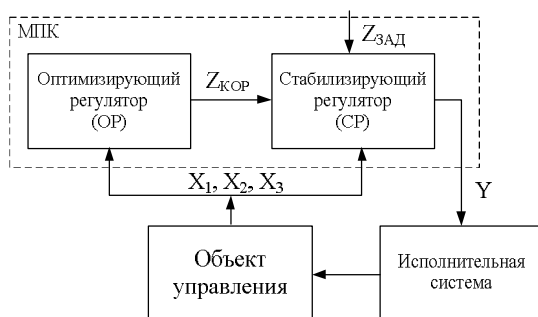


Рис. 2. Структурная схема взаимодействия подсистем блока «МПК»

Здесь «Оптимизирующий регулятор» – подсистема поисковой командной системы оптимизации управления; «Стабилизирующий регулятор» – подчиненная система стабилизирующего управления; $Z_{ЗАД}$ – сигнал задания, формируемый технологом-оператором; $Z_{КОР}$ – корректирующий сигнал задания, вырабатываемый подсистемой «Оптимизирующий регулятор»; Y – управляющее воздействие в «Исполнительную систему» подачи питания в цикл измельчения; «Объект управления» – технологический процесс измельчения; X_1, X_2, X_3 – информационные сигналы с объекта управления.

Использование каскадного управления при реализации предлагаемой поисковой динамической системы оптимизации инерционным с запаздыванием процессом измельчения необходимо для обеспечения устойчивости работы этой сложной распределенной системы в условиях интенсивных технологических возмущений.

Если осуществлять поисковую оптимизацию управления непосредственно управляя подачей питания в агрегат предварительного измельчения, то можно легко перевести систему в неустойчивый режим работы вследствие значительной инерционности процесса и существенного взаимовлияния агрегатов первой и второй стадий измельчения на выход продукта при работе цикла измельчения.

Управляя подачей питания без обратной связи по величине выходного продукта цикла измельчения практически очень трудно добиться устойчивой работы всего цикла при многостадийном мокром измельчении рудного продукта. Поэтому поисковая система оптимизации в предлагаемом варианте функционирует в качестве командной для стабилизирующего регулятора, обеспечивающего минимизацию рассогласования между заданным значением $Z^3(\tau) = Z_{ЗАД} + Z_{КОР}$ величины питания и действительными значениями питания цикла измельчения $Z(\tau)$, т.е. реализацию условия

$$\varepsilon(\tau) = Z^3(\tau) - Z(\tau) \rightarrow \min \quad (1)$$

В качестве подчиненного стабилизирующего контура управления можно использовать существующие системы управления, а также регуляторы сформированные на новых принципах формирования управляющих воздействий [9].

Реализация оптимизирующего регулятора с использованием известных методов поиска экстремума [10, 11] в значительной степени затруднено вследствие существенной нелинейности и даже в какой-то степени стохастичности процесса измельчения материала.

Поэтому в основу предлагаемой системы автоматической оптимизации (блок ОР на рис. 2) положен принцип, в котором реализована двухконтурная система оптимизации управления, предложенная в [4, 12]. Разработанная с учетом этого принципа структурная схема представлена на рис. 3.

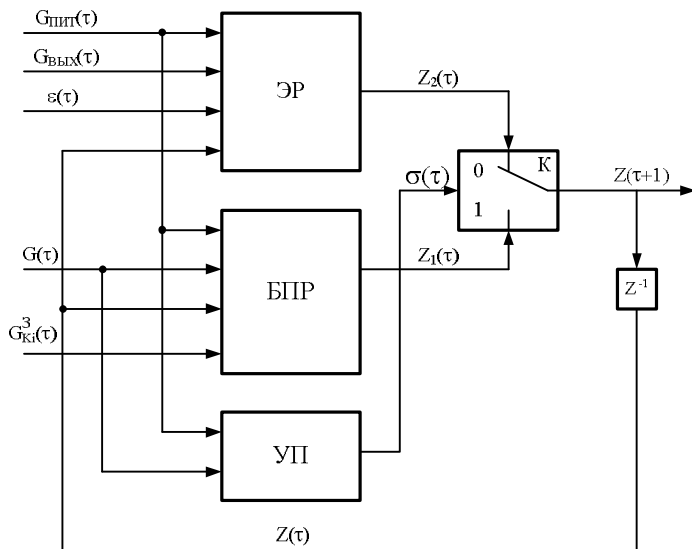


Рис. 3. Структурная схема блока ОР, реализующего систему поисковой динамической оптимизации управления процессом многостадийного измельчения

Система поисковой автоматической оптимизации управления циклом измельчения состоит из двух подсистем: системы экстремального регулирования (ЭР), обеспечивающей определение и поддержание режима максимальной производительности $G_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}$ и подсистемы быстрого поискового регулятора (БПР), обеспечивающей оперативный перевод режима работы измельчительного цикла в область близкую к оптимальной [3].

В каждый текущий момент времени функционирует только одна подсистема в зависимости от положения ключа К. Переключение К осуществляется устройством управления переключением (УП) путем формирования логического дискретного сигнала $\sigma(\tau)$.

БПР обеспечивает быстрый вывод процесса измельчения в окрестности максимальной производительности цикла для данного типа рудного материала, т.е. в заданную зону ΔG_{3i} , которая задается в зависимости от производственной ситуации, материала месторождения и директивных указаний.

В основу принципа работы подсистемы БПР лежит обеспечение условия

$$\delta(\tau) = G_{Ki}^3 - G_K(\tau) \rightarrow \min \quad (2)$$

где G_{Ki}^3 – заданное содержание материала определенной крупности K_i в сливе агрегата предварительной стадии измельчения; $G_K(\tau)$ – текущее содержание рудного материала заданной крупности K_i (например 1,24 мм) на выходе агрегата предварительной стадии измельчения.

Эта подсистема включается при условии значительного изменения условий измельчения из-за изменения твердости рудного продукта при заданной величине питания $G_{\text{ПИТ}}(\tau)$.

Поскольку процесс многостадийного измельчения характеризуется значительной (от 5 до 12 мин) инерционностью, то использование подсистемы БПР позволяет своевременно обнаружить отклонение текущего режима от установившегося и принять целенаправленно меры для предотвращения существенного нарушения устойчивой работы цикла измельчения.

БПР позволяет своевременно, хотя и грубо, но оперативно скорректировать заданное значение стабилизации расхода питания подчиненному регулятору и способствует уменьшению сигнала рассогласования $\epsilon(\tau)$.

Очевидно, что индивидуальные условия работы агрегатов первой и второй стадий измельчения оказывают определенное влияние на величину текущей производительности всего измельчительного цикла.

Поэтому, несмотря на оперативность, данный алгоритм не может обеспечить точное текущее значение $G_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}(\tau)$. Особенно это явление будет проявляться в течение некоторого интервала времени, когда будет иметь место нестационарный (переходный) режим работы объекта управления при изменении характеристик перерабатываемого рудного материала.

При использовании рудной массы из минералов различных месторождений целесообразно в качестве K_Z использовать величину определяемую в соответствии с условием:

$$K_Z = K_{ij1}Q_{ij1}(\tau) + K_{ij2}Q_{ij2}(\tau) + \dots + K_{ijn}Q_{ijn}(\tau), \quad (3)$$

где Q_{ij} - процентное содержание массы минерала в смеси j i -ого месторождения; K_{ij} - корректирующий коэффициент полученный экспериментально для руды j i -ого месторождения.

С учетом сказанного итоговое корректирующее заданное значение, формируемое БПР на последующий $(\tau + 1)$ момент времени

$$Z_1(\tau + 1) = Z(\tau) \pm K_Z \cdot \delta(\tau), \quad (4)$$

где $Z(\tau)$, $Z_1(\tau + 1)$ - корректирующее воздействие стабилизирующему контуру формируемое БПР в текущий и последующий момент времени в соответствии с условием

$$\begin{aligned} \text{Если } \delta(\tau) \geq \delta_H, \text{ то } Z_1(\tau + 1) &= Z(\tau) + K_Z \delta(\tau) \\ \text{Если } \delta(\tau) \leq -\delta_H, \text{ то } Z_1(\tau + 1) &= Z(\tau) - K_Z \delta(\tau), \end{aligned} \quad (5)$$

где δ_H - зона нечувствительности БПР.

Блок ЭР обеспечивает более точный поиск экстремума $G_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}$ в пределах локальной ΔG_{zi} «окрестности» максимума производительности цикла измельчения, куда процесс был выведен блоком БПР.

Реализация блока ЭР осуществляется с использованием принципов нечеткой логики и нечетких множеств. Системы с нечеткой логикой в последнее десятилетие в связи с успехами в развитии программируемых технических средств эффективно могут быть использованы не только для решения задач управления, но и при решении проблем оптимизации управления технологическими процессами [6, 13, 14].

Функциональная структурная схема реализации блока ЭР представлена на рис. 4.

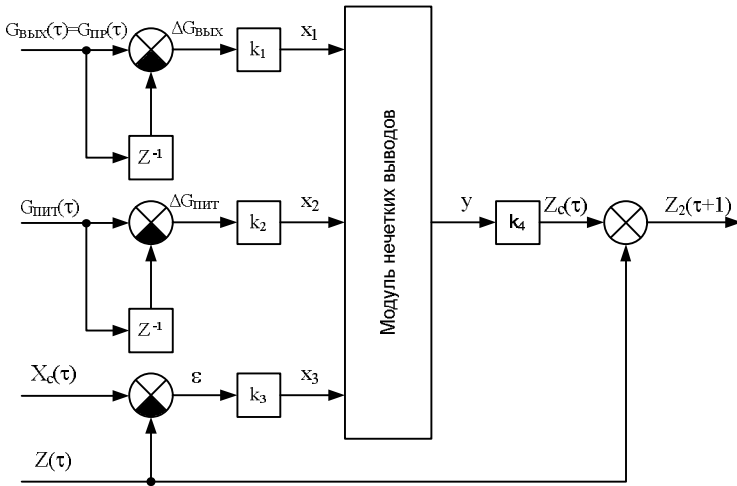


Рис. 4. Структурно-функциональная схема блока ЭР оптимизации процесса измельчения рудного материала

Основным элементом блока ЭР является программный модуль нечетких выводов, осуществляющий статическое отображение процесса управления $Y = F(x_1, x_2, x_3)$, предложенного в [15] и адаптированного для системы оптимизации управления процессом измельчения.

Входными сигналами подсистемы экстремального регулирования являются текущие значения средней производительности цикла измельчения $\bar{G}_{\text{ВЫХ}}(\tau)$ и средней величины питания $\bar{G}_{\text{ПИТ}}(\tau)$, текущего значения задания в системе $Z(\tau)$ и значение стабилизируемого параметра $X_C(\tau)$. В качестве $X_C(\tau)$ могут быть различные параметры в зависимости от организации функционирования подсистемы стабилизирующего управления. Например, величина массы материала определенной крупности на выходе, как отдельного агрегата, так и всего цикла.

Выходной сигнал блока ЭР представляет собой корректирующий сигнал задания $Z_2(\tau+1)$ для подсистемы стабилизирующего управления на следующую итерацию формирования управляющего воздействия.

В схеме предусмотрены блоки единичной задержки и сумматоры для запоминания значений входных информационных сигналов на предыдущей итерации и вычисления приращений входных сигналов на каждой текущей итерации $\Delta G_{\text{ПИТ}}$ и $\Delta G_{\text{ВЫХ}}$.

Вычисление сигнала $Z_2(\tau+1)$ осуществляется с учетом его текущего значения $Z(\tau)$ и текущего значения корректирующего сигнала $Z_C(\tau)$ формируемого модулем нечетких выводов.

Также вычисляется сигнал рассогласования $\varepsilon(\tau)$ как разность между заданием $Z(\tau)$ и текущим значением стабилизируемого параметра $X_C(\tau)$.

С использованием коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4 можно масштабировать параметры на предметной области нечетких множеств входных и выходных сигналов.

Входные сигналы модуля нечетких выводов (нечеткого контроллера) обозначены как x_1, x_2, x_3 и выходной сигнал как y .

При функционировании процедуры нечетких выводов использованы лингвистические переменные:

- x_1 – «Приращение выходного продукта»;
- x_2 – «Приращение питания цикла измельчения»;
- x_3 – «Рассогласование»;
- y – «Коррекция задания».

Функции принадлежности четких переменных нечетким множествам $\mu(x)$ заданы в форме функций Гаусса [16]

Для организации поискового режима работы блока ЭР используется следующее основное эвристическое правило.

«Если приращение текущей производительности цикла измельчения или дробления положительно, тогда необходимо дать коррекцию заданного значения питания цикла на дальнейшее изменение режима в сторону текущего изменения величины питания, в противном случае корректировать изменение режима питания цикла в противоположном направлении»

Блок УП обеспечивает переключение режимов работы блоков ЭР и БПР в системе оптимизирующего регулятора ОР.

Основной задачей, выполняемой этим блоком программы, является определение границы функционирования каждой из подсистем управления.

В случае значительного отклонения оптимизируемого параметра $G_{\text{ВЫХ}}(\tau)$ от экстремального значения действует блок БПР с допустимой (6–8%) неточностью определения $G_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}$.

При достижении параметром $G_{\text{ВЫХ}}(\tau)$ заданной зоны $\Delta G_{\text{Зi}}$ в работу включается оптимизирующий блок ЭР, обеспечивающий в соответствии с правилами нечеткого экстремального регулирования [15] определение и поддержание величины $G_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}$ в пределах заданной зоны $\Delta G_{\text{Зi}}$.

Устройство переключения УП функционирует в соответствии с условием

$$\delta(\tau) = G_{\text{Ki}}^3 - G_{\text{Ki}}(\tau);$$

$$\sigma(\tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } |\delta(\tau)| > H_1 \\ 0, & |\delta(\tau)| < H_2, \end{cases} \quad (6)$$

где H_1 – значение области функционирования блока ЭР (ΔG_{3i}), выход оптимизируемого параметра за которую переводит ключ К (см. рис. 3) в положение «1», обеспечивая перевод режима управления от блока БПР; H_2 – зона значений $G_{\text{ВЫХ}}(\tau)$ при попадании в которую ключ К переводится в положение «0». При этом происходит отключение блока БПР и включение в работу блока ЭР.

Целесообразно в системе установить $H_1 > H_2$, тогда при включении системы автоматической оптимизации управления процессом измельчения при работе программного блока БПР будет обеспечено более близкое к $G_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}$ значение $G_{\text{ВЫХ}}(\tau)$. Это в какой-то мере будет дополнительно способствовать увеличению оперативности определения значения $G_{\text{ВЫХ}}^{\text{MAX}}$.

Результаты моделирования

Расчетная траектория поискового режима при функционировании предложенной системы автоматической оптимизации (САО) управления процессом измельчения материала в системе координат «расход материала на входе» - «производительность агрегата» представлена на рис. 5.

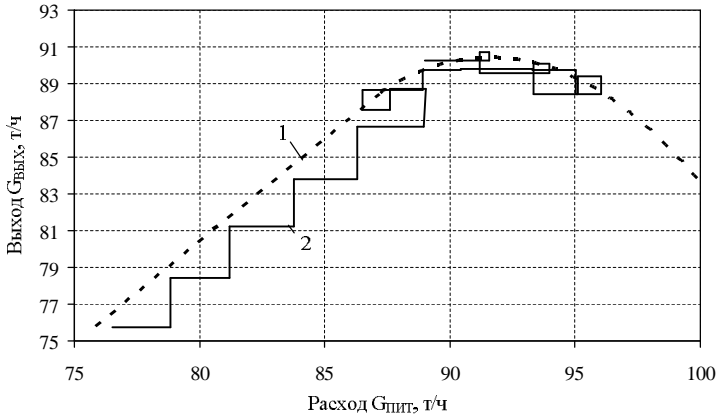


Рис. 5. Расчетная траектория (2) изменения выходного оптимизируемого параметра $G_{\text{ВЫХ}}$ в процессе функционирования САО управления процессом измельчения с использованием принципа нечеткого управления (1 – статическая характеристика процесса измельчения)

Расчетная траектория изменения во времени входного управляющего параметра в процессе оптимизирующего поиска, изображенного представлена на рис. 6.

Переключение между блоками БПР и ЭР произошло при достижении расхода $G_{\text{пит}}=89$ т/ч на 50-ой минуте процесса управления.

Выводы

Анализ полученной траектории поискового процесса показывает, что рассматриваемая САУ управления процессом измельчения материала обеспечивает устойчивый поиск за счет формирования корректирующего воздействия на стабилизирующий контур управления питанием измельчительного агрегата, работающего в замкнутом цикле.

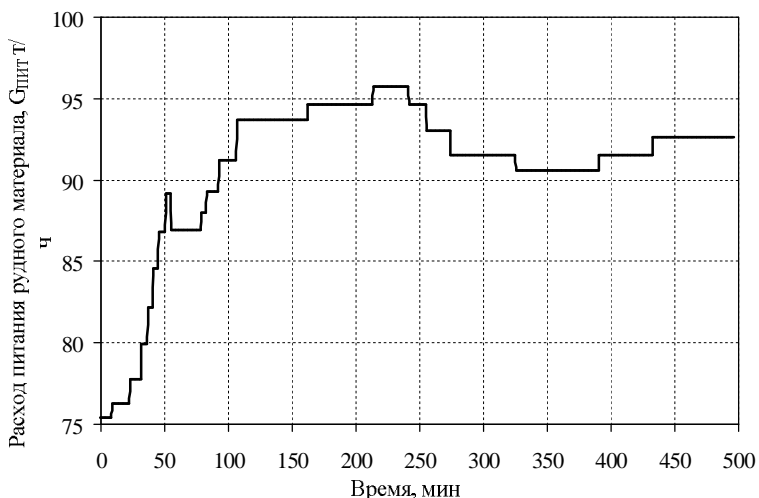


Рис. 6. Расчетная траектория изменения во времени $G_{\text{пит}}(\tau)$ входного управляющего параметра в процессе оптимизирующего параметра

Библиографический список

1. Улитенко К.Я., Маркин Р.П. Определение циркулирующей нагрузки измельчительных агрегатов в АСУ ТП // Обогащение руд. 2005. –№2. –С. 42 – 46.
2. Евстигнеев В.Л. Постановка задачи оптимизации многостадийного дробления // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №5. С. 263 – 270.

3. Андреев С.М., Пыхова О.В. Система автоматической оптимизации процесса измельчения рудных материалов с использованием поискового алгоритма корреляционного типа. 2012. –№20. –С.280 – 287.

4. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2006. –198 с.

5. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В., Андреев С.М. Расчеты систем автоматической оптимизации управления технологическими процессами в металлургии: учеб.пособие. –Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2003. –267 с.

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

7. Брайчук О.А., Андреев С.М. Система оптимизации управления процессом измельчения рудных материалов в условиях АО «ССГПО» // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2011. –№1. –Т.2. –С. 112-118.

8. Брайчук О.А. Оптимизация процесса измельчения в шаровой мельнице АО «ССГПО» // Автоматизированные технологии и производства. 2012. №4. С. 140 – 145.

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

10. Казакевич В.В., Родов А.Б. Системы автоматической оптимизации. –М.: Энергия, 1977. –288 с.

11. Либерзон Л.М., Родов А.Б. Шаговые экстремальные системы – М.: Энергия. 1969. –96 с.

12. Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Способы повышения эффективности и помехоустойчивости систем автоматической оптимизации управления технологическим процессом // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №.5. С.277–290.

13. Takagi T, Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control // IEEE Trans on Systems, man and cibernetics. Vol. 15. №1. pp. 116 – 132 с.

14. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А., Полько П.Г. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управ-

ления // Вестник Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2011. –№2. –С. 5–9.

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

16. Jang, J. R., Sun C., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice-Hall, 1997. 614 p.

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛИКОВ
ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА
ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

Н.В. Швидченко¹, С.И. Лукьянов²

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

**THE CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC COLLECTING ROLLER
TABLE OF HOT ROLLING BROAD-STRIP MILL**

N. V. Shvidchenko¹, S. I. Lukyjanov²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
shvinikolaj@yandex.ru

Существующий способ управления электроприводом отводящего рольганга стана горячей прокатки обеспечивает требуемое натяжение в полосе за счёт рассогласования скоростей транспортируемой полосы и бочек роликов рольганга. Наличие рассогласования скоростей приводит к повышенному износу бочек роликов и более частой их замене, что сопряжено с большими экономическими затратами. Предложена методика расчета требуемого момента электропривода ролика отводящего рольганга с учетом технологических особенностей циклов прокатки горячих полос. Предложен способ управления электроприводом отводящего рольганга, обеспечивающий снижение интенсивности износа бочек роликов, а также функциональная схема системы управления электроприводом ролика отводящего рольганга, реализующая предложенный способ управления.

Ключевые слова: электропривод отводящего рольганга, износ бочек роликов, расчет моментов нагрузки электропривода, система управления, функциональная схема.

The current control method of electric collecting roller table of hot rolling broad-strip mill provides the required voltage in the strip due to the difference between the strip speed and the roller speed. This leads to the increased wear of roll barrels and great replacement costs. The authors suggest the calculation method for the required torque electric collecting roller table with the technological features of the rolling cycles of hot strips. The article contains the control method for electric collecting roller table in order to reduce the wear of barrels rolls. The functional diagram for controlling the electric collecting roller table, which implements the proposed control method, is also developed.

Key words: electric collecting roller table, wear of roll barrels, calculating load torque of electric drive, control system, functional diagram.

Актуальность работы

На широкополосных станах горячей прокатки (ШСГП) производится до 30% от общего объема выпуска стального проката в России и снижение себестоимости производства горячих полос является актуальной задачей [1]. Одним из резервов снижения себестоимости листовой продукции является увеличение срока эксплуатации оборудования стана за счет совершенствования систем управления электроприводами основных агрегатов стана. Во многом производительность стана и себестоимость производства полосы зависит от эффективности работы участка смотки и, в частности отводящего рольганга (ОР). ОР предназначен для транспортирования полосы от последней прокатной клетки стана до моталок. В процессе транспортирования по рольгангу полоса охлаждается водой до требуемой по технологии температуры смотки.

Для поддержания требуемого по технологии состояния роликового полотна ОР службами эксплуатации оборудования станом регулярно заменяется значительное количество роликов. Одной из причин замены роликов является чрезмерный абразивный износ их бочек, возникающий в результате трения на контактах с полосой. Затраты на замену роликов по причине износа превышают 10 млн. рублей в год. Снижение интенсивности износа бочек роликов позволит повысить срок их службы и снизить затраты на их замену [2, 3].

Цель работы

Целью работы является увеличение срока эксплуатации роликов ОР средствами автоматизированного электропривода. Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- проведение анализа и коррекция известных технологических требований к электроприводу роликов ОР с позиции снижения интенсивности износа бочек роликов;
- разработка способа и системы автоматического управления электроприводом роликов ОР, обеспечивающих выполнение новых технологических требований;
- экспериментальная оценка эффективности предложенных технических решений.

Основные результаты работы

Электропривод роликов ОР выполнен индивидуальным безредукторным от электродвигателей постоянного или переменного тока. По технологическим условиям ОР разделен на секции по 58-60 роликов в каждой. Электропривод каждой секции ОР выполнен по групповой схеме силового питания всех электродвигателей от одного преобразователя. Система управления электроприводом секции ОР построена по принципу подчиненного регулирования параметров с внутренним ас-

татическим контуром регулирования тока и внешним статическим контуром регулирования ЭДС.

Задание на скорость электродвигателей роликов секции формируется в АСУ ТП стана в соответствии с предъявляемыми технологическими требованиями (рис. 1).

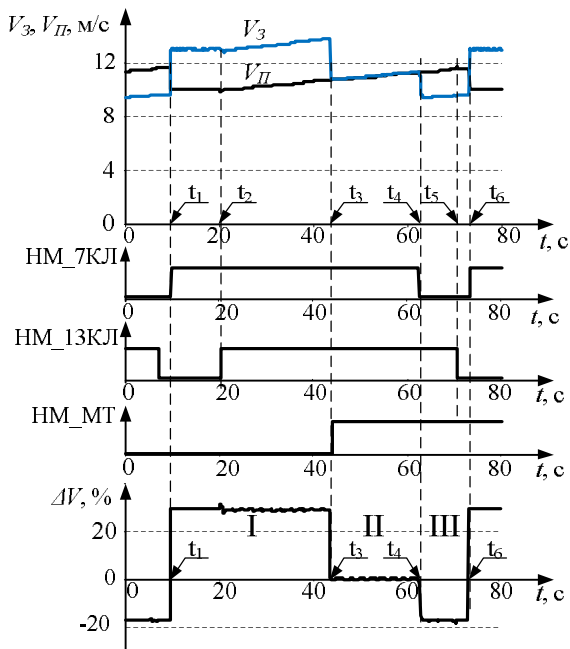


Рис. 1. Формирование скоростного режима роликовой секции ОР: V_3 – задание на скорость образующих бочек роликов секции отводящего рольганга; V_{II} – скорость полосы; $НМ_{7КЛ}$ – сигнал наличия металла в 7-ой клетке (1-ая чистовая клеть); $НМ_{13КЛ}$ – сигнал наличия металла в 13-ой клетке (последняя чистовая клеть); $НМ_{MT}$ – сигнал наличия металла в моталке; ΔV – рассогласование между заданной скоростью образующих бочек роликов и скоростью полосы

В результате анализа технологических требований и существующих систем управления электроприводом ОР установлено:

1. В режимах транспортирования головной и хвостовой частей полосы (режим I и режим III, рис.1) обеспечивается выполнение лишь общих технологических требований по созданию натяжения в полосе за счет задания рассогласования скоростей образующих бочек роликов и скорости полосы. При этом обоснованные рекомендации по величине

не рассогласования скоростей отсутствуют, а значения рассогласования подбираются экспериментальным путем.

2. В режиме сопровождения полосы (режим II, рис. 1) задается равенство скорости образующих бочек роликов и полосы с целью исключения нежелательного трения на контактах ролики-полоса. При этом конкретные исследования по достижению равенства скоростей образующих бочек роликов и полосы на практике отсутствуют.

3. Отсутствуют конкретные технологические требования к электроприводу роликов ОР с позиции снижения интенсивности износа бочек роликов.

С целью определения причин интенсивного износа бочек ОР были проведены экспериментальные исследования на типовом ШСГП 2000 ОАО «ММК» по определению величин рассогласования скоростей движения полосы и образующих бочек роликов ΔV_i в различных режимах работы ОР. В результате исследований установлено:

1. Значительное рассогласование скоростей движения полосы и образующих бочек роликов ΔV_i является одной из причин интенсивного износа бочек роликов ОР.

2. Для всех исследуемых случаев транспортирования головной части полосы выполняется основное требование по созданию натяжения в полосе за счет превышения скорости роликов роляганга относительно скорости полосы. При этом в большинстве случаев рассогласование скоростей является избыточным.

3. В режиме сопровождения технологическое требование по согласованию фактической скорости образующих бочек роликов и полосы не выполняется.

В связи с изложенным задачу увеличения срока эксплуатации роликов ОР предложено выполнить путем уменьшения рассогласования скоростей образующих бочек роликов и полосы в основных режимах работы ОР при безусловном выполнении требований по созданию растягивающих усилий в головной и хвостовой частях полосы.

Данное решение потребовало разработки методики расчета требуемых по технологии значений моментов электродвигателей $M_{ДВи}$ роликов ОР и соответствующих заданий на скорости образующих бочек роликов ОР в основных режимах его работы. Согласно известной методики общий момент электродвигателя ролика ОР определяется по выражению [4]:

$$\begin{aligned} M_{ДВи} &= M_{ХХi} + M_{ДИИi} + M_{НАГРi} =, \\ &= M_{ХХi} + M_{ДИИi} + M_{Ci} + M_{ТРi} \end{aligned} \quad (1)$$

где $M_{ХХi}$ – момент холостого хода i -го электродвигателя; $M_{ДИИi}$ – динамический момент i -го электродвигателя; $M_{НАГРi}$ – полезный момент нагрузки i -го электродвигателя, необходимый для перемещения поло-

сы в одном межроликовом пространстве ОР; M_{Ci} – момент сопротивления, обусловленный наличием сил трения в подшипниках ролика под действием веса полосы в одном межроликовом пространстве; M_{TPi} – момент транспортирования полосы, обусловленный наличием сил трения на контакте ролик-полоса в одном межроликовом пространстве.

Анализ трех составляющие момента электродвигателя ролика ОР в выражении (1) показал, что они соизмеримы и пренебрегать их значениями при расчете общего момента нельзя. Проведены экспериментальные и теоретические исследования данных составляющих и их изменения в зависимости от технологических условий прокатки.

В результате анализа распределений токов холостого хода электродвигателей роликов ОР стана 2000 ОАО «ММК» установлено: распределение токов холостого хода неравномерно вдоль линии ОР и существенно зависит от скорости образующих бочек роликов и фактора времени эксплуатации роликов. Предложено создавать массив моментов холостого хода электродвигателей роликов ОР вначале каждого межремонтного периода при прокрутке роликов рольганга на холостом ходу на различной скорости образующих бочек роликов в пределах рабочего диапазона скоростей. При этом доказано, что в течение одного межремонтного периода ток холостого хода электродвигателя ролика ОР изменяется на величину, не превышающую 5% при условии исправного состояния подшипниковых узлов [5].

На основании анализа временных диаграмм изменения задания на скорость образующих бочек роликов установлено: за время цикла прокатки электропривод роликов ОР, в основном, работает в динамическом режиме; временные диаграммы изменения задания на скорость не являются стационарными для различных сортаментов полос; в явном виде из общего тока электродвигателя выделить его динамическую составляющую в числовом выражении невозможно. Поэтому принято решение: расчет динамической составляющей момента электродвигателя выполнять с помощью динамической модели электропривода роликов ОР. С этой целью для технологических параметров электропривода роликов ОР стана 2000 ОАО «ММК» составлена динамическая модель. Доказана адекватность расчетов на данной модели экспериментальным данным [6].

Расчет составляющей момента нагрузки электродвигателя ОР выполнен по известной методике [4]:

$$M_{НАГРi} = G_M \cdot K_{TP} \cdot R_{Ц} + G_M \cdot \mu \cdot R_p, \quad (2)$$

где G_M – вес полосы в одном межроликовом пространстве; K_{TP} – коэффициент трения в подшипниках ролика; μ – коэффициент трения

скольжения ролика по полосе; $R_{ц}$ – радиус цапфы ролика; R_P – радиус ролика.

Выполнено сравнение рассчитанных по выражению (2) значений моментов нагрузки $M_{НАГРi}$ с величинами моментов нагрузки, рассчитанными по выражению:

$$M'_{НАГРi} = (c\Phi) \cdot (I_{ДВи} - I_{ХХi} - I_{ДИНi}),$$

где $I_{ДВи}, I_{ХХi}, I_{ДИНi}$ – экспериментально полученные значения токов электродвигателей роликов ОР в режиме транспортирования, в режиме холостого хода и динамическая составляющая тока электродвигателя, рассчитанная на динамической модели [6]. Установлено, что ошибка расчета может достигать 190% и известная методика расчета $M_{НАГРi}$ по выражению (2) требует уточнения.

В результате экспериментальных исследований на стане 2000 ОАО «ММК» было установлено, что на нагрузку электродвигателей роликов ОР существенное влияние оказывает фактор включения ламинарного охлаждения полосы. Разработана методика определения составляющей момента нагрузки электропривода ролика ОР, обусловленной действием ламинарного охлаждения полосы:

1. Выполняется последовательный разгон роликов секций ОР до установившихся значений скорости V_{Pi} образующих бочек роликов в пределах рабочего диапазона скоростей.

2. На установившейся скорости измеряются значения токов холостого хода электродвигателей роликов $I_{ХХi}$.

3. Выполняется открытие клапанов нижних секций ламинарного охлаждения.

4. Измеряются значения токов якоря электроприводов роликов ОР $I_{ДВи}$.

5. По выражению $M_{Ли} = (c\Phi) \cdot (I_{ДВи} - I_{ХХi})$ рассчитываются составляющие моментов нагрузки электроприводов роликов, обусловленные действием воды, попадающей на бочку ролика.

6. Для полученных значений $M_{Ли}$ выполняется расчет средних значений моментов $M_{Л-СР}$ на каждом уровне скорости образующих бочек роликов ОР.

7. По полученным значениям $M_{Л-СР}$ рассчитывается регрессионная зависимость.

Для технологических параметров стана 2000 горячей прокатки по предложенной методике в диапазоне скоростей прокатки 2..20м/с получено регрессионное уравнение:

$$M_{Л}(V_P) = 3,84 \cdot 10^{-2} \cdot V_P^2 + 0,434 \cdot V_P \quad (3)$$

Доказана адекватность расчетов по выражению (3) экспериментальным данным.

С учетом выражений (2) и (3) выполнен расчет требуемых по технологии значений моментов нагрузки электродвигателей роликов ОР. Доказана адекватность экспериментальным данным результатов расчета требуемого по технологии момента нагрузки, рассчитанного с учетом ламинарного охлаждения.

Предложена методика расчета общего момента электродвигателя ролика ОР:

1. Предварительно создается массив моментов холостого хода M_{XXi} для каждого электропривода ролика ОР.

2. Для текущего сортамента проката выполняется расчет динамического момента $M_{ДИНИ}$ электропривода ролика ОР на разработанной динамической модели по изменению задания на скорость транспортирования V_3 .

3. Для электроприводов роликов, находящихся в зоне действия ламинарного охлаждения, выполняется расчет значений моментов $M_{ЛИ}$ по выражению (3).

4. Выполняется расчет величины момента сопротивления электропривода ролика ОР по выражению:

$$M_{Ci} = G_M \cdot K_{TP} \cdot R_{Ц}.$$

5. Выполняется расчет момента транспортирования $M_{ТРi}$ электропривода ролика ОР по выражению:

$$M_{ТРi_МАХ} = G_M \cdot \mu_{СЦ_МАХ} \cdot R_p,$$

где $\mu_{СЦ_МАХ} = 0,3$ – максимальное значение коэффициента трения (коэффициент сцепления) между роликом и полосой [4].

6. Выполняется расчет общего момента электродвигателя ролика отводящего рольганга $M_{ДВи}$ в зависимости от текущего режима транспортирования полосы:

1) в режиме транспортирования головной части полосы:

$$M_{ДВи} = M_{XXi} + M_{Ci} + M_{ТРi} + M_{ЛИ} + M_{ДИНИ};$$

2) в режиме сопровождения полосы:

$$M_{ДВи} = M_{XXi} + M_{Ci} + M_{ЛИ} + M_{ДИНИ};$$

3) в режиме транспортирования хвостовой части полосы:

$$M_{двi} = M_{хxi} + M_{Ci} - M_{TPi} + M_{ли} + M_{дини}.$$

Проведенные исследования позволили уточнить известные технологические требования к электроприводу роликов ОП с позиции снижения износа роликов:

1. Электропривод роликов ОП в рабочих режимах транспортирования полосы должен обеспечить реализацию известных технологических требований в пределах диапазона изменения сил сцепления на контакте ролик-полоса.

1) при транспортировании головной части полосы тянущее усилие, формируемое роликом, не должно превышать предельной величины силы сцепления $F_{сц_max} = M_{TP_max}/R_p$;

2) в режиме сопровождения полосы при ее смотке на моталку усилие транспортирования должно быть равно нулю;

3) в режиме транспортирования хвостовой части полосы тормозящее усилие не должно быть больше по абсолютной величине предельно допустимой величины силы сцепления $F_{сц_max} = |-M_{TP_max}/R_p|$.

2. В системе управления электроприводом роликов ОП должна быть предусмотрена возможность расчета полных моментов электродвигателей по разработанной методике и напряжения задания на скорость их вращения.

В соответствии с разработанными технологическими требованиями и с учетом тенденции перехода от групповой схемы питания электродвигателей роликов ОП к индивидуальной предложена функциональная схема системы управления электроприводом ОП (рис. 2).

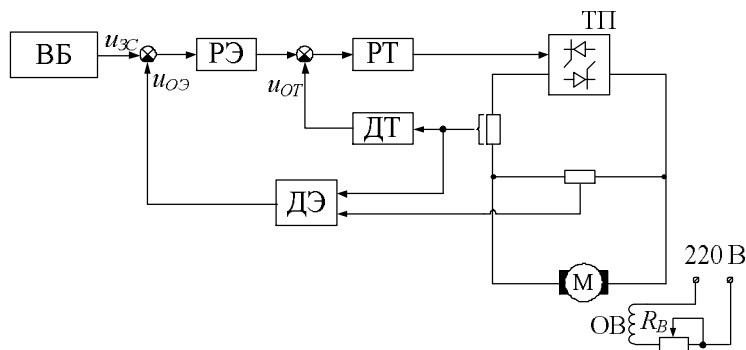


Рис. 2. Функциональная схема системы управления электроприводом ролика ОП

Отличительной особенностью схемы является наличие в ее структуре вычислительного блока ВБ (рис. 4), выполняющего расчет требуемого по технологии момента электродвигателя ролика ОР и соответствующего задания на скорость вращения якоря электродвигателя (рис. 3).

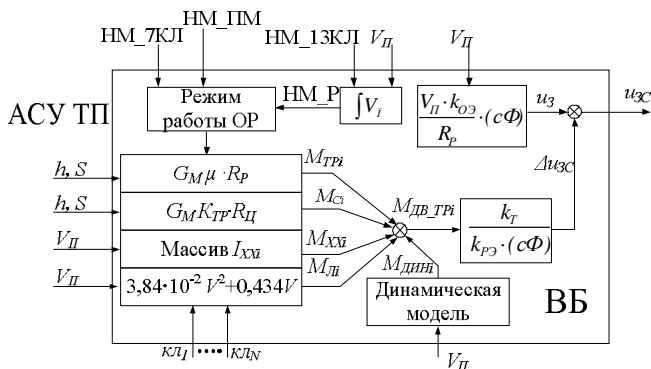


Рис. 3. Структурная схема блока ВБ

С целью апробации результатов исследований для технологических параметров прокатки листа на стане 2000 ОАО «ММК» разработан алгоритм коррекции задания на скорость второй секции ОР в режиме транспортирования головной части полос. Алгоритм внедрен в действующую систему управления, что подтверждается соответствующим актом.

По результатам обработки более 30 временных диаграмм установлено, что в результате внедрения алгоритма коррекции за три месяца эксплуатации для 13% прокатанных на стане полос рассогласование скоростей между роликами и полосой в режиме транспортирования головной части полосы было снижено более чем в 2 раза. Ожидаемый эффект от внедрения алгоритма коррекции составляет 360 тыс. руб. в год.

Библиографический список

1. Катунин В.В. Черная металлургия России в начале XXI века [Текст] / В.В. Катунин, В.Г. Антипин // Бюллетень «Черная металлургия». – 2013. – №3 – С. 10-15.
2. Поляков Б.А. Опыт повышения эффективности работы отводящего рольганга НШС [Текст] / Б.А. Поляков, Е.А. Варшавский, З.П. Каретный и др. // Сталь. – 1987. – №9. – С.64 - 67.

3. **Давильбеков Н.Х.** Увеличение стойкости роликов отводящего рольганга листопрокатных станов [Текст] / Н.Х. Давильбеков, В.А. Клеменьтьев, Г.Г. Курпанов и др. // Сталь. – 2003, № 10. – С. 44-47.

4. **Целиков А.И.** Машины и агрегаты металлургических заводов: Учебник для вузов. В 3 т. – 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребенник и др. – М.: Металлургия, 1988. – Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – 679 с.

5. **Пишнограев Р.С.** Исследование токов холостого хода электродвигателей роликов отводящего рольганга стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» [Текст] / Пишнограев Р.С. // «Электротехнические комплексы и системы» – Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2005 – Вып. 10. – С. 167-172.

6. **Швидченко Н.В.** Разработка математической модели электропривода отводящего рольганга широкополосного стана горячей прокатки / Н.В. Швидченко, С.И. Лукьянов, Р.С. Пишнограев и др. // Математическое и программное обеспечение систем в промышленности и социальной сфере: Междунар. сб. науч. трудов. – Магнитогорск: МГТУ, 2011. – Ч. II. С. 71-77.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ОПТИМАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНЫМ ДРОБЛЕНИЕМ**

В.Л. Евстигнеев¹, В.В. Гребенникова², Р.Э. Бурнашев³

^{1,2,3}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия.

**THE OBJECTIVE RESEARCH OF THE OPTIMAL CONTROL
FOR MULTISTAGE CRUSHING**

V.L. Evstigneev¹, V.V. Grebennikova², R.Je. Burnashev³

^{1,2,3}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

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

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

В статье [1] сформулированы два критерия оптимального управления. Первый критерий для обеспечения максимальной производительности дробильной технологической линии в каждый момент времени:

$$Q_o \rightarrow \max, \text{ если } Q_l \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$Q_l = Q_{\mathcal{N}l} < Q_1 \dots < Q_n,$$

при ограничении

$$C = C_3, \quad (2)$$

где C – числовая характеристика крупности продукта многостадийного дробления; C_3 – заданная числовая характеристика крупности продукта многостадийного дробления; Q_o – производительность дробильной линии; Q_l – пропускная способность лимитирующего агрегата; $\mathcal{N}l$ – номер агрегата с наименьшей пропускной способностью.

Второй критерий обеспечивает минимальную крупность дробленого материала:

$$\min \left| \frac{\sum_{i=1}^K \left(\sum_{j=1}^l \gamma_{ij} \cdot Q_j \right) d_{si}}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^l \gamma_{ij} \cdot Q_j} \right| \quad (3)$$

при ограничениях

$$B_1 \geq B_{p1}; B_2 \geq B_{p2}; \dots B_l \geq B_{pl},$$

$$Q_l > Q_{лз}, \quad (4)$$

где d_{si} – средний диаметр кусков для данной узкой фракции, мм; γ_{ij} – содержание i -той фракции в продукте многостадийного дробления, %; Q_j – количество руды, поступающей на дробление в j -тую стадию; $Q_{лз}$ – заданная производительность дробильной линии; l – число стадий дробления.

Оптимизация процесса дробления возможна с использованием различных подходов [2, 3] и имеет важное значение при решении широкого круга прикладных задач [4, 5].

Рассмотрим функции цели для трехстадийного дробления (как наиболее часто встречающегося), имеющего рациональную технологическую схему без рециклов предварительным грохочением. На первой стадии установлена щековая дробилка, на второй стадии конусная дробилка среднего дробления, на третьей стадии конусная дробилка мелкого дробления.

Считаем, что конвейерный транспорт и грохоты не лимитируют производительность.

Получим математическую модель, описывающую технологию дробления в статике, без учета времени дробления и транспортирования руды между стадиями.

Для расчета производительности $Q_{щ}$ щековой дробилки применим формулы из [6, 7]

$$Q_{щ} = K_{щ} Q_{рщ} \frac{B}{B_{нщ}}, \quad (5)$$

где $Q_{рщ}$ – расчетная, приведенная производительность щековой дробилки; $K_{щ}$ – поправочный коэффициент на условия дробления; $B_{нщ}$ – номинальный размер разгрузочного отверстия.

$$\begin{aligned}
 K_{ш} &= K_f K_w K_c \\
 Q_{p ш} &= q_o L B \\
 q_o &= 150 + 750 B_3
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где K_f, K_w, K_c – поправочные коэффициенты на крепость руды K_f , влажность K_w и на содержание крупных классов K_c в руде поступающей на дробление; q_o – производительность щековой дробилки отнесенная к площади разгрузочного отверстия, L – длина загрузочного отверстия, B_3 – ширина загрузочного отверстия.

В результате получили формулу для расчета минимально-допустимого размера разгрузочного отверстия дробилки первой стадии (щековая дробилка).

$$B_{ш д} = \frac{Q_{ш}}{K_{ш} L q_o}.
 \tag{7}$$

Для расчета производительности конусной дробилки среднего дробления воспользуемся формулой %.

$$\begin{aligned}
 Q_c &= K_f Q_{p c}, \\
 Q_{p c} &= q_c B_c + A
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где $Q_{p c}$ – расчетная приведенная производительность конусной дробилки; $q_c; A$ – постоянные коэффициенты, зависящие от типоразмера дробилки; B_c – ширина разгрузочного отверстия конусной дробилки среднего дробления.

Это позволяет получить выражение для расчета минимально допустимого размера разгрузочного отверстия дробилки среднего дробления на второй стадии:

$$B_c = \frac{Q_c - A K_f}{q_c K_f}.
 \tag{9}$$

Для расчета производительности конусной дробилки мелкого дробления на третьей стадии использовали выражение:

$$Q_M = K_f q_M B_M.
 \tag{10}$$

Это дает нам возможность получить формулу для расчета минимально допустимого размера разгрузочного отверстия дробилки третьей стадии дробления:

$$B_M = \frac{Q_M}{K_f q_M},
 \tag{11}$$

где q_m – коэффициент для каждого типоразмера дробилки мелкого дробления.

Уравнения для расчета гранулометрического состава продукта дробления каждой стадии получены путем аппроксимации типовых характеристик с использованием интерполяционной формулы Лагранжа. Получено 24 полинома вида:

$$\gamma = C_1 + C_2 \frac{d}{B} + \dots + C_m \frac{d^n}{B^n}, \quad (12)$$

где $C_1; C_2; \dots C_m$ – коэффициенты, зависящие от свойств руды; B – размер разгрузочного отверстия дробилки.

Полученные полиномы описывают грансостав продуктов дробления щековых и конусных дробилок для диапазона изменения коэффициента, учитывающего прочность руды от 0.95 до 1.2, наибольшая ошибка аппроксимации составила 4,13 % абс.

Для каждой стадии дробления, по типовым характеристикам определили отношение $T = d/B$, при котором 95% проходит через грохот с размерами отверстий равными d с учетом крепости руды (твердой, средней твердости, и мягкой).

По отношению T определили максимально допустимое значение размера разгрузочного отверстия каждой стадии дробления с учетом крепости руды.

Приведенные аналитические выражения были положены в основу математической модели трех стадийного дробления.

Первая стадия - щековая дробилка:

$$Q_1 = 0.75Q_{ш}; Q_{ш} = 1.638B_1k_f; B_{p1} = \frac{Q_1}{1.638k_f}; \gamma_{ш} = f(T_{ш}). \quad (13)$$

Вторая стадия- конусная дробилка среднего дробления:

$$Q_2 = 0.01 \left(Q_1\gamma_{ш}0.1 + Q_n(d_1 - d_2) \right); Q_c = 6.21B_2k_f; \\ B_{p2} = \frac{Q_2}{6.21k_f}; \gamma_c = f(T_c). \quad (14)$$

Третья стадия - конусная дробилка мелкого дробления:

$$Q_3 = 0.01 \left(Q_1\gamma_{ш} + 0.1Q_n(d_1 - d_2) \right) + Q_1\gamma_c; Q_m = 8Q_3k_f; \\ B_{p3} = \frac{Q_3}{8k_f}; \gamma_m = f(T_m). \quad (15)$$

На третьей стадии были проведены исследования целевых функций. Задачами исследования целевых функций являлись:

- Определение лимитирующей дробилки при изменении крепости руды.
- Достижение минимального значения средневзвешенного диаметра готового продукта дробления.

Задача отыскания минимума целевой функции решена методом нелинейного программирования способом сканирования.

Диапазоны изменения разгрузочных отверстий установлены в соответствии с условиями:

- разгрузочное отверстие третьей стадии устанавливается равным минимально допустимому значению, определяемому требуемой пропускной способностью;
- максимальные размеры разгрузочных отверстий первой и второй стадии ограничиваются размером максимального куска, который может «принять»; для каждого типоразмера этот параметр ограничен.

Максимальной крупностью продукта дробления принято считать размер отверстий сита, через которое проходит 95% руды.

Для определения лимитирующей дробилки имитировали три производственные ситуации.

Каждый раз разгрузочные отверстия устанавливались исходя из условия обеспечения максимальной пропускной способности линии с сохранением требований по грансоставу.

Таблица 1 – Значения разгрузочных отверстий в мм

Производственные ситуации	B_{p1}	B_{p2}	B_{p3}
Первая	143	47	17.5
Вторая	137	45.7	15.5
Третья	130	29.3	15.5

В зависимости от крепости руды были определены лимитирующие дробилки в каждой производственной ситуации.

Из таблицы видно, что роль лимитирующей дробилки меняется, следовательно, требуется автоматическое управление.

Таблица 2 – Лимитирующие дробилки по исходной руде

Первая $B_{p1} = 143$ $B_{p2} = 47$ $B_{p3} = 17.5$					
k_f	1.0	1.05	1.10	1.15	1.2
щековая	+	+	+	л	л
среднего	+	+	+	+	+
мелкого	л*	л	л	+	+
Вторая $B_{p1} = 137$ $B_{p2} = 45.7$ $B_{p3} = 15.5$					
щековая	л	+	+	+	л
среднего	+	+	+	+	+
мелкого	+	л	л	л	+
Третья $B_{p1} = 130$ $B_{p2} = 29.3$ $B_{p3} = 15.3$					
щековая	л	+	+	л	л
среднего	+	л	л	+	+
мелкого	+	+	+	+	+

*л - лимитирующая дробилка

На основании логического анализа технологического процесса было сделано предположение о том, что при

$$Q_d = Q_{dз}, d_{ср} = \min,$$

если на всех стадиях дробления установить

$$B_n^M = B_{pn}, \quad n = 1; 2; 3.$$

где B_n^M – значение разгрузочного отверстия на n – ой стадии дробления, которое обеспечивает минимальное значение средневзвешенного диаметра кусков руды.

В доказательство этого предположения выполнили поиск глобального экстремума методом сканирования. В результате получена таблица 3.

Таблица 3 – Минимальные значения разгрузочных отверстий

k_f	$d_{ср}$	B_1^M	B_{p1}	B_2^M	B_{p2}	B_3^M	B_{p3}
0.95	14.5	91.5	91.5	20.7	20.7	10.4	10.4
1.0	11.3	86.5	86.5	16.6	16.6	6.0	6.0
1.2	2.5	72.5	72.5	9.7	9.7	3.53	3.53

Из таблицы видно, что для всего диапазона изменения свойств минимальное значение средневзвешенного диаметра кусков руды дос-

тигается при минимально допустимых размерах разгрузочных – первой, второй и третьей стадий. Это объясняется тем, что функция для расчета гранулометрического состава является монотонно убывающей.

Для обеспечения максимальной производительности необходимо каждый момент времени определять лимитирующий агрегат и повышать общую производительность путем равномерного распределения нагрузки.

Библиографический список

1. Евстигнеев В.Л. Постановка задачи оптимизации многостадийного дробления // Автоматизированные технологии и производства. 2013. № 5. С. 263-270.
2. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А., Полько П.Г. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 5-9.
3. Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Полько П.Г., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А. нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 65-69.
4. Евстигнеев В.Л., Майорова Т.В., Рябчиков М.Ю. Применение балансовой модели для стабилизации показателей доменной плавки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 3. С. 30-33.
5. Рябчиков М.Ю., Гребенникова В.В. Моделирование комплексного влияния производственных факторов на механическую прочность металлургического агломерата // Металлург. 2013. № 4. С. 40-47.
6. Разумов К.А. Проектирование обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1971.
7. Справочник по обогащению руд. Том 1. – М.: недра, 1971.

**УПРАВЛЕНИЕ ПО ВОЗМУЩЕНИЮ ТОЛЩИНОЙ ПОЛОСЫ
ЗА ПЕРВОЙ КЛЕТЬЮ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ**

V.M. Moskvín

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
Университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

**STRIP GAGE BUMP CONTROL
BEHIND THE FIRST COLD ROLLING MILL STAND**

V.M. Moskvín

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
vladimir.moskvín2010@yandex.ru*

В работе показана возможность полной статической компенсации внешнего возмущения при управлении толщиной клетки комбинированного типа, связанного с периодической разнотолщинностью, вызванной эксцентриситетом опорных валков стана горячей прокатки. Показана сложность динамической компенсации, так как нельзя полностью скомпенсировать инерционность измерителя толщины полосы и гидродвижения нажимного устройства.

Ключевые слова: *управление толщиной клетки; горячая прокатка; компенсация возмущений*

The possibility of complete static compensation of external bump in combined mill stand thickness controlling, connected with the periodic gage interference caused by the backup roll eccentricity in hot rolling mills is shown in the paper. The dynamic compensation complexity is illustrated, for one cannot completely compensate the strip thickness gage lag and hydraulic pressure device.

Keywords: *thickness control in stand hot rolling; perturbation compensation*

На современных непрерывных станах холодной прокатки управления толщиной полосы (САРТ) осуществляется изменением зазора между рабочими валками с помощью нажимных устройств и изменением натяжения в межклетевых промежутках. Наибольшее распространение получили системы, в которых можно выделить три подсистемы [1]:

1. Входная подсистема регулирования толщины. Сигнал от измерителя толщины полосы, расположенного за первой клетью, управляет положением нажимного устройства этой клетки.
2. Подсистема в выходной части стана, управляющая скоростями последней и предпоследней клетки в соответствии с сигналом от измерителя толщины полосы на выходе стана, т.е. заданная тол-

щина полосы обеспечивается изменением натяжения полосы в последних двух межклетевых промежутках.

3. Подсистема, управляющая натяжениями полосы во всех межклетевых промежутках.

В последнее время, на новых прокатных станах, стали устанавливать измерители толщины полосы перед первой клетью стана. Например, стане 2000 ЛПЦ №11 ОАО ММК оснащен четырьмя измерителями толщины полосы – один измеритель расположен перед первой клетью стана на расстоянии $l_1 = 3\ 665$ мм от валков клетки, второй – на расстоянии $l_2 = 2\ 585$ мм за первой клетью. Это позволяет создать систему автоматического регулирования толщиной клети комбинированного типа, т.е. осуществить управление по возмущению и отклонению регулируемой величины от заданного значения. Структура такой системы приведена на рис. 1.

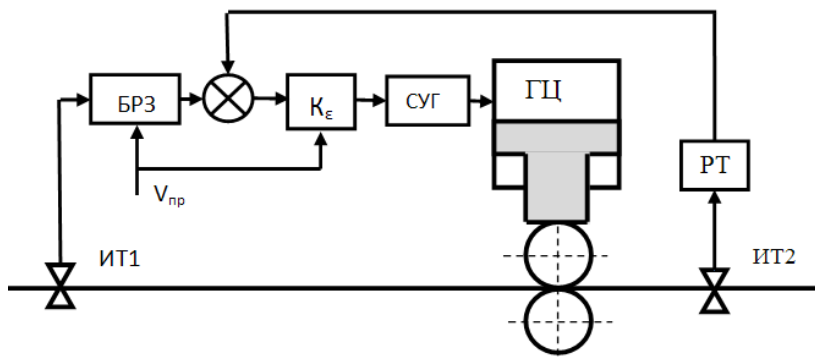


Рис.1. Структурная схема системы регулирования толщиной полосы за первой клетью

Система включает в себя измеритель толщины полосы перед первой клетью (ИТ1), блок регулируемого запаздывания (БРЗ), усилитель с передаточным коэффициентом, зависящим от скорости прокатки $U_{пр}$, систему управления гидронажимным устройством (СУГ), исполнительный гидроцилиндр со штоком. Все эти элементы образуют канал управления по возмущению. Второй канал – управление по отклонению – включает в себя измеритель толщины полосы за первой клетью (ИТ2) и регулятор толщины (РТ). В блоке регулируемого запаздывания значение измеренной разнотолщинности должно задерживаться на время транспортировки полосы от измерителя до валков клетки. Оно равно:

$$\tau = \frac{l_1}{U_{np}}. \quad (1)$$

С изменением скорости прокатки U_{np} изменяется величина транспортного запаздывания.

Чтобы оценить эффективность действия канала по возмущению произведем математическое моделирование работы этой части САУ. Структура математической модели канала управления по возмущению приведена на рис. 2. Передаточные коэффициенты клетки по каналу возмущения $K_f = \Delta h_1 / \Delta H_0$ и управления $K_u = \Delta h_1 / \Delta U$ зависят от скорости прокатки и от физических характеристик прокатываемого металла. С изменением скорости прокатки изменяется коэффициент трения между валком и полосой.

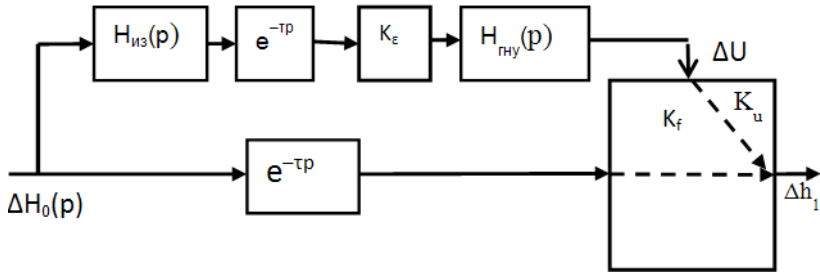


Рис. 2. Структурная схема математической модели канала управления по возмущению

Это ведёт к изменению усилия прокатки и, как следствие, изменению указанных передаточных коэффициентов клетки. На рис.3 приведены графики изменения передаточных коэффициентов K_f, K_u при прокатке стали СП 20 при изменении скорости прокатки с двух до 18 м/с на выходе стана. Передаточный коэффициент $K_ε$ зависит от скорости прокатки и равен $K_ε = \frac{K_f}{K_u}$.

Инерционные свойства измерителя толщины полосы представлены в модели инерционным звеном первого порядка с единичным передаточным коэффициентом и постоянной времени $T = 0,04$ с. Чтобы определить передаточную функцию гидронажимного устройства $H_{гид}(p)$ необходимо рассчитать динамические процессы в его гидроприводе.

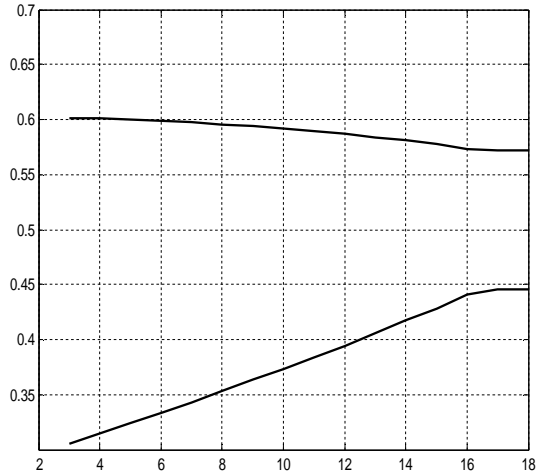


Рис. 3. Зависимость передаточных коэффициентов клетки от скорости прокатки: 1 – коэффициент K_f , 2 – коэффициент K_u

Расчёт динамики гидронажимного устройства для станов холодной прокатки приведён в работе [2]. По этой методике для гидропривода нажимного устройства стана 2000 ОАО ММК произведён расчёт переходных процессов при скачкообразном изменении положения золотника гидроусилителя MOOG 646. В расчёте учитывались уравнения гидроцилиндра, напорной и сливной магистрали, гидроусилителя, пневматического гидрокомпенсатора. Полученная переходная функция гидропривода, приведена на рис.4. В целом, гидропривод нажимного устройства описывается сложной системой уравнений. В тоже время скорость перемещения штока гидронажимного устройства изменяется плавно. Это позволило построить упрощённую математическую модель гидропривода в виде линейного дифференциального уравнения третьего порядка. Математическая модель в форме передаточной функции будет такой

$$H_m(p) = \frac{4.55}{1,348 \cdot 10^{-8} p^3 + 1,73 \cdot 10^{-5} p^2 + 0,0071 p + 1}$$

У современных гидронажимных устройств (ГНУ) силовая часть гидропривода охватывается через датчик положения поршня, элемент сравнения и усилитель обратной связью. При этом гидропривод превращается следящую систему. Усилитель выполняет роль пропорционального регулятора, а силовая часть гидропривода – усилителя мощ-

ности и исполнительного элемента системы. В целом система имеет астатизм первого порядка, так как датчик измеряет положение поршня гидроцилиндра.

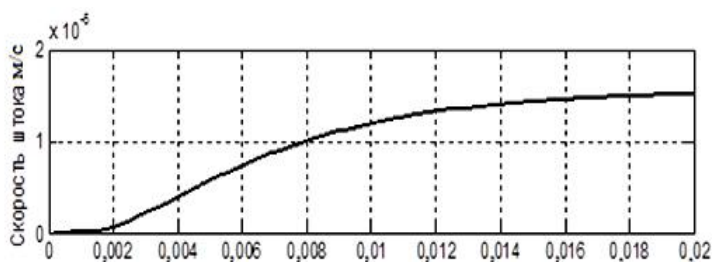


Рис. 4. Скорость перемещения штока гидроцилиндра нажимного устройства при ступенчатом изменении задания

В следящую систему дополнительно введён нелинейный элемент типа насыщение, чтобы учесть ограниченный ход золотника, пропорциональное звено, моделирующее работу регулятора, инерционное звено, учитывающее инерцию первого каскада усиления гидроусилителя. Так как следящая система оказалась нелинейной, то динамические процессы в этой системе проще получить математическим моделированием. Моделирование работы системы проведено с помощью системы математического моделирования Simulink, входящую в состав СКММатlab.

В искусственный канал распространения внешнего возмущения кроме блока регулируемого запаздывания (БРЗ), следящего гидропривода и элемента с переменным передаточным коэффициентом (см. рис. 1), входит ещё измеритель толщины полосы на входе стана. В технической документации приведены частотные характеристики измерителя. По ним определена эквивалентная постоянная времени измерителя – 0,045с. Математическая модель канала управления толщиной полосы за первой клетью прокатного стана приведена на рис. 5.

В этой модели передаточные коэффициенты усилителей Gain, Gain 1, Gain 2 используется для установки коэффициента объекта K_f , $K_{дi}$ коэффициента K_{ϵ} .

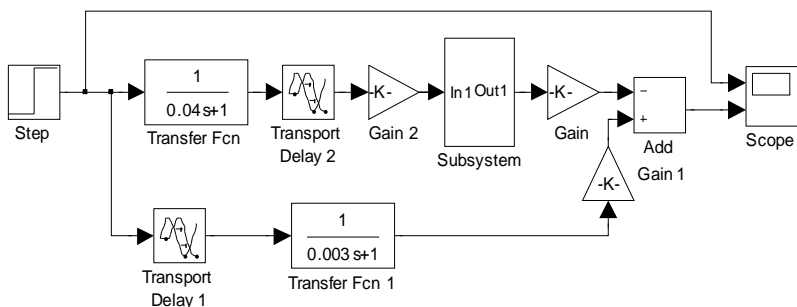


Рис. 5. Математическая модель канала управления по возмущению регулятора толщины полосы

Система управления по возмущению двухканальная. Один канал – естественное влияние внешнего возмущения (разнотолщинности) на регулируемую величину (толщину металла на выходе из клетки). Второй канал распространения внешнего возмущения создаётся искусственно, для компенсации влияния первого канала. В модели канала естественного распространения внешнего возмущения установлено инерционное звено с постоянной времени $T=0.003$ с. С помощью этого звена учитывается время заполнения металлом очага деформации.

Результаты моделирования работы системы управления при отработке внешнего возмущения в виде скачка разнотолщинности в 10 микрон приведены на рис. 6.

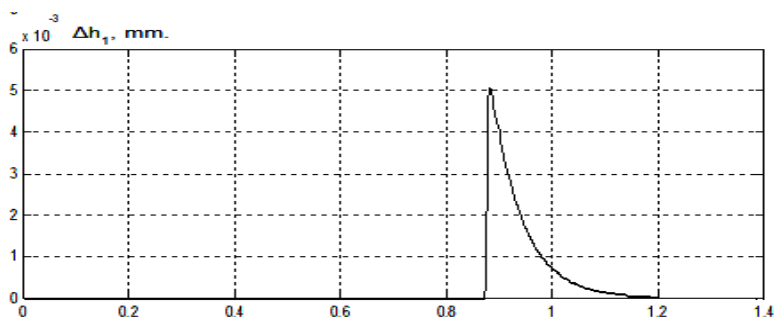


Рис.6. Моделирование работы контура управления по возмущению при точной статической компенсации

Входной измеритель толщины полосы зафиксировал отклонение толщины полосы в момент $T1=0.1$ с. (задержка выходного сигнала у элемента Step). В момент $T2=0.87$ с. разнотолщинность достигла клетки и толщина толосы на выходе стала быстро нарастать до 5 микрон, а

затем - плавно снизилась за счёт действия второго канала распространения возмущения. Удалось в рассматриваемой системе достичь полной статической компенсации внешнего возмущения, а динамической – нет, так как нельзя полностью скомпенсировать инерционность измерителя толщины полосы и гидропривода нажимного устройства.

Подкат имеет периодическую разнотолщинность, вызванную эксцентриситетом опорных валков стана горячей прокатки. Наиболее высокую частоту имеет разнотолщинность, вызванная эксцентриситетом опорных валков последней клетки. Диаметр опорного валка $D_{оп} = 1,6$ м. Длина одной волны $l = \pi \cdot D_{оп} = 3,14 \cdot 1,6 = 5,02$ м. При скорости входа поросы в первую клетку стана $U_{np} = 4,72$ м/с, период периодических колебаний от блоков опорных валков $\tau = l / U_{np} = 5,02 / 4,72 = 1,02$ с. Угловая частота синусоиды $\omega = 2\pi / \tau = 6,28 / 1,02 = 6,16$ рад/с.

Переходные процессы при обработке синусоидального сигнала такой частоты каналом по возмущению приведены на рис. 7.

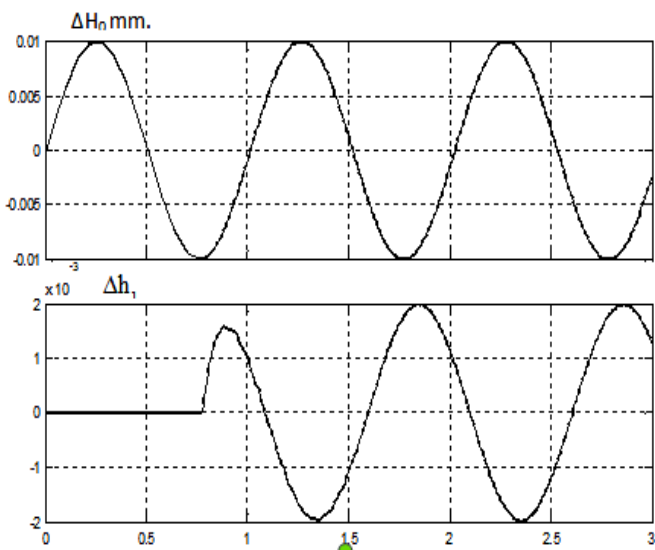


Рис.7. Обработка системой управления периодической разнотолщинности от биения опорных валков стана горячей прокатки

Из рисунка видно, что отношение амплитуды $A_{вых} = 2 \cdot 10^{-3}$ мм. выходной разнотолщинности к амплитуде входной $A_{вх} = 1 \cdot 10^{-2}$ мм. равно

$$A(\omega) = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-2}} = 0,2.$$

Амплитуда колебаний выходной разнотолщинности уменьшилась в 5 раз.

Библиографический список

1. Дружинин Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации. – М.: Металлургия, 1975. – 336 с.
2. Москвин В.М. Математическая модель гидропривода нажимного устройства прокатного стана // Автоматизированные технологии и производства. №5. 2013. С. 325.

УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ СС-0.36 С УЧЕТОМ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КРЕПОСТИ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ПО МЕТОДУ ПРОТОДЬЯКОНОВА

Р.Э.Бурнашев¹, М.Ю. Рябчиков², В.В. Гребенникова³

^{1,2,3}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Носова», г. Магнитогорск, Россия

CENTRIFUGAL CRUSHER CC-0.36 OPERATION HANDLING IN ORDER TO PROVIDE TARGET VALUE FOR MATERIAL FORTRESS FACTOR IN ACCORDANCE WITH PROTODJAKONOV METHOD

R.Je.Burnashev¹, M.Y. Ryabchikov², V.V. Grebennikova³

^{1,2,3}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Целью данной работы является выявление статистической зависимости между коэффициентом крепости материала по методу Протодьяконова и степенью дробления для лабораторной дробилки ДЦ 0.36 на основании статистических данных, полученных в лаборатории «ЗАО Урал-Омега».

Ключевые слова: дробление, центробежная дробилка, определение коэффициента крепости по методу Протодьяконова.

The statistical data obtained in "Ural-Omega" CJSC laboratory have permitted to reveal the statistical dependence between the fortress factor in accordance with Protodjakonov method and the reduction range for laboratory crusher CC 0.36, that allows to determine the required number of crushing material cycles.

Keywords: crushing, centrifugal crusher, fortress determination in accordance with Protodjakonov method

Актуальность работы

При проектировании дробильно-сортировочных линий с замкнутым циклом дробления необходимо определить суммарную нагрузку на дробилку. Для этого нужно знать примерную величину возврата при номинальной производительности. Величина возврата зависит от физико-химических свойств материала, производительности, гранулометрического состава, требуемой степени дробления и других физических факторов.

Описание технологического процесса

Технологический процесс заключается в измельчении исходного материала путём дробления в центробежной дробилке. В зависимости от требований заказчика (перерабатываемый материал, объёмы производства и т.д.) изготавливаются различные модификации центробеж-

ных дробилок. Дробилки такого типа могут применяться в различных отраслях: обогащение руд, измельчение рудных и нерудных материалов, производство цементов и т.д. Схема дробления представлена на рис.1.

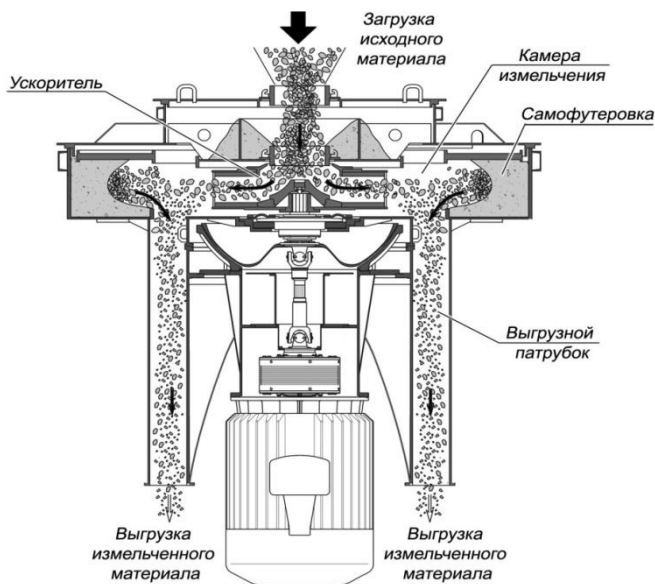


Рис. 1. Схема процесса работы центробежной дробилки [1]

Исходный материал через загрузочную воронку подается в центр вращающегося ускорителя, который с большой скоростью разбрасывает материал в камере измельчения на отбойную поверхность, сформированную исходным материалом.

В камере измельчения материал дробится, свободно падает вниз и через выгрузные каналы подается для дальнейшего использования.

Дробилка состоит из корпуса 1 (с камерой измельчения, камерой наддува и выгрузными патрубками), крышки корпуса 2 с люком обслуживания 3, верхней крышки 4 с загрузочной воронкой, внутренней вставки 5, с воронкой, воздушно-опорного узла 6, крышки воздушно-опорного узла 7, ускорителя 8, вентилятора наддува 9 и привода.

При работе дробилки ротор выполняет несущую функцию рабочего органа и воспринимает ударные осевые и тангенциальные нагрузки от ускорителя. Привод дробилки состоит из электродвигателя 11 с центробежной муфтой 12 и карданного вала 13. Все оборудование смонтировано на раме 14 [1].

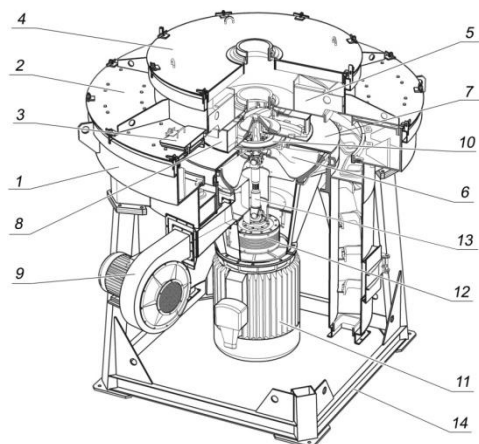


Рис. 2. Устройство центробежной дробилки [1]: 1 – корпус с камерой измельчения выгрузными патрубками; 2 – крышка корпуса; 3 – смотровой люк; 4 – крышка (с загрузочной воронкой); 5 – внутренняя вставка с воронкой; 6 – воздушно-опорный узел; 7 – крышка воздушно-опорного узла; 8 – ускоритель; 9 – вентилятор наддува; 10 – подшипниковая опора; 11 – электродвигатель привода дробилки; 12 – муфта; 13 – карданный вал; 14 – рама

Основные проблемы и решения

В данной работе исследуется зависимость степени дробления, т.е. уменьшения среднего диаметра частиц, от коэффициента крепости исходного материала по методу Протодяконова, который характеризует прочностные характеристики горных пород.

Количество возврата напрямую зависит от степени дробления. Чем в большей степени требуется измельчить материал, тем больше его потребуется вернуть на додробливание, что влияет на общую производительность дробилки [2, 3].

Степень дробления характеризует уменьшение среднего диаметра дробимого материала за один цикл дробления. Величина степени дробления индивидуальна для каждого типа и даже для каждой модели дробилки.

Зная значение степени дробления для конкретного дробильного устройства возможно примерно оценить количество возврата при определенном режиме работы. В данной статье в качестве дробильного оборудования рассматривается лабораторная центробежная дробилка ЗАО «Урал-Омега» ДЦ 0.36.

Экспериментальные данные об эффективности процесса дробления получены из технологических отчетов по контрольным дроблени-

ям различных материалов: асбеста, доломита, доломитизированного известняка, гравия, известняка, гранита, габбро-диабаз, доломита, гранодиорита, габбро-долерита, порфирита и плагиогранита. Все эти материалы имеют различные коэффициенты крепости по Протодьяконову, значения которых были определены в лаборатории ЗАО «Урал-Омега» в соответствии ГОСТ 21153.1-75 [4].

В результате обработки экспериментальных данных по гранулометрическому составу исходного и переработанного материала были вычислены средние диаметры частиц соответственно до и после дробления.

Для каждого из материалов были определены значения коэффициента крепости по методу Протодьяконова. Сущность метода заключается в определении коэффициента крепости, который пропорционален отношению работы, затраченной на дробление горной породы, к вновь образованной при дроблении поверхности, оцениваемой суммарным объемом частиц размером менее 0,5 мм.

Степень дробления определяется как отношение среднего диаметра частиц до дробления к среднему диаметру частиц после дробления.

По экспериментальным данным получена зависимость значения степени дробления от значения коэффициента крепости по методу Протодьяконова и выполнена ее аппроксимация полиномом второй степени, вычислено отклонение экспериментальных точек от расчетных значений.

Расчетные и экспериментальные данные приведены на рис.3. Среднее значение абсолютной ошибки по степени дробления составляет 0,29.

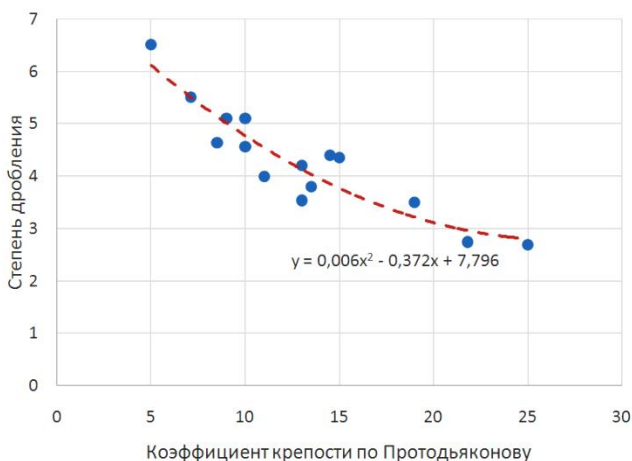


Рис. 3. Зависимость степени дробления от коэффициента крепости по Протодьяконову и ее аппроксимация полиномом второй степени

Вывод

По полученной характеристике можно оценивать количество требуемых циклов дробления при заданных его параметрах.

Например, допустим, что определено значение коэффициента крепости по методу Протодеяконова для исходного материала, и оно равно 16. Тогда, по полученной нами характеристике степень дробления будет равна:

$$N_{\text{дроб}} = 0,0069 * 256 - 0,3723 * 16 + 7,7962 = 3,6058 \approx 3,61.$$

Пусть крупность питания будет 20÷40мм. Допустим, определен средний диаметр частиц, и он равен 27,6. Тогда при полученной нами степени дробления за один цикл мы получим уменьшение среднего размера частиц в 3,61 раза. Таким образом, средний диаметр частиц составит $27,6 / 3,61 = 7,65$. На множестве производств (например, при получении асбестового волокна, при подготовке к обогащению руд методом магнитной сепарации или воздушной классификации, при подготовке материала для получения тонких минеральных порошков) готовый продукт должен иметь средний размер менее 5 мм, и даже менее 3. Таким образом, потребуется как минимум еще один цикл дробления.

Конечно, часть материала уже имеет размер менее 3мм. После одного цикла дробления на центробежной дробилке эта часть может составлять от 10 до 50%, а в некоторых случаях достигает и 60÷80% (зависит от крупности и физических свойств исходного материала). В данном примере эта величина будет невелика, т.к. мы взяли довольно высокий коэффициент крепости. Допустим, она составит 25%. Таким образом, на повторное дробление будет отправлено 75% материала. Это необходимо учитывать при управлении подачей материала в дробилку. На этапе проектирования следует предусмотреть промежуточный бункер для возврата, или же додрабливаемый материал загружать обратно в бункер исходного материала.

В рассмотренном примере, из-за большого количества возврата, возможно следует уменьшить крупность исходного материала, или же увеличить скорость вращения ускорителя, что повышает степень дробления (исследования производились для скорости 70 м/с, при этом можно повысить скорость до 96 м/с).

Библиографический список

1. Бурнашев Р.Э. Управление устройством плавного пуска вентилятора центробежной дробилки по протоколу Modbus в ус-

- ловиях ЗАО Урал-Омега // Автоматизированные технологии и производства. №5. 2013. С. 291-295.
2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 65-69.
 3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. и др. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 5-9.
 4. Дробилка центробежная. Руководство по эксплуатации. – НПО «Минск», 2013г. – 51с.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абаимов М.Ю.	81	Маклаков А.С.	117
Акчешаш Н.В.	144	Месягутов И.Ф.	58, 153
Андреев С.М.	134	Москвин В.М.	195
Апет А.А.	75	Мухина Е.Ю.	87
Ахметов Т.У.	128	Парсункин Б.Н.	5, 128, 134, 159
Ахметшина Г.Н.	58	Петрова О.В.	128
Баранкова М.В.	159	Пишнограева Ю.В.	51
Баранова К.М.	58	Полецков П.П.	87
Белый А.В.	117	Полухина Е.И.	128
Бодров Е.Э.	22	Попов А.В.	70
Бойко А.А.	144	Посохов И.А.	92
Бондарева А.Р.	128	Пыхова О.В.	165
Бречко В.А.	12	Радионов А.А.	117
Бурнашев Р.Э.	37, 188, 203	Рябчиков М.Ю.	5, 32, 203
Вавилова А.В.	153	Рябчикова Е.С.	5, 37
Гончарова С.Г.	58, 153	Салганик В.М.	87
Гребенникова В.В.	37, 188, 203	Самарина И.Г.	105
Дмитриенко В.Д.	12	Сафин И.Р.	22
Евстигнеев В.Л.	188	Сергеев А.И.	70
Заковоротный А.Ю.	12	Суспицын Е.С.	51
Кузнецова В.Б.	48, 70	Сухоносова Т.Г.	32
Лимаренко В.В.	63	Усатая Т.В.	43
Лицин К.В.	110	Усатый Д.Ю.	43
Логунова О.С.	92	Хавина И.П.	63
Лукьянов С.И.	22, 75, 178	Швидченко Н.В.	178

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
------------------	---

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>Е.С. Рябчикова, М.Ю. Рябчиков, Б.Н. Парсункин</i> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ДСП	5
<i>В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный, В.А. Бречко</i> ТРЕХСЛОЙНЫЙ ПЕРЦЕПТРОН, СПОСОБНЫЙ ДООБУЧАТЬСЯ...	12
<i>Е.Э. Бодров, И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ РОЛИКОВОЙ КЛЕТИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ СТАНА ISF5 ОАО «ММК-МЕТИЗ»...	22
<i>М.Ю. Рябчиков, Т.Г. Сухоносова</i> К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ВЫБРОСОВ И ВЫНОСОВ ИЗ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА.....	32
<i>В.В. Гребенникова, Е.С. Рябчикова, Р.Э. Бурнашев</i> СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УСРЕДНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СМЕСИ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АГЛОМЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК».....	37

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

<i>Т.В. Усатая, Д.Ю. Усатый</i> ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ АРХИТЕКТРОВ-ДИЗАЙНЕРОВ	43
<i>В.Б. Кузнецова</i> ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПЕРСОНАЛА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	48

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Ю.В. Пишинограева, Е.С. Суспицын РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА АРХИВНЫХ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ТРЕЩИН	51
С.Г. Гончарова, И.Ф. Месягутов, Г.Н. Ахметшина, К.М. Баранова ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ....	58
И.П. Хавина, В.В. Лимаренко СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ АВИАОБОРУДОВАНИЯ.....	63
В.Б. Кузнецова, А.И. Сергеев, А.В. Попов ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	70

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ

С.И. Лукьянов, А.А. Апет РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРОДОЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ СЛИТКА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ	75
М.Ю. Абаимов РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СЛОЖНЫХ МЕХАТРОННЫХ КОМПЛЕКСАХ АГРЕГАТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЦЕХОВ.....	81
В.М. Салганик, П.П. Полецков, Е.Ю. Мухина РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТЖИГА РУЛОНОВ В КОЛПАКОВЫХ ПЕЧАХ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТА «ИЗЛОМ» НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОСЫ.....	87
И.А. Посохов, О.С. Логунова МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕРНОГО ОТПЕЧАТКА НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИСТОГРАММЫ ЯРКОСТИ.....	92
И.Г. Самарина АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТНОЙ ПРОДУКЦИИ НА АГРЕГАТЕ НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ.....	105

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

К.В. Лицин

МЕХАНИЗМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ИНЖЕКЦИИ ПРИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ
РОТОРА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ..... 110

А.А. Радионов, А.С. Маклаков, А.В. Белый

АКТИВНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ
УПРАВЛЕНИЯ..... 117

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Б.Н. Парсункин, Т.У. Ахметов, А.Р. Бондарева,

О.В. Петрова, Е.И. Полухина

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ
ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДИЧЕСКИХ
ПЕЧЕЙ..... 128

С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА
МЕТАЛЛА..... 134

А.А. Бойко, Н.В. Акчебаи

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
БЕЗРЕДУКТОРНЫМ ПОДЪЕМНЫМ МЕХАНИЗМОМ
ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА..... 144

И.Ф. Месягутов, С.Г. Гончарова, А.В. Вавилова

НЕЧЕТКОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ
В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ТОЧЕНИЯ..... 153

М.В. Баранкова, Б.Н. Парсункин

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА
В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ РАСХОДА
КОКСА..... 159

О.В. Пыхова

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ..... 165

Н.В. Швидченко, С.И. Лукьянов

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РОЛИКОВ
ОТВОДЯЩЕГО РОЛЬГАНГА ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА
ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ..... 178

В.Л. Евстигнеев, В.В. Гребенникова, Р.Э. Бурнашев	188
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНЫМ ДРОБЛЕНИЕМ.....	
В.М. Москвин	
УПРАВЛЕНИЕ ПО ВОЗМУЩЕНИЮ ТОЛЩИНОЙ ПОЛОСЫ ЗА ПЕРВОЙ КЛЕТЬЮ СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ.....	195
Р.Э.Бурнашев, М.Ю. Рябчиков, В.В. Гребенникова	
УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ СС-0.36 С УЧЕТОМ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КРЕПОСТИ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ПО МЕТОДУ ПРОТОДЬЯКОНОВА....	203

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА**

AUTOMATION OF TECHNOLOGIES AND PRODUCTION

Под общей редакцией д-ра техн. наук,
проф. Б.Н. Парсункина

Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»