

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, АВТОМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 004.43

Посохов И.А.

ЗАО «РУТЬЮБ»

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О КАЧЕСТВЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Целью исследования в работе является повышение эффективности функционирования системы получения экспертной информации по результатам обработки и анализа изображений серных отпечатков непрерывнолитой заготовки. В ходе исследования рассмотрены вопросы анализа традиционных способов визуализации и получения экспертной информации о качестве непрерывнолитой заготовки, разработки специального математического и алгоритмического обеспечения классификации изображений серных отпечатков на основе формообразующих характеристик гистограммы яркости и нечетких множеств. Исследования проводились для машин непрерывного литья заготовок, используемых в технологической цепочке получения непрерывнолитых заготовок квадратного сечения в 2011–2015 годах. Исследования проводились с использованием методов системного анализа при исследовании способов получения экспертной информации о качестве непрерывнолитой заготовки; обработки и классификации изображений трех уровней контрастности; морфологической обработки изображения; теории нечетких множеств. В результате получены формализованное описание структуры изображения серного отпечатка, методика каскадной классификации изображений, структурированный показатель эффективности функционирования новой системы получения экспертной информации и многоуровневая адаптивная траектория обработки графической информации. Значения структурированных показателей эффективности продемонстрировали превосходство новой системы с учетом классификации изображений над традиционной визуальной в среднем на 25%.

Ключевые слова: графическая информация, визуализация, классификация изображений, серный отпечаток, непрерывнолитая заготовка.

ВВЕДЕНИЕ

Управление современным промышленным производством опирается на использование информации большого объема и различной природы. Одним из видов используемой информации в системах управления являются изображения, на основе которых принимается решение о качестве готовой продукции. В технологической цепочке получения металлургической продукции представлено несколько точек, в которых происходит сбор и обработка графической информации: участок подготовки шихтовых материалов, участок разлива стали и участок получения холоднокатаного листа. Все токи контроля образуют сложную систему, работающую в непрерывном цикле [1].

Сложность алгоритмов, используемых при получении и обработке графической информации, ограничивает диапазон ее применения, и до настоящего времени для получения и принятия решений привлекаются человеческие ресурсы, которые позволяют представить результаты экспертной оценки. Традиционная технология принятия решений на основе визуальной оценки вносит ошибки, обусловленные влиянием человеческого фактора и, в частности, квалификацией эксперта. До настоящего времени остается актуальным разработка специального математического и алгоритмического обеспечения для получения и обработки экспертной информации в металлургической промышленности. Наличие такого обеспечения позволяет снизить влияние человеческого фактора в процессе принятия решений о качестве продукции.

В области теории и практики визуализации, получения, анализа, обработки информации и принятия решений на основе изображений накоплен значитель-

ный опыт в работах российских и зарубежных ученых. Вопросы теоретического исследования специального математического и алгоритмического обеспечения представлены в трудах Вудса Р., Гонсалеса Р. [2], Варма В. [3], Зиссерман А., Прэтта У., Шапиро Л. [4]. Труды Cannon R., Dave J., Визильтера Ю., Афанасьева А., Чинаева В. определяют алгоритмы сегментации изображений для принятия решений в картографии, медицине, биологии и других областях [5, 6]. Широкий круг работ, в том числе труды Варник В., Чапеие О., Фодди Г., Бар-Нен А., Кузьмицкого Н., посвящен развитию методов и алгоритмов классификации изображений и объектов регулярной формы [7, 8]. Возможность применения нечеткой логики к принятию решений и управлению системами /объектами обоснована в трудах Заде Л. [9], Wang F., Giordani P., Kiers H., Вятчина Д., Dave J., Gitman J., Тэрано Т. [10]. Для металлургической промышленности проводятся активные исследования в области проектирования и создания системы управления Спириным Н.А., Лавровым В.В., Цаплевым В.М., Ханзеным Ш., Логуновой О.С. [11-16].

Проведенный теоретико-информационный анализ показал, что до настоящего времени остаются актуальными проблемы в области обработки и использования графической информации:

1) в промышленных условиях формируются большие и сложные системы, для управления которыми используются все виды информации, в том числе и информация графического вида. Однако обработка и использование графической информации затруднены в силу принятия решений на основе уникального квалификационного опыта экспертов;

2) при наличии мощного теоретического аппарата и современных технических средств для обработки графической информации сложность сбора информа-

ции и ее последующего использования ограничивается отдельными узкоспециализированными задачами в промышленных условиях;

3) исследование в области обработки информации в узкоспециализированных областях не рассматривает применимость традиционных методов обработки графической информации в зависимости от параметров изображения, требующих разбиения изображения на классы, что приводит к трудоемкому интерактивному выбору параметров процедур предварительной обработки изображения и последующей сегментации.

Учитывая отраслевые особенности графической информации, получаемой при оценке качества непрерывнолитой заготовки, и существующие проблемы в области обработки и использования этой информации в системах управления, автором определена цель исследования: повышение эффективности функционирования системы получения экспертной информации по результатам обработки и анализа изображений серных отпечатков непрерывнолитой заготовки.

Для достижения поставленной цели автором в работе решены задачи:

1) анализ традиционных способов визуализации и получения экспертной информации о качестве непрерывнолитой заготовки для выявления их достоинств и недостатков, а также обоснование разработки системы получения экспертной информации на основе обработки изображений серных отпечатков;

2) разработка специального математического и алгоритмического обеспечения классификации изображений серных отпечатков на основе формообразующих характеристик гистограммы яркости;

3) разработка специального математического и алгоритмического обеспечения классификации изображений серных отпечатков на основе теории нечетких множеств;

4) обоснование и разработка структурированного показателя эффективности функционирования системы получения экспертной информации о качестве непрерывнолитой заготовки;

5) проведение вычислительного эксперимента для оценки эффективности применения каскадной методики классификации в системе получения экспертной информации о качестве непрерывнолитой заготовки.

АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О КАЧЕСТВЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Результаты анализа показали, что все металлургические предприятия имеют многостадийную структуру, включающую, как минимум, три основных взаимосвязанных передела: подготовительное производство, сталеплавильное производство и прокатное производство. Информация о качестве получаемой продукции формируется на основе экспертных оценок.

На этапе контроля поступивших материалов и качества полуфабрикатов используется традиционная экспертная визуальная оценка объекта, которая вносит в информацию субъективный фактор. В работе построена система визуализации и получения экспертной информации на основе изображения серного отпечатка. Подробная декомпозиция процесса получения экспертных оценок позволила выявить достоинства и не-

достатки каждого способа получения информации. Основными недостатками способа визуальной оценки изображения являются: наличие ошибочных решений при классификации дефектов непрерывнолитой заготовки; высокие трудовые затраты на подсчет и определение формы объектов нерегулярной формы; зависимость результата от опыта эксперта, определяющего качество заготовок. Автоматизированный способ получения экспертной информации также не лишен недостатков, среди которых наиболее существенным является отсутствие ответственности при неверно принятом решении о развитии дефектов заготовки.

Подробная декомпозиция процесса получения экспертных оценок позволила выявить достоинства и недостатки каждого способа получения информации (табл. 1 и 2).

Таблица 1
Достоинства и недостатки метода визуального получения экспертной информации о качестве непрерывнолитой заготовки

Достоинства	Недостатки
1. Высокая скорость получения результатов, получаемых на основе работы нейронов человеческого мозга	1. Наличие ошибочных решений при классификации дефектов непрерывнолитой заготовки
2. Однократное обучение эксперта с возможностью последующего накопления опыта проведения экспертизы	2. Высокие трудовые затраты на подсчет и определение формы объектов нерегулярной формы
3. Наличие лица, принимающего решения с ответственностью за получаемый результат	3. Зависимость результата от опыта эксперта, определяющего качество заготовки

Таблица 2
Достоинства и недостатки автоматизированного метода получения экспертной информации о качестве непрерывнолитой заготовки

Достоинства	Недостатки
1. Отсутствие ошибочных решений при классификации дефектов непрерывнолитой заготовки	1. Долгосрочный и трудоемкий процесс обучения системы классификации на большом количестве исходных данных
2. Отсутствие трудовых затрат на подсчет и определение формы объектов нерегулярной формы	2. Высокие требования к ресурсам памяти для хранения графической информации
3. Возможность многократного обучения системы на основе обучающих выборок и опыте экспертов	3. Отсутствие ответственности при неверно принятом решении о классификации

Изучение структуры изображения серного отпечатка позволило предложить его *формализованное описание* в виде структуры, которая в своем составе имеет элементы, характеризующие статистические параметры изображения (параметры гистограммы яркости), координаты положения каждого объекта нерегулярной формы, геометрические характеристики каждого объекта. Результат сегментации для каждого отдельного изображения может быть записан в виде

$$I = (O_1, O_2, \dots, O_n),$$

где n – количество объектов нерегулярной формы в структуре изображения; O_i – объекты нерегулярной формы, найденные на изображении I .

В свою очередь, каждый элемент вектора I также структурирован:

$$O_i = \{G_i(g_{0i}, g_{1i}, \dots, g_{255i}), x_i, y_i, S_i, a_i, b_i\},$$

$$i = 1 \dots n,$$

где $G_i(g_{0i}, g_{1i}, \dots, g_{255i})$ – вектор для описания частот яркости на гистограмме изображения при градации в 256 цветов; x_i, y_i – координаты объекта в пространстве изображения; S_i – площадь объекта; a_i, b_i – линейные размеры объекта.

Анализ существующего опыта использования и обработки графической информации показал наличие методов, методик и способов обработки информации, которые могут быть использованы для визуализации и разработки специального математического и алгоритмического обеспечения при построении системы получения экспертной информации с использованием новых технологий. Диссертационные исследования относятся к обработке статических изображений для оценки структуры материалов с использованием комбинированных методик, включающих методы статистики, теории нечетких множеств и экспертных оценок.

Для проведения диссертационных исследований в работе использованы три потока ретроспективной информации, поступающей в виде изображений серных отпечатков о качестве непрерывнолитой заготовки: первый поток – июль–август 2011 года, включает 32 изображения для обучения системы; второй поток – июль–август 2013 года – 52 изображения для тестирования и обучения системы; третий поток – июнь–июль 2015 года – 22 изображения для опытной эксплуатации системы. Все изображения получены в условиях электросталеплавильного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» для машин непрерывного литья заготовок сортового типа.

СПЕЦИАЛЬНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕРНЫХ ОТПЕЧАТКОВ НА ОСНОВЕ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИСТОГРАММЫ ЯРКОСТИ

При проведении первой серии промышленного эксперимента-обследования собрано и изучено 32 изображения серных отпечатков, а также ретроспективная информация электронного паспорта плавки. Примеры изображений, соответствующих серным отпечаткам темплета после сканирования с разрешением 300 dpi, представлены на **рис. 1**.

На основании визуального исследования полученной группы изображений выдвинута гипотеза о разделении изображений на три эталонных класса: *класс А* – изображения с незначительным отличием яркости фона и объекта исследования; *класс В* – изображения со средним отличием яркости фона и объекта исследования; *класс С* – изображения с резким отличием яркости фона и объекта исследования.

Для каждого класса изображения построены усредненные гистограммы яркости (**рис. 2**), введены формообразующие характеристики: положение порога яркости – T ; положение максимума яркости слева от

порога – m ; положение максимума яркости справа от порога – M . Для определения значений формообразующих характеристик использован метод Оцу и построен алгоритм классификации изображений на основе формообразующих характеристик (**рис. 3**).

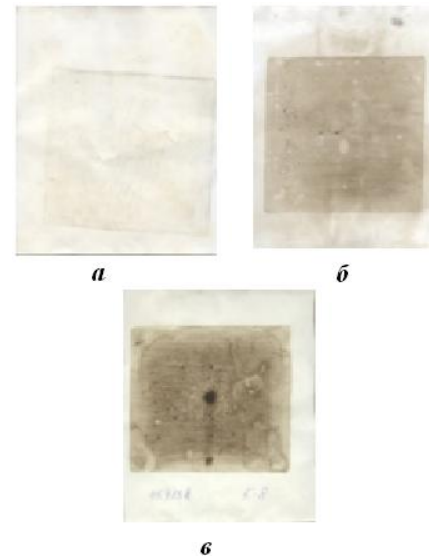


Рис. 1. Изображения серных отпечатков темплетов заготовок квадратного сечения: а – типовое изображение класса А; б – типовое изображение класса В; в – типовое изображение класса С

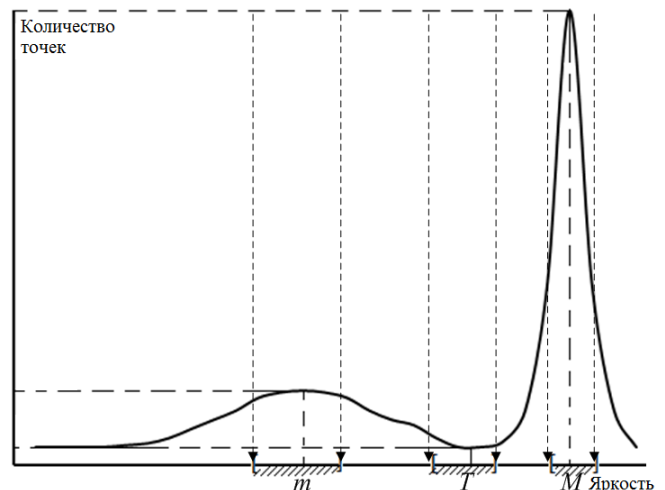


Рис. 2. Схема расположения параметров гистограммы изображения

Для определения изображения к одному из классов введена адаптивная функция принадлежности:

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

где R – множество возможных решений, состоящее из четырех элементов $\{0, 1, 2, 3\}$, значения 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; $m_{i\min}, m_{i\max}, T_{i\min}, T_{i\max}, M_{i\min}, M_{i\max}$ – эмпирические границы диапазона порога, максимума слева и максимума справа, определенные на основе эмпирического исследования и адаптируемые при обучении системы принятия решения о классификации изображе-

ний; m , T , M – количественные характеристики гистограммы изображения, выбранного для классификации: максимум слева, порог и максимум справа соответственно.

Для каждой области идентификации представлена аналитическая запись, которая позволила формализовать представление области неоднозначной идентификации изображения:

$$\begin{aligned}
 X(R) &= (1) \vee (2) \vee (3) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow (m_{\min B} < m < m_{\max C}) \wedge \\
 &\wedge (T_{\min C} < T < T_{\max C}) \wedge \\
 &\wedge (M_{\min C} < M < M_{\max C}) \rightarrow \\
 &\rightarrow ((A \subset B) \vee (A \subset C) \vee (B \subset C)).
 \end{aligned}$$

При использовании классификации на основе формообразующих характеристик гистограммы получили: наличие областей неоднозначной классификации; размер областей неоднозначной идентификации

составляет: $m_B \cap m_C = [179, 185]$, $T_B \cap T_C = [206, 207]$, $M_A \cap M_B = [240, 244]$, $M_A \cap M_C = [240, 244]$, $M_B \cap M_C = [238, 248]$; количество изображений, которые при классификации попали в область неоднозначной идентификации, составило: 31% – между классами А и В; 18% – между классами А и С; 78% – между классами В и С; однозначную идентификацию по формообразующим характеристикам прошли только 10% всех изображений.

Для сокращения размеров области неоднозначной классификации предложено увеличить количество классификационных признаков и в основу классификации заложить меры расстояния трех видов: Евклида, Чебышева и Манхэттенское расстояния. В результате построен алгоритм, приведенный на рис. 4. Для каждого класса построены диаграммы для оценки рассеяния расстояния до каждого из классов и введено правило принятия решений о принадлежности изображения классу: изображение относится к классу, если по всем трем видам расстояний получаем минимальное значение.

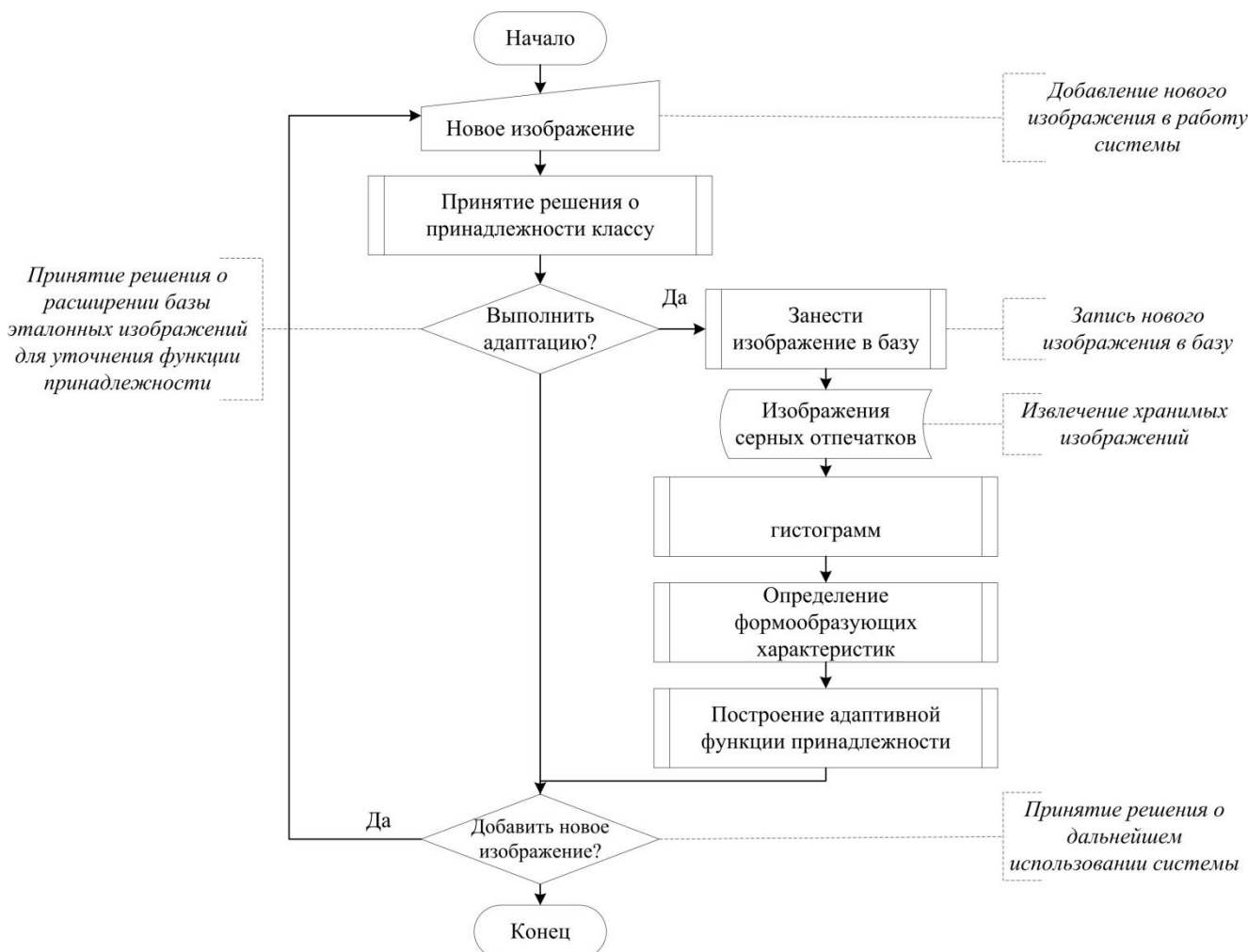


Рис. 3. Блок-схема алгоритма для принятия решений о классификации изображения по формообразующим характеристикам гистограммы

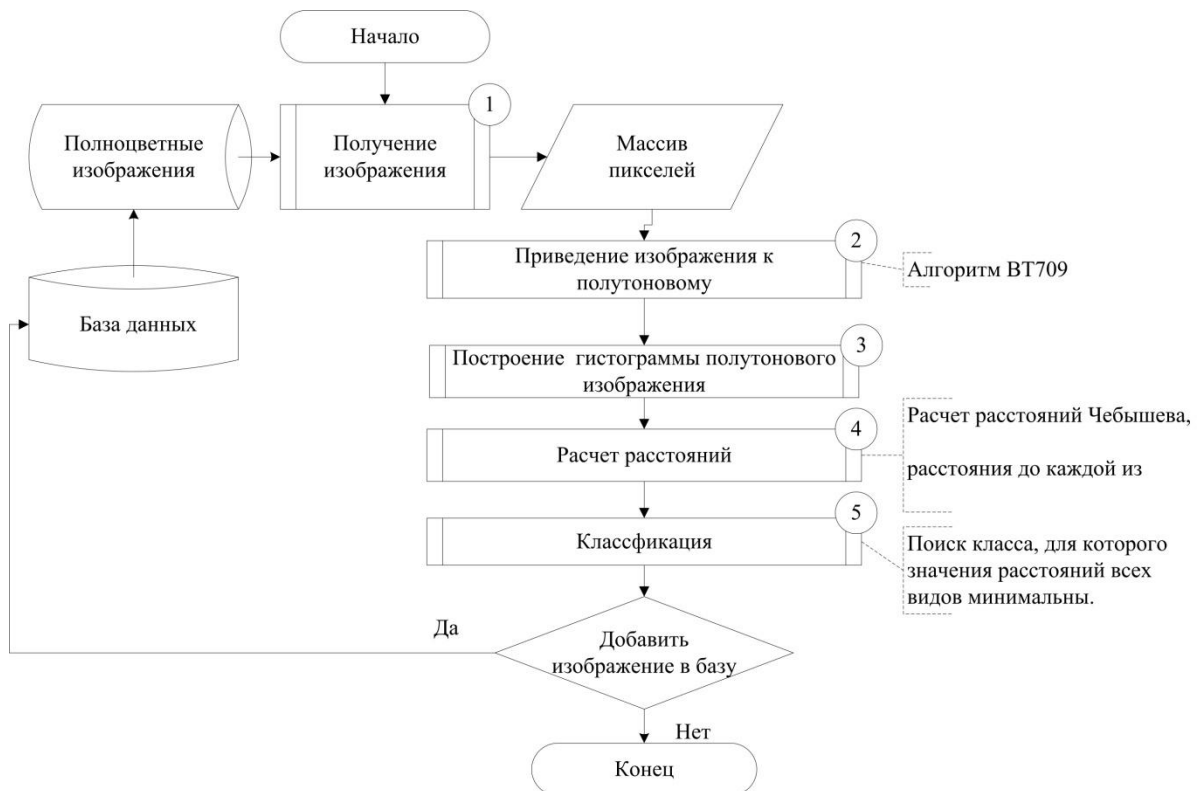


Рис. 4. Блок-схема алгоритма классификации изображения на основе расстояний для 256 признаков

Для введенных обозначений получили аналитическую запись условия принадлежности классу

$$\forall i = \overline{1,3} \exists j = \text{const} (S_{i_{\min}} = d_{i,j}) \rightarrow I \in K_j,$$

где $S_{i_{\min}}$ – минимальное расстояние вида $i = \overline{1,3}$; I – формальное обозначение объекта-изображения; K_j – обозначение класса с номером $j = \overline{1,3}$. Нарастивание количества признаков позволило повысить достоверность классификации до 69 %.

СПЕЦИАЛЬНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАСКАДНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕРНЫХ ОТПЕЧАТКОВ

Несмотря на добавление классификационных признаков, характеризующих форму гистограммы яркости изображения, не удалось добиться однозначной идентификации всего набора исходных изображений. Исследование структуры исходного изображения и методов его классификации по принципу от простого к сложному привело к построению каскадной методики классификации серного отпечатка. Каждый последующий каскад классификации предусмотрено применять для изображений, находящихся в области неоднозначной идентификации по результатам оценки предыдущего шага. Каждый каскад отличается от предыдущего количеством идентификационных признаков и сложностью функций принадлежности к каждому классу. Первый каскад использует правило идентификации изображения, построенное на основе трех формирующих характеристик. Второй каскад, наращивая количество идентификационных признаков с 3 до 256, использует три меры сходства, характеризующая дисперсию для оценки рассеяния расстояния относительно среднего значения каждого класса. Третий каскад используется только для изображений, не про-

шедших однозначную идентификацию на предыдущих двух каскадах. Учитывая невозможность идентификации изображений на основе детерминированных параметров гистограммы, принято решение ввести лингвистические переменные, термы и правила для идентификации изображений в классы. На рис. 5 приведена схема адаптивной методики каскадной классификации изображений серного отпечатка [17].

Для реализации третьего каскада методики введены структурированная лингвистическая переменная Image (рис. 6), равновесные и неравновесные функции принадлежности областей идентификации изображений для классов A и C , B и C в виде кусочных функций. Для каждой компоненты переменной Image принято правило принадлежности: изображение Image относится к классу K_i , если значение функции принадлежности для класса K_i не менее 0,5. Для каждой переменной Image получим значения трех компонент, которые относят изображение к одному из двух классов согласно введенному правилу. В табл. 3 определены правила принятия решения при классификации изображения по принадлежности между классами A или C .

Третий каскад системы классификации изображений серного отпечатка включает в себя два модуля: модуль обучения системы и модуль классификации нового потока изображений. Модуль обучения предназначен для: формирования функций принадлежности каждой формирующей характеристики; формирования множества правил принятия решений о принадлежности изображений одному из классов; адаптации функций принадлежности при поступлении нового потока изображений в обучающую выборку. Для каждой указанной функции разработан алгоритм функционирования. Схема взаимодействия модулей третьего каскада приведена на рис. 7.

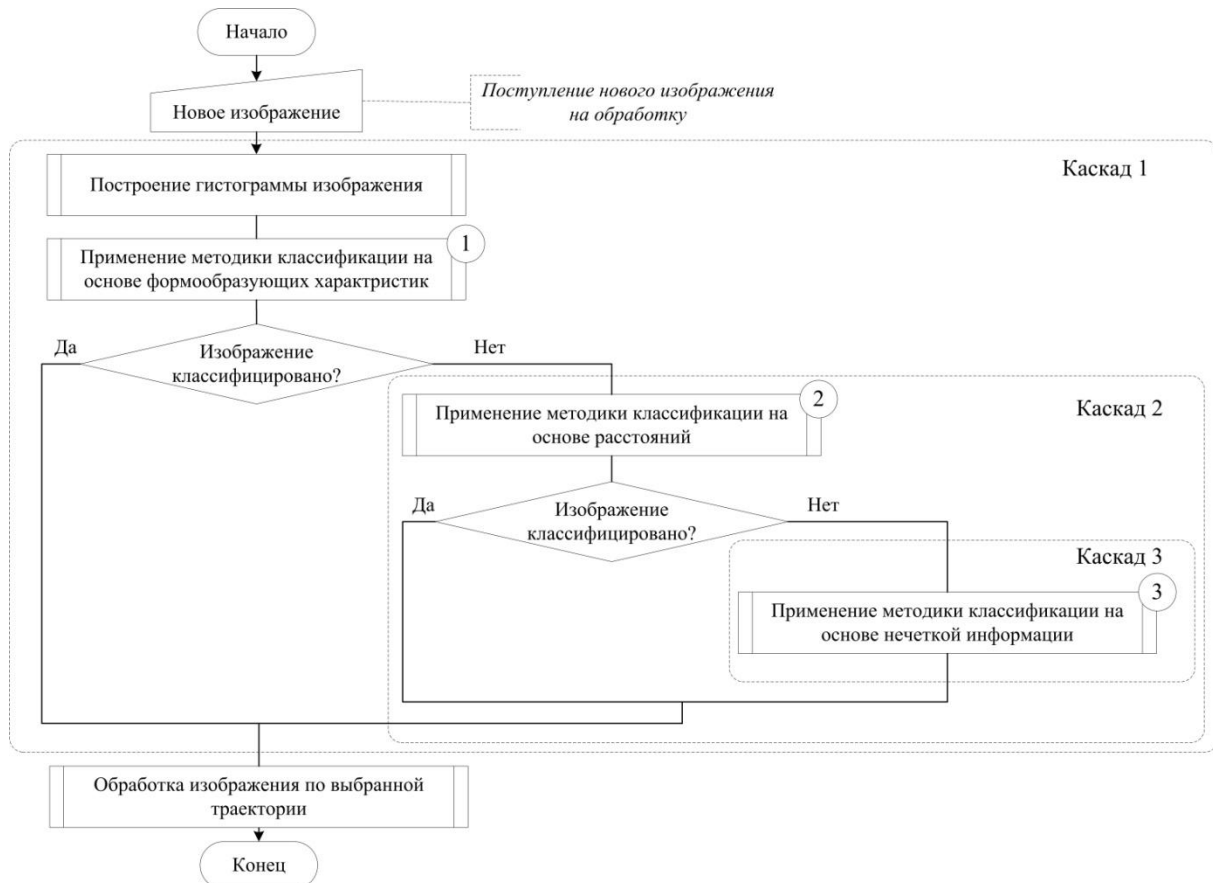


Рис. 5. Блок-схема алгоритма адаптивной методики каскадной классификации изображения серого отпечатка поперечного темплета непрерывнолитой заготовок

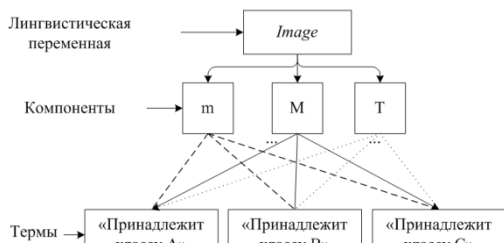


Рис. 6. Структура лингвистической переменной «Изображение»

Таблица 3
Правила принятия решений при неоднозначной классификации между A или C

Номер правила	Принадлежность классу по компоненте			Заключение эксперта
	<i>m</i>	<i>T</i>	<i>M</i>	
1	A	A	0	A
2	A	C	0	A
3	C	C	0	C
4	C	A	0	A
5	C	C	C	C
6	C	A	C	C
7	A	C	C	C
8	A	A	C	A

Аналогичным образом введены правила принятия решения при классификации изображения по принадлежности между классами B или C.

В результате применения каскада классификации, построенного на основе нечетких множеств и экспертных оценок, исключена неоднозначная классификация изображений из нового потока графической информации.

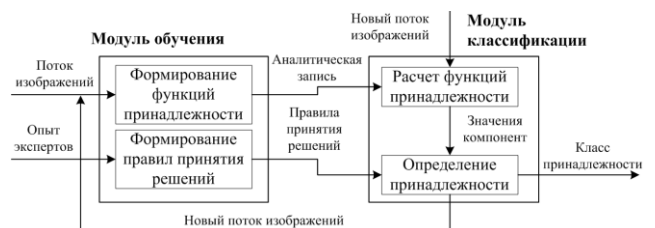


Рис. 7. Схема взаимодействия модулей третьего каскада системы классификации

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА И СТРУКТУРИРОВАННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для каждого определенного класса разработана траектория обработки графической информации. Для этого введена номенклатура применяемых алгоритмов, содержащая семь компонент (1 – приведение к оттенкам серого BT709; 2 – коррекция контраста; 3 – бинаризация методом Оцу; 4 – выделение связанных компонент; 5 – эрозия; 6 – бинаризация по первому значимому; 7 – дилатация), уровни пересечения траектории классов (рисунок 9) и матрица состояний [18]. Выполнена программная реализация алгоритмов для идентификации объектов нерегулярной формы на изображении серого отпечатка с учетом разработанной траектории и без нее.

В качестве способов оценки рассматриваются:

традиционный визуальный способ оценки с получением значения показателя качества K_1 ; новый способ получения экспертной информации без использования модуля классификации с получением значения показателя качества K_2 ; новый способ получения экспертной информации с использованием модуля классификации с получением значения показателя качества K_3 . Для оценки эффективности функционирования системы визуализации и получения экспертной информации разработан *структурированный показатель*, который учитывает характеристики выделенных объектов нерегулярной формы на изображении серных отпечатков:

$$I_i = \frac{K_i}{K_s}, K_i = \sum_{i=1}^5 \alpha_i C_i,$$

где I – показатель эффективности; K_i – показатель качества, полученный при текущем способе оценки; K_s – показатель качества, полученный при эталонном способе оценки; α_i – весовые коэффициенты для каждого показателя.

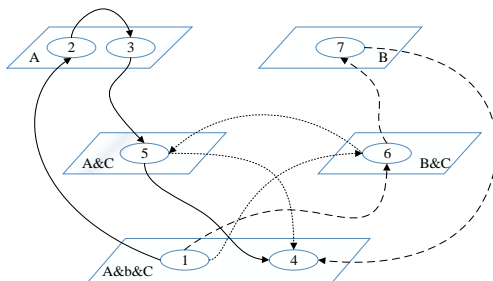


Рис. 8. Траектории применения методов обработки изображений после их классификации

Величины C_i описывают структурные элементы изображения и определяются согласно табл. 4.

Таблица 4

Относительные характеристики объектов нерегулярной формы на изображении серного отпечатка

№	Дефект	Показатель	Формула
1	Полоски и трещины	Количество	$C_1 = \frac{k_1}{k_{01}} 100\%$
		Ширина	$C_2 = \max_{1 \leq i \leq n_1} \left\{ \frac{h_i}{h_0} \right\} 100\%$
		Длина	$C_3 = \max_{1 \leq i \leq n_1} \left\{ \frac{l_i}{a} \right\} 100\%$
2	Краевая точечная загрязненность	Диаметр	$C_4 = \max_{1 \leq i \leq n_1} \left\{ \frac{d_i}{d_0} \right\} 100\%$
		Количество	$C_5 = \frac{k_2}{k_{02}} 100\%$

В табл. 4 введены обозначения: C_i – относительный показатель, $i=1,2..5$; k_1 и k_2 – количество объектов, идентифицируемых как полоски и точечная загрязненность соответственно; k_{01} и k_{02} – эталонные коэффициенты количества, приводящие показатели к единой размерности и единому порядку; n_1 – количество объ-

ектов, идентифицируемых как полоска или трещина; n_2 – количество объектов, идентифицируемых как краевое точечное загрязнение; h_i – ширина раскрытия i -го объекта, мм; h_0 – эталонная ширина раскрытия объекта, мм; l_i – протяженность i -го объекта, мм; a – толщина заготовки, мм; d_i – диаметр объекта, идентифицированного как точечная загрязненность, мм; d_0 – эталонный диаметр, мм.

Наличие системы визуализации и автоматизированного получения экспертной информации позволяет интегрировать ее в систему интеллектуальной поддержки управления многостадийными процессами, способной выполнить согласование значений технологических параметров между локальными контурами на каждой стадии производства [19, 20].

Годовой экономической эффект при функционировании системы получения экспертной информации о качестве заготовок составляет 981 242 руб., а срок окупаемости системы – 260 дней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен теоретико-информационный анализ структуры управления многостадийными процессами металлургического производства, использования графической информации в системе управления, процессов сбора и подготовки экспертной информации. В ходе анализа определены назначение и точки сбора графической информации. Исследования системы получения экспертной информации о качестве непрерывной заготовки позволили выявить ее достоинства и недостатки и выполнить обоснование для перехода к новой системе получения экспертной информации с использованием современных программных средств, которые потребовали разработки специального математического и алгоритмического обеспечения.

2. Предложены математическое и алгоритмическое обеспечения для классификации изображений серных отпечатков на основе формообразующих характеристик гистограмм яркости и расстояний до эталонной гистограммы. Применение методик классификации позволило однозначно идентифицировать принадлежность классу 69% изображений. Последовательное исключение однозначно идентифицированных изображений позволило сократить варианты для неидентифицированных изображений в две группы.

3. Для устранения неоднозначной классификации изображений серных отпечатков предложена методика каскадной классификации, которая содержит три каскада принятия решений по формообразующим характеристикам гистограмм яркости, мерам расстояния до эталонных гистограмм и нечетким функциям принадлежности с использованием экспертных логических правил вывода. В предлагаемом математическом обеспечении при описании функции принадлежности введены понятия равновесной и неравновесные модели, представлена обобщенная методика построения моделей и ее применение при классификации изображений серных отпечатков. При построении функций принадлежности нечетких множеств введены понятия областей «пустого множества» и «полного поглощения», которые позволили однозначно идентифицировать изображения из нового потока ретроспективной информации. В результате применения каскада класси-

фикации устранена неоднозначная классификация изображений из нового потока графической информации.

4. Приведены результаты вычислительного эксперимента, на основе системы получения экспертной информации, включающей модули каскадной классификации и сегментации, а также представлены структурированные показатели эффективности оценки работы системы. Значения структурированных показателей эффективности продемонстрировали превосходство новой системы с учетом классификации изображений над традиционной визуальной в среднем на 25 %.

5. Годовой экономической эффект при функционировании системы получения экспертной информации о качестве заготовок составляет 981 242 руб., а срок окупаемости затрат на создание и функционирование системы – 260 дней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логунова О.С. Системный подход к исследованию информационных потоков в управлении качеством непрерывнолитой заготовки // Проблемы теории и практики управления. 2008. № 6. С. 56-62.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
3. Varma M., Zisserman A. A Statistical Approach to Texture Classification from Single Images // International Journal of Computer Vision. 2005. Vol. 62(1/2). P. 61-81.
4. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: Бинном, 2006. 752 с.
5. Segmentation of a thematic Mapper Image using the fuzzy c-means clustering algorithm / R.L. Cannon [et al.] // IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing. 1986. Vol. GE-24. P. 400-408.
6. Афанасьева А., Игнатенко А. Алгоритм поиска областей резкости на стереоизображениях // ГрафиКон'2014: 24-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению. 2014. С. 160-164.
7. Chapeiie O., Haffner P., Vapnik V. Support Vector Machines for Histogram-Based Image Classification // IEEE Transactions on neural networks. 1999. Vol. 10, iss. 5. P. 1055-1064.
8. Foody G. A relative Evaluation of MultiClass Image Classification by Support Vector Machines // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. 2004. Vol. 42, iss. 6. P. 1335-1343.
9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
10. Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М. Прикладные нечеткие системы. М.: Мир, 1993. 366 с.
11. Спирин Н.А., Лавров В.В. Информационные системы в металлургии: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов). Екатеринбург: Уральский государственный технический университет – УПИ, 2004. 495 с.
12. Логунова О.С., Девятков Д.Х., Нуров Х.Х. Оценка качества непрерывнолитой заготовки статистическими методами с использованием программных средств. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. №9. С. 54-58.
13. Посохов И.А., Логунова О.С. Технология обработки изображений заготовок на основе операций морфологического анализа // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2011. №1-2. С. 191-196.
14. Логунова О.С., Павлов В.В., Нуров, Х.Х. Оценка статистическими методами серного отпечатка поперечного темплета непрерывнолитой заготовки // Электрометаллургия. 2004. № 5. С. 18-24.
15. Логунова О.С. Технология исследования информационных потоков на металлургическом предприятии // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 3. С. 32-36.
16. Logunova O.S., Matsko I.I., Posochov I.A., Luk'ynov S.I. Automatic system for intelligent support of continuous cast billet production control processes // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014. Vol.74(9). P. 1407 – 1418.
17. Логунова О.С., Павлов В.В., Посохов И.А., Мацко И.И., Мацко О.С. Структура каскадной системы управления многостадийными технологическими процессами // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ «ХП», 2013. № 19 (992). С. 75 – 80.
18. Посохов И.А., Логунова О.С. Технология обработки изображений заготовок на основе операций морфологического анализа // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной. 2011. Ч.2. С. 191-196.
19. Logunova O.S., Matsko I.I., Posochov I.A. Integrated system structure of intelligent management support of multistage metallurgical processes // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical university. 2013. №5. P. 50-55.
20. Логунова О.С., Мацко И.И., Посохов И.А. Система интеллектуальной поддержки процессов управления производством непрерывнолитой заготовки. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 175 с.

INFORMATION IN ENGLISH

VISUALIZATION AND PROCESSING OF DATA ON THE QUALITY OF CONTINUOUS CAST BILLET

Posokhov I.A.

The purpose of the research is to improve the efficiency of the system for obtaining expert information gained as a result of processing and analysis of images of sulfur prints of a continuous cast billet. The issues solved during the research are analysis of traditional methods of visualization and obtaining of expert information on the quality of continuous cast billet, development of special mathematical and algorithmic tools for image classification of sulfur prints based on formative characteristics of histogram and fuzzy sets. The research was done for continuous casting machines used in process of square continuously cast billets producing from 2011 to 2015. Methods of system analysis were used to find ways to obtain expert information about the quality of continuous cast billet, image processing and classification; fuzzy sets are also used in this research. As a

result, the research group introduced formalized description of sulfur print image structure, the cascade method of image classification, efficiency indicator of a new system for obtaining expert information and multi-level adaptive image processing trajectory. The value of efficiency indicator demonstrated that the new system is 25% more efficient than the traditional one.

Keywords: Graphic information, visualization, image classification, sulfur prints, continuous cast billet.

REFERENCES

1. Logunova O.S. *Sistemnyi podkhod k issledovaniyu informatsionnykh potokov v upravlenii kachestvom nepreryvnoy litoy zagotovki* [System Approach to Analysis of

- Information Flows in Continuous Cast Billet Quality Control]. Problems of control theory and practice. 2008, no.6, pp.56-62.
2. Gonsales P., Woods R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital Image Processing]. Moscow. Technosphere. 2005, 1072 p.
 3. Varma M., Zisserman A. A Statistical Approach to Texture Classification from Single Images. *International Journal of Computer Vision*. 2005, vol.62(1/2), pp.61-81.
 4. Shapiro L., Stockman J. *Kompyuternoe zrenie* [Computer Vision]. Moscow. Binom. 2006, 752 p.
 5. Cannon R.L. [et al.] Segmentation of a thematic Mapper Image using the fuzzy c-means clustering algorithm. *IEEE Trans. Geosci.Remote Sensing*. 1986, vol.GE-24, pp.400-408.
 6. Afanasyeva A., Ignatenko A. Algoritm poiska oblastey rezkosti na stereoizobrazheniyakh [Search Algorithm for Sharpness Region in Stereo Images]. *GraphyCon'2014: 24th International conference on computer graphics and vision*. 2014, pp. 160-164.
 7. Chapeii O., Haffner P., Vapnik V. Support Vector Machines for Histogram-Based Image Classification. *IEEE Transactions on neural networks*. 1999, vol.10, iss.5, pp.1055-1064.
 8. Foody G. A relative Evaluation of MultiClass Image Classification by Suupport Vector Machines. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2004, vol.42, iss.6, pp.1335-1343.
 9. Zade L. *Ponyatie lingvisticheskoi peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [Concept of Linguistic Variable and its Application for Making Approximate Solutions]. Moscow. Mir. 1976, 165 p.
 10. Terano T., Asai K., Sugeno M. *Prikladnye nechetkie sistemy* [Applied Fuzzy Systems]. Moscow. Mir. 1993, 366 p.
 11. Spirin N.A., Lavrov V.V. *Informatsionnye sistemy v metallurgii: konspekt lektsiy (otdelnye glavy iz uchebnika dlya vuzov)* [Information Systems in Metallurgy: Lecture Notes: some chapters from the textbook for universities]. Yekaterinburg: the Ural state technical university – UPI. 2004, 495 p.
 12. Logunova O.S., Devyatov D.Kh., Nurov H.H. Otsenka kachestva nepreryvnolitoi zagotovki sattisticheskimi metodami ispolzuya programmnye sredstva [Estimation of Continuous Cast Billet Quality by Statistical Methods Using Software Tools]. *Proceedings of universities. Ferrous metallurgy*. 2005, no.9, pp. 54-58.
 13. Posohov I.A., Logunova O.S. Tehnologiya obrabotki izobrazheniy zagotovok na osnove operatsiy morfologicheskogo analiza [Billet Image Processing Technology on the Basis of Morphological Analysis Operations]. *Mathematical and software tools for systems in industry and sociology*. 2011, no.1-2, pp.191-196.
 14. Logunova O.S., Pavlov V.V., Nurov H.H. Otsenka statisticheskimi metodami sernogo otpechatka poperechnogo templeta nepreryvnolitoi zagotovki [Using Statistical Methods for Assessment of Sulfur Print of Transverse Template of Continuous Cast Billet]. *Electrometallurgy*. 2004, no.5, pp.18-24.
 15. Logunova O.S. Tehnologiya issledovaniya informatsionnykh potokov na metallurgicheskom predpriyatii [Technology of Information Flow Analysis at Metallurgical Enterprise]. *Information technologies in design and production*. 2008, no. 3, pp.32-36.
 16. Logunova O.S., Matsko I.I., Posohov I.A., Lukaynov S.I. Automatic system for intelligent support of continuous cast billet production control processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014, vol.74(9), pp.1407 – 1418.
 17. Logunova O.S., Pavlov V.V., Posohov I.A., Matsko I.I., Matsko O.S. Struktura kaskadnoy sistemy upravleniya mnogostadiynymi tehologicheskimi protsessami [Structure of Cascade Control System of Multi-stage Technological Processes]. *Bulletin of NTU “KhPI”. Informatics and modelling*. 2013, no.19(992), pp.75-80.
 18. Posohov I.A., Logunova O.S. Tehnologiya obrabotki izobrazheniy zagotovok na operatsiy morfologicheskogo analiza [Technology of Billet Image Processing on the Basis of Analysis of Morphological Operations]. *Mathematical and software system tools in industry and sociology*. 2011, part 2, pp.191-196.
 19. Logunova O.S., Matsko I.I., Posohov I.A. Integrated system structure of intelligent management support of multistage metallurgical processes. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical university*. 2013, no.5, pp.50-55.
 20. Logunova O.S., Matsko I.I., Posohov I.A. *Sistema intellektualnoy poderzhki protsessov upravleniya proizvodstvom nepreryvnolitoi zagotovki* [System of Intelligent Support of Control Processes in Continuous Cast Billet Production]. Magnitogorsk. Publishing center of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013, 175 p.