

**Редакционный совет:**

**Председатель редакционного совета:**

*И.Ю. Мезин* – директор института Естествознания и стандартизации ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», зав. кафедрой, профессор, д-р техн. наук, Магнитогорск.

**Члены редакционного совета:**

*С.А. Атрошенко* – профессор Санкт-Петербургского государственного университета, д-р физ.-мат. наук, Санкт – Петербург;

*В.В. Бринза* – директор НИЦ Технологического прогнозирования, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», д-р техн. наук, Москва;

*М.Б. Гитман* – профессор ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», д-р физ.-мат. наук, Пермь;

*И.Г. Гун* – генеральный директор АО НПО «БелМаг», профессор, д-р техн. наук, Магнитогорск;

*А.А. Кавалек* – профессор Ченстоховского технологического университета, Институт обработки металлов давлением и инженерной безопасности, Польша;

*А.Г. Корчунов* – проректор по международной деятельности ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», профессор, д-р техн. наук, Магнитогорск;

*А.М. Песин* – профессор ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», д-р техн. наук, Магнитогорск.

**Редакционная коллегия:**

**Главный редактор:**

*Г.Ш. Рубин* - доцент, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

**Зам. главного редактора:**

*Е.Г. Касаткина* - доцент, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

**Технический редактор:**

*Л.В. Крамзина* - инженер, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».

---

**Адрес редакции:**

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-84-31

E-mail: tssa@magtu.ru

Журнал подготовлен к печати Издательским центром МГТУ им. Г.И. Носова

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Выход в свет 25.12.2018.

Заказ 448. Тираж 500. Цена свободная

ISSN 2310-6093

**Editorial committee:**

**Chairman of editorial committee:**

*I. Y. Mezin* – Dr. Sc., Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Members of the editorial staff:**

*S. A. Atroshenko* – Dr. Sc., Prof., St.-Petersburg State University.

*V. V. Brinza* – Dr. Sc., Director of Scientific Research Center of Technological Prognosis, National Research University «Moscow Institute of Steel and Alloys»;

*M. B. Gitman* – Dr. Sc., Prof., Perm National Research Polytechnic University;

*I. G. Gun* – Dr. Sc., Prof., General Director, BelMag JSC;

*A. A. Kovalek* – Prof., Częstochowa University of Technology, Institute of Metal Forming and Engineering Safety ( The Republic of Poland);

*A. G. Korchunov* – Dr. Sc., Prof., Vice-rector for International Relations, Nosov Magnitogorsk State Technical University;

*A.M. Pesin* – D. Sc., Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Editorial staff:**

**Editor-in-chief:**

*G.Sh.Rubin* – Ph.D., Assoc. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Deputy chief editor:**

*E.G. Kasatkina* – Ph.D., Assoc. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

**Technical editor:**

*L.V.Kramzina* – engineer, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

---

**Editorship address:**

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

Phone number: (3519)29-84-31

Email: tssa@magtu.ru

Published by publishing center of MSTU named after G. I. Nosov.

Publication date 25.12.2018.

Order 448. Circulation – 500 items. Open price.

ISSN 2310-6093

СОДЕРЖАНИЕ

<b>Атрошенко С.А.</b> Анализ показателей качества сверлильного инструмента различных компаний .....	5
<b>Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Вафин Р.К., Бирюкова О.Д.</b> Моделирование остаточных напряжений в алюминиевых листах из сплава АМГ6 после асимметричной прокатки .....	10
<b>Заруцкая А.О., Бережная Г.А.</b> Совершенствование системы менеджмента качества ОАО «ММК-МЕТИЗ» с целью повышения результативности ведения претензионных работ .....	17
<b>Понурко И. В., Крылова С. А., Горелова А. А., Давлеткулова Р. А., Ахметова А. К.</b> Исследование возможности применения фосфатной композиции для коррекционной обработки подпиточной воды в условиях ТЭЦ .....	20
<b>Рубин Г.Ш., Москалева Е.А.</b> Анализ технологии выплавки стали марки 006/IF с целью выявления повышенного содержания углерода и азота .....	25
<b>Шубин И.Г., Шубина М.В.</b> Повышение качества оценки микроструктуры высокоуглеродистой катанки .....	29
<b>Смирнов А.Н., Сысоев В.И., Крылова С.А., Никифорова В.М., Жусупова Ж.С.</b> Калибровка газохроматографического метода анализа для определения продуктов переработки углеродсодержащих материалов, полученных с использованием железо-магнезиального оксидного катализатора .....	34
<b>Мезин И.Ю., Лимарев А.С., Касаткина Е.Г.</b> Формирование свойств машиностроительных материалов холодной пластической деформацией пористых порошковых заготовок .....	40
<b>Цыганов А.В.</b> Иерархическая декомпозиция качества процесса контрейлерных перевозок .....	46
<b>Очкова Е. А., Касаткина Е.Г., Сомова Ю.В.</b> Приоритеты внедрения экологического менеджмента в организациях, работающих в сфере обращения с отходами .....	49
<b>Перятинский А.Ю.</b> Влияние различных категорий персонала на надежное обеспечение безопасности труда в металлургии .....	55

CONTENT

<b>Atroshenko S. A.</b> Analysis of the quality indicators of the drilling tool of different companies .....	5
<b>Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Vafin R.K., Biryukova O.D.</b> Modeling of residual stresses in AMG6 aluminum alloy sheets after asymmetric rolling.....	10
<b>Zarutskaya A.O., Berezhnaya G.A.</b> Enhancement of the quality management system of mmk-metiz ojsc to improve claims processing.....	17
<b>Ponurko I.V., Krylova S. A., Gorelova A. A., Davletkulova R. A, Akhmetovna A. K.</b> The potential of phosphatic composition for “make-up” water correction in heat and power plants.....	20
<b>Rubin G.Sh., Moskaleva E.A.</b> Analysis of the technology of smelting steel 006/IF to identify the high content of carbon and nitrogen.....	25
<b>Shubin I.G., Shubina M.V.</b> Improving the quality of the microstructure estimation of a high-carbon wire rod.....	29
<b>Smirnov A. N., Krylova S. A., Sysoev V. I., Nikiforova V. M., Zhusupova Z. S.</b> Calibration of Gas Chromatographic Analysis Method for the Identification of the Products of Carbon Containing Materials Processing Obtained Using Iron-Magnesian Oxide Catalyst.....	34
<b>Mezin I.Yu., Limarev A.S, Kasatkina E.G.</b> Formation of the properties of engineering materials by cold plastic deformation of porous powder blanks.....	40
<b>Tsyganov A.V.</b> Hierarchical decomposition of the quality of piggyback transportation process.....	46
<b>Ochkova E.A., Kasatkina E.G., Somova Y.V.</b> The priority is the use of environmental resources .....	49
<b>Peryatinsky A.U.</b> Influence of different personal categories on reliable ensuring of safety of work in metallurgy.....	55

УДК 627.762  
Атрошенко С.А.

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СВЕРЛИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА РАЗЛИЧНЫХ КОМПАНИЙ

**Аннотация.** В настоящей работе проведен анализ качества сверлильного и фрезерного инструмента японской компании *MIYANAGA*, немецкой *KEIL* в сравнении с отечественной компанией «Томский инструмент».

**Ключевые слова:** Колонковое сверло, диаграмма Парето, ранжированный ряд конкурентоспособности

### ВВЕДЕНИЕ

Проведено сравнение трех компаний:

1. Компания *MIYANAGA* специализируется на производстве высококачественных карбидных наваренных сверлящих лезвий. Лезвия имеют разные характеристики и структуру (лезвия бетонных дрелей, глубинные лезвия, бурава с металлическими краями, а также глубинные лезвия с алмазными наконечниками для профессиональной индустрии), и подразделяются на серии: серия *POLY-CLIC* (удобный в использовании корпус *POLY-CLIC*); серия «Металлическая граница» (предоставляет широкий диапазон резаков для наиболее быстрого и экономичного сверления металлов в пригодной для машин форме с толщиной до 50 мм, в диаметрах от 14 до 150 мм) серия «Выпиливатель отверстий» (для более эффективного и экономичного пути вырезания отверстий в стали, крашенной стали, эмалированных металлических изделиях, гальванизированном железе и т.д.).

2. Все инструменты фирмы *KEIL* изготавливаются из лучшей инструментальной стали. Свойства и форма рабочего элемента точно приспособлены к условиям работ и отвечают всем требованиям качества. При производстве изделий используется пайка в инертной среде с высокой температурой до 1120°C, закалка на аустенит и дробеструйная обработка, что обеспечивает возможность работы в критических условиях и высокую стойкость инструмента. Также огромное внимание уделяется контролю за качеством технологического процесса. Производится проверка качества сырья, осуществляется

контроль на промежуточной и конечной стадии производства, а также постоянные испытания при критических условиях. Полученные данные позволяют разрабатывать новые технологии производства и материалы.

3. Группа компаний «Томский инструмент» имеет 60-летний опыт проектирования, производства и сбыта широкой гаммы металлорежущего и дереворежущего инструмента (сверла, метчики, плашки, фрезы, сборный инструмент и т.д.) для всех отраслей промышленности. Фактически каждый второй потребитель режущего инструмента в России использует инструмент с маркой «Томский инструмент». Группа компаний «Томский инструмент» - интегрированное предприятие, в котором выполняется весь технологический процесс от разработки до реализации. Компания производит и реализует: 1) Металлорежущий инструмент: сверла спиральные с цилиндрическим и коническим хвостовиком, резьбообразующий инструмент (метчики, плашки, ролики), зубообрабатывающие фрезы (червячные, модульно-дисковые), фрезы концевые, сборный, оснащенный сменными многогранными твердосплавными пластинами (сверла, концевые и торцевые фрезы), цельный твердосплавный инструмент, инструмент по чертежам заказчика. 2) Дереворежущий инструмент: сверла, фрезы концевые, фрезы насадные пазовые, фрезы насадные затылованные профильные, фрезы насадные сборные с профильными ножами

В табл. 1 проведено сравнение показателей этих трех фирм.

Таблица 1

Сравнение показателей качества фирм, производящих сверлильный инструмент

Показатели	компания MIYANAGA (Япония)	компания KEIL (Германия)	компания «Томский инструмент» (Россия)
Качество производства (продукции)	Применение новых технологий и разработок, высокий уровень производства	Производство высококачественной продукции	Направленность на достижение соответствия требованиям стандартов и повышение качества
Ассортимент	На данный момент продукция мало представлена на рынке	Широкий спектр наименований продукции	Производство широкой гаммы металлорежущего и дереворежущего инструмента
Область применения	Возможность обработки большого спектра материалов	Специализируется на изготовлении сверл по обработке большинства видов материалов	Основная направленность на сверла по обработке металла и дерева
Маркетинг	Раскрутка бренда, проведение рекламных кампаний	За последнее время бренд компании стал пользоваться большой популярностью	Известная марка, которая долгое время работает на рынке
Спрос	Спрос невелик, так как компания только внедряется на российский рынок	Высокий спрос, вызванный доверием к качеству продукции	Среди российских компаний-конкурентов занимает первое место по потреблению
Ценовая категория	Средняя ценовая категория	Самый дорогостоящий инструмент на рынке	Самое приемлемое соотношение цены и качества

**1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Анализ показателей качества сверлильного оборудования проводился на примере колонкового сверла с гипердиаметром РСН PD 060С компании MIYANAGA

*Колонковое сверло (универсальное)*

Характеристика: 1) Врезанные алмазные вставки (алмазное напыление) позволяют без проблем делать отверстия в бетонных блоках, в известняке, в кирпичной кладке, в материалах, с которыми очень трудно при работе в режиме вращения с карбидными лезвиями. 2) Дельтовидное расположение уменьшает количество заторов и защемления и позволяет без труда делать отверстия в каналах. Такого рода операции сложно проводить с использованием укрепленной дрели с алмазной сердцевиной. 3) Благодаря широко-поставленному дельтовидному расположению и сплетенной внешней поверхности значительно легче сверлить отверстия в различных видах труб и деревянных материалах, что является проблемой для электродепозитной дрели с алмазной сердцевиной. 4) Улучшенная резка за счет вывода больших частиц. 5) В режиме вращения сверлит отверстия в широком диапазоне материалов

Параметры:

- Максимальная глубина сверления – 130 мм

- Диаметр стержня: "S" стержень с 10 мм (для диаметров от 25 до 45 мм), "L" стержень с 13 мм (для диаметров от 50 до 220 мм)
- Центрующее сверло: РСНWCD 225 (для диаметров от 25 до 220 мм)
- Диаметр сверла от 25 до 220 мм
- Маркировка РСНPD

Применение: Для проделывания отверстий в бетоне, арматуре, кирпиче, кровельной плитке, облицовочных материалах (керамических или металлических), волокните, композитных материалах, клееной фанере и других видах древесных материалов (даже с гвоздями), трубах ПВХ(поливинилхлоридные) и трубах из спиральной ленты.

Анализ показателей качества осуществлялся с помощью диаграммы Исикавы, диаграммы Парето и ранжированного ряда.

Для оценки конкурентоспособности продукта используется методический подход, основанный на получении обобщенных показателей, агрегирующих множество частных характеристик с учетом их веса – значимости. Данный метод называется *ранжированным рядом* и может быть построен по возрастанию (убыванию) показателя, характеризующего конкурентоспособность.

При этом существует следующий алгоритм:

1. Определяются частные показатели, характеризующие конкурентные свойства продукта;

2. Определяются значения частных показателей по каждому из альтернативных вариантов (в натуральных единицах измерения, а при необходимости – в баллах) –  $K_i$ ;

3. С помощью экспертного метода выстраивается последовательность частных показателей конкурентоспособности, ранжированная по степени их значимости для потребителей;

4. Выбирается вариант – «эталон», являющийся базовым при сопоставлении частных показателей

5. Частные показатели конкурентоспособности сопоставляются с «эталонным» вариантом и определяются индексы частных показателей ( $J_{ki}$ ) по каждому варианту:

$$J_{ki} = K_i / K_{i_0} \quad (1)$$

где  $K_{i_0}$  – частный показатель конкурентоспособности, соответствующий варианту – «эталону».

6. С помощью методов инженерного прогнозирования определяется коэффициент весомости частных показателей конкурентоспособности  $L_i$ :

$$L_i = \frac{i}{2^{i-1}} \quad (2)$$

где  $i$  – номер показателя в последовательности, ранжированной по степени значимости.

7. Исчисление совокупного (интегрального) показателя конкурентоспособности продукции (организации) по каждому из сравниваемых вариантов –  $Y_{kn}$ :

$$Y_{kn} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i Y_{ki}}{\sum_{i=1}^{i=n} L_i} \quad (3)$$

где  $n$  – число оцениваемых частных показателей конкурентоспособности.

Данный показатель пригоден лишь для сравнительных оценок и не может быть использован как абсолютная характеристика, он представляется вполне пригодным для решения задач оценки эффективности предпринимательства, сравнительной по своей сути, и

используемой в процессе оптимизации (выбора).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью диаграммы Исикавы выявляли возможные причины возникновения отрицательных факторов, влияющих на работу сверла.

*Формулировка проблемы:* при проведении испытаний на работоспособность сверла были выявлены следующие отклонения, связанные: 1) нагревом рабочей кромки сверла, и, следовательно, необходимостью перерывов в работе через каждые 5 минут сверления; 2) неудобством в работе с инструментом при горизонтальном сверлении - на рукоятке возникает значительное усилие, что приводит к необходимости фиксации инструмента.

Из построенной диаграммы были сделаны выводы, что наиболее значимыми факторами являются:

1. качество стали;
2. примеси;
3. уровень автоматизации и механизации;
4. опыт;
5. инструмент;
6. совершенство технологии;
7. удобство в работе с инструментом;
8. обрабатываемый материал;
9. состояние рабочего места;
10. квалификация.

Отсюда следует необходимость направить усилие на изучение и улучшение вышеперечисленных факторов для получения высококачественной продукции. На основании полученных данных можно построить диаграмму Парето для выявления наиболее значимых факторов, влияющих на качество продукции.

Если причины и признаки определенной проблемы выявлены и записаны, то можно определить важность каждого из них, и таким образом узнать наиболее существенные элементы, которым нужно уделять особое внимание.

Диаграмма Парето (анализ Парето) названа в честь итальянского экономиста В. Парето, который в 1897 году, анализируя богатства Италии, вывел формулу показывающую, доходы в обществе распределяются неравномерно. Эта же теория в 1907 году была проиллюстрирована на

Таблица 2

Определение значимости факторов, влияющих на качество

№ №	Фактор качества	Значимость	% от общей значимости
1	Качество стали	67	33,5
2	Примеси	15	7,5
3	Уровень автоматизации и механизации	13	6,5
4	Опыт	20	10
5	Инструмент	23	11,5
6	Совершенство технологии	8	4
7	Удобство в работе с инструментом	9	4,5
8	Обрабатываемый материал	24	12
9	Состояние рабочего места	5	2,5
10	Квалификация	16	8
Итого		200	100

диаграмме американским экономистом М.С. Лоренцом. Оба ученых показали, что 80% проблемы на 20% зависит от причин, ее вызвавших. Доктор Д.М. Джуран использовал этот постулат для классификации проблем качества на немногочисленные, но существенно важные, и многочисленные несущественные, и назвал этот метод анализом Парето. Метод Парето позволяет выявлять основные факторы возникновения проблемы и расставлять приоритеты в их решении.

Для построения диаграммы Парето необходимо определить значимость факторов качества, определенных в диаграмме Исикавы. Анализ факторов приведен в табл. 2.

На рис. 1 приведена построенная по представленным в таблице данным диаграмма Парето.

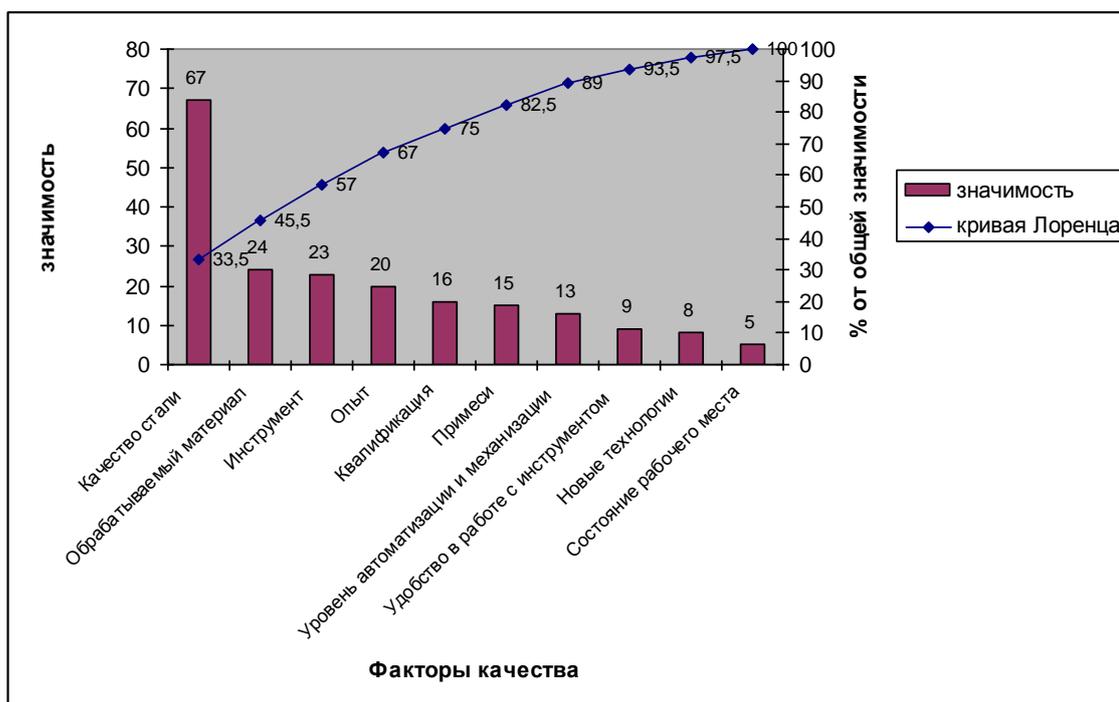


Рис. 1. Диаграмма Парето

Выводы из диаграммы Парето: основным фактором, влияющим на качество продукции (сверла), является качество стали, поэтому необходимо организовать мероприятия

по выбору другого поставщика материала (стали), либо рассмотреть вариант изменения марки стали для данного типа сверл.

Для построения ранжированного ряда конкурентоспособности по критерию качества в качестве базы для расчетов выбрали колонковое сверло с гипердиаметром РСН PD 060С компании MIYANAGA. Ранжированный ряд строится по относительному экономическому показателю – цене 100 баллов потребительских свойств материала ( $P'$ ).

$$P' = (P / B) \cdot 100 \quad (4)$$

где  $P$  – цена за 1 т анализируемой стали, ЕВРО.

В **табл. 3** приведены характеристики сверл трех сравниваемых компаний, а в **табл. 4** приведен расчет цены 100 баллов потребительских свойств стали.

**Таблица 3**

**Характеристика сверл компаний MIYANAGA, KEIL и Томский инструментальный завод**

Фирма	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Усилие, Нм	Стойкость (максимальный пропи́л), мм	Цена, ЕВРО
MIYANAGA	60	60	650	5	14	260	30,5
KEIL	60	50	500	10	16	300	36,22
ТИЗ	60	40	430	8	12	250	25

**Таблица 4**

**Расчет 100 баллов потребительских свойств продукции**

Фирма	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Частота вращения, об/мин	Подача, мм/мин	Усилие, Нм	Стойкость (максимальный пропи́л), мм	Совокупная оценка, баллы	Цена 100 баллов, ЕВРО
Миянага	100	100	100	100	100	100	600	5,1
KEIL	100	83	77	200	114	115	689	1,8
ТИЗ	100	66	66	160	85	96	573	0,8

Из построенного ранжированного ряда можно сделать вывод: самую сильную позицию занимает продукция компании Томский Инструментальный Завод.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований можно сделать следующее заключение:

1) на основании построенных диаграмм Исикавы и Парето выявлено, что основным фактором, влияющим на качество сверла, является качество стали, поэтому необходимо организовать мероприятия по выбору другого поставщика стали, либо рассмотреть вариант

изменения марки стали для данного типа сверл.

2) На основании ранжированного ряда конкурентоспособности можно сделать вывод: самую сильную позицию занимает продукция компании Томский Инструментальный Завод, так как имеет минимальную стоимость при высокой совокупной оценке продукции.

### Список литературы

- Атрошенко С.А., Новикова Е.Г. Всеобщее управление качеством. Методические указания к практическим работам для студентов всех форм обучения. СПб, СПбГИЭУ, 2010, 82с.
- <http://www.miyanaga.co.jp/engl/index.html>
- <http://experttool.ru/product/keil>
- <http://www.tiz.ru>

УДК 669.716

Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Вафин Р.К., Бирюкова О.Д.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИСТАХ ИЗ СПЛАВА АМг6 ПОСЛЕ АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ\*

**Аннотация.** Растягивающие остаточные напряжения, возникающие в листах после асимметричной прокатки, могут служить причиной зарождения и роста микротрещин и приводить к разрушению обрабатываемого материала. В работе на основе численного моделирования методом конечных элементов выполнен анализ распределения остаточных напряжений по толщине полосы (листа) из алюминиевого сплава АМг6 после обработки способом холодной асимметричной прокатки с рассогласованием окружных скоростей рабочих валков. Показано, что наибольшее влияние на формирование остаточных напряжений оказывает степень рассогласования окружных скоростей рабочих валков, а также формирующаяся при этом из-за вертикального изгиба геометрическая форма полосы. Установлено, что уровень остаточных растягивающих напряжений максимален после асимметричной прокатки с  $\Delta V=40\%$  и достигает 75 МПа, а минимален – при  $\Delta V=\varepsilon=50\%$ , не превышая 14 МПа.

**Ключевые слова:** асимметричная прокатка; алюминиевый сплав АМг6; остаточные напряжения; моделирование; метод конечных элементов

### Введение

Деформируемый алюминиевый сплав АМг6 системы Al-Mg обладает хорошей пластичностью, высокой коррозионной стойкостью в различных средах и хорошей свариваемостью, что определяет его широкое применение в большинстве сварных конструкций [1-2]. Вместе с тем, существенным недостатком сплава АМг6 является его довольно низкая прочность: гарантированный предел текучести у отожженных полуфабрикатов из сплава АМг6 составляет, в зависимости от вида полуфабриката, 120...155 МПа. Несмотря на довольно значительное увеличение растворимости магния в алюминии при повышении температуры, упрочнение при закалке сплава АМг6 весьма незначительно, в этой связи, он, как и другие сплавы системы Al-Mg, относится к термически не упрочняемым. Поэтому основным способом улучшения его прочностных свойств является холодная деформация.

Одним из возможных путей значительного повышения прочности алюминиевых сплавов является формирование в них мелкозернистой или ультрамелкозернистой структуры при больших (интенсивных) пластических деформациях, например, при обработке способом асимметричной тонколистовой прокатки с целенаправленно создаваемым рассогласованием окружных скоростей рабочих валков [3-9]. При асимметричной прокатке деформированное состояние металла описывается тензо-

ром, учитывающим все составляющие деформации: линейные, угловые и поворотные. Поворотная деформация и сдвиги обеспечивают немонотонность течения металла и значительное приращение интенсивности деформации, что является отличительной особенностью процесса асимметричной прокатки как метода ИПД. Однако сверхвысокие сдвиговые деформации, немонотонность и неравномерность течения металла при асимметричной прокатке могут служить причиной возникновения высоких растягивающих остаточных напряжений в материале полосы (листа) после обработки данным способом. Растягивающие остаточные напряжения могут служить причиной зарождения и роста микротрещин и, соответственно, приводить к разрушению материала листа [10-12].

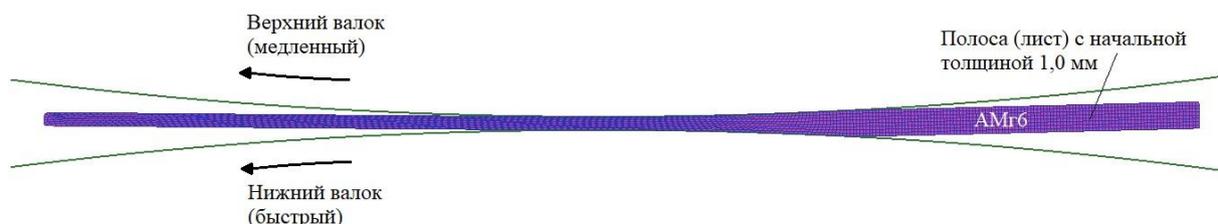
Целью данной работы является численное моделирование и анализ распределения остаточных напряжений по толщине полосы (листа) из алюминиевого сплава АМг6 после обработки способом холодной асимметричной прокатки с рассогласованием окружных скоростей рабочих валков.

### Материалы и метод исследования

Математическое моделирование процесса асимметричной тонколистовой прокатки алюминиевого сплава АМг6 проводили методом конечных элементов с использованием программного комплекса для инженерного анализа технологических операций обработки

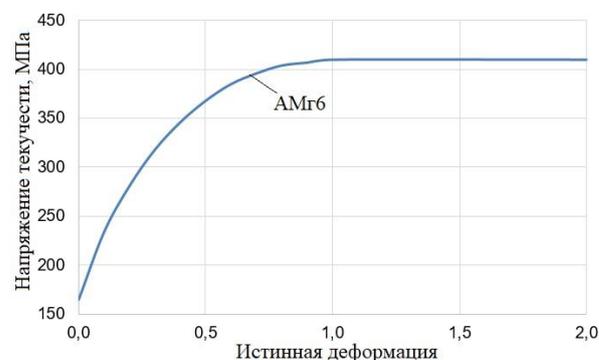
металлов давлением DEFORM 2D. Задача решалась в упругопластической постановке, что позволило рассчитать упругое последствие полосы (листа) после выхода из рабочих валков и получить остаточное напряженное состояние в материале полосы после снятия нагрузок со стороны деформирующего инструмента. При моделировании были приняты следующие допущения: деформируемая среда –

упрочняющаяся упругопластическая; рабочие валки – абсолютно жесткие; контактное трение описывалось законом Кулона (с ограничением) и коэффициент трения принимался постоянным на всей контактной поверхности в течение всего процесса прокатки; условия деформирования – изотермические (комнатная температура). Схема процесса асимметричной прокатки представлена на **рис. 1**.



**Рис. 1.** Схема процесса асимметричной прокатки

Исходные данные для моделирования: начальная толщина полосы 1,0 мм; относительное обжатие за проход  $\varepsilon = 50\%$ ; диаметр рабочих валков 360 мм; окружная скорость нижнего валка 14 об/мин. Для создания кинематической асимметрии процесса окружную скорость верхнего валка снижали на величину до 50% относительно скорости нижнего валка. Кривая текучести алюминиевого сплава АМг6 представлена на **рис. 2**. Модуль Юнга сплава АМг6  $E = 68,9$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,33$ . Прокатку проводили за один проход без натяжений. Для деформируемой полосы задавали сетку конечных элементов, состоящую из 2000...6000 четырехугольных элементов. Оценку остаточных напряжений в материале полосы (листа) после асимметричной прокатки проводили в сравнении с условиями после симметричной прокатки.



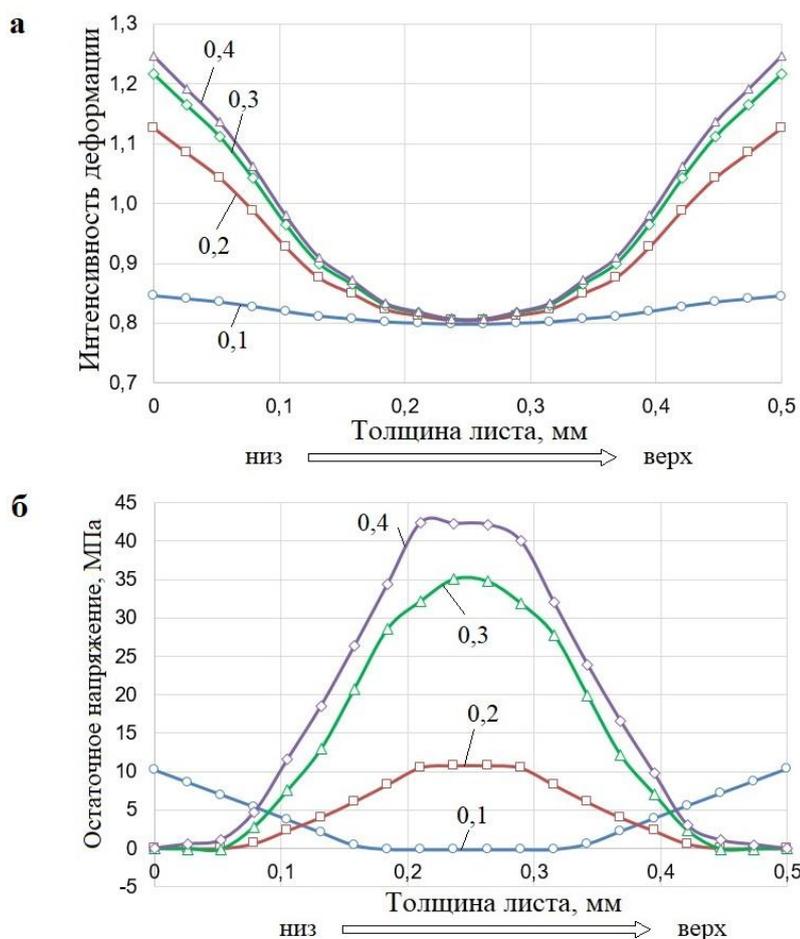
**Рис. 2.** Кривая текучести алюминиевого сплава АМг6

Механические остаточные напряжения в материале полосы (листа), как правило, в наибольшей степени связаны с неравномерностью деформации металла при обработке. Поэтому при моделировании исследовали также взаимосвязь между характером неравномерности деформации и уровнем остаточных напряжений в материале полосы (листа).

## Результаты моделирования и их обсуждение

При прокатке на неравномерность деформации существенное влияние оказывает контактное трение.

Распределение интенсивности деформации и остаточных напряжений по толщине полосы (листа) в зависимости от коэффициента трения при симметричной прокатке показано на **рис. 3**. С увеличением коэффициента трения с 0,1 до 0,4 деформация существенно возрастает на верхней и нижней поверхности листа, однако, в центральном слое она остается практически неизменной (**рис. 3, а**). После разгрузки в материале листа формируются остаточные напряжения (максимальные главные) (**рис. 3, б**). При низком коэффициенте трения 0,1 небольшие растягивающие остаточные напряжения на уровне до 11 МПа формируются у верхней и нижней поверхности листа. А при более высоком коэффициенте трения (0,2...0,4) растягивающие остаточные напряжения на уровне до 44 МПа формируются уже в центральном слое листа (**рис. 3, б**).



**Рис. 3. Распределение интенсивности деформации (а) и остаточных напряжений (б) по толщине листа в зависимости от коэффициента трения при симметричной прокатке ( $\Delta V=0$ ,  $\varepsilon=50\%$ )**

Например, при коэффициенте трения 0,2 распределение интенсивности деформации по толщине листа является достаточно равномерным (рис. 4, а). Но уровень растягивающих остаточных напряжений, в особенности на нижней поверхности листа, достигает 40 МПа и является наиболее высоким. В свою очередь, при коэффициенте трения 0,4 распределение интенсивности деформации по толщине листа является неравномерным (рис. 4, а). Однако уровень растягивающих остаточных напряже-

Характер распределения интенсивности деформации по толщине листа при асимметричной прокатке с рассогласованием скоростей валков  $\Delta V=50\%$  принципиально меняется в сравнении с симметричными условиями прокатки. С увеличением коэффициента трения с 0,1 до 0,4 деформация существенно возрастает как в поверхностных, так и в центральном слое листа. Более высокая деформация наблюдается на верхней поверхности листа, контактирующей с более медленным валком. Однако ярко выраженной неравномерности деформации по толщине листа при этом не наблюдается. После разгрузки в материале листа также формируются остаточные напряжения, но характер их распределения несколько иной. Если при симметричной прокатке с увеличением коэффициента трения растягивающие напряжения формировались в центральном слое, то при асимметричной прокатке растягивающие напряжения формируются в поверхностных слоях листа (рис. 4, б). При этом следует отметить, что остаточные напряжения (по абсолютной величине) слабо согласуются с деформированным состоянием металла.

ний при этом является наиболее низким и не превышает 14 МПа (рис. 4, б).

Отсутствие ярко выраженной взаимосвязи между деформированным состоянием металла и распределением растягивающих остаточных напряжений по толщине листа после асимметричной прокатки говорит, возможно, о более сложных причинах их формирования, связанных с кинематикой процесса.

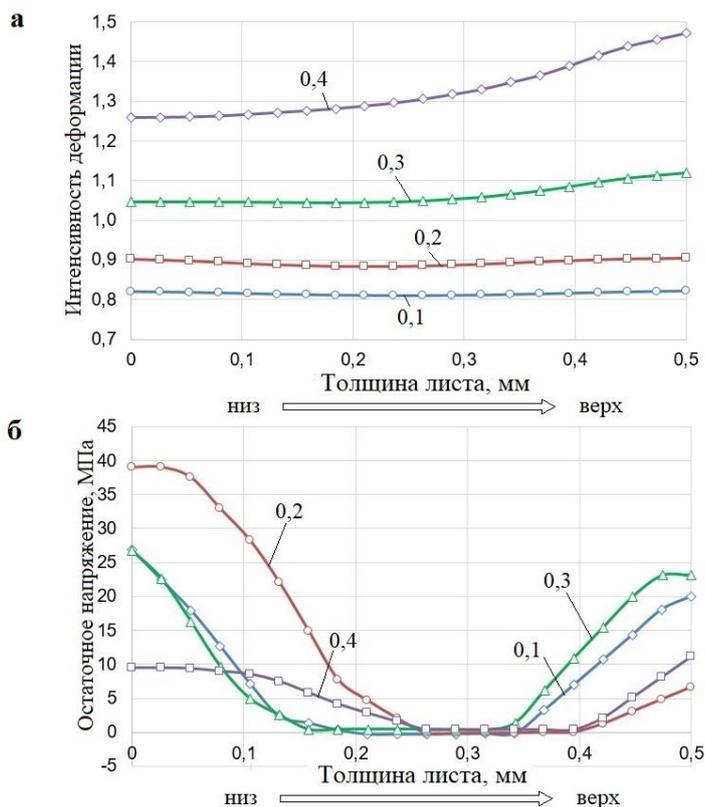


Рис. 4. Распределение интенсивности деформации (а) и остаточных напряжений (б) по толщине листа в зависимости от коэффициента трения при асимметричной прокатке ( $\Delta V=50\%$ ,  $\epsilon=50\%$ )

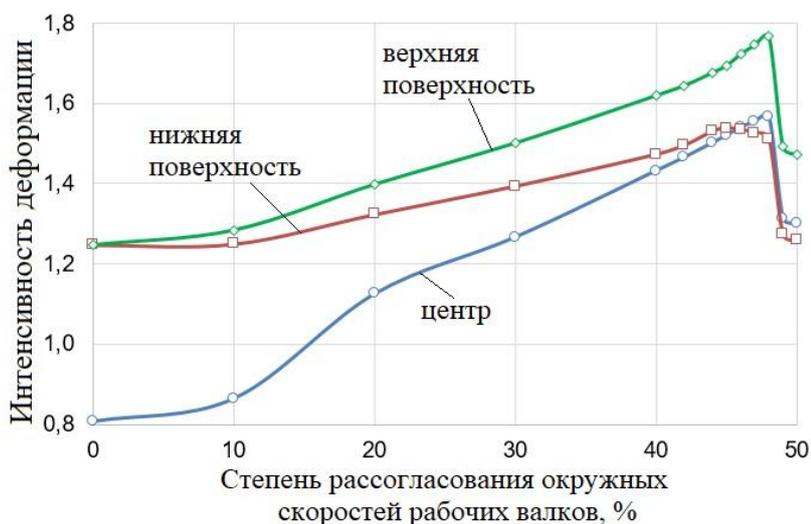


Рис. 5. Влияние степени рассогласования окружных скоростей рабочих валков  $\Delta V$  на величину интенсивности деформации в центре листа, а также на его нижней и верхней поверхности ( $\epsilon=50\%$ ,  $\mu=0,4$ )

Влияние степени рассогласования окружных скоростей рабочих валков  $\Delta V$  на величину интенсивности деформации в материале листа носит нелинейный характер. С увеличением  $\Delta V$  от 0 до 48% интенсивность деформации возрастает как в поверхностных, так и в центральном слое листа (рис. 5). Неравномерность деформации при этом снижается, в особенности, между нижней поверхностью и центральным слоем листа. При дальнейшем увеличении  $\Delta V$  от 48% до 50% интенсивность деформации по всей толщине листа резко падает (рис. 5). Более подробная картина распределения интенсивности деформации по толщине листа в зависимости от рассогласования окружных скоростей рабочих валков  $\Delta V$  при асимметричной прокатке представлена на рис. 6.

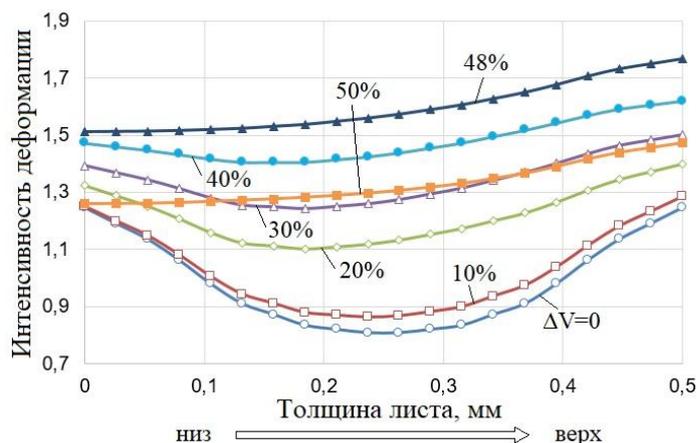


Рис. 6. Распределение интенсивности деформации по толщине листа в зависимости от рассогласования окружных скоростей рабочих валков  $\Delta V$  при асимметричной прокатке ( $\epsilon=50\%$ ,  $\mu=0,4$ )

С увеличением рассогласования окружных скоростей рабочих валков  $\Delta V$  от 0 до 40% максимальные растягивающие остаточные напряжения в материале листа возрастают до 74 МПа (рис. 7). При этом растягивающие напряжения формируются в средних слоях листа.

При дальнейшем увеличении  $\Delta V$  от 40% до 50% максимальные растягивающие остаточные напряжения снижаются, достигая минимума при  $\Delta V=50\%$  (рис. 8). Концентрация остаточных напряжений наблюдается при этом уже в поверхностных слоях листа.

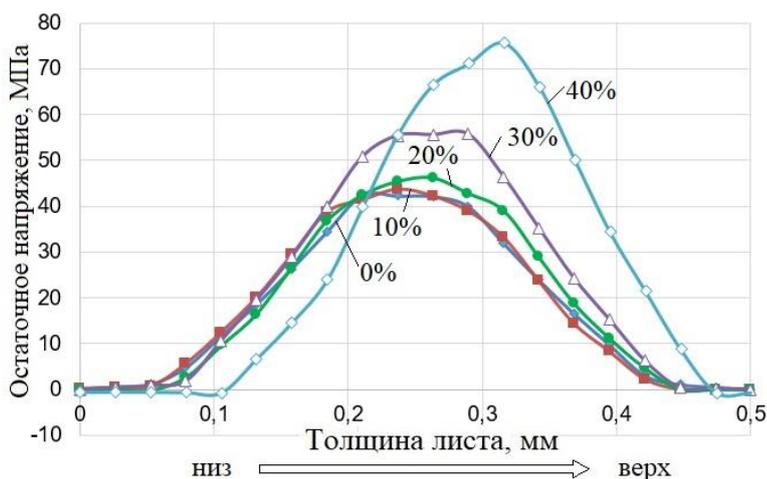


Рис. 7. Распределение остаточных напряжений по толщине листа в зависимости от рассогласования окружных скоростей рабочих валков  $\Delta V$  при асимметричной прокатке ( $\epsilon=50\%$ ,  $\mu=0,4$ )

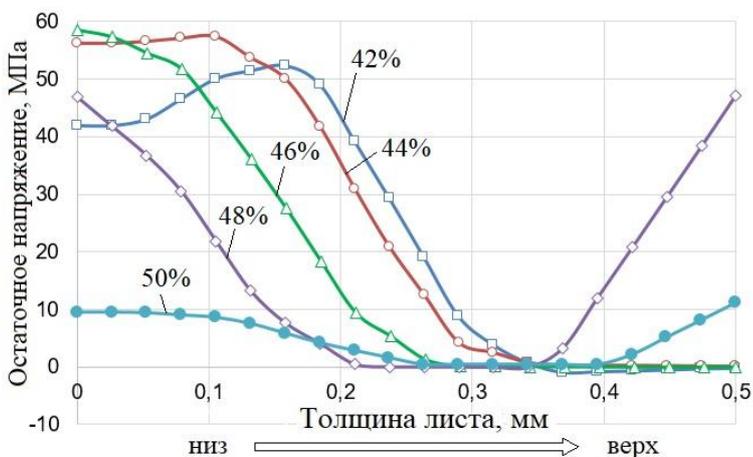


Рис. 8. Распределение остаточных напряжений по толщине листа в зависимости от рассогласования окружных скоростей рабочих валков  $\Delta V$  при асимметричной прокатке ( $\epsilon=50\%$ ,  $\mu=0,4$ )

Таким образом, результаты моделирования и анализ влияния технологических параметров процесса показали, что существенное влияние на закономерности формирования остаточных напряжений по толщине листа из алюминиевого сплава АМг6 после асимметричной прокатки оказывает степень рассогласования окружных скоростей рабочих валков, а также формирующуюся при этом из-за вертикального изгиба геометрическая форма полосы. Например, в исследованной в рамках

данной работы области технологических параметров, уровень остаточных растягивающих напряжений максимален и достигает 75 МПа при  $\Delta V=40\%$  (рис. 9), а минимален – при  $\Delta V=\varepsilon=50\%$ , не превышая 14 МПа (рис. 10). Для более глубокого анализа закономерностей формирования остаточных напряжений при асимметричной прокатке требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований.

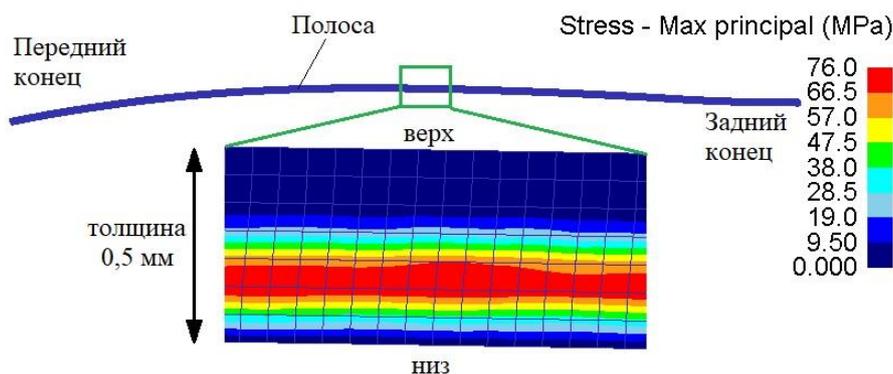


Рис. 9. Форма полосы и поле остаточных напряжений по толщине после асимметричной прокатки ( $\Delta V=40\%$ ,  $\varepsilon=50\%$ ,  $\mu=0,4$ )

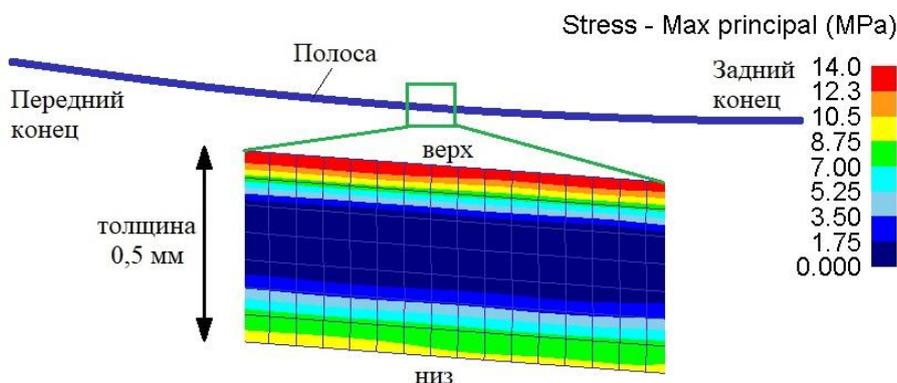


Рис. 10. Форма полосы и поле остаточных напряжений по толщине после асимметричной прокатки ( $\Delta V=50\%$ ,  $\varepsilon=50\%$ ,  $\mu=0,4$ )

### Выводы

1. При обычной (симметричной) прокатке неравномерность деформации вследствие высокого коэффициента контактного трения (0,2...0,4) приводит к формированию растягивающих остаточных напряжений на уровне до 44 МПа в центральных слоях полосы (листа) из алюминиевого сплава АМг6.

2. При асимметричной прокатке отсутствует ярко выраженная взаимосвязь между неравномерностью деформации и распределением растягивающих остаточных напряжений по толщине листа. Наибольшее влияние на фор-

мирование остаточных напряжений оказывает степень рассогласования окружных скоростей рабочих валков, а также формирующуюся при этом из-за вертикального изгиба геометрическая форма полосы.

3. В исследованной в рамках данной работы области технологических параметров, уровень остаточных растягивающих напряжений максимален после асимметричной прокатки с  $\Delta V=40\%$  и достигает 75 МПа, а минимален – при  $\Delta V=\varepsilon=50\%$ , не превышая 14 МПа.

4. Результаты исследования могут быть полезны при разработке оптимальных режи-

мов асимметричной прокатки, обеспечивающих минимизацию опасных растягивающих остаточных напряжений в листах из алюминиевых сплавов типа АМг6.

### Благодарность

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10030)

### Список литературы

1. О некоторых актуальных проблемах разработки алюминиевых сплавов и технологий для авиакосмического применения / Давыдов В.Г. // Известия вузов. Цветная металлургия. 2001. № 4. С. 32-36.

2. Механические свойства микрокристаллического алюминиевого сплава АМг6 / Чувильдеев В.Н., Грязнов М.Ю., Копылов В.И., Сысоев А.Н., Овсянников Б.В., Флягин А.А. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. № 4. С. 35-42.

3. Development of severe plastic deformation by various asymmetric rolling processes / Ji Y.H., Park J.J. // Materials Science and Engineering: A. Vol. 499. 2009. P. 14-17.

4. Microstructure evolution and mechanical properties of severely deformed Al alloy processed by differential speed rolling / Lorentz, Young Gun Ko // Journal of Alloys and Compounds. Vol. 536S. 2012. P. S122-S125.

5. Shear deformation and grain refinement in pure Al by asymmetric rolling / Zuo F., Jiang J., Shan A. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. Vol. 18. 2008. P. 774-777.

6. Развитие теории и технологии процесса асимметричной тонколистовой прокатки как метода интенсивной пластической деформации: монография / Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Свердлик М.К. Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2017. 151 с.

7. Influence of process parameters on distribution of shear strain through sheet thickness in asymmetric rolling / Pesin A., Pustovoytov D. // Key Engineering Materials. Vol. 622-623. 2014. P. 929-935.

8. Special Rolling Techniques for Improvement of Mechanical Properties of Ultrafine-Grained Metal Sheets: A Review / Yu H., Lu C., Tieu K., Li H., Godbole A., Zhang S. // Advanced Engineering Materials. 2015. P. 1-16.

9. Finite element simulation of extremely high shear strain during a single-pass asymmetric warm rolling of Al-6.2Mg-0.7Mn alloy sheets / A. Pesin, D. Pustovoytov // Procedia Engineering. 207 (2017) 1463-1468.

10. Моделирование остаточных напряжений в тонкостенном прокате трапецевидного сечения / Makeев С.А., Колмаков Д.М. // Омский научный вестник – Машиностроение и машиноведение. 2014. №1 (127). с. 69-74.

11. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах / Вишняков Д.В., Пискарев В.Д. М.: Металлургия. 1989. 254 с.

12. Методы предупреждения и уменьшения остаточных напряжений // Сайт по металлургии. – Режим доступа: <http://metal-archive.ru/obrabotka-cvetnyh-metallov/604-metody-preduprezhdeniya-i-umensheniya-ostatochnyh-napryazheniy.html>

УДК 33

Заруцкая А.О., Бережная Г.А.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОАО «ММК-МЕТИЗ» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ ПРЕТЕНЗИОННЫХ РАБОТ

**Аннотация.** В статье определены две причины возникновения претензий к калиброванному прокату, производимому в калибровочно-прессовом цехе ОАО «ММК-МЕТИЗ» и установлено, что процесс волочения не является причиной их возникновения. Следовательно, единственным решением возникающих претензий является повышение степени удовлетворенности потребителей. Работа описывает основные этапы внедрения стандарта ИСО 10002 в деятельность предприятия, а также определяет критерии, позволяющие оценивать результативность системы управления претензиями.

**Ключевые слова:** качество, калиброванный прокат, претензии, система менеджмента качества, результативность

Современное состояние металлургической промышленности характеризуется постоянным повышением потребительских требований к качеству проката, в частности, калиброванного, так как он является заготовкой для холодной штамповки с целью получения крепежных изделий различного назначения [1-4].

Калиброванная сталь представляет собой горячекатаный сортовой прокат, подвергнутый дополнительной обработке с помощью холодного волочения с применением небольших обжатий с целью получения более точных размеров профиля и высокого качества поверхности. В настоящее время калиброванный прокат производится круглого, квадратного и шестигранного сечений (рис. 1).



Рис. 1. Виды калиброванного проката

Наиболее широкое использование калиброванная сталь находит в отраслях промышленности, где особое внимание уделяется высокой степени точности размеров заготовки и высокому качеству поверхности. Среди таких сфер промышленности можно выделить:

- нефтегазодобывающую промышленность;
- машиностроение;
- строительство;
- транспортную промышленность;
- станкостроительная промышленность

(рис. 2).



Рис. 2. Сферы применения калиброванного проката

Проанализировав сведения, полученные в калибровочном отделении калибровочно-прессового цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ» за июнь-декабрь 2017 года, было определено, что калиброванный прокат с диаметром 8,0 мм является продукцией с наибольшим количеством дефектов.

Наиболее распространенными причинами перевода продукции в брак являются:

- трещины;

- несоответствие качества поверхности;
- несоответствие микроструктуры.

Более того, был проведен анализ признанных претензий, предъявляемых к ОАО «ММК-МЕТИЗ» в 2017 году, и установлено, что существует две основные причины возникновения претензий: несоответствие по группе осадки и дефекты металлургического происхождения.

Несоответствие по группе осадки означает, что при проведении испытания на универсальных испытательных машинах или же на прессах и при приложении силы, определяющей величину обжатия, на боковой поверхности образца наблюдались возникшие или раскрывшиеся трещины, надрывы, закаты. В большинстве случаев причинами несоответствия металла по группе осадки являются дефекты сталеплавильного передела.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что процесс волочения калиброванного проката в условиях калибровочно-прессового цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ» не является причиной появления вышеуказанных дефектов. В данном случае ответственность возлагается на поставщиков горячекатаного сортового подката, и так как у цеха нет возможности влиять на сталеплавильное производство, необходимо применять меры, позволяющие усовершенствовать процесс ведения претензионных работ с целью повышения удовлетворения потребителей.

Наилучшим способом, позволяющим улучшить процесс управления претензиями, является внедрение стандарта ИСО 10002-2007 «Менеджмент организации. Удовлетворенность потребителя. Руководство по управлению претензиями в организациях» [5].

Стандарт включает в себя инструкцию по созданию системы обработки претензий, которая позволит отслеживать их появление, устанавливая причину возникновения и определять порядок урегулирования, что, в свою очередь, позволит повысить степень удовлетворенности потребителей. Стандарт ISO 10002 также позволяет выделить те области работы, в которых можно добиться улучшений посредством анализа удовлетворенности потребителей и в конечном итоге устранить причину появившихся претензий.

Внедрение стандарта ИСО 10002 в деятельность ОАО «ММК-МЕТИЗ» можно условно разделить на шесть этапов.

### Первый этап.

Создание рабочей группы. Данный этап включает в себя определение состава рабочей группы, которая будет заниматься внедрением стандарта, а также полномочий ее участников. В группу могут входить сотрудники, ответственные за систему качества предприятия, специалисты по управлению персоналом, экономисты, работники цехов отгрузки готовой продукции, работники центральной заводской лаборатории, а также руководители структурных подразделений.

### Второй этап.

Разработка и утверждение программы внедрения стандарта. В документе указываются все необходимые мероприятия, сроки их выполнения, ответственные лица и критерии выполнения процедур внедрения стандарта.

### Третий этап.

Реализация установленных в программе мероприятий. На данном этапе исполнители проводят анализ стандарта ИСО 10002 и действующего нормативного документа предприятия по управлению претензиями с целью выявления несоответствий, недостатков и противоречий.

### Четвертый этап.

Подведение итогов деятельности рабочей группы. На данном этапе рабочая группа составляет отчет о результатах проведенных мероприятий и представляет его руководителю организации на подпись и утверждение.

### Пятый этап.

Разработка плана мероприятий по результатам внедрения стандарта. Подводя итоги внедрения стандарта, рабочая группа составляет план дальнейших действий. Он может включать в себя мероприятия и условия по обучению сотрудников, не обладающих навыками успешного и результативного ведения претензионных работ или же внесение изменений в нормативные документы предприятия. Далее документ утверждается руководителем организации.

### Шестой этап.

Оценка результативности процесса управления претензиями. После определенного времени необходимо провести оценку результативности разработанной системы управления претензиями высшим руководством.

После процедуры внедрения стандарта ИСО 10002 в производственный процесс ОАО «ММК-МЕТИЗ» система менеджмента качества сможет обладать рядом преимуществ:

- обеспечение эффективности процедур по выявлению тенденций и причин возникновения претензий;

- возможность разрешения большего количества жалоб за счет применения клиентоориентированного подхода как составляющую процессного подхода;

- привлечение сотрудников новыми возможностями повышения квалификации в области клиентского обслуживания;

- интегрируемость ИСО 10002 со стандартом ИСО 9001 в целях повышения общей эффективности системы менеджмента качества;

- мониторинг и непрерывное совершенствование процедур рассмотрения претензий.

Процесс управления претензиями может использоваться как часть общей системы управления качеством на предприятии и использоваться совместно с ИСО 9001 и другими стандартами.

Более того, в действующем стандарте ОАО «ММК-МЕТИЗ», определяющем порядок ведения претензионных работ, не указаны заранее определенные критерии, по которым возможно оценить результативность процесса управления претензиями.

Кроме внедрения стандарта ИСО 10002 необходимо определить следующие критерии, по которым возможно проведения анализа результативности системы по работе с претензиями [5]:

- наличие у персонала, который взаимодействует с потребителями, полномочий для разрешения претензий на месте;

- назначение персонала, который специализируется на работе с претензиями;

- доля обученного управлению претензиями персонала, взаимодействующего с потребителями;

- результативность и эффективность обучения работы с претензиями;

- частота проведения аудита процесса управления претензиями;

- время внедрения рекомендаций аудита процесса управления претензиями;

- время, затраченное для ответа предъявляющему претензию;

- степень удовлетворенности предъявляющего претензию;

- эффективность и результативность мероприятий по необходимым корректирующим и предупреждающим действиям.

### Выводы

1. В работе в результате анализа признанных претензий, предъявленных к ОАО «ММК-МЕТИЗ», установлены две причины их возникновения: несоответствие по группе осадки и наличие дефектов металлургического происхождения. Можно сделать вывод о том, что процесс волочения калиброванного проката не является причиной появления вышеуказанных дефектов; главной причиной получения претензий с такими дефектами является несоответствующее качество исходной заготовки – горячекатаного сортового проката.

2. Оптимальным решением, помогающим повысить степень удовлетворенности потребителей, является внедрение стандарта ИСО 10002-2007 «Менеджмент организации. Удовлетворенность потребителя. Руководство по управлению претензиями в организациях». Процесс управления претензиями может использоваться как часть общей системы управления качеством на предприятии и использоваться совместно с ИСО 9001 и другими стандартами тем самым повысить результативность системы качества на предприятии.

### Список литературы

1. Бережная Г.А., Заруцкая А.О. Анализ качества калиброванного проката // Качество в обработке материалов. 2017. №2(8). С. 35-38.

2. Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Андреев В.В., Вершигора С.М., Рудаков В.П. Технологические аспекты производства калиброванного металла со специальной отделкой поверхности // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2005. №1(9). 46-49

3. Рудаков В.П., Пестряков А.П., Кузнецова А.И. Влияние дефектов исходного металлопроката на качество крепежных изделий // Метизы». 2003. №1(02). С.38-43.

4. Уманский А.А. Исследование процессов формирования качества металлопродукции ответственного назначения на переделе сталь-прокат // Фундаментальные исследования. 2014. № 8-2. С. 335-339.

5. ГОСТ Р ИСО 10002-2007. Менеджмент организации. Удовлетворенность потребителя. Руководство по управлению претензиями в организациях. М.: Стандартинформ. 2007. 24 с.

УДК 621.182.12:628.162

Понурко И. В., Крылова С. А., Горелова А. А., Давлеткулова Р. А., Ахметова А. К.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФАТНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ КОРРЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ТЭЦ

**Аннотация.** Качество водно-химического режима теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) обеспечивается за счет коррекционной обработки «подпиточной» воды методом двойной катионной очистки. При эксплуатации водоотопительных систем наблюдаются потери воды, которые компенсируют «подпиточной» водой с ТЭЦ, показатели которой не всегда соответствуют требованиям СанПиН. В аварийных случаях водоотопительные системы могут быть заполнены обычной пожарно-питьевой водой, что может привести к уменьшению срока их службы за счет увеличения количества солеотложений (накипи) и коррозионной активности воды. В работе показана возможность улучшения качества «подпиточной» воды путем введения в нее раствора защитных фосфатных композиций запатентованных составов.

**Ключевые слова:** подпиточная вода, коррекционная обработка воды, водоотопительные системы, количество солеотложений (накипи), коррозионная активность воды, защитная фосфатная композиция

Водно-химический режим ТЭЦ должен обеспечивать работу основного и вспомогательного теплоэнергетического оборудования электростанций и тепловых сетей без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей водоподготовительного, теплоэнергетического и сетевого оборудования и образованием накипи и отложений на теплопередающих поверхностях, отложений в проточной части турбин, шлама в оборудовании и трубопроводах.

Природная вода содержит примеси в виде мелкодисперсных частиц различных минералов и органических кислот. Наличие указанных примесей не позволяет применять исходную воду в энергетических целях без предварительной обработки. Одним из основных показателей, определяющим пути использования воды в теплоэнергетике является жесткость.

Коррекционная обработка воды предназначена для снижения скорости коррозии и уменьшения солеотложений (накипи) в системах конденсатно-питательного тракта, сетевых подогревателей, трубопроводов пара и возвратного конденсата, теплообменного оборудования.

Коррозия и солеотложения (накипь) в оборотных системах водоснабжения часто приводят к аварийным остановам теплоэнергетического оборудования или снижению его мощности, значительному перерасходу топливных и водных ресурсов, нередко лимитируют подачу теплоносителя потребителям.

Обзор способов защиты элементов водоснабжения от агрессивного воздействия воды с помощью ингибиторов показал, что наибольшее распространение получили органические ингибиторы коррозии, содержащие серо-, азот- и кислород- функциональные группы. Однако, в большинстве случаев, эти ингибиторы труднодоступны, дороги, токсичны, требуют предварительной обработки системы и способствуют развитию биообрастаний [1].

Более эффективны ингибиторы на основе органофосфоновых кислот с переходными металлами, которые обладают достаточным защитным эффектом от солеотложений [2], но менее эффективны в защите от коррозии и имеют слабое биоцидное действие.

Применение фосфонатоцинкатных ингибиторов солеотложений и коррозии в настоящее время далеко еще не достигло той степени распространения, которой следовало бы ожидать, принимая во внимание несомненные достоинства этой технологии. Причины этого - медленное распространение положительного опыта внедрения ингибиторов солеотложений и коррозии, а также отсутствие объективной информации об их эффективности. Все это вызывает у практиков скептическое отношение к методу обработки воды, который по своей сути и при правильном осуществлении является наиболее выгодным и эффективным способом водоподготовки для большинства котельных [3].

Из всех рекомендуемых в литературе ингибиторов авторами настоящей работы выбрана обработка воды фосфатами, так как замечено, что если в природной воде содержится небольшое количество фосфатов, то вода становится менее агрессивной по отношению системам водоснабжения.

С целью улучшения качества воды и защиты элементов систем водоснабжения и водоотведения от коррозии и солеотложений (накипи) на кафедре ФХ и ХТ МГТУ были разработаны и запатентованы составы фосфатной композиции (ФК), рекомендуемые, главным образом, для улучшения качества пожарно-питьевой воды [4-19]. Они экологически безопасны и соответствуют нормам СанПиН, предъявляемым к пожарно-питьевой воде.

На ТЭЦ ПАО «ММК» находится в эксплуатации химическая водоочистка производительностью 500 т/ч, работающая по схеме: механическая фильтрация в двухкамерных фильтрах и двухступенчатое натрий-катионирование [20].

Исходная вода подается на химическую очистку из пруда-охладителя насосными станциями №№ 9 или 16.

Показатели качества исходной воды приведены в табл. 1.

**Таблица 1**  
**Показатели качества исходной воды**  
**(среднегодовые значения)**

Показатель	Вода с 9-ой насосной	Вода с 16-ой насосной
Щёлочность общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,40	2,60
Жёсткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,85	3,85
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	16,00	37,00
Железо, мг/ дм <sup>3</sup>	0,24	0,40
Водородный показатель, единицы	7,88	8,11
Солесодержание, мг/ дм <sup>3</sup>	215,00	352,00

**Примечание** - в паводковый период и в период обильных осадков показатели качества исходной воды резко ухудшаются по прозрачности, окисляемости, содержанию железа.

В условиях ТЭЦ, исходная вода, пройдя стадию осветления в механических фильтрах, поступает на I-ю ступень, а затем на II-ю ступень катионирования. После натрий-катионитных фильтров II-й ступени умягчённая вода поступает в приёмные баки химиче-

ски очищенной воды, из которых насосами подаётся потребителям.

Показатели химического контроля воды, используемой на ТЭЦ, а также периодичность отбора и анализа проб представлены в табл. 2 [21].

На практике периодически наблюдаются потери химически очищенной воды за счет «утечек», испарений в аварийных ситуациях. Эти потери часто восполняют вводом в систему обычной пожарно-питьевой воды, качество которой не соответствует требованиям химически очищенной воды, что может привести к уменьшению срока службы водоотопительных систем. Такую воду часто называют «подпиточной».

В данной работе была исследована возможность улучшения качества «подпиточной» воды с различных насосных станций путем введения в нее раствора ФК.

**Таблица 2**  
**Периодичность химического контроля**  
**воды, используемой на ТЭЦ**

Контролируемый показатель	Периодичность химического контроля
Жесткость общая	6 раз в сутки
Кремниевая кислота	6 раз в сутки
Кислород после деаэраторов	3 раза в сутки
Аммиак: по щёлочности на ДВД №4,5,6 - колориметрически	6 раз в сутки 2 раза в месяц
Соединения железа	2 раза в месяц
Соединения меди	2 раза в месяц
Нитраты и нитриты	1 раз в месяц
Нефтепродукты	1 раз в месяц
Щелочность ф-ф/общ, на ДВД №4,5,6	6 раз в сутки
Солесодержание	2 раза в месяц
Значение pH (при T=25 °C)	3 раза в сутки

Для настоящего исследования были выбраны составы ФК-1 с соотношением оксидов в компонентах CaO:Na<sub>2</sub>O:ZnO равным 1:1,8:0,05 по патенту [4] и ФК-2 с соотношением оксидов в компонентах CaO:Na<sub>2</sub>O:CuO равным 1:1:0,02 по патенту [5]. ФК-1 и ФК-2 использовались для обработки образцов воды, поступающей в ТЭЦ ПАО «ММК» с 9-й и 16-й насосной, как исходной, так и после I-й и II-й ступеней катионирования. Для исследуемых образцов воды были определены коррозионная активность и количество солеотложений.

Для исследования коррозионной активности воды стальные пластины, подготовленные по методике, изложенной в [4-5], взвешив-

вали на аналитических весах. Стальные пластины погружали в раствор ФК с концентрацией 10 мг/дм<sup>3</sup>, и выдерживали в течение семи суток. Коррозионную активность воды определяли по массе прокорродировавшего железа ( $m_{Fe}$ , мг/см<sup>2</sup>) комплексометрическим методом.

Для исследования количества солеотложений (накипи) использовались растворы ФК, приготовленные десятикратным разбавлением исходного раствора [6]. Полученные растворы нагревали до температуры 60–70°C и упаривали до уменьшения первоначального объема в два раза, затем охлаждали и выдерживали в течение суток (для формирования кристаллов солеотложений). После фильтрования фильтры с солеотложениями (накипью) высушивали в сушильном шкафу при температуре не более 100°C в течение 15-20 мин, охлаждали и взвешивали на аналитических весах. Количество солеотложений ( $m_{сол}$ , мг) определяли по разности масс фильтра с солеотложениями и исходного фильтра.

Полученные результаты представлены в табл. 3.

По полученным результатам можно сделать выводы:

- обработка исходной воды ФК не влияет на значение рН, в то время, как при химической очистке воды значение рН снижается;

- обработка исходной воды ФК, поступающей с насосной № 9, снижает количество солеотложений в 1,6-5 раз, а коррозионную активность воды - в 1,1-1,5 раза по сравнению с необработанной водой;

- обработка исходной воды ФК, поступающей с насосной № 16, снижает количество солеотложений в 3-5 раз, а коррозионную активность воды - в 1,1-1,4 раза;

- обработка исходной воды ФК – 1 более эффективна от коррозии; ФК – 2 - более эффективна от солеотложений (накипи);

- при обработке химически очищенной воды (I-я ступень катионирования) дополнительно ФК – 2 солеотложения (накипь) не выделяются, в отличие от аналогичной обработки с добавлением ФК – 1 и без добавления ФК; коррозионная активность практически не меняется;

- при обработке химически очищенной воды (II-я ступень катионирования) дополнительно ФК – 1 и 2 количество солеотложений (накипи) и коррозионная активность практически не меняются.

Таким образом, в экстремальных случаях в качестве «подпиточной» воды, подаваемой в теплосети, целесообразно использование исходной воды, обработанной ФК.

Таблица 3

Влияние обработки на качество воды

Номер образца	Вид обработки	рН	Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Масса солеотложений, $m_{сол}$ , мг	Коррозионная активность воды, $m_{Fe}$ , мг/см <sup>2</sup>
<b>Вода, поступающая с насосной № 9</b>					
1	Без обработки	8,2	3,30	19,0	1,5
2	ФК – 1	8,2	3,30	12,4	1,0
3	ФК – 2	8,2	3,30	7,1	1,1
4	I-я ступень катионирования	7,9	0,10	4,0	1,4
5	I-я ступень катионирования + ФК – 1	7,9	0,10	4,0	1,3
6	I-я ступень Катионирования + ФК – 2	7,9	0,10	0,0	1,4
7	II-я ступень катионирования	6,9	0,01	0,0	1,2
8	II-я ступень катионирования + ФК – 1	6,9	0,01	0,0	1,1
9	II-я ступень катионирования + ФК – 2	6,9	0,01	0,0	1,2
<b>Вода, поступающая с насосной № 16</b>					
1	Без обработки	8,5	4,50	21,0	1,4
2	ФК – 1	8,5	4,50	7,3	1,0
3	ФК – 2	8,5	4,50	4,1	1,1

В химической лаборатории водно-химического участка (ВХУ) ТЭЦ ПАО «ММК» в образцах воды без обработки ФК и обработанных ФК-1 также было проведено

фотоколориметрическое определение ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  по стандартным методикам. Результаты исследования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Обработка исходной воды с 9-й насосной ФК - 1 в условиях ВХУ ТЭЦ ПАО «ММК»

Номер образца	Вид обработки	Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	$\text{NH}_4^+$ , мкг/дм <sup>3</sup>	$\text{Cu}^{2+}$ , мкг/дм <sup>3</sup>	$\text{Fe}^{2+}$ , мкг/дм <sup>3</sup>
1	Без обработки	3,30	2,4	9,1	0,486	23,0	462
2	ФК – 1	3,25	2,4	8,0	0,365	8,4	310

Результаты определения содержания ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , а особенно,  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  показали более низкие значения в воде, обработанной ФК. По-видимому, это связано с проявлением маскирующего эффекта фосфорсодержащих лигандов, представляющих собой фрагменты цепочек ФК в воде, которые образуют более или менее устойчивые комплексы с определяемыми ионами.

Защитный эффект от коррозии можно объяснить ингибирующим действием ФК, в состав которой входят двухвалентные металлы Ca, Zn, Cu. Как отмечено в работе [22], фосфорсодержащие комплексы катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  часто являются более эффективными ингибиторами коррозии, чем сами фосфорсодержащие лиганды, что связано с включением фосфорсодержащего комплекса в образующийся на поверхности оксидный слой, ведущий к формированию более гомогенного и компактного защитного покрытия на металлической поверхности. При использовании ФК для обработки воды, присутствующие в полифосфатной цепочке двухвалентные металлы способствуют «сшиванию» комплексов за счет нереализованной дентатности молекул ФК и, следовательно, увеличению степени сплошности защитной пленки, покрывающей металлическую поверхность. Далее, на защищаемой поверхности происходит термодинамически более выгодное замещение двухвалентного металла фосфатной цепочки (например, кальция) прокорродировавшим железом по реакциям



и осаждение гидроксидов, которые также способствуют формированию защитного слоя.

В ряде работ [23-25] авторы отмечают положительную роль фосфонатов цинка в ингибировании коррозии.

По результатам табл. 3 цинксодержащая композиция (ФК-1) показала несколько лучший противокоррозионный эффект по сравнению с медьсодержащей композицией (ФК-2). Вероятно, по причине того, что устойчивость соединений ФК с медью больше, чем с Fe (II), протекание реакции (1) будет затруднено, а для реакции (2) необходимо предварительное окисление Fe (II) до Fe (III).

Образование более устойчивых комплексов ФК с медью, чем с Fe (II) подтверждается также данными табл. 4: более сильный маскирующий эффект при определении меди и железа (II) в воде, обработанной ФК, наблюдается в отношении ионов  $\text{Cu}^{2+}$  (в 2,7 раза), по сравнению с Fe (II) (в 1,5 раза).

Очевидно, катионы цинка (ФК – 1) увеличивают скорость образования защитной пленки и тормозят коррозию малоуглеродистой стали в период ее формирования. Катионы меди (ФК – 2), входящие в состав защитной пленки, образуемой на поверхности защищаемого металла из длинных фосфатных цепочек, делают ее менее подвижной и, в целом, способствуют усилению механической прочности этой пленки.

Защитный эффект ФК проявляется в предотвращении солеотложений (накипи) на поверхности водоотопительных систем за счет того, что наличие растворенных в воде разнообразных фосфатов способствует их адсорбции не только на поверхности таких систем, но и на поверхности микрокристаллов солей жесткости, содержащихся в обрабатываемой воде. В результате поверхность микрокристаллов обволакивается антикоагуляционной пленкой, которая препятствует их слипанию в более крупные кристаллы. При этом легкие микрокристаллы нерастворимых солей жесткости

находятся в воде во взвешенном состоянии и, не ухудшая качества воды, легко транспортируются напором воды по трубопроводу и запорной арматуре, не осажаясь на их поверхности.

Таким образом, проведенные исследования показали, что коррекционная обработка растворами ФК «подпиточной» воды, подаваемой в теплосети, снижает ее коррозионную активность в 1,1-1,5 раза, количество солеотложений - в 2-5 раз. Это доказывает целесообразность такой обработки для увеличения срока службы элементов водоподготовительного оборудования и водоотопительных систем.

### Список литературы

1. Робинсон, Д. С. Ингибиторы коррозии / Д. С. Робинсон - М.: Металлургия, 1993. - 272 с.
2. Потапов, С. А. О применении цинкового комплекса ОЭДФ в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения / С. А. Потапов, Б. Н. Дрикер, Н. В. Цирульникова // Энергосбережение и водоподготовка, 2004. № 3. - С. 57-60.
3. Чаусов, Ф. Ф. Ингибирование роста кристаллов солей щелочноземельных металлов в водных растворах. Теория и технические приложения: Автореф. дисс. канд. хим. наук / Ф.Ф. Чаусов. Нижний Новгород: ННТУ, 2005. - 28 с.
4. Пат. 2535891 РФ, МПК C23F 11/18. Композиция для защиты систем водоснабжения и водоотведения / З.И. Костина, С.А. Крылова, В.Ф. Костин, И.В. Понурко. Заявл. 16.10.2013; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35.
5. Пат. №2634109 РФ, МПК C23F 11/18. Защитная композиция / И. В. Понурко, С. А. Крылова, З. И. Костина. Заявл. 20.12.2016; опубл. 23.10.2017. Бюл. № 30.
6. Понурко, И. В. Синтез стекловидных фосфатных композиций: учебное пособие / И. В. Понурко, С. А. Крылова. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. - 45 с.
7. Разработка составов и схем применения фосфатных композиций для различных объектов / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А. Крылова, И.В. Понурко // Материалы 65-й научно-технической конференции: Сб. докл. -Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007.- Т.1.- С.116-119.
8. Пат. №2303084 РФ, МПК C23F11/18, C23F14/02, C02F5/06. Композиция для защиты от коррозии и солеотложений систем водоснабжения и водоотведения / Б.А. Никифоров, З.И. Костина, Г.С. Слобожанкин, С.А. Крылова, В.Ф. Костин, И.В. Понурко. Заявл. 03.07. 2006; опубл. 20.07.2007. Бюл. № 20.
9. Исследование возможности применения ингибитора «Ф» для защиты от коррозии и солеотложений оборудования нефтепродуктообеспечения / И.В. Понурко, З.И. Костина, С.А. Крылова, И.Б. Лебедев, А.С. Макунин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2011. № 1. - С. 112-114
10. Костина, З.И. Защита металлических поверхностей водоохлаждающих систем от коррозии и солеотложений / З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В. Понурко // Теория и технология металлургического производства. - №1 (14) 2014.- С. 90-92
11. Костина, З.И. Антинакипные свойства композиции «Астра» /З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В. Понурко //Теория и технология металлургического производства.- №2 (15) 2014.- С. 112-115
12. Костина, З.И. Защита водонагревательных элементов бытовых приборов от коррозии и солеотложений / З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В. Понурко // Энергосбережение и водоподготовка. - № 4 (90). – 2014.- С. 28-32
13. Улучшение качества фосфатной композиции для обработки пожарно-питьевой воды / И.В. Понурко, З.И. Костина, С.А. Крылова, Е.И. Шабалин // Качество в обработке материалов. 2015. № 2 (4). - С. 59-63
14. Костина, З.И. Получение и свойства стекловидной метафосфатной композиции для защиты элементов водонагревательных систем от коррозии / З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В. Понурко // Стекло и керамика. – № 2. - 2016. – С. 39-42
15. Kostina, Z.I. Production and Properties of Glassy Metaphosphate Composition for Protecting the Elements of Water-Heating Systems from Corrosion / Z.I. Kostina, S.A. Krylova, I.V. Ponurko // Glass and Ceramics, Issue 1, May 2016, Volume 73, pp 71-74
16. К вопросу о химической обработке воды фосфатной композицией / И.В. Понурко, С.А. Крылова, З.И. Костина, В.И. Звездин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -№ 8-3. 2016.- С. 475
17. Влияние модифицированной фосфатной композиции на качество воды / И.В. Понурко, З.И. Костина, С.А. Крылова, А.И. Хилалов, А.М. Рахмангулова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 74-й международной научно-технической конференции,- Том 1. - С. 261-264
18. Исследование бактерицидных свойств цинкосодержащей фосфатной композиции / И.В. Понурко, С.А. Крылова, В.И. Звездин, А.И. Хилалов // Качество в обработке материалов. 2016. № 2 (6). - С. 55-57
19. О возможности использования фосфатной композиции с целью увеличения срока службы водоотопительных систем / Понурко И.В., Пимонов А.А., Горелова А.А., Давлеткулова Р.А., Ахметова А.К. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й международной научно-технической конференции. 2018. - С. 24-25
20. ЭИ ММК ТЭЦ-29-2017 Инструкция по водоподготовке. – 45 с.

21. ЭИ-ММК-ТЭЦ-26-2016 Инструкция по ведению водно-химического режима на ТЭЦ (редакция № 3) . – 50 с.

22. Применение фосфорсодержащих комплексонов и комплексонатов в качестве ингибиторов коррозии металлов / С. Н. Степин, О. П. Кузнецова, А. В. Вахин, Б. И. Хабибрахманов // Вестник Казанского технологического университета, 2012 – Т.15. - № 13. – С. 88 – 96

23. E.A. Kalman, In working party report on corrosion inhibitors. The Institute of materials, Kalman, London, 1994. P. 12. 49 N. Kurmaiah, G. Saha, Trans. SAEST. 19, 2, 173-176 (1984).

24. Yu.I Kuznetsov, In progress in the understanding and prevention of corrosion. Vol. 2. Cambridge University Press, Cambridge, 1993. P. 845-851.

25. Y.Gonzalez, M.C.Lafont, N.Pebere, J. Appl. Electrochem, 26, 12, 1253-1258 (1996).

УДК 669.046.511

Рубин Г.Ш., Москалева Е.А.

### АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ МАРКИ 006/IF С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И АЗОТА

**Аннотация.** Изучение данной работы позволяет проанализировать технологию выплавки (конвертер, установка вакуумирования стали, установка печь-ковш, МНЛЗ) стали класса IF для условий ККЦ ПАО «ММК» и выявить причины повышенного содержания в ней углерода и азота. Отобраны пробы металла по всей технологической цепочке и проведены исследования проб на содержание углерода, азота, серы, кислорода, неметаллических включений. Описан контроль параметров с целью соблюдения качества выпускаемой сверхнизкой углеродистой стали.

**Ключевые слова:** IF сталь, анализ технологии, внепечная обработка, непрерывная разливка, вакуумирование, печь-ковш

В настоящее время большое количество металлических деталей при производстве бытовой техники и кузовов легковых автомобилей получают из тонкого холоднокатанного стального листа методами штамповки и глубокой вытяжки. Основные требования к листовым сталям для глубокой вытяжки - повышенная деформируемость, высокая прочность и хорошее качество поверхности изделий. Данным требованиям удовлетворяют стали, достижение свойств в которых определяется как требованиями по химическому составу - сверхнизким содержанием углерода, азота, низкими содержаниями примесей цветных металлов (Cr < 0,03%, Cu < 0,03%), кремния (Si < 0,2%), серы (S < 0,01%), так и требованиями к механическим свойствам и качеству поверхности листа. Лучшие зарубежные производители стабильно получают в IF сталях сверхнизкие концентрации углерода менее 0,002% и азота менее 0,002%, что обеспечивает повышенные пластические свойства и хорошую штампуемость. Одним из важных критериев качества стали является также чистота по неметаллическим включениям. В настоящее время техно-

логии, которые используются на ряде российских металлургических предприятий, не позволяют стабильно получать сверхнизкие содержания углерода и азота в конечном продукте.

Стандартной технологией выплавки сталей в кислородно-конвертерном цехе ПАО «ММК» является выплавка полупродукта в кислородном конвертере. При выпуске металла из конвертера для раскисления, легирования и наведения шлака в ковш отдают алюминий, металлический марганец или ферромарганец, а также известь. Далее металл рафинируют на вакууматоре и проводят микролегирование металла ниобием и титаном на агрегате печь-ковш.

Внепечная обработка особонизкоуглеродистой стали состоит в глубоком обезуглероживании на циркуляционной вакуумной установке, раскислении алюминием на усреднительной установке и микролегировании титаном и ниобием на установке «печь-ковш».

Одна из наиболее сложных задач, решаемых при внепечной обработке, - это обеспечение минимального содержания углерода в

готовом металле. Для повышения эффективности обезуглероживания циркуляционная установка вакуумирования стали оборудована стационарной газокислородной фурмой, установленной в куполе вакуумной камеры. При этом после вакуумной обработки наблюдается прирост содержания углерода при дальнейшей внепечной обработке. Основные источники прихода углерода в металл это футеровка сталеразливочного ковша и графитовые электроды установки «печь-ковш». Для снижения продолжительности электронагрева на установке «печь-ковш» температура металла перед выпуском из конвертера повышена до 1720 градусов.

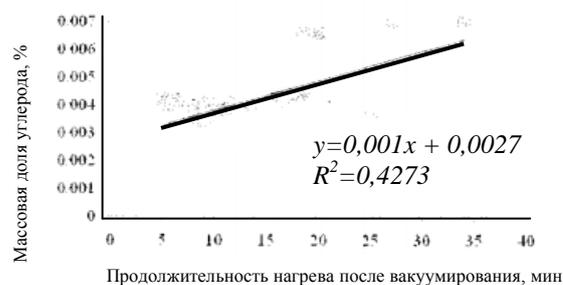
Изменения содержания углерода по ходу технологических операций производства стали 006/IF представлено в табл. 1.

**Таблица 1**  
**Изменения содержания углерода при производстве стали 006/IF**

Технологическая операция	Содержание углерода, %		
	Среднее	Минимальное	Максимальное
Повалка конвертера	0,030	0,025	0,035
Выпуск плавки	0,031	0,026	0,035
Начало вакуумирования	0,0031	0,0017	0,0044
Окончание доводки	0,0057	0,0031	0,0082
Разливка МНЛЗ	0,0058	0,0033	0,0082

В ходе проведенных исследований видно, что после вакуумной обработки средняя массовая доля углерода составила 0,0031%. Из табл. 1 видно, что обеспечение низкого углерода после вакуумной обработки металла не гарантирует получения низкого углерода в готовой стали. На большинстве плавков происходит прирост углерода после окончания вакуумирования. Прирост составил в среднем 0,0026%.

На углерод в IF-стали в значительной степени влияет продолжительность электродугового нагрева после вакуумирования (рис. 1).



**Рис. 1. Влияние продолжительности нагрева после вакуумной обработки на углерод в IF-стали**

Для получения IF-стали с минимально-возможным содержанием углерода необходимо получать минимальное содержание углерода в процессе вакуумной обработки и минимизировать его поступление в металл после вакуумирования за счет исключения или хотя бы снижения продолжительности электродугового нагрева.

Увеличению содержания углерода в металле способствует поступление его из ферросплавов, футеровки ковша и шлакообразующих смесей, подаваемых в промежуточный ковш и кристаллизатор.

На эффективность обезуглероживания металла на установках внепечной обработки стали влияет также интенсивность образования настывей на стенках вакуумной камеры. На рис. 2 приведены данные об изменении среднего за время разлива плавки содержания углерода в металле в промежуточном ковше до и после реконструкции установки, в ходе которой она была оборудована фурмой для продувки металла кислородом (технология RH-KTB). Наличие кислородной фурмы позволило организовать дожигание выделяющегося из металла CO до CO<sub>2</sub> в рабочем пространстве вакуумной камеры. В результате этого повысилась температура футеровки камеры и уменьшилось количество образующихся на ней настывей.



**Рис. 2. Зависимость среднего за время разливки плавки содержания углерода в промежуточном ковше от номера плавки в серии при обезуглероживании IF-стали на установке вакуумирования:**

- 1 – до реконструкции;**
- 2 – после реконструкции**

Также для получения металла с ультранизким содержанием углерода разработан также процесс VAD-PB (Powder Blowing – продувка порошком). Особенность этого процесса заключается в том, что в металл вдувают не газообразный кислород, а являющиеся источником кислорода дисперсные частицы железной руды ( $Fe_2O_3$ ), на поверхности которых происходит зарождение образующихся при окислении углерода пузырьков CO. На этих частицах и в непосредственной близости от них возникает высокий окислительный потенциал, что, благодаря чрезвычайно большой поверхности частиц, вызывает интенсивное и глубокое обезуглероживание.

Зависимость остаточного содержания углерода в металле от расхода аргона. В процессе VAD-PB ковш помещают в вакуумную камеру, давление в которой во время обработки поддерживают на уровне 13–50 Па. В днище ковша установлены пористые пробки для продувки металла аргоном. Порошок железной руды с расходом 0,4–0,7 кг/(т·мин) вдувают через фурму, торец которой расположен на высоте 600 мм над поверхностью металла, в потоке аргона.

Сообщается, что при ультранизком содержании углерода продувка металла в вакууме порошком железной руды обеспечивает более быстрое и более глубокое обезуглероживание, чем продувка газообразным кислородом. В процессе VAD-PB содержание углерода в конце продувки понижается до  $6 \cdot 10^{-4}\%$ ,

тогда как в процессе VOD его не удается получить менее  $10^{-3}\%$ .

Немаловажной задачей в получении качественной особонизкоуглеродистой стали является достижение минимально возможных концентраций азота. В связи с малой эффективностью удаления азота при вакуумном обезуглероживании низкое содержание азота должно быть получено уже при выплавке полупродукта в конвертере. Основными факторами, определяющими содержание азота в металле на повалке конвертера, являются концентрация азота в технологическом кислороде и шихтовых материалах (ломе и чугуне).

Обычно максимальное содержание азота в ломе намного больше, чем в чугуне. Поэтому уменьшая долю лома в металлической шихте можно уменьшить количество азота в металле на выпуске. Эффективным приемом является также полная замена металлического лома твердым чугуном.

Изменения содержания азота по ходу технологических операций производства стали 006/IF представлено в **табл. 2**.

В ходе проведенных исследований видно, что после внепечной обработки на выпуске стали средняя массовая доля азота составила 0,0049%. Из **табл. 2** видно, что обеспечение низкого азота после внепечной обработки металла не гарантирует получения низкого азота в готовой стали. На большинстве плавков происходит прирост углерода на машине непрерывного литья заготовок. Прирост составил в среднем 0,0017%.

**Таблица 2**  
**Изменения содержания азота при производстве стали 006/IF**

Технологическая операция	Содержание азота, %		
	Среднее	Минимальное	Максимальное
Повалка конвертера	0,0035	0,0025	0,0045
Выпуск плавки	0,0038	0,0028	0,0047
Начало вакуумирования	0,0037	0,0028	0,0046
Окончание доводки	0,0049	0,0046	0,0051
Разливка МНЛЗ	0,0066	0,0047	0,0085

Достижение низких концентраций азота в стали связано с необходимостью организа-

ции защиты металла от контакта с атмосферой, что сопряжено с определенными технологическими трудностями. При существующей технологии деазотация возможна при интенсивном обезуглероживании в кислородно-конвертерном процессе и при вакуумном обезуглероживании. На всех других технологических операциях выплавки имеет место поглощение азота в той или иной степени. Поэтому технология выплавки особонизкоуглеродистых автокузовных сталей должна основываться на использовании чистых шихтовых материалов, кислорода с концентрацией азота менее 0,1% и применении на всех технологических операциях средств защиты металла от контакта с атмосферой, чтобы свести к минимуму абсорбцию азота металлом.

Для предотвращения насыщения расплава азотом в конце продувки, после окончания интенсивного обезуглероживания, увеличивалась интенсивность продувки на 150-200 м<sup>3</sup>/мин, на заключительном этапе продувки осуществлялось вспенивание шлака за счет присадки известняка и окончание продувки производилось при опущенной «юбке» газохода конвертера. На всех плавках производилась защита струи металла во время выпуска присадкой известняка в сталеразливочный ковш с расходом около 1 т на плавку. Это позволило направлять плавку для непрерывной разливки с содержанием азота в пределах 0,0024-0,0045%.

Однако наибольшее значение имеет чистота используемого для продувки металла в конвертере кислорода. Это особенно явно проявляется при содержании углерода в металле менее 0,03%, когда количество выделяющегося из ванны СО незначительно. Концентрация азота в дутье не более 0,01% позволяет получить в конвертере металл с содержанием азота 0,0015%. Наряду с получением ультранизкого содержания углерода и азота в металле не ме-

нее важной задачей при производстве IF-стали является сохранение низких концентраций этих элементов при выпуске, раскислении и разливке стали на МНЛЗ.

При непрерывной разливке стали возможно поступление углерода в металл из шлакообразующих смесей. В кислородно-конвертерном цехе ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» для разливки на МНЛЗ подается сталь, содержащая не более 0,005% углерода. Однако, при использовании обычных шлакообразующих смесей с содержанием углерода 6–10% содержание углерода в металле за время разливки увеличивалось до 0,008 – 0,012%. При использовании шлакообразующих смесей с содержанием углерода не более 3% до 96% увеличилась доля плавков с приращением содержания углерода не более 0,001%. Причем на половине из них приращение содержания углерода вообще не наблюдалось.

### Список литературы

1. Рабаджи Д.В., Степанова А.А., Николаев О.А., Чигасов Д.Н., Алексеев Л.В. Разработка и освоение технологии производства IF-стали с массовой долей углерода не более 0,003 % // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»// Сборник ЦЛК. Магнитогорск 2009.
2. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Павлюченков И.А., Болотов В.Ю. Ковш-печь – современный агрегат для получения стали. – Донецк: Норд-Пресс, 2008.-473 с.
3. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе. – Магнитогорск, 2015. – 379с.
4. Якушев А.М. Справочник конвертерщика.- Челябинск: Металлургия, 1990.- 448 с.
5. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003.-528 с.

УДК 658.562: 669.1

Шубин И.Г., Шубина М.В..

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЦЕНКИ МИКРОСТРУКТУРЫ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ

**Аннотация.** Качество катанки из высокоуглеродистой стали характеризуется эксплуатационными характеристиками, в основном величиной механических свойств. Уровень значений механических свойств определяется микроструктурой стали после процесса обработки давлением. Микроструктура высокоуглеродистой стали оценивается наличием и количеством пластинчатого перлита 1 балла. Используемая методика позволяет допускать погрешность при проведении оценки и искажает реальный уровень качества катанки.

Представленные результаты исследования позволили предложить скорректированную методику оценки дисперсности перлита. Предлагаемая методика позволяет снизить величину погрешности оценки микроструктуры катанки из высокоуглеродистой стали, что способствует корректному применению последующих технологических операций по ее переработке.

**Ключевые слова:** микроструктура, высокоуглеродистая катанка, поле зрения, дисперсность перлита, показатель качества

### Введение

Производство метизной продукции связано с использованием исходной заготовки в виде горячекатаного сортового проката простой формы поперечного сечения – круг или квадрат. В общем объеме исходного продукта круглая заготовка в виде катанки занимает около 80% со значительной долей продукции из высокоуглеродистых марок стали.

Прогрессивное развитие промышленности направленно на создание сложной, выдерживающей большие нагрузки, техники при ее минимальной металлоемкости и стимулирует производство метизных изделий с четко регламентируемыми характеристиками качества.

К основным характеристикам качества металлоизделий и, в частности, металлопроката относятся механические свойства, состояние поверхности и показатели микроструктуры. С большой степенью точности можно говорить о том, что микроструктура определяет уровень механических свойств. Ключевым показателем для оценки микроструктуры высокоуглеродистой стали можно считать количество пластинчатого перлита 1 балла  $B_{\text{пн}}$ .

Разрабатывая и совершенствуя технологию производства катанки из высокоуглеродистой стали, проектируя технологические линии по ее переработке, ориентируются на заданный уровень механических свойств и характеристику микроструктуры. Корректность определения указанных характеристик обуславливает стабильность производства металлопродукции и ее последующую эксплуатацию. Предлагае-

мые методы и методики направлены на повышение точности, объективности и снижения энергетических и людских ресурсов [1 - 9].

Выделяя такую характеристику качества высокоуглеродистой катанки как количество пластинчатого перлита 1 балла, необходимо отметить наибольшую подверженность субъективности ее величины из-за применяемого метода ее определения. При этом точность оценки микроструктуры предопределена как профессионализмом персонала исследовательских лабораторий, так и применяемыми методиками [9, 10].

В связи с этим, в проведенном исследовании рассматривали в качестве базового способа методику определения дисперсности перлита, представленную в ГОСТ 8233-56, которая регламентирует изготовление образцов и их испытание (оценку) [10]. Оценка образцов проводится при их микроскопическом анализе с увеличением в 1000 раз [11]. В сечении профиля заготовки произвольно выбирают и исследуют 5 наихудших полей зрения (диаметром 80 мкм по линейке в окуляре микроскопа). Далее подсчитывают количество зерен 10-го балла, затем – 9-го балла и т.д. до 1-го балла. Результаты подсчетов фиксируются и сопоставляются с эталонными структурами, приведенными в ГОСТ 8233-56.

Процент зерен 1-го балла определяется по отношению к общему количеству зерен. Конечным результатом проводимых данным способом испытаний является усреднение

процентного состава по дисперсности на базе пяти полей зрения.

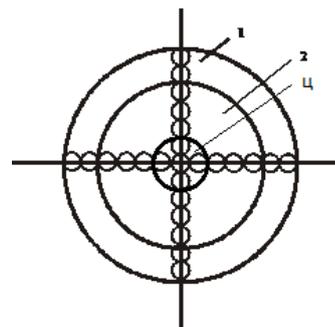
Недостаток базовой методики – субъективность произвольного выбора пяти наилучших полей зрения. Ранее было предложено снизить вероятность получения неточного результата путем применения более регламентированного способа выбора полей зрения в плоскости поперечного сечения заготовки [9]. Допускаем, что максимальная объективность в оценке микроструктуры возможна при исследовании всей площади поперечного сечения профиля. Следовательно, количество пластинчатого перлита 1 балла, определенного по пяти полям зрения, может содержать определенную погрешность и требует дополнительных исследований.

Целью настоящей работы является совершенствование методики исследования микроструктуры катанки из высокоуглеродистой стали, снижающее величину погрешности при определении количества пластинчатого перлита 1 балла.

#### Материалы и методы исследования

Ранее были проведены исследования с применением статистического метода анализа данных для определения закономерности распределения дисперсности перлита в поперечном сечении катанки и воспроизводимости данного распределения на испытуемых образцах [9, 12 - 22]. Полученные результаты позволили рекомендовать следующий порядок выбора полей: все поля зрения расположены на одной диагонали, одно в центре центральной зоны, два поля во второй промежуточной зоне и два поля из внешней зоны на противоположных концах диагонали (рис.1).

Вышеупомянутый метод, снижая субъективность в результатах оценки дисперсности перлита высокоуглеродистой стали, оставляет возможность проведения дополнительных исследований, направленных на повышение корректности и объективности получаемого результата оценки микроструктуры стали.



**Рис. 1. Схема расположения полей зрения и границ зон в поперечном сечении катанки при оценивании балла зерна перлита**  
**1 – зона с большим значением процента перлита; 2 – зона с меньшим значением процента перлита; Ц – центральная зона**

Экспериментальные исследования проводились на высокоуглеродистой стали с содержанием углерода 0,58 – 0,77%. Из катанки диаметром 6,5 мм готовили образцы и оценивали дисперсность перлита в полях зрения расположенных на взаимно перпендикулярных диагоналях поперечного сечения образца. Оценка проводилась в 27 полях зрения каждой диагонали, результаты сведены в табл. 1 и 2.

#### Результаты и их обсуждение

Результаты определения дисперсности перлита подтвердили общую закономерность его распределения. Максимальные значения дисперсности прослеживаются ближе к поверхности сечения (1-я зона) и уменьшаются при приближении к центральной зоне (рис. 1).

Давая оценку микроструктуры конкретного образца, в качестве результирующего значения, взятого за базовое, применили среднеарифметическое всех значений, определенных на 27 полях каждой диагонали. Используя ранее представленную методику, рассчитали оценочное среднеарифметическое значение дисперсности перлита по пяти полям зрения, расположенным на диагонали в разных зонах поперечного сечения образца (табл. 3, 4) [9]. Вычисления показывают хорошую сходимость результатов. Отличие от базовых значений дисперсности перлита составляет 3,0–6,1% для стали с содержанием углерода 0,58–0,65% и 4,0–6,9% для стали с содержанием углерода 0,68–0,77%.

## Качество в обработке материалов

**Таблица 1**

**Данные оценки балла зерна перлита катанки диаметром 6,5 мм из стали с содержанием углерода 0,58 -0,65 %**

№ образца	Диагональ	Содержание в поле зрения пластинчатого перлита 1 балла, %													
		1/27	2/26	3/25	4/24	5/23	6/22	7/21	8/20	9/19	10/18	11/17	1/162	13/15	Ц
1	1	71,5	71,5	71,5	66	66	60,5	60,5	55	50	50	50	44	49,5	40
		66	66	66	60,5	60	50	55	50	49,5	50	44	44	44	40
	2	70	70	70	66	66	60	60	55	50	50	49,5	50	50	40
		75	70	70	60	60	49,5	55	50	55	50	45	45	45	40
2	1	70	70	70	70	65	55	60	55	50	45	38,5	40	38,5	40
		75	75	75	65	65	60	60	55	50	50	50	45	45	40
	2	75	70	70	65	65	55	60	55	55	50	45	45	45	40
		75	75	75	60	65	60,5	60	55	50	50	45	45	40	40
3	1	70	70	70	70	65	65	60	60	44	50	44	45	38	38
		70	70	70	65	66	65	60	55	50	55	50	50	50	38
	2	71,5	70	66	60,5	65	55	60	55	45	50	45	45	40	38,5
		66	66	66	65	65	65	55	60	55	50	50	45	45	38,5

**Таблица 2**

**Данные оценки балла зерна перлита катанки диаметром 6,5 мм из стали с содержанием углерода 0,68 -0,77 %**

№ образца	Диагональ	Содержание в поле зрения пластинчатого перлита 1 балла, %													
		1/27	2/26	3/25	4/24	5/23	6/22	7/21	8/20	9/19	10/18	11/17	1/162	13/15	Ц
1	1	75	75	72	70	70	65	65	60	55	55	50	50	49,5	45
		75	75	75	70	70	65	65	60	60	55	50	50	50	45
	2	75	75	72	71,5	70	66	65	55	60	55	50	50	49,5	45
		75	75	70	71,5	66	70	65	60	55	56	51,5	50	50	45
2	1	80	75	71,5	75	70	70	65	60,5	57	55	50	51	50	42
		75	75	75	75	70	60	65	60	60	58	55	50	45	42
	2	75	70	70	68,5	70	65	65	61	60	55	51,5	50	45	45
		75	75	75	70	71,5	65	65	60	60	55	51,5	51,5	48	45
3	1	80	75	72	70	70	65	66	60	55	55	50	49,5	45	48
		75	75	75	70	70	65	60	60	57,5	55	50	50	50	48
	2	75	75	75	75	70	66	65	60	55	55	51,5	50	45	45
		75	75	75	71,5	70	65	65	60	55	51,5	50	47,5	45	45

**Таблица 3**

**Результаты оценки дисперсности перлита стали с содержанием углерода 0,58 - 0,65 %**

Показатель	Процент перлита 1-го балла					
	1	2	3	4	5	6
Среднеарифметическое по 27 полям	55,96	56,89	56,93	57,43	57,96	56,28
Среднеарифметическое для 5-и полей	54,3	54,9	54,7	55,0	54,4	53,1
Погрешность определения значений, %	3,0	3,5	3,9	4,2	6,1	5,6
Средневзвешенное учитывающее весовые коэффициенты для 5-и полей	56,5	57,1	55,9	56,4	56,8	55,8
Погрешность определения значений, %	0,98	0,36	1,73	1,72	1,98	0,78

Таблица 4

Результаты оценки дисперсности перлита стали с содержанием углерода 0,68 - 0,77 %

Показатель	Процент перлита 1-го балла					
	1	2	3	4	5	6
Среднеарифметическое по 27 полям	62,09	62,0	62,76	61,96	61,96	61,76
Среднеарифметическое для 5-и полей	58,4	57,7	58,7	58,6	59,0	59,3
Погрешность определения значений, %	5,3	6,9	6,5	5,4	4,8	4,0
Средневзвешенное учитывающее весовые коэффициенты для 5-и полей	60,4	60,0	61,8	61,0	60,5	61,4
Погрешность определения значений, %	2,77	3,17	1,55	1,5	2,3	0,62

При исследовании возможности снижения отклонения оценочного значения дисперсности перлита от базового можно отметить следующее. Формирование микроструктуры в поперечном сечении профиля происходит при охлаждении проката и определяется теплофизическими законами.

Для повышения точности определения оценочного значения дисперсности, за счет снижения погрешности при суммировании, было предложено учитывать влияние протяженности зоны, занимаемой перлитом с определенным значением процента зерна перлита 1-го балла. Это возможно при применении весовых коэффициентов ( $K_{пн}$ ), определяемых как отношение длины зоны, занимаемой перлитом с определенным значением процента зерен 1-го балла ( $L_i$ ), к радиусу ( $R_k$ ) поперечного сечения образца:

$$K_{fp} = \frac{L_i}{R_s}$$

Результаты расчета оценочных значений дисперсности перлита с учетом весовых коэффициентов и отклонение от базового значения представлены в табл. 3, 4. Величина отклонения от базовых значений дисперсности перлита составляет 0,36–1,98% для стали с содержанием углерода 0,58–0,65% и 0,62–3,17% для стали с содержанием углерода 0,68–0,77 %.

Сравнительный анализ величины отклонения значения дисперсности перлита, рассчитанного по пяти полям зрения, от базового показал: при учете весовых коэффициентов погрешность снижается в 2,26–9,6 раза для стали с содержанием углерода 0,58–0,65% и в 2,08–6,4 раза для стали с содержанием углерода 0,68–0,77%.

### Заключение

Результаты проведенных исследований подтверждают возможность снижения по-

грешности при определении оценочного значения дисперсности перлита микроструктуры катанки из высокоуглеродистой стали. Проведение оценки микроструктуры по пяти полям зрения следует выполнять с учетом весовых коэффициентов, определяемых из соотношения протяженности зон, занимаемых перлитом с определенным значением процента зерна перлита 1-го балла, к радиусу катанки. Предлагаемый метод оценки микроструктуры катанки из высокоуглеродистой стали повышает точность и качество ее оценки, не усложняя процесса ее проведения.

### Список литературы:

1. E.S. Gorkunov, S.M. Zadvorkin, L.S. Goruleva, A.V. Makarov, N.L. Pecherikina, Structure and mechanical properties of a high-carbon steel subjected to severe deformation, *Physics of Metals and Metallography*. 118 (2017) 10 1006–1014.
2. J. Szala, D. Kuc, Determination of pearlite morphology in high-carbon hot rolled steel, *Arch. Metall. Mater.* 62 (2017) 1 303-308.
3. S. Wiewiorowska, Z. Muskalski, The assessment of the structure and properties of high-carbon steel wires after the process of patenting with induction heating, *Archives of Metallurgy and Materials*. 60 (2015) 2 855 – 858.
4. J. K. Odusote, T. K. Ajiboye, A. B. Rabi, Evaluation of mechanical properties of medium carbon steel quenched in water and oil, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. (2012) 11 859-86.
5. A.N. Khan, S.H. Khan, Y.A. Durran, Microstructural evaluation of high-strength bainitic steel by nondestructive techniques, *Materials Evaluation*. (2016) 1567 – 1573.
6. E.P. Soares, J. Vatauvuk, R. Panelli, M.F. Pillis, Evaluation of mechanical properties and microstructure of a high carbon-vanadium tool steel produced by powder metallurgy, *Materials Science Forum*. 530-531 (2006) 140-144.
7. P. Palit, S. Das, J. Mathur, Metallurgical investigation of wire breakage of tyre bead grade, *Case Studies in Engineering Failure Analysis*. (2015) 4 83–87.
8. Шубин И.Г., Блондинская Е.Б. Исследования возможностей технологии комбинирования

поперечно-винтовой прокатки и волочения при изготовлении длинномерных изделий на основе моделирования в программном комплексе DEFORM-3D, Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1. С. 93 - 96.

9. I.G. Shubin, M.V. Shubina, Methodology of High-Carbon Wire Rod Perlite Grain Grade Identification, Solid State Phenomena, (2018) 284 338-343

10. Сталь. Эталоны микроструктуры.: ГОСТ 8233.: - М.: ИПК Издательство стандартов. - 2004. - С. 18.

11. Шубин И.Г., Шубина М.В. Основы материаловедения: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 193 с.

12. Минько А.А. Статистический анализ в MS EXCEL. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 448 с.

13. Производство горячекатаного листового проката для замещения холоднокатаного аналогичного назначения: монография / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Исмагилов Р.А., Завалищин А.Н., Цепкин А.С., Корнилов В.Л., Буданов А.П. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 217 с.

14. Конструирование характеристик влияния химического состава стали на показатели качества высокоуглеродистой канатной катанки /Шубин И.Г., Румянцев М.И., Торопицина У.А., Сиротюк А.П., Демидова О.О., Азаров А.П.// Производство проката. 2009. № 3. С. 12-15.

15. Анализ качества производства холоднокатаной ленты из электротехнической стали с применением методов SPC в условиях ЛПЦ-3 ОАО «Ашинский металлургический завод» / Румянцев М.И., Чевардин Ю.А., Шубин И.Г., Пичугин Н.А., Филиппова Е.А. // Производство проката. 2010. № 10. С. 24-30.

16. К вопросу построения модели для расчета составляющих температурного режима металла в линии широкополосного стана горячей прокатки /М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, Д.Ю. Загузов, О.Ю.

Носенко, С.В. Игуменов //Моделирование и развитие процессов ОМД. 2006. № 1. С. 26-34.

17. Шубин И.Г., Степанова Е.Н., Румянцев М.И. Оценка результативности и стабильности производства грузоподъемных канатов / Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 6. С. 46-48.

18. Шубин И.Г., Бородина Е.Н., Румянцев М.И. К оценке влияния показателей качества и количества брака на комплексную оценку результативности производства канатов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.- техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т.1. С. 280-283.

19. Румянцев М.И., Шубин И.Г., Носенко О.Ю. Конструирование модели для расчета температуры низколегированных сталей при прокатке на ШСГП //Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1. С. 54-57.

20. Шубин И.Г., Бородина Е.Н., Румянцев М.И., Исламов И.Ш. Управление качеством канатов на основе множественного регрессионного анализа // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. /под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 38. С. 80-85.

21. Шубин И.Г., Бородина Е.Н., Румянцев М.И. Управление качеством канатной проволоки и канатов на основе множественного регрессионного анализа // Механика и актуальные проблемы металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Железкова О.С. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С.136 – 145.

22. Шубин И.Г., Бородина Е.Н. Применение комплексного показателя для оценки результативности технологии волочения канатной проволоки и свивки стальных канатов. // Качество в обработке материалов. 2016. № 2. С. 58 – 62.

УДК 662.749.33:543.544

Смирнов А.Н., Сысоев В.И., Крылова С.А., Никифорова В.М., Жусупова Ж.С.

## КАЛИБРОВКА ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖЕЛЕЗО - МАГНЕЗИАЛЬНОГО ОКСИДНОГО КАТАЛИЗАТОРА

**Аннотация.** В статье представлены результаты по калибровке газохроматографического метода с целью использования его для анализа сложных многокомпонентных смесей углеводородов, получаемых в результате каталитической переработки углеродсодержащих материалов. Калибровка проводилась на основе двух стандартных смесей углеводородов: смеси линейных алканов C8-C20 и смеси ПАУ (полициклических ароматических углеводородов), что позволило количественно определить ряд веществ, входящих в состав продуктов переработки каменноугольной смолы с использованием железо-магнезиального оксидного катализатора, и качественно идентифицировать основные компоненты с помощью системы индексов удерживания.

**Ключевые слова:** хроматографический метод анализа, стандартные смеси углеводородов, индексы удерживания, каменноугольная смола, каталитическая переработка, высокомагнезиальные сидеритовые руды

### Введение

На кафедре физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» в результате ранее проведенных исследований были выявлены и изучены каталитические свойства продуктов комплексной переработки Бакальских высокомагнезиальных сидеритов в отношении ряда металлургических реакций [1], а также в некоторых процессах каталитической переработки углеродсодержащего сырья [2-4]. Технология получения такого катализатора является относительно простой и недорогой [5-7], поэтому далее были продолжены исследования по использованию железо-магнезиального катализатора в процессах переработки углей.

Газохроматографический анализ продуктов переработки природных смесей углеводородов, таких как каменноугольная смола или первичная смола полукоксования угля, имеет ряд особенностей, обусловленных многокомпонентным составом природного сырья. При дальнейшей каталитической переработке таких продуктов, протекающие в процессе переработки химические реакции ведут к образованию ещё большего числа различных веществ, что дополнительно осложняет проведение анализа.

В ранее проведенном исследовании влияния оксидного железо-магнезиального

катализатора на процесс термической переработки каменноугольной смолы [8], изучение компонентного состава полученных фракций проводилось на газовом хроматографе «Хроматэк Кристалл 5000». Количественные результаты были получены только по пяти компонентам (бензолу, толуолу, о-ксилолу, фенолу и нафталину). Для более полного анализа продуктов требовалось приобретение необходимых стандартов, которые позволили бы качественно и количественно идентифицировать вещества. Поэтому на следующем этапе исследований по переработки углеродсодержащих материалов с использованием оксидного железо-магнезиального катализатора, были поставлены следующие задачи:

1. Провести калибровку по стандартным смесям, включающим основные углеводороды, входящие в состав продуктов каталитической переработки КУС.

2. Дополнить полученную калибровку результатами качественного определения состава углеводородной смеси при помощи используемых в практике хроматографического анализа систем индексов удерживания [9,10].

### Условия эксперимента

Калибровка газохроматографического метода определения состава продуктов переработки углеродсодержащих материалов, полученных с использованием железо-

магнезиального оксидного катализатора, была проведена по двум стандартным смесям углеводородов: смеси линейных алканов C8-C20 и смеси ПАУ (полициклических ароматических углеводородов) производства компании SIGMA-ALDRICH, Германия. Используемые стандартные смеси имеют следующий аттестованный химический состав:

1. Смесь ПАУ в дихлорметане QTM PАН Mix (16 веществ): нафталин, аценафтилен, 2-бромнафталин, аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бензантрацен, хризен, бензо(b)флуорантен, бензо(a)пирен, индено(1,2,3-с,d)пирен, дибенз(a,h)антрацен, бензо(g,h,i)перилен (**табл. 1**).

2. Смесь линейных алканов C8-C20, 10 мкг/мл каждого компонента в гексане (**табл. 2**).

Смесь алканов применялась только для качественного определения компонентов, включая идентификацию при помощи систем индексов удерживания.

Анализ проводился на газохроматографическом комплексе Хроматэк Кристалл 5000 на капиллярной колонке ZB5-ms (30 м, 0,32 мм, 0,5 мкм) в режиме линейного нагрева со скоростью 6 °С/мин. При таком режиме нагре-

ва (из нескольких исследованных) достиглось наиболее четкое разделение пиков компонентов на хроматограмме. Кроме того, для этой скорости линейного нагрева в литературе имеется большое число данных по индексам удерживания веществ. В качестве газоносителя использовался азот (P = 100 кПа).

Хроматограммы стандартных смесей представлены на **рис. 1 и 2**.

### Результаты и обсуждение

Полученная калибровка была применена для определения состава одной из фракций (230-270 °С), полученной в результате каталитической переработки каменноугольной смолы[2], хроматограмма которой представлена на **рис. 3**.

Результаты качественного и количественного анализа идентифицированных компонентов исследуемой фракции и относительная погрешность их качественного определения представлены в **табл. 3**.

Таблица 1

Характеристики стандартной смеси ПАУ в дихлорметане QTM РАН Mix

Вещество	Структурная формула	Брутто формула	Молекулярная масса, в а.е.м.	Температура кипения, °С	Концентрация, мкг/мл	Время выхода, мин
нафталин		$C_{10}H_8$	128,17	218	1998,2	18,312
аценафтилен		$C_{12}H_8$	152,19	265	1998,2	24,939
2-бромнафталин		$C_{10}H_7Br$	207,08	282	1998,4	25,523
аценафтен		$C_{12}H_{10}$	154,20	279	1984,0	25,717
флуорен		$C_{13}H_{10}$	166,22	294	1976,2	27,895
фенантрен		$C_{14}H_{10}$	178,24	340	1982,2	31,892
антрацен		$C_{14}H_{10}$	178,23	342	1997,6	32,128
флуорантен		$C_{16}H_{10}$	202,25	384	1964,2	36,907
пирен		$C_{16}H_{10}$	202,26	392	2000,2	37,832
бензантрацен		$C_{18}H_{12}$	228,29	438	1998,4	42,936
хризен		$C_{18}H_{12}$	228,30	448	1991,8	43,099
бензо(b)флуорантен		$C_{20}H_{12}$	252,3	481	1998,2	47,204
бензо(a)пирен		$C_{20}H_{12}$	252,32	310	1976,4	48,369
индено(1,2,3-с,d)пирен		$C_{22}H_{12}$	276,33	536	1996,0	53,311
дибенз(a,h)антрацен		$C_{22}H_{14}$	278,35	524	1998,0	53,445
бензо(g,h,i)перилен		$C_{22}H_{12}$	276,33	525	1981,6	54,677

Таблица 2

Характеристики стандартной смеси линейных алканов C8-C20

Вещество	Брутто формула	Молекулярная масса, в а.е.м.	Температура кипения, °С	Время выхода, мин
октан	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114,23	125,7	5,437
нонан	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128,26	150,8	9,250
декан	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142,28	174,1	12,700
ундекан	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	156,31	195,9	15,767
додекан	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170,34	216,3	18,555
тридекан	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	184,36	235,4	21,127
тетрадекан	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	198,39	253,5	23,527
пентадекан	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	212,42	270,6	25,783
гексадекан	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226,44	286,6	27,915
гептадекан	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	240,47	302,1	29,931
октадекан	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	254,50	317,4	31,857
нонадекан	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	268,50	330,0	33,683
эйкозан	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	282,56	342,7	35,419

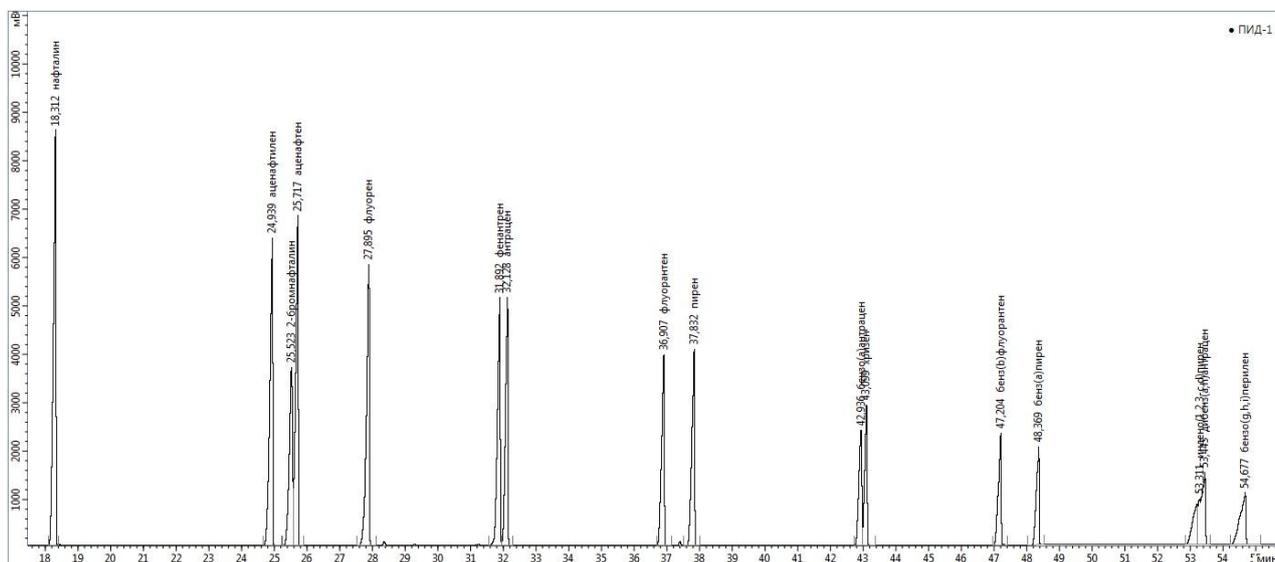


Рис.1. Хроматограмма стандартной смеси ПАУ

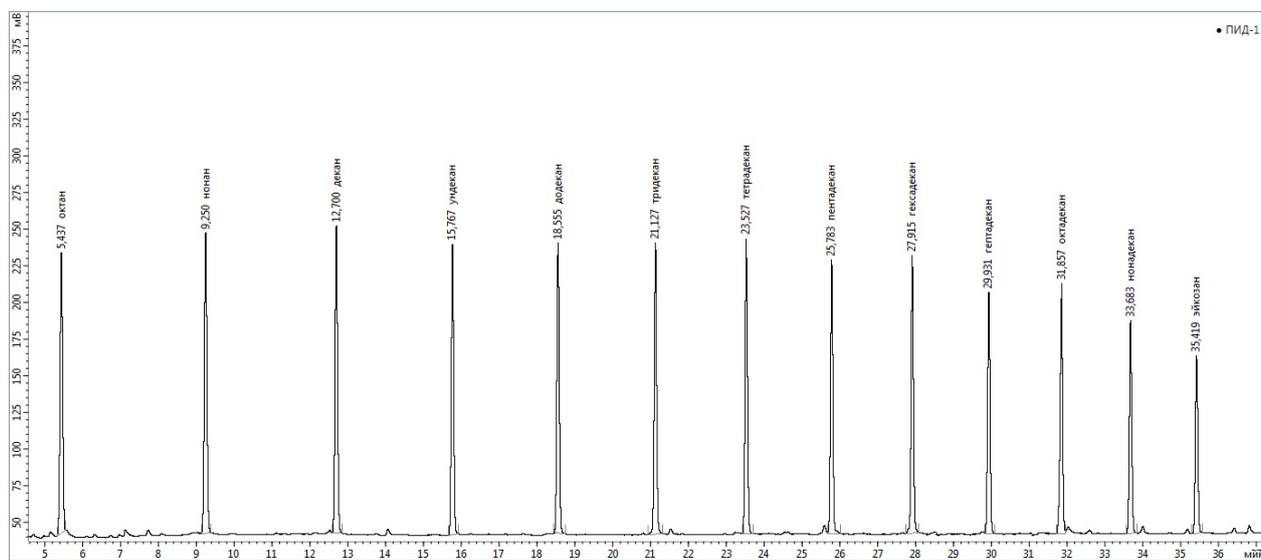
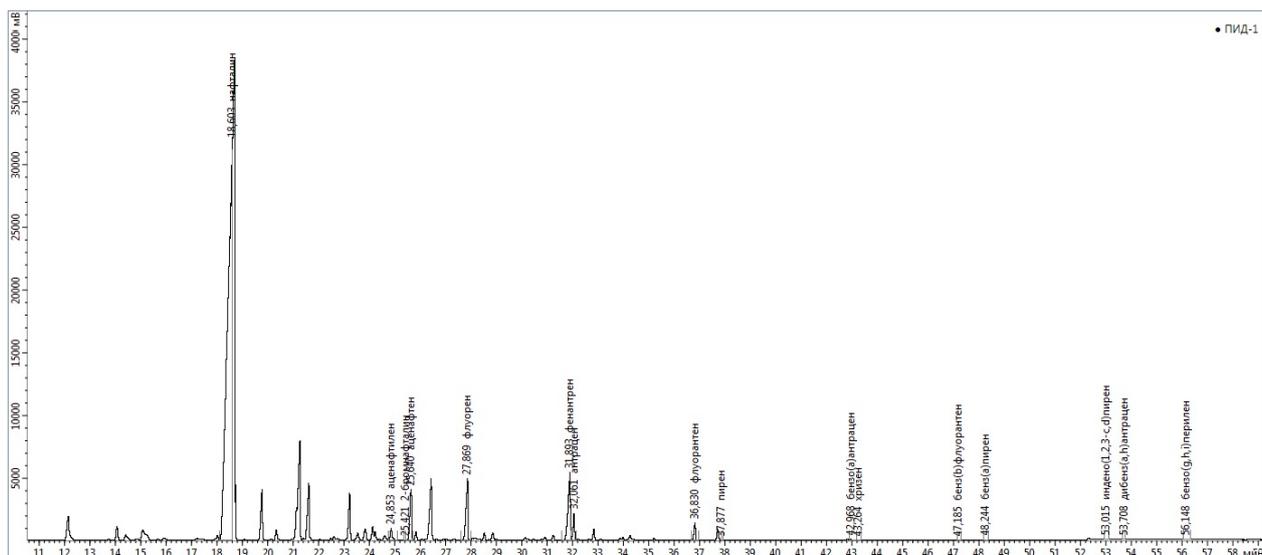


Рис.2. Хроматограмма стандартной смеси алканов



**Рис.3. Хроматограмма продуктов переработки каменноугольной смолы (фракция 230-270 °С)**

**Таблица 3**  
**Идентифицированные компоненты исследуемой фракции продуктов каталитической переработки КУС**

Вещество	Время выхода в стандартной смеси, мин	Время выхода в исследуемой смеси, мин	Погрешность, %(отн.)	Содержание, % (мас.)
нафталин	18,3	18,6	1,64	53,203
аценафтилен	24,9	24,8	0,40	0,490
аценафтен	25,7	25,6	0,39	2,224
флуорен	27,9	27,9	0,00	2,994
фенантрен	31,9	31,9	0,00	4,330
антрацен	32,1	32,1	0,00	1,311
флуорантен	36,9	36,8	0,27	1,047
пирен	37,8	37,9	0,26	0,005

Качественное определение основных неидентифицированных пиков с временами выхода, мин: 19,774; 21,265; 21,613; 26,435 было проведено с помощью системы индексов удерживания [10] по формуле:

$$I_R = 100 \cdot \frac{(t_i - t_n)}{(t_{n+1} - t_n)} + 100 \cdot n,$$

где  $I_R$ —индекс удерживания идентифицируемого компонента;  $t_i$  - время выхода идентифицируемого компонента, мин;  $t_n$  - время выхода  $n$ -го компонента стандартной смеси – пика, ближайшего к исследуемому веществу слева на хроматограмме (левая граница временного интервала, в котором производится интерполяция), мин;  $t_{n+1}$  - время выхода  $(n+1)$ -го компо-

нента стандартной смеси – компонента, ближайшего к исследуемому веществу справа на хроматограмме (правая граница временного интервала, в котором производится интерполяция), мин;  $n$  – номер компонента стандартной смеси в опорном базисе компонентов данной системы индексов:  $n(\text{нафталина}) = 2$ ,  $n(\text{фенантрена}) = 3$ ,  $n(\text{хризена}) = 4$ ,  $n(\text{пицена}) = 5$ .

Сравнение рассчитанных по данной формуле индексов удерживания с литературными данными (например, [10]), позволяет произвести качественную идентификацию компонентов исследуемой смеси. Результаты качественной идентификации представлены в **табл. 4**.

Таблица 4

Результаты качественной идентификации некоторых компонентов исследуемой фракции (230-270 °С)

Время выхода идентифицируемого компонента, мин	I <sub>R</sub>	Идентифицированное вещество
19,774	210,766	хинолин
21,265	221,745	1-метилнафталин
21,613	224,308	8-метилхинолин
26,435	259,816	2,3,6-триметилнафталин

**Заключение**

Калибровка газохроматографического метода анализа с использованием двух стандартных смесей углеводородов: смеси линейных алканов C8-C20 и смеси ПАУ (полициклических ароматических углеводородов) позволила количественно определить ряд веществ, входящих в состав продуктов переработки каменноугольной смолы с использованием железо-магнезиального оксидного катализатора, и качественно идентифицировать основные компоненты с помощью системы индексов удерживания. Полученные результаты могут быть использованы при анализе многокомпонентных смесей углеводородов, являющихся продуктами каталитической переработки различных углеродсодержащих материалов.

**Список литературы**

1. О возможности применения оксидных железо-магнезиальных контактов в реакции водяного газа / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Крылова С.А., Сысоев В.И., Строгонов Д.А. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Материалы 75-й межрегион. науч.-техн. конф. / под ред. В.М. Колокольцева. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2017. Т.2. С.66-70.

2. Исследование возможности использования катализаторов на основе продуктов переработки высокомагнезиальных сидеритов в реакциях конверсии этанола / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Крылова С.А., Абдрахманов Р.Н., Сысоев В.И. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Материалы 74-й межрегион. науч.-

техн. конф. / под ред. В.М. Колокольцева. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос.техн.ун-та им.Г.И. Носова, 2016.Т.1.С. 258-260.

3. Каталитическая активность продуктов обжига высокомагнезиальных сидеритов/ Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Крылова С.А., Сысоев В.И. // Вестник Башкирского университета. 2017. Т. 22. № 3. С. 657-665.

4. Investigation of the Catalytic Activity of the Middlings of High-Magnesian Siderites Processing/ Smirnov A.N., Sysoev V.I., Krylova S.A. // Recent Patents on Materials Science. 2017. Т. 10. № 2. С. 136-141.

5. Пат. РФ № 2536618. Способ переработки сидеритовых руд (Варианты)/ Клочковский С.П., Смирнов А.Н., Колокольцев В.М. 2014.

6. Пат. РФ № 2471564. Способ переработки сидеритовых руд / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Бигеев В.А., Колокольцев В.М., Бессмертных А.С. 2013.

7. Клочковский С.П., Смирнов А.Н., Савченко И.А. Разработка физико-химических основ комплексного использования высокомагнезиальных сидеритов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 9. С. 26-31.

8. Исследование процесса конверсии каменноугольной смолы в присутствии оксидного железо-магнезиального катализатора /Смирнов А.Н., Крылова С.А., Сысоев В.И., Никифорова В.М., Жусупова Ж.С., Емельянов М.Д. // Качество в обработке материалов. 2018. № 1 (9). С. 44-47.

9. Van Den Dool, H., Kratz, P.D., J. Chromatography, 1963, 11, 463-471.

10. Lee, M.L., Vassilaros, D.L., White, C.M., Novotny, M., Anal. Chem., 1979, 51(6), 768-773.

УДК 621.762

Мезин И.Ю., Лимарев А.С., Касаткина Е.Г.

### ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОРИСТЫХ ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК

**Аннотация.** В статье излагается концепция формирования структурно-неоднородных металлоизделий холодной пластической деформацией пористых заготовок. Сущность предлагаемой концепции заключается в консолидации дискретных сред с различным сочетанием компонентов в твердой фазе под действием внешних силовых факторов при повышенных значениях прикладываемого давления. В рамках данной концепции операцию калибрования, как разновидность обработки металлов давлением, позволяющую получить изделие с точными размерами и формой за счет пластической деформации его поверхностных слоев, предлагается трактовать еще и как процесс "материалообразования". То есть процесс, способствующий увеличению в поверхностных и приповерхностных слоях площади контакта между отдельными частицами или конгломератами спекшихся частиц и образованию соединения между элементами порошковой среды при холодной пластической деформации. В статье также приводится анализ НДС при взаимодействии отдельных частиц порошковой среды при ее обработке давлением.

**Ключевые слова:** пористый порошковый материал, напряженно-деформированное состояние, частица пластичного материала, напряжение, деформация

Ведущую роль в создании передовой продукции для современного машиностроения и других отраслей промышленности играют композиционные или структурно-неоднородные материалы. К ним относятся, например, материалы системы «металл-керамика», «металл-другой металл», «металл-поры». Однако, традиционные методы производства изделий из таких материалов, не всегда отвечают всем требованиям, которые к ним предъявляются. В связи с этим, для полного удовлетворения потребностей ведущих отраслей машиностроения в современных материалах необходимо применение новых технологий, основанных на несколько иных принципах, чем общепринятые.

Большие перспективы в создании современных технологий производства машиностроительной продукции имеют процессы, основанные на использовании методов холодной пластической деформации (ХПД). Одним из перспективных вариантов использования ХПД при производстве металлоизделий является консолидация дискретных сред с различным сочетанием компонентов в твердой фазе под действием внешних силовых факторов при повышенных значениях прикладываемого давления. Эти технологии отличаются отсутствием высокотемпературного нагрева компонентов получаемого материала, в процессе которого может происходить растворение, разложение или перекристаллизация компонентов, а

также развитие нежелательных диффузионных процессов. При использовании данной концепции производства металлоизделий, операция ХПД рассматривается не только как формообразующая, но еще и как процесс, приводящий к структурным изменениям и формирующий сам материал металлоизделия [1-3].

Как известно, свойства порошковых материалов зависят от их состава, технологии производства и от качества соединения частиц порошка. Традиционными операциями, в процессе которых образуется соединение между частицами в порошковой металлургии, считаются спекание и горячее прессование. Однако исследования многих ученых показывают, что явления, протекающие при спекании и холодном прессовании, являются стадиями одного и того же процесса, называемого консолидацией [4]. Г. В. Самсонов отмечает, что "Процессы прессования порошков сводятся к контактному взаимодействию частиц, аналогичному холодной сварке..." [5]. Процесс образования соединения при сварке давлением рассматривается протекающим в три основные стадии [5]: образование физического контакта; активация контактных поверхностей; объемное взаимодействие.

Следует отметить, что с учетом подчиненности поведения элементов порошковой среды законам статистики и огромного их количества, указанные процессы несколько отличаются от закономерностей теорий соедине-

ния металлов в твердой фазе, разработанных для компактных материалов, хотя и имеют много общего. Дальнейшая проработка данных вопросов позволит не только создавать необходимые материалы, но и решать задачи формоизменения и уплотнения дискретных сред совместно с проблемами физико-химического взаимодействия компонентов в твердой фазе.

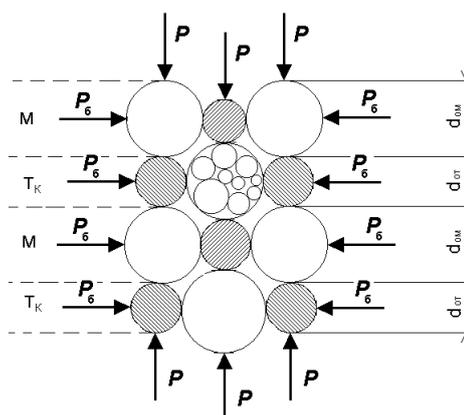
Из опыта предыдущих работ известно, что получение порошковых материалов с заданным уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств предопределено межчастичным взаимодействием составляющих композицию компонентов. Это, в свою очередь, вызывает необходимость в ориентировочной оценке деформационных параметров образования или разрыва связей при межчастичном взаимодействии, происходящем в дискретной среде при ее пластическом деформировании. При этом одним из определяющих факторов в формировании физико-химических и деформационных параметров процесса консолидации является напряженно-деформированное состояние как единичного контакта между соседними частицами, так и всей совокупности межчастичных контактов, имеющих в дискретной среде.

Вследствие сложности конфигурации и распределения частиц различной природы по объему деформируемой дискретной среды при анализе НДС межчастичного контакта, целесообразно ввести ряд упрощающих допущений:

1. Деформируемое структурно-неоднородное тело условно разбивается на ряд элементарных объемов, имеющих характерный состав и расположение входящих в него частиц. На указанные объемы можно наложить условия осесимметричной задачи, причем полученная информация о напряженно-деформированном состоянии межчастичных контактов с небольшой погрешностью может быть распространена и на другие выделенные объемы.

2. Для анализа процесса контактирования двух разнородных частиц, имеющих форму близкую к сферической, и, находящихся под воздействием внешних силовых факторов, примем физическую модель порошковой среды, представляющую собой систему чередующихся частиц мягкого и частиц твердого материалов (или конгломератов однотипных частиц, рассматриваемые как отдельные частицы).

3. Примем, что контактирование рассматриваемых частиц происходит по схеме, указанной на **рис. 1**. Анализ возможности существования подобной схемы расположения и взаимодействия частиц в порошковой среде достаточно подробно проведен в работах Бальшина М.Ю., Лещинского В.М. и поэтому, ее вполне можно принять для проведения оценочных расчетов без дополнительного обоснования.



**Рис. 1. Схема контактирования разнородных частиц порошкового тела**

4. Соотношение радиусов твердой частицы и мягкого элемента  $\frac{r_T}{r_M}$  может быть как

больше, так и меньше единицы. В зависимости от указанного соотношения в дискретной среде могут наблюдаться следующие варианты межчастичного взаимодействия: при  $\frac{r_T}{r_M} \approx 1$

будет происходить осадка мягкого элемента; при  $\frac{r_T}{r_M} \leq 0,3$  можно считать, что происходит

внедрение твердой сферической частицы в пластическое полупространство. При пластическом деформировании пористой гетерогенной заготовки, как правило, наибольшие давления необходимы для внедрения твердых частиц в мягкие элементы при  $\frac{r_T}{r_M} \approx 0,3 \div 0,5$ .

Поэтому при решении задач, поставленных в данном работе, рассматривается случай взаимодействия разнородных частиц пористой среды, когда  $\frac{r_T}{r_M} \approx 0,3 \div 0,5$ .

Для анализа НДС мягкого элемента при внедрении в него твердого применяется гео-

метрическая модель распределения внешних напряжений, предложенная М. Ю. Бальшиным для осадки сферической частицы [6]. Согласно этой модели, твердый элемент внедряется в мягкий в результате действия приложенного давления таким образом, что частица порошка пластичного мягкого металла находится под влиянием:

- внутреннего давления от действия твердой частицы, которую можно рассматривать применительно к данным условиям деформирования в качестве инструмента;

- внешнего подпора, создаваемого действием соседних частиц (элементарных объемов) или боковым давлением со стороны стенок матрицы; в этом случае принимаем, что к поверхности или отдельным частям поверхностей частиц (элементарного объема) равномерно приложены распределенные нагрузки в радиальном направлении.

Таким образом, мягкий элемент можно разбить на два тела (рис. 2). Принимаем, что тело ABCDEF находится под внутренним давлением (рис. 3), а тело ABDE (рис. 4) подвергается осадке [7]. Частица твердого материала рассматривается, как абсолютно жесткое тело и ее деформирование при анализируемом силовом воздействии отсутствует.

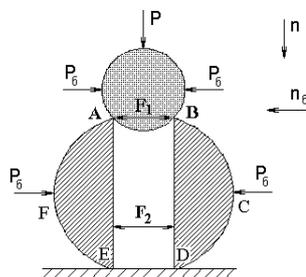


Рис. 2. Схема внедрения частицы из твердой частицы в мягкую под действием приложенного давления

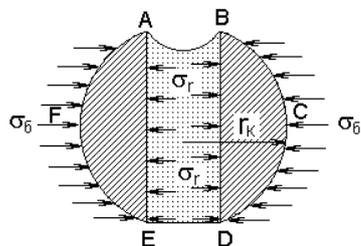


Рис. 3. Схема напряженно – деформированное состояние частицы порошка пластичного металла, находящейся под внутренним давлением

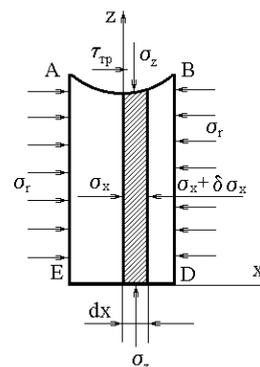


Рис. 4. Схема осадки тела ABDE

Величина бокового давления  $P_b$  (см. рис.3), вызванная действием боковых элементов, для случая деформирования порошковой среды в закрытом штампе определяется соотношением  $P_b = \xi P$  (где  $\xi$  - коэффициент бокового давления, колеблющаяся в зависимости от пластических свойств материала в пределах 0,2-0,5;  $P$  - давление, вызванное внешним силовым воздействием, МПа).

При анализе рассмотрен случай совпадения оси модели с осью приложения внешнего воздействия  $n$ . В случае несовпадения указанных осей численное значение величины  $P$  можно определить исходя из геометрических и тригонометрических соотношений, но при этом основная модель останется прежней.

Проанализируем напряженное состояние тела ABCDEF (рис.3) в момент контактирования рассматриваемых частиц (рис. 2). Применительно к данному случаю, решается осесимметричная задача в цилиндрической системе координат методом совместного решения уравнения равновесия и приближенного условия пластичности.

Уравнение равновесия имеет вид:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0.$$

Принятое приближенное энергетическое условие пластичности для условий рассматриваемой задачи и при отсутствии касательных напряжений для данной задачи можно выразить следующим образом:

$$|\sigma_r - \sigma_\theta| = 1,15\sigma_S.$$

Решение дифференциального уравнения имеет вид

$$\sigma_r = \beta \sigma_{Si} \ln(r) + C.$$

Для определения постоянной интегрирования используем граничные условия, которые для условий рассматриваемой задачи можно определить следующим образом:

$$r = r_M = r_K \dots \sigma_r = \sigma_\theta,$$

где  $\sigma_\theta$  - величина бокового подпора со стороны соседних частиц или величина бокового давления стенок матрицы.

После ряда математических преобразований и подстановок, для определения величины  $\sigma_r$  при условии  $\sigma_\theta = P_\theta$  будем иметь следующее выражение:

$$\sigma_r = \xi P + \beta \sigma_S \ln\left(\frac{r_l}{r_K}\right)$$

где  $r_l$  - длина проекции сегмента твердой частицы, внедренной в мягкий элемент на плоскость перпендикулярную оси приложения нагрузки, и изменяется от 0 до  $r_T$  ( $r_T$  - радиус твердой частицы). После достижения  $r_l$  значения  $r_m$ , величина внутреннего радиуса остается неизменной (см. рис. 2)

Напряжение  $\sigma_\theta$  можно определить, используя полученное выражение и приближенное условие пластичности. Уравнение для определения величины  $\sigma_\theta$  будет иметь вид:

$$\pm \sigma_\theta = \xi P + \beta \sigma_S \left[ 1 + \ln\left(\frac{r_l}{r_M}\right) \right].$$

где  $r_M$  - радиус частицы пластичного материала.

Далее рассмотрим осадку тела ABDE (рис. 4). Для этого случая также решаем осесимметричную задачу в цилиндрической системе координат.

Принимаем следующие допущения:

- среда рассматриваемого элемента - жесткопластическая с линейным упрочнением;

- напряжение трения  $\tau_{mp}$  изменяется по закону трения Амонтона - Кулона:

$$\tau_{mp} = f_c \sigma_z,$$

где  $f_c$  - коэффициент межчастичного трения;  $\sigma_z$  - нормальное напряжение, МПа; напряжения  $\sigma_z$  распределены по оси Z равномерно.

Введем следующие граничные условия:

1) касательные напряжения  $\tau_{rz}$  на контакте между элементами равны напряжению трения  $\tau_{mp}$  и контакте частицы с плоскостью равны нулю, то есть:

$$\tau_{mp} = \tau_{rz} = f_c \sigma_z;$$

2) при  $r = r_l$  напряжение  $\sigma_r$  равно напряжению  $\sigma_r^l$ , здесь и далее под напряжением  $\sigma_r^l$  подразумевается напряжение  $\sigma_r$ , полученное при решении предыдущей задачи, то есть при анализе напряженного состояния тела ABCDEF (см. рис.3)

3) при  $r = r_M \dots \sigma_z = P$ ,

Выделим в теле ABDE участок высотой  $h$  и шириной  $dr$  (см. рис. 4).

Уравнение равновесия в условиях осесимметричного напряженного состояния для данного участка запишется в следующем виде:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{d\tau_{rx}}{r} = 0.$$

Для решения данной задачи целесообразно принять условие пластичности в дифференциальной форме, оно имеет вид:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{d\sigma_z}{dr} \quad \text{или} \quad d\sigma_r = d\sigma_z.$$

Решая совместно уравнение и принятое условие пластичности, будем иметь следующее выражение:

$$\sigma_z = Cr^{-f_c}$$

Постоянную интегрирования определим исходя из 3-го граничного условия.

В общем виде, выражение для определения напряжения  $\sigma_z$  возникающего в частице, находящейся под действием внешнего механического напряжения, определится по формуле:

$$\sigma_z = Pr_M^{f_c} r_l^{-f_c} = P \left( \frac{r_M}{r_l} \right)^{f_c}.$$

Таким образом, напряженное состояние

тела ABDE, с учетом полученных решений будет определяться следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \sigma_r = \xi P + \beta \sigma_s \ln\left(\frac{r_l}{r_k}\right), \\ \sigma_\theta = \xi P + \beta \sigma_s \left[ 1 + \ln\left(\frac{r_l}{r_M}\right) \right], \\ \sigma_z = P \left( \frac{r_M}{r_l} \right)^{f_v}. \end{cases}$$

На следующем этапе работы определено деформированное состояние тела ABDE, поскольку по условию представленной задачи

только оно подвергается деформации и непосредственно участвует в схватывании (тело ABCDEF находится под внутренним и внешним давлением). Зная напряженное состояние тела, его деформированное состояние можно определить, используя обобщенный закон Гука, заменив при этом модуль упругости  $E$  на модуль пластичности  $E'$ . Значения модулей пластичности первого и второго рода можно определить экспериментальным путем [8]. Для решения задачи в такой постановке примем допущение, что деформация выделенного участка проходит в условиях простого нагружения и является монотонной. Выражения для определения компонент тензора деформации рассматриваемого тела ABDE имеет вид:

$$\begin{cases} \varepsilon_z = \frac{1}{E} \left[ P \left( \frac{r_M}{r_l} \right)^{f_v} - \xi P - \beta \sigma_s \ln(r_l) + \beta \sigma_s \ln(r_M) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \right] \\ \varepsilon_r = \frac{1}{E} \left[ \frac{1}{2} \xi P + \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_l) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_M) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s - \frac{1}{2} P \left( \frac{r_M}{r_l} \right)^{f_v} \right] \\ \varepsilon_\theta = \frac{1}{E} \left[ \frac{1}{2} \xi P + \beta \sigma_s + \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_l) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_M) - \frac{1}{2} P \left( \frac{r_M}{r_l} \right)^{f_v} \right] \end{cases}$$

Интенсивность деформации можно определить по известной формуле [8], при условии  $\varepsilon_1 = \varepsilon_z, \varepsilon_2 = \varepsilon_r, \varepsilon_3 = \varepsilon_\theta$ . В итоге выражение будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i^{ABDE} = & \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\left[ \frac{1}{E'} \left[ P \left( \frac{r_m}{r_l} \right)^{f_v} - \xi P - \beta \sigma_s \ln(r_l) + \beta \sigma_s \ln(r_m) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \right] - \right.} \\ & \left. - \frac{1}{E'} \left[ \frac{1}{2} \xi P + \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_l) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_m) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s - \frac{1}{2} P \left( \frac{r_m}{r_l} \right)^{f_v} \right] \right]^2} + \\ & + \left[ \frac{1}{E'} \left[ \frac{1}{2} \xi P + \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_l) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_m) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s - \frac{1}{2} P \left( \frac{r_m}{r_l} \right)^{f_v} \right] - \right. \\ & \left. - \frac{1}{E'} \left[ \frac{1}{2} \xi P + \beta \sigma_s + \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_l) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_m) - \frac{1}{2} P \left( \frac{r_m}{r_l} \right)^{f_v} \right] \right]^2} + \\ & + \left[ \frac{1}{E'} \left[ \frac{1}{2} \xi P + \beta \sigma_s + \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_l) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \ln(r_m) - \frac{1}{2} P \left( \frac{r_m}{r_l} \right)^{f_v} \right] - \right. \\ & \left. - \frac{1}{E'} \left[ P \left( \frac{r_m}{r_l} \right)^{f_v} - \xi P - \beta \sigma_s \ln(r_l) + \beta \sigma_s \ln(r_m) - \frac{1}{2} \beta \sigma_s \right] \right]^2} \end{aligned}$$

Таким образом, полученные выражения для расчета компонент тензора деформации тела ABDE и ее интенсивности необходимы для прогнозирования прочностных свойств соединения частиц дискретной среды при их контактировании в процессе холодной пластической деформации [9,10]. Основными определяющими параметрами, влияющими на величину деформации, являются свойства материала  $\sigma_s, E', \xi$ , внешнее прикладываемое давление  $P$ , а также размеры частиц дискретной металлической среды, то есть ее гранулометрический состав.

#### Список литературы

1. Гун Г.С., Мезин И.Ю. Теоретические и технологические принципы производства порошковых композиционных материалов консолидацией под действием внешних силовых факторов // Цветные металлы. 2001. № 4. С. 78.
2. Гун Г.С., Мезин И.Ю., Рубин Г.Ш., Минаев А.А., Назайбеков А.Б., Дья Х. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 92-96.
3. Гун Г.С., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г., Чу-

кин М.В., Гун И.Г., Рубин Г.Ш. Научно-педагогическая школа магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производственных процессов. // Качество в обработке материалов. 2014. № 1 (1). С. 5-9.

4. Самсонов Г.В. Электронная теория спекания. // Теория и технология спекания: Киев: Наук. думка, 1974.- С. 10-25.

5. Красулин Ю. Л. Взаимодействие металла с полупроводником в твердой фазе. М., "Наука", 1971, 119 с. с ил.

6. Бальшин М. Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. М.: Металлургия, 1972. 336 с.

7. Григорьев А. К., Рудской А. И. Пластическая деформация пористых материалов. - Л.: ЛДНТП, 1989. - 28 с.

8. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб.- М: Металлургия, 1978, 360с.

9. Мезин И.Ю. Формирование металлоизделий из структурно-неоднородных материалов: Монография. - Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000.-155 с.

10. Получение порошковых материалов и изделий. / Гостев А.А., Гун Г.С., Мезин И.Ю., Козодаев Е.Г., Тимошенко И.Ф., Гун И.Г. - Магнитогорск: МПП, 1993. - 112 с.

УДК 656.2:658.562

Цыганов А.В.

### ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА КОНТРЕЙЛЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

**Аннотация.** В статье приводится систематизированный комплекс параметров, формирующих качество процесса контрейлерных перевозок. В основе систематизации находятся положения теории квалиметрии, рассматривающей вопросы управления качеством продукции и процессов. При структурировании параметров использован принцип развёртывания функции качества, заключающийся в декомпозиции качества до уровня технологических операций. Представление полученной системы взаимосвязей параметров в виде иерархии позволяет применение метода анализа иерархий для определения степени влияния параметров на итоговое качество процесса.

**Ключевые слова:** транспорт, контрейлер, контрейлерная перевозка, услуга транспортная, качество процесса, иерархическая декомпозиция качества, метод анализа иерархий

В мировой практике контрейлерные перевозки применяются со второй половины XX века. Зарубежными странами, в которых они получили наибольшее распространение, являются США, Канада, Австралия и страны Евросоюза [1-4]. В результате их применения решается актуальная на сегодняшний момент задача формирования чистых экологических систем – «зелёных технологий», снижающих негативное воздействие транспорта на окружающую среду. Предусматривается, что основную часть пути, автомобильные транспортные средства перемещаются по железной дороге, путём их размещения на железнодорожном подвижном составе [1, 4]. Транспортные средства могут быть представлены одиночными бортовыми автомобилями, автопоездами, полуприцепами и прицепами, обобщённо именуемые контрейлерами [5].

В настоящее время в Российской Федерации ведётся активная работа по внедрению данной транспортной технологии, обеспечивающей современное взаимодействие автомобильного и железнодорожного видов транспорта. Реализация технологии способна повысить качество транспортных услуг и увеличить загрузку транспортных коридоров страны. Основным заинтересованным субъектом является ПАО «РЖД», поскольку это позволит увеличить объёмы перевозок грузов по железным дорогам. Для любой крупной компании всегда приоритетно обеспечение высокого качества предоставляемых услуг. Запуск данных перевозок в России ограничивается слабой проработкой комплекса вопросов: технических, тех-

нологических, организационных, экономических и нормативно-правовых [1-3].

Группа нормативно-правовых вопросов, подлежащих решению, включает также необходимость разработки нормативных документов, содержащих номенклатуру показателей качества контрейлерных перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом в международных, дальних и местных сообщениях. Согласно ГОСТ 30595-97 порядок выбора номенклатуры показателей качества предусматривает, в том числе, определение:

- наименования (содержания) транспортной услуги;
- исходной номенклатуры групп показателей качества;
- цели применения номенклатуры показателей качества.

Поскольку контрейлер, как и находящийся в нём груз, является для железной дороги объектом транспортной услуги, необходимо уточнение содержания данного понятия, определённого стандартом [6]. В данном случае под качеством транспортной услуги следует понимать совокупность характеристик, определяющих их пригодность удовлетворять потребности грузовладельцев в перевозках контрейлеров и работах, связанных с их перемещением. Количественная характеристика одного или нескольких потребительских свойств услуги, составляющих её качество, называется показателем качества транспортной услуги [6]. Совокупность характеристик формирует систему показателей качества транспортной услуги.

Предлагается для оценки и нормирования качества железнодорожных контрейлер-

ных перевозок использовать следующие характеристики качества: своевременность, сохранность, экономичность [6, 7]. Сохранность перевозки является характеристикой транспортной услуги, обуславливающей перевозку контейнеров без потерь, повреждений, пропав и загрязнений. Своевременность доставки – обуславливает прибытие контейнеров в ко-

нечный пункт в соответствии с установленным договором сроком. Экономичность доставки – обуславливает перевозку контейнеров с минимумом транспортных затрат. Номенклатура групп показателей качества приведена на **рис. 1**.



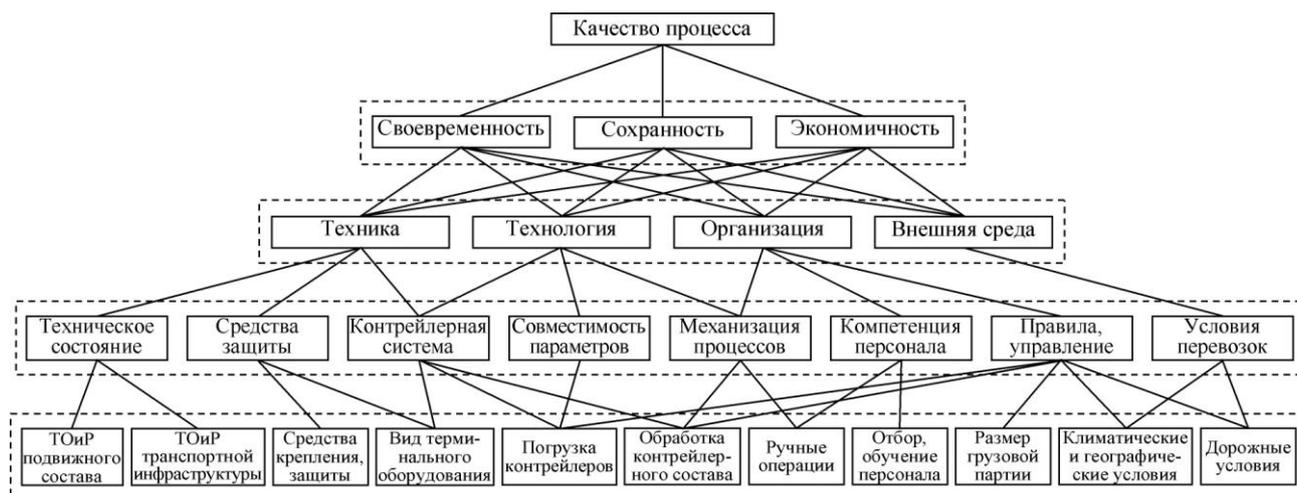
**Рис. 1. Система показателей качества контейнерных перевозок**

Цели применения номенклатуры показателей качества определяются в соответствии с задачами управления качеством. Возможными целями применения номенклатуры показателей качества может быть установление номенклатуры показателей качества перевозок контейнеров для:

- включения в национальные стандарты и стандарты организаций, а также в правила перевозок контейнеров автомобильным и железнодорожным видами транспорта;
- проведение работ по разработке и внедрению систем управления качеством транспортных услуг;
- проведения научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ, направленных на повышение качества транспортных услуг и эффективности перевозочного процесса;

- включения в условия договорных обязательств.

Обеспечение и повышение качества осуществляется путём управления параметрами, влияющими и формирующими качество процесса железнодорожных контейнерных перевозок. Причём данные параметры могут по-разному влиять друг на друга и в разной степени определять конкретные показатели качества [8-14]. В данной работе для выявления и структурирования параметров использован принцип развёртывания функции качества, заключающийся в декомпозиции качества до уровня технологических операций [15]. В его основе находится иерархическое отображение организации взаимосвязей показателей качества процесса, его характеристик и технологических операций (**рис. 2**).



**Рис. 2. Вид иерархической декомпозиции параметров качества процесса контрейлерных перевозок**

Анализируя приведённую структуру, следует отметить следующее:

1. Показатели качества могут иметь разную значимость для грузовладельцев.
2. Один параметр может определять несколько показателей качества.
3. Параметр может в разной степени влиять на несколько показателей качества.

Для оценки значимости параметров с точки зрения их влияния на итоговое качество процесса контрейлерных перевозок при развёртывании функции качества путём её иерархической декомпозиции предлагается использовать метод анализа иерархий [16]. Данный метод позволяет на каждом уровне иерархии оценивать её параметры (элементы, факторы) относительно итогового качества процесса. В результате рассчитывается глобальный приоритет каждого параметра с точки зрения его влияния на итоговое качество процесса, т.е. его значимость по сравнению с другими на рассматриваемом уровне иерархии. Оценка значимости параметров позволяет в дальнейшем провести их ранжирование для выявления критических параметров качества процесса.

#### Список литературы

1. Холопов К.В. Зарубежный опыт и направления развития международных контрейлерных перевозок в России // Российский внешнеэкономический вестник. 2011. №9. С. 101-109.
2. Багинова В.В., Кузьмин Д.В. Особенности развития контрейлерных перевозок в России // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №4. С. 49-52.
3. Федорина А.В., Цыганов А.В. Комплексный подход к внедрению контрейлерных перевозок

в России // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2015. №1(6). С. 21-28.

4. Скорченко М.Ю. Зарубежный опыт организации регулярного контрейлерного сообщения // Транспортные системы и технологии. 2018. Т.4. №1. С. 19-42.

5. Федорина А.В., Осинцев Н.А., Цыганов А.В. Обоснование выбора подвижного состава при организации контрейлерных перевозок // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 74-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. Т.1. С. 29-31.

6. ГОСТ 30596-97. Услуги транспортные. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.

7. ГОСТ 30595-97. Услуги транспортные. Грузовые перевозки. Номенклатура показателей качества. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997.

8. Цыганов А.В. Факторы качества процесса перевозки контрейлеров // Инженерный вестник Дона. 2018. №4(51). Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5357>.

9. Цыганов А.В. Повышение эффективности использования карьерного транспорта за счет управления компетенцией персонала / А.В. Цыганов, Н.А. Осинцев, М.В. Здунов, И.В. Каблуков // Материалы 62 НТК по итогам НИР за 2002-2003 гг. – Магнитогорск: МГТУ, 2003. С. 176-178.

10. Цыганов А.В. Формирование технологических схем безопасной работы карьеров: монография / А.В. Цыганов, Н.А. Осинцев, С.Е. Гавришев, А.Н. Рахмангулов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 166 с.

11. Каширцева Т.И. Грузоведение: учебник для специалистов / Н.Е. Лысенко, Т.В. Демянкова, Т.И. Каширцева – М.: УМЦ ЖДТ, 2013. – 344 с.

12. Цыганов А.В. Грузоведение: транспортная характеристика грузов: практикум / А.В. Цыганов – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2018. – 87 с.

13. Корнилов С.Н. Организация перевозок и управление на транспорте. Техника. Т.2. Ч.1: учебное пособие / С.Н. Корнилов, Н.А. Осинцев, А.В. Цыганов, А.Н. Рахмангулов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 252 с.

14. Цыганов А.В. Оценка эксплуатации автомобильного транспорта при контрейлерных пе-

ревозках грузов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. Т.2. С. 66.

15. Михайловский И.А., Гун Е.И. Учёт технологических рисков при анализе качества продукции путём иерархической декомпозиции качества // Качество в обработке материалов. 2014. №2. С. 33-38.

16. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

УДК 504.064

Очкова Е.А., Ксаткина Е.Г., Сомова Ю.В.

### ПРИОРИТЕТЫ ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В ОРГАНИЗАЦИЯХ, РАБОТАЮЩИХ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

**Аннотация.** В статье рассматривается внедрение системы экологического менеджмента в организациях работающих в сфере обращения с отходами. Данная тема актуальна с внедрением природоохранного законодательства и вводом Региональных операторов по работе с отходами.

**Ключевые слова:** экологический менеджмент, экологическая политика, объекты негативного воздействия на окружающую среду, региональный оператор по работе с отходами, обращение с отходами.

Обращение с отходами – это деятельность по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов [1].

Деятельность по обращению с отходами в последние годы развивается с молниеносной силой, так же, как и «мусорные реформы», которым на уровне правительства уделяется огромное внимание. Новшества трудно не заметить: внедряется раздельный сбор мусора, вводятся региональные операторы по обращению с твердыми коммунальными отходами (далее – ТКО), ликвидируются несанкционированные свалки, осуществляется внедрение обработки (сортировка), сжигания мусора, с целью извлечения полезных компонентов и уменьшения вреда окружающей среде при захоронении отходов на полигонах. Тем самым, работа с отходами, так или иначе, несмотря на все приоритетные развития законодательных актов в данной сфере, относится к одной из категорий воздействия на окружающую среду. А предприятия, осуществляющие работу с отходами,

должны нести ответственность за причиненный вред окружающей среде, выполнять и планировать все мероприятия по защите природы, в чем им может помочь внедрение системы экологического менеджмента (далее – СЭМ).

В сложившейся обстановке, предприятиям, занимающимся отходами, просто необходима концепция, методика и принципы управления природопользованием. Актуальность этого вопроса очень велика и стоит под контролем государства.

Экологический менеджмент представляет собой фактор гарантии экологической ответственности предприятия, являясь частью системы управления предприятием. Цель экологического менеджмента - создание четкой общей организационной структуры в компании, которая позволит реализовывать программы по охране окружающей среды и соответствовать экологическим нормативам.

Внедренная система экологического менеджмента на предприятии в соответствии со

стандартами ГОСТ Р ИСО 14001 (ISO 14001) позволяет предприятиям [2]:

- улучшить контроль и управление значимыми экологическими аспектами (например - выбросы в атмосферу, переработка отходов, использование природных ресурсов);

- снизить риски и связанные с ними возможные потери, в том числе экологические платежи и штрафные санкции;

- уменьшить количество аварий и финансовых затрат на возможную ликвидацию последствий;

- упростить получение различных лицензий и разрешений;

- улучшить репутацию компании в глазах клиентов, партнеров, инвесторов, акционеров и прочих заинтересованных сторон.

Региональный оператор по обращению с твердыми коммунальными отходами (далее – региональный оператор) - оператор по обращению с твердыми коммунальными отходами - юридическое лицо, которое обязано заключить договор на оказание услуг по обращению с твердыми коммунальными отходами с собственником твердых коммунальных отходов, которые образуются и места, накопления которых находятся в зоне деятельности регионального оператора [1].

До 01.05.2018 г. во всех субъектах РФ должна была завершиться процедура выбора региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами [1]. Закон о выборе регионального оператора был введен ранее, поэтому уже с 2017 года стали появляться региональные операторы. Каждый Региональный оператор утверждает в единый тариф на услугу по обращению с ТКО. Тарифы вирируются от 150 до 700 руб. на человека или кубический метр, в зависимости от региона, но сумма существенно отличается от тарифа, который ранее взимался за вывоз мусора и составлял не более 100 руб. Тем самым потребители итак негативно относятся к такой реформаторской деятельности, не понимая, что в тариф включается не только вывоз мусора, а еще и плата за негативное воздействие на окружающую среду (далее - НВОС) при размещении ТКО, внедрение раздельного сбора ТКО, усовершенствованные контейнеры, мусоросортировочные комплексы, мусоровозы с различными способами загрузки и т.д. При разработке Экологического менеджмента на

подобных предприятиях, и правильного его доведения до общественных масс, есть вероятность того, что потребители увидят полезность работы данных организаций. Это поможет так же и самому переходу на раздельный сбор мусора, так как экологическая грамотность населения недостаточно развита, а с помощью экологической политики, разработанной в разделе экологического менеджмента, и опубликованной как девиз организации, она будет только способствовать продвижению работы организаций по обращению с отходами. Ведь все эти реформы нацелены в конечном результате получить безотходное производство, уменьшить тарифы. Мусор будет уменьшаться за счет того, что отходы будут разделяться по категориям, забираться отдельно и возвращаться на производство. А жители будут даже получать с этого некоторое финансирование.

Экологический менеджмент, как ничто иначе, создаст целую картину работы предприятия по обращению с отходами, нацеленную на полное внедрение мусорной реформы с исходом уменьшения негативного влияния на окружающую среду.

При внедрении экологического менеджмента организация получает приоритет в социальной, экономической и экологической сфере (рис.1).

Экономический эффект будет виден в уменьшении затрат на плату за НВОС, в росте прибыли от обработки отходов. Несмотря на изменения конъюнктуры рынка, и приоритетов в заключение договоров на вывоз отходом именно с Региональными операторами, экологический менеджмент помогает выйти на лидирующие позиции в конкурентной борьбе. Это лидерство будет видно, как при выборе Регионального оператора, так и при заключении договоров с контрагентами. Закон обязывает заключать договора на вывоз ТКО только с Региональными операторами, но зачастую они занимаются не только вывозом ТКО, но и вывозом производственных отходов, а тут вступает вновь конкурентная борьба. А при выборе регионального оператора осуществляется конкурсный отбор, в котором, конечно, в приоритете будет организация, продвигающая уменьшение экологической нагрузки на экосистемы.



**Рис. 1. Приоритеты внедрения экологического менеджмента в организациях, занимающихся обращением с отходами**

Немаловажная часть работы организаций, работающих с отходами, - взаимодействие с государственными органами: Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор), министерство экологии, федеральной службе по надзору в сфере защиты прав Потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор). Данные органы являются контролирующими, контакты с ними проходят в ходе плановых и внеплановых проверок, утверждения документации, сдачи отчетности. Таким образом, улучшения с ними отношений, пойдет только на пользу развитию организации по обращению с отходами. А расположенность государственных органов поможет успешно получить все разрешительные документы (разрешение на выбросы, сбросы и т.д.), сдать отчетность. Так же такая связь поможет в решении возникающих спорных вопросах по вопросам экологии, санитарно-эпидемиологическом благополучии.

Сильное мотивационное влияние на людей оказывает финансовый фактор, а так же в

силу нарастающей экологической грамотности, то еще и организации, работающие по экологическим нормам. Таким образом, с помощью экологического менеджмента изменится внешняя среда организации внедрившей его.

Нами был проведен на просторах социальных сетей опрос респондентов Челябинской области по вопросам (**рис. 2-4**):

1. Что является наиболее важным при выборе организации?

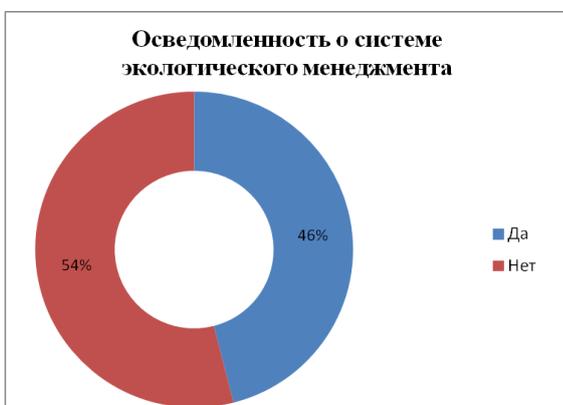
2. Знаете ли вы о системе экологического менеджмента?

3. Насколько вы готовы платить больше за выбор организации, работающей по экологическим стандартам?

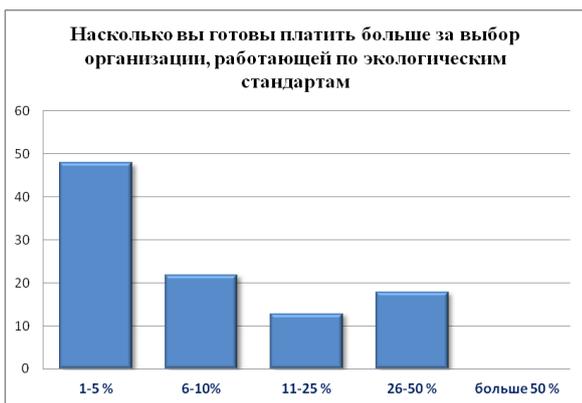
Исходя из опросов, можно сделать вывод, что население благоприятно относится к внедрению экологических реформ и хотели бы видеть такие организации. С годами количество таких желающих будет расти, а значит будет расти и имидж компании, а следствие – развитие успешной деятельности организации.



**Рис. 2. Результаты опроса респондентов по вопросу приоритетов при выборе организации**



**Рис. 3. Результаты опроса респондентов по вопросу осведомленности о системе экологического менеджмента**



**Рис. 4. Результаты опроса респондентов по вопросу готовности платить больше за выбор организации, работающей по экологическим стандартам.**

Неотъемлемой частью экологического менеджмента является экологическая политика [3, 4]. Для большей эффективности она должна

быть вседоступная. Политика является основой для постановки целей по улучшению качества работы организации, уменьшения выбросов и отходов, а также в части применения ресурсов и материалов. Так же политика становится гарантией руководства, что оно берет на себя ответственность за воздействие на окружающую среду.

Исходя из ГОСТ Р ИСО 14001-2016 [3] требования к системе экологического менеджмента по содержанию состоят из: среды обитания, лидерства (входит экологическая политика), планирования, средств обеспечения, организация деятельности, оценка результатов деятельности, контроля( внутренний аудит) , улучшения (табл. 1).

**Таблица 1  
Содержание модели СЭМ, согласно ГОСТ Р ИСО 14001-2016**

Требования СЭМ	Краткое содержание
Среда обитания	Экологические условия, на которые влияет организация, или которые способны повлиять на нее. Область применения СЭМ
Лидерство (Экологическая политика)	Приоритеты и ориентиры экологической деятельности предприятия Функции, ответственность и полномочия в организации
Планирование	Цели и задачи по предприятию и подразделениям, перечень экологических мероприятий
Средства обеспечения	Оценка ресурсов Создание обмена информацией Управление документированной информацией
Организация деятельности	Планирование и управление деятельностью Готовность к аварийным и другим нештатным ситуациям и ответные действия
Оценка результатов деятельности	Мониторинг экологических изменений Внутренний аудит Оценка работы системы экологического менеджмента Разработка предложений по совершенствованию системы и корректировке экологической политики
Улучшение	Исходя из результатов контроля организация должна постоянно улучшать пригодность, адекватность и результативность СЭМ для улучшения экологических результатов деятельности

Таким образом, как видно из модели СЭМ, при внедрении СЭМ в организации, получится комплексная картинка управления экологической деятельностью. Рассмотрим непосредственно на организации занимающейся отходами (рис. 5).

Подводя итоги, можно отметить, что внедрение СЭМ помогает решать проблемы охраны окружающей среды, в частности и рационального природопользования, в целом, уменьшать потребление сырья материалов, энергии, минимизирует НВОС, способствует внедрению способов повторного использования ресурсов, переработки, утилизации отходов. Такая деятельность должна быть внедрена на всех предприятиях, занимающихся деятельностью по обращению с отходами, с целью их экологизации.

### Список литературы:

1. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 29.07.2018) «Об отходах производства и потребления»
2. Козицын А.А. Комплексное управление отходами на предприятии. Екатеринбург, 2002. 196 с.
3. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению
4. Маврина Е.А., Касаткина Е.Г., Сомова Ю.В., Ходакова Е. Е. Внедрение экологического менеджмента на предприятиях, имеющих объекты негативного воздействия на окружающую среду // Качество в обработке материалов. 2017. №2 (8). С. 30-32.
5. Пашков Е.В., Фомин Г.С. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления. М., 2009. 96 с.

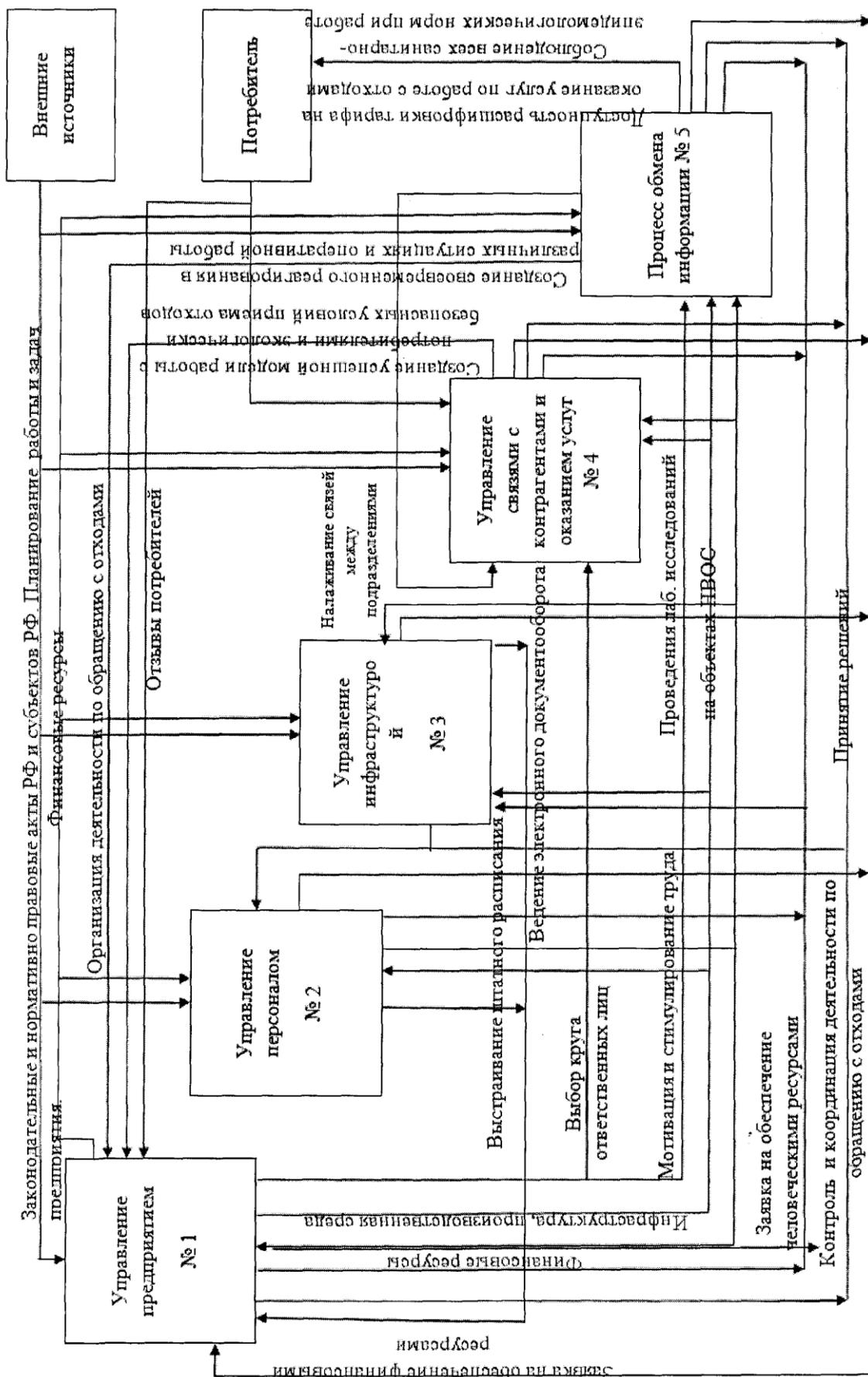


Рис. 5. Модель организации, занимающиеся деятельностью по обращению с отходами

УДК 331.462:669.1  
Перятинский А.Ю.

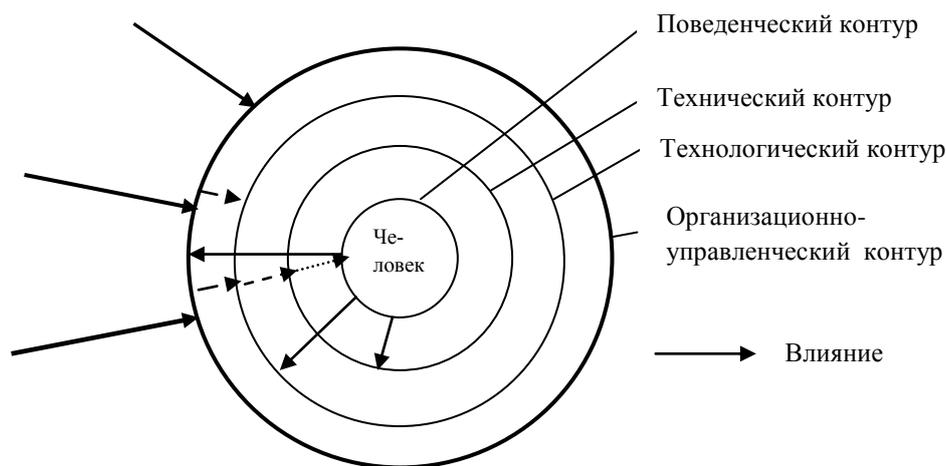
## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ПЕРСОНАЛА НА НАДЕЖНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В МЕТАЛЛУРГИИ

**Аннотация:** В работе приведены контуры безопасности как модель надежной защиты персонала от опасных и вредных производственных факторов. Рассмотрены принципы категорирования персонала. Представлено взаимодействие персонала различных категорий с контурами безопасности. Показана структурная схема вероятности наступления несчастного случая при выполнении работ работниками различных категорий.

**Ключевые слова:** контуры безопасности, категорирование персонала, вероятность, несчастный случай.

Надежное обеспечение безопасности труда работника, это сложная проблема, включающая в себя множество аспектов. В Научно-исследовательском институте безопасности горного производства ООО «НИИОГР» г. Челябинск, предложена модель надежного обеспечения безопасности производства, которая заключается в формировании контуров защиты

(организационно-управленческого, поведенческого, технического, технологического), каждый из которых обладает потенциалом защиты персонала с вероятностью близкой к единице. Предложенная модель была переработана (рис. 1) и предложено новое её видение. Каждый из контуров обладает определенным уровнем защиты.

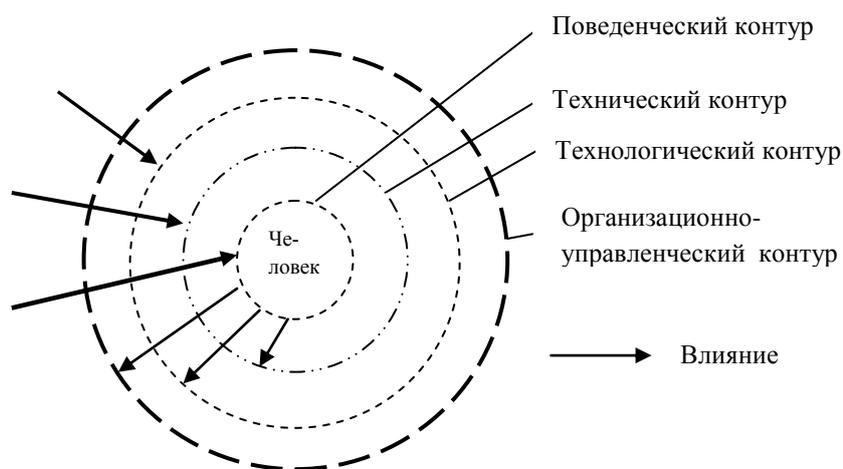


**Рис.1. Модель взаимного влияния контуров защиты с окружающей средой**

Самым эффективным является внешний – организационно-управленческий контур, способный не допустить воздействие большинства негативных факторов на человека. Остальные контуры имеют меньший защитный потенциал, снижающийся по мере приближения к центру. Сочетание четырех контуров позволяет защитить персонал от подавляющего большинства негативных воздействий. Превышение интенсивности воздействия

внешнего фактора над защитными свойствами контуров может привести к негативному воздействию – контуры могут быть пробиты.

Контуры защиты могут быть азрывы. Через разрывы контуров защиты на человека могут действовать опасные и вредные производственные факторы. Разрывы в контурах могут изменяться во времени или быть неизменными (рис. 2).



**Рис. 2. Модель взаимодействия защитных контуров с разрывами с окружающей средой**

Совпадение разрывов в контурах, при одновременном воздействии высокоинтенсивного опасного или вредного производственного фактора, может привести к негативным последствиям. В таких случаях важным становятся действия персонала направленные на исправление данной ситуации [2].

В ситуации отклонения технологического процесса от штатного режима работы, персонал ведет себя по-разному, и в одном случае их действия могут не допустить развитие ситуации по негативному сценарию, в другом, события будут развиваться по самому негативному сценарию. Это связано с различной квалификацией персонала и отношением к безопасности труда.

Оценить производственный персонал с точки зрения приспособленности к поддержанию безопасности труда можно, разделив их на категории [1]:

- категория А – способен надежно контролировать производственную ситуацию и постоянно повышать уровень безопасности производства (снижать уровень риска)

- категория В – способен обеспечивать приемлемый уровень риска. Самостоятельно и частично контролировать действия работников категории С;

- категория С – способен обеспечивать приемлемый уровень риска только под постоянным контролем;

- внекатегорийный персонал – не способен обеспечивать приемлемый уровень риска. Подлежит переобучению, перемещению или увольнению независимо от стажа и должности.

Персонал разных категорий с различной вероятностью способен идентифицировать опасности, оценивать риски, принимать правильные решения, реализовать их за период времени меньший, чем потребуется для реализации опасности [3].

Способность персонала различных категорий поддерживать безопасные условия труда в ситуации разрыва в контурах защиты представлено в **табл.1**.

**Табл. 1** можно представить в виде матрицы и упрощенно показать какое влияние могут оказать работники различных категорий на ситуацию разрыва контура защиты **табл. 2**.

Модель поведения персонала различных категорий при взаимодействии с контурами защиты представлена на **рис. 3**.

Таблица 1

Взаимодействие различных категорий персонала с разрывами в контурах защиты

Категории персонала	Поведенческий контур	Технический контур	Технологический контур	Организационно-управленческий контур
<p>А</p> <p>Способен надежно контролировать производственную ситуацию и постоянно повышать уровень безопасности производства</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выполняет работу строго по регламенту;</li> <li>- берет под непосредственный контроль операции выполняемые работниками с нарушением ПБ;</li> <li>- доводит до сведения работников, о недопустимости выполнения операций с нарушением ПБ;</li> <li>- рекомендует бригадиру провести обучение работников по правилам ПБ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сообщает бригадиру о неисправности или недостаточности мер защиты;</li> <li>- приступает к работе после замены или ремонта средств защиты;</li> <li>- постоянно контролирует исправность СКЗ и СИЗ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сообщает бригадиру о нарушении или отклонении технологического процесса;</li> <li>- сообщает бригадиру о неисправности оборудования;</li> <li>- продолжает работу после нормализации режима работы технолог. процесса</li> <li>- при влиянии на технологический процесс внешних факторов, принимает решение о внесении в технологию управляющих действий направленных на снижение риска негативных событий (например, изменить режим работы, снизить скорость, прекратить работу)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сообщает бригадиру о небезопасной организации работ со стороны управленческого контура;</li> <li>- организует работу на основании нормативно-технической документации, предписывающей действия при ведении работ с повышенным риском;</li> <li>- при невозможности организовать безопасное ведение работ, прекращает работы и требует разработать и довести до работников меры по обеспечению безопасности при ведении работ.</li> </ul>
<p>В</p> <p>Способен обеспечивать приемлемый уровень риска самостоятельно и частично контролировать действия работников категории С</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выполняет работу, регламентируя основные операции;</li> <li>- контролирует действия работников по наиболее опасным операциям;</li> <li>- указывает работникам на грубые ошибки при выполнении работ;</li> <li>- не всегда доводит информацию об опасном выполнении работ до бригадира.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- способен самостоятельно контролировать исправность основных СКЗ и СИЗ;</li> <li>- сообщает бригадиру о неисправности основных средств защиты;</li> <li>- периодически контролирует исправность основных средств защиты.</li> <li>- не приступает к работе при неисправных СИЗ и СКЗ в значительной мере влияющих на безопасность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>сообщает бригадиру о нарушении или значительном отклонении технологического процесса;</li> <li>- сообщает бригадиру о неисправности основного оборудования;</li> <li>- продолжает работу после нормализации режима работы технолог. процесса;</li> <li>- при влиянии на технологический процесс внешних факторов, вносит в технологический процесс управляющие действия направленных на снижение риска негативных событий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сообщает бригадиру о значительных просчетах при организации работ со стороны управленческого контура;</li> <li>- организует работу на основании нормативно-технической документации, предписывающей действия при ведении работ с повышенным риском;</li> <li>- при невозможности организовать безопасное ведение работ, приостанавливает деятельность и требует увеличить время необходимое для выполнения данной работы.</li> </ul>

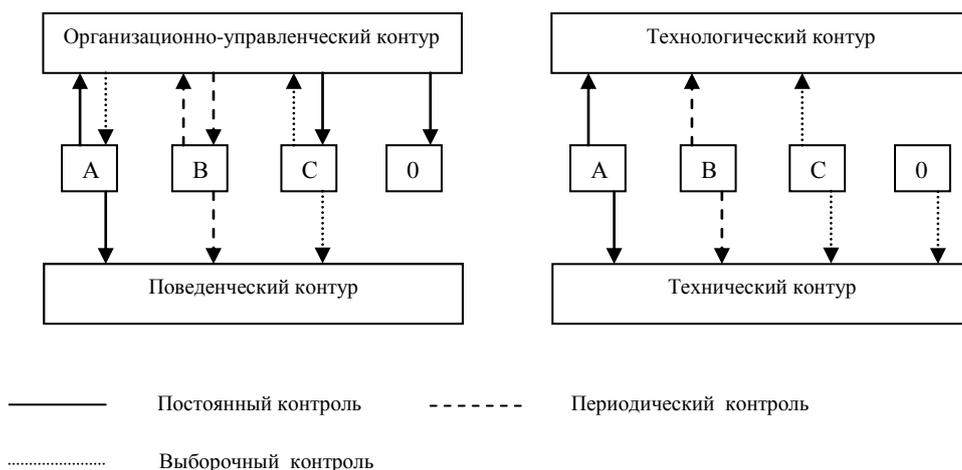
Продолжение табл. 1

Категории персонала		Поведенческий контур	Технический контур	Технологический контур	Организационно-управленческий контур
С	Способен обеспечивать приемлемый уровень риска только под постоянным контролем	- без внешнего контроля выполняет по регламенту только наиболее опасные работы; - не контролирует действия других работников; - склонен скрывать информацию о нарушениях регламента при проведении работ	- не всегда способен самостоятельно оценить исправность СКЗ; - сообщает бригадире о неисправности основных СИЗ; - периодически контролирует исправность СИЗ. - может выполнять работу при неисправных СИЗ и СКЗ.	- сообщает бригадире преимущественно о значительном отклонении технологического процесса; - сообщает бригадире об отказах оборудования; - продолжает работу в периоды отклонения от нормального режима работы технологического процесса; - при влиянии на технологический процесс внешних факторов, зачастую не вносит в технологический процесс корректирующих действий направленных на снижение риска негативных событий.	- не способен идентифицировать большинство разрывов в контуре; - при выполнении работы часто от требований снования нормативно-технической документации; - при невозможности организовать безопасное ведение работ, прекратить работы и потребует разработать дополнительные меры по обеспечению безопасности при ведении работ.
0	Не способен обеспечивать приемлемый уровень риска. Подлежит переобучению или увольнению	- выполняет операции не по регламенту; - без внешнего контроля ведет работы с нарушением правил ПБ; - не знает правил и не способен оценить риск своей деятельности.	- не способен идентифицировать большинство разрывов в техническом контуре; - способен не применять СКЗ и СИЗ при выполнении работ; - продолжает работу при неисправных и отсутствующих СИЗ и СКЗ.	- не способен идентифицировать большинство разрывов в контуре; - продолжает работу при отклонении технологического процесса и при неисправности технологического оборудования; - при воздействии внешних факторов негативно влияющих на процесс, не вносит управляющие действия для снижения уровня риска.	- не способен идентифицировать большинство разрывов в контуре; - организует работу на основании предшествующего опыта, без учета требований нормативной документации.

Таблица 2  
Влияние работников различных категорий на безопасность труда при разомкнутых контурах безопасности

Категории персонала	Поведенческий контур	Технический контур	Технологический контур	Организационно-управленческий контур
A	+	+	+	+
B	+ -	+ -	+ -	+ -
C	- +	- +	- +	- +
0	-	-	-	-

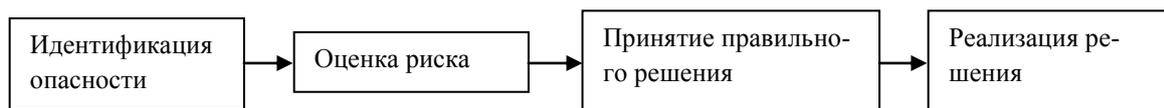
(+) – положительное; (+ -) – скорее положительное; (- +) – скорее отрицательное; (-) – отрицательное.



**Рис. 3. Взаимодействие работников различных категорий с контурами безопасности**

Персонал разных категорий способен с различной вероятностью идентифицировать опасности, оценивать их, принимать правильные решения и реализовать решение в крат-

чайшие сроки. Схема действия работников при возникновении опасности, приведена на **рис. 4.**



**Рис.4. Порядок действия персонала при возникновении опасности на рабочем месте**

Если совместить три события, разрыв в контуре защиты, порядок действия персонала и наличие травмирующего фактора можно с помощью теории вероятности и математической статистики определить шансы наступления негативного события [4]. Для этого необходимо составить дерево событий (**рис. 5**), и определить вероятность наступления несчастного случая в результате отказа всех контуров

защиты при выполнении работ работниками различных категорий.

Обозначения в структурной схеме дерева событий и вероятность наступления событий приведена в **табл. 3.**

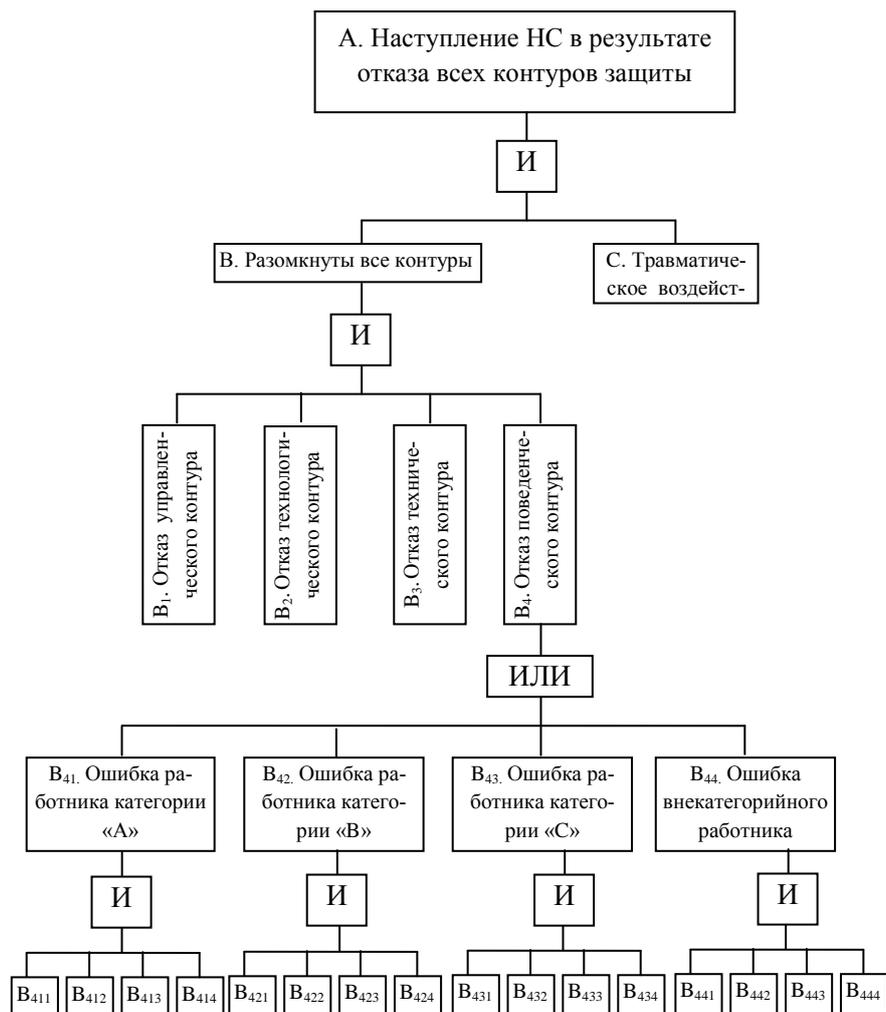


Рис. 5. Структурная схема наступления несчастного случая («дерево событий»).

Таблица 3

Исходные события «дерева событий»

Обозначение	Характер события	Вероятность (частота) события
С	Наступление травмирующего воздействия	0,5
В <sub>1</sub>	Управленческий контур разомкнут	0,1
В <sub>2</sub>	Технологического контур разомкнут	0,1
В <sub>3</sub>	Технический контур разомкнут	0,1
В <sub>411</sub>	Работник категории «А» не идентифицирует замкнуты или нет контуры защиты.	0,01
В <sub>412</sub>	Работник категории «А» не верно оценивает опасность реализации негативного события.	0,01
В <sub>413</sub>	Работник категории «А» принимает не верное решение.	0,01
В <sub>414</sub>	Работник категории «А» неэффективно реализует принятое решение.	0,01
В <sub>421</sub>	Работник категории «В» не идентифицирует замкнуты или нет контуры защиты.	0,05
В <sub>422</sub>	Работник категории «В» не верно оценивает опасность реализации негативного события.	0,05
В <sub>423</sub>	Работник категории «В» принимает не верное решение.	0,05

Продолжение табл. 3

Обозначение	Характер события	Вероятность (частота) события
V <sub>424</sub>	Работник категории «В» неэффективно реализует принятое решение.	0,05
V <sub>431</sub>	Работник категории «С» не идентифицирует замкнуты или нет контуры защиты.	0,1
V <sub>432</sub>	Работник категории «С» не верно оценивает опасность реализации негативного события.	0,1
V <sub>433</sub>	Работник категории «С» принимает не верное решение.	0,1
V <sub>434</sub>	Работник категории «С» неэффективно реализует принятое решение.	0,1
V <sub>441</sub>	Внекатегорийный работник не идентифицирует замкнуты или нет контуры защиты.	0,3
V <sub>442</sub>	Внекатегорийный работник не верно оценивает опасность реализации негативного события.	0,3
V <sub>443</sub>	Внекатегорийный работник принимает не верное решение.	0,3
V <sub>444</sub>	Внекатегорийный работник не эффективно реализует принятое решение.	0,3

Вероятность наступления несчастного случая в результате отказов всех контуров в зависимости от категории работника выпол-

няющего работу и осуществляющего взаимодействие с разомкнутыми контурами, описывается следующими выражениями:

$$V(НС "А") = 1 - (V(B_{411}) \cdot V(B_{412}) \cdot V(B_{413}) \cdot V(B_{414})) \cdot V(B_1) \cdot V(B_2) \cdot V(B_3) \cdot V(C);$$

$$V(НС "В") = 1 - (V(B_{421}) \cdot V(B_{422}) \cdot V(B_{423}) \cdot V(B_{424})) \cdot V(B_1) \cdot V(B_2) \cdot V(B_3) \cdot V(C);$$

$$V(НС "С") = 1 - (V(B_{431}) \cdot V(B_{432}) \cdot V(B_{433}) \cdot V(B_{434})) \cdot V(B_1) \cdot V(B_2) \cdot V(B_3) \cdot V(C);$$

$$V(НС "0") = 1 - (V(B_{441}) \cdot V(B_{442}) \cdot V(B_{443}) \cdot V(B_{444})) \cdot V(B_1) \cdot V(B_2) \cdot V(B_3) \cdot V(C);$$

где  $V(НС "А")$  - вероятность наступления несчастного случая с работником категории «А»;  $V(B_{411})$  – вероятность события  $B_{411}$ .

Данный подход позволяет оценивать вероятность наступления негативных событий в трудовом процессе при изменении квалификации работников и условий влияющих на изменение риска.

**Список литературы:**

1. Артемьев В.Б., Галкин В.А., Кравчук И.Л., Макаров А.М., Галкин А.В. Карта боя с опасными производственными ситуациями. Приложение №1 к практическому пособию «Безопасность производств (организационный аспект)». // Отдельная статья Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2015. - №5 (Специальный выпуск 21). – 40 с. М: Издательство «Горная книга». (Библиотека горного инженера – руководителя, Вып. 30).

2. Перятинский А.Ю. Нематериальное стимулирование безопасной трудовой деятельности // Теория и технология металлургического производства: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. В.М.Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Вып.10. – С. 170-173.

3. Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Волкова Е.А., Перятинский А.Ю., Сомова Ю.В. Обеспечение устойчивости откосов бортов карьеров с целью предупреждения аварий и чрезвычайных ситуаций // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. № 4. С. 5-10.

4. Перятинский А.Ю., Прошкина О.Б., Коновалова А.А. Надежность технических систем и техногенный риск: Учеб. пособие. Магнитогорск, ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 121 с.

ANNOTATION

**UDC 627.762**

**Atroshenko S. A. ANALYSIS OF THE QUALITY INDICATORS OF THE DRILLING TOOL OF DIFFERENT COMPANIES**

*Abstract.* In this paper, we analyzed the quality of the drilling and milling tools of the Japanese company MIYANAGA, the German KEIL, in comparison with the domestic company Tomsk Instrument.

*Keywords:* Core drill, Pareto chart, ranked competitiveness range

**UDC 669.716**

**Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Vafin R.K., Biryukova O.D. MODELING OF RESIDUAL STRESSES IN AMG6 ALUMINUM ALLOY SHEETS AFTER ASYMMETRIC ROLLING**

*Abstract.* The tensile residual stresses arising in the sheets after asymmetric rolling can cause the formation and growth of microcracks and lead to the destruction of the material being processed. In the work, on the basis of numerical simulation using the finite element method, the analysis of the distribution of residual stresses over the thickness of the strip (sheet) from AMg6 aluminum alloy after processing by cold asymmetric rolling with the different speeds of the work rolls, is performed. It is shown that the degree of mismatch of the peripheral speeds of the work rolls, as well as the geometric shape of the strip, which is formed due to the vertical bending, has the greatest influence on the formation of residual stresses. It was established that the level of residual tensile stresses is maximal after asymmetric rolling with  $\Delta V = 40\%$  and reaches 75 MPa, and minimal - at  $\Delta V = \varepsilon = 50\%$ , not exceeding 14 MPa.

*Keywords:* asymmetrical rolling; AMg6 aluminum alloy; residual stress; modeling; finite element method

**UDC 33**

**Zarutskaya A.O., Berezhnaya G.A. ENHANCEMENT OF THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF MMK-METIZ OJSC TO IMPROVE CLAIMS PROCESSING**

*Abstract.* The article defines two reasons for the claims of the gauged bars produced at the MMK-METIZ OJSC and specifies that the drawing is not the cause of their occurrence. Consequently, the only solution to emerging claims is to increase the degree of customer satisfaction. The paper describes the main stages of the implementation of the ISO 10002 standard in the production process of the enterprise, and determines the criteria for assessing the effectiveness of the claim management system.

*Keywords:* quality, gauged bars, claims, quality management system, effectiveness

**UDC 621.182.12:628.162**

**Ponurko I.V., Krylova S. A., Gorelova A. A., Davletkulova R. A, Akhmetovna A. K. THE POTENTIAL OF PHOSPHATIC COMPOSITION FOR "MAKE-UP" WATER CORRECTION IN HEAT AND POWER PLANTS**

*Abstract.* The quality of the water-chemical regime of the heat and power plant is provided through corrective treatment of "make-up" water by the double cation cleaning method. There is the loss of water through the use of water heating systems. This water is offset by "make-up" water from the heat and power plant, the quality of which often does not correspond to the sanitary standards. In emergency cases the water heating systems can be filled with ordinary fire fighting water, which can lead to shorten their service life through increasing of scaling and water corrosion activity. The purpose of the study was to explore the possibility of improving the quality of make-up water by introducing patented phosphatic solutions.

*Keywords:* make-up water, water correction, water heating systems, amount of scale formation, water corrosion activity, protective phosphatic composition

**UDC 669.046.511**

**Rubin G.Sh., Moskaleva E.A. ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF SMELTING STEEL 006/IF TO IDENTIFY THE HIGH CONTENT OF CARBON AND NITROGEN**

*Abstract.* The study of this work analyzes the smelting technology (converter, vacuum installation steel ladle furnace, MNLZ) steel class IF conditions for KKC PAO "MMK" and identify the causes of the high content of carbon and nitrogen in it. Selected samples of metal across the value chain and studies sam-

ples for carbon, nitrogen, sulfur, oxygen, non-metallic inclusions. Describes the control parameters to meet the quality of ultra low carbon steel.

**Keywords:** IF steel, analysis technology, in-liquid state processing, continuous casting, vacuum, ladle furnace

**UDC 658.562: 669.1**

**Shubin I.G., Shubina M.V. IMPROVING THE QUALITY OF THE MICROSTRUCTURE ESTIMATION OF A HIGH-CARBON WIRE ROD**

**Abstract.** The quality of high-carbon steel wire rod is characterized by operational characteristics, mainly the quantity of the mechanical properties. The level of mechanical properties is determined by the steel microstructure after the pressure treatment process. The microstructure of high carbon steel is estimated by the presence and the quantity of 1st grade grain pearlite. The used method permits an error to be made during the assessment and distorts the real quality level of the rod.

The presented results of the study allowed to offer a revised method for assessing the pearlite dispersion. The proposed method allows to reduce the magnitude of the error in the evaluation of the high-carbon steel wire rod microstructure, which contributes to the correct application of subsequent technological operations for its processing.

**Keywords:** microstructure, high carbon wire rod, view field, pearlite dispersion, quality indicator

**UDC 662.749.33:543.544**

**Smirnov A. N., Krylova S. A., Sysoev V. I., Nikiforova V. M., Zhusupova Z. S. CALIBRATION OF GAS CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS METHOD FOR THE IDENTIFICATION OF THE PRODUCTS OF CARBON CONTAINING MATERIALS PROCESSING OBTAINED USING IRON-MAGNESIAN OXIDE CATALYST**

**Abstract.** The article presents the results of the calibration of a gas-chromatography method with the aim of using it for the analysis of complex multi-component mixtures of hydrocarbons obtained in the result of the catalytic processing of carbon-containing materials. The calibration was carried out on the base of two calibration mixtures of hydrocarbons: a C8-C20 alkane standard solution and a QTM PAH (polynuclear aromatic hydrocarbons) Mix, which allowed us to quantitatively identify a number of compounds being the constituents of the products of the catalytic processing of coal tar on an iron-magnesian oxide catalyst and qualitatively identify the main components with the help of a retention index system.

**Keywords:** chromatographic method, standard hydrocarbon mixtures, retention indices, coal tar, catalytic processing, high-magnesian sideritic ores.

**UDC 621.762**

**Mezin I.Yu., Limarev A.S, Kasatkina E.G. FORMATION OF THE PROPERTIES OF ENGINEERING MATERIALS BY COLD PLASTIC DEFORMATION OF POROUS POWDER BLANKS**

**Abstract.** The article describes the concept of the formation of structurally inhomogeneous hardware by cold plastic deformation of porous blanks. The essence of the proposed concept lies in the consolidation of discrete media with various combinations of components in the solid phase under the action of external force factors at elevated values of the applied pressure. Within the framework of this concept, the operation of calibration, as a type of metal forming, which allows to obtain a product with exact dimensions and shape due to plastic deformation of its surface layers, is also proposed to be interpreted as a process of "material formation". That is, a process that promotes an increase in the surface and near-surface layers of the contact area between individual particles or conglomerates of sintered particles and the formation of a connection between the elements of the powder medium during cold plastic deformation. The article also provides an analysis of the VAT in the interaction of individual particles of the powder medium during its pressure treatment.

**Keywords:** porous powder material, stress-strain state, particle of plastic material, stress, deformation

**UDC 656.2:658.562**

**Tsyganov A.V. HIERARCHICAL DECOMPOSITION OF THE QUALITY OF PIGGYBACK TRANSPORTATION PROCESS**

**Abstract.** The article presents a systematic set of parameters affecting and shaping of the quality of piggyback transportation process. The systematization is based on the provisions of the qualimetry theory,

which deals with issues of product and process quality management. When structuring the parameters, the principle of deploying a quality function is used, this consists in decomposing quality to the level of technological operations. The representation of the obtained system of interrelations of parameters in the form of a hierarchy allows the use of a hierarchy analysis process to determine the degree of influence of parameters on the final quality of the process.

**Keywords:** transport, piggyback, piggyback traffic, transport service, process quality, hierarchical decomposition of the quality, Analytic Hierarchy Process.

### UDC 504.064

#### Ochkova E.A., Kasatkina E.G., Somova Y.V. THE PRIORITY IS THE USE OF ENVIRONMENTAL RESOURCES

**Abstract.** The article discusses the introduction of environmental management systems in organizations working in the field of waste management. This topic is relevant with the introduction of environmental legislation and the introduction of Regional operators for working with waste.

**Keywords:** ecological management, environmental policy, objects of negative impact on the environment, regional waste operator, waste management

### UDC 331.462:669.1

#### Peryatinsky A.U. INFLUENCE OF DIFFERENT PERSONAL CATEGORIES ON RELIABLE ENSURING OF SAFETY OF WORK IN METALLURGY

**Abstract.** The work presents safety contours as a model of reliable protection of personnel from dangerous and harmful production factors. Considered the principles of categorization of staff. The interaction of personnel of various categories with safety contours is presented. A block diagram of the probability of an accident occurring during the performance of work by employees of various categories is shown.

**Keywords:** safety contours, personnel categorization, probability, accident

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Атрошенко Светлана Алексеевна** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского государственного экономического университета. E-mail: satroshe@mail.ru.

**Ахметова Анастасия** - студент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.. E-mail: @mail.ru.

**Бережная Галина Андреевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. 8 (3519) 29-85-25. E-mail: galina\_1609@mail.ru.

**Бирюкова Олеся Дмитриевна** - аспирант кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», e-mail: fimarapationchik@inbox.ru .

**Вафин Руслан Каримович** - кандидат технических наук, инженер-исследователь НИС ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, e-mail: vafinrk@mail.ru.

**Горелова Анастасия Александровна** – студент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: belshenok\_2010@mail.ru.

**Давлеткулова Раушания Ахмтовна** – студент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: davletklova1997@mail.ru.

**Жусупова Жанар Серекпаевна** - студент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: 89512445186@yandex.ru

**Заруцкая Анна Олеговна** – магистрант кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. 8(912)321-6021. E-mail: dream13anna@yahoo.com.

**Касаткина Елена Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, E-mail: tssa@magtu.ru

**Крылова Светлана Александровна** – кандидат химических наук, доцент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: svkryl@mail.ru. Телефон: 8(3519)29-84-25.

**Лимарев Александр Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. (3519) 29-85-06, e-mail: aslimarev@mail.ru

**Мезин Игорь Юрьевич** – доктор технических наук, профессор, директор института Естественных и стандартизации, зав. кафедрой технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: mezinily@mail.ru.

**Москалева Екатерина Андреевна** – магистрант кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: Moscaewa95@yandex.ru

**Никифорова Валерия Максимовна** – студент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: blasphemera@mail.ru.

**Очкова Екатерина Александровна** – магистрант кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им.Г.И.Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: gymm73@mail.ru

**Песин Александр Моисеевич** - доктор технических наук, профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, тел.: 8(3519)29-85-25; e-mail: pesin@bk.ru

**Перятинский Алексей Юрьевич** - кандидат технических наук, заведующий кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет» им.Г.И.Носова», Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

**Понурко Ирина Витальевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: ironurko@mail.ru Телефон: 8(3519)29-84-25; +79030901360

**Пустовойтов Денис Олегович** - кандидат технических наук, доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. тел.: 8(3519)29-85-25; e-mail: pustovoitov\_den@mail.ru

**Рубин Геннадий Шмульевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: rubin@mgn.ru.

**Смирнов Андрей Николаевич** – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: smircost@yandex.ru Телефон: 8(3519)29-85-78.

**Сомова Юлия Васильевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет» им.Г.И.Носова», Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: yuliya.somova.82@mail.ru

**Сысоев Виктор Иванович** – ассистент кафедры физической химии и химической технологии Федерального ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: viktor.sysoev.86@yandex.ru . Телефон: 8(3519)29-85-78.

**Цыганов Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры логистики и управления транспортными системами ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: +7 (906) 899-10-15, E-mail: ciganov\_av@mail.ru.

**Шубин Игорь Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, e-mail: shubin64@mail.ru

**Шубина Марианна Вячеславовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38 ; e-mail: shubina\_mar@mail.ru

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Atroshenko Svetlana Alekseevna** – DSci, professor, St.-Petersburg State Economic University. E-mail: satroshe@mail.ru.

**Akhmetova Anastasiya** - student of Chemical Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38.

**Berezhnaya Galina Andreevna** – Ph.D., Associate Professor of the department Automobile Technology, Certification and Service, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: galina\_1609@mail.ru.

**Biryukova Olesya Dmitrievna** - Postgraduate Student of the department «Materials processing technologies», Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38, e-mail: fimapatisonchik@inbox.ru

**Vafin Ruslan Karimovich**, candidate of technical sciences, research engineer Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. e-mail: vafinrk@mail.ru

**Gorelova Anastasiya Aleksandrovna** – student of Chemical Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin prospect, the house 38, the city of Magnitogorsk, 455000, RU. E-mail: belshenok@mail.ru.

**Davletkulova Raushaniya Akhmetovna** – student of Chemical Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. E-mail: davletkulova1997@mail.ru.

**Zhusupova Zhanar Serepaevna** - student, Department of physical chemistry and chemical engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. E-mail: 89512445186@yandex.ru

**Zarutskaya Anna Olegovna** – Master student of department Automobile Technology, Certification and Service, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: 8(912)321-6021. E-mail: dream13anna@yahoo.com.

**Kasatkina Elena Gennad'evna** – Ph.D., Associate Professor of department Automobile Technology, Certification and Service, “Nosov Magnitogorsk State Technical University”. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: (3519)29-84-31, E-mail: tssa@magtu.ru

**Krylova Svetlana Alexandrovna** – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. E-mail: svkryl@mail.ru. Phone: 8(3519)29-84-25.

**Limarev Alexander Sergeevich** – PhD in engineering, Associate Professor, department of Automobile Technology, Certification and Service, “Nosov Magnitogorsk State Technical University”. Phone: (3519)29-84-31, e-mail: aslimarev@mail.ru.

**Mezin Igor Jurevich** – Prof., Dr. Sc., Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-84-31. E-mail: mezinyl@mail.ru.

**Moskalewa Ekaterina Andreevna** – master degree student of service and certification technology Institute of natural science and standardization, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation. Phone: 8(3519)29-85-73. E-mail: Moscaewa95@yandex.ru

**Nikiforova Valeriya Maksimovna** – student, Department of physical chemistry and chemical engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38.. E-mail: blasphemera@mail.ru

**Ochkova Ekaterina Alexandrovna** – master, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. 89507263771, E-mail: rymm73@mail.ru

**Pesin Alexander Moiseevich** - Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Materials processing technologies», Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. phone: 8(3519)29-85-25; e-mail: pesin@bk.ru

**Peryatinsky Aleksey Jurevich** - Ph.D, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38.

**Ponurko Irina Vitaliyevna** - Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin prospect, the house 38, the city of Magnitogorsk, 455000, RU. E-mail: iponurko@mail.ru Phone: 8(3519)29-84-25; +79030901360.

**Pustovoytov Denis Olegovich** - candidate of technical sciences, assistant professor of the department «Materials processing technologies», Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. phone: 8(3519)29-85-25; e-mail: pustovoytov\_den@mail.ru

**Rubin Gennadij Shmulevich** – Assoc. Prof., Ph.D., Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. E-mail: rubin@mgn.ru.

**Smirnov Andrey Nikolaevich** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of physical chemistry and chemical engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: smircost@yandex.ru

**Somova Yulia Vasilevna** – Ph.D, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Phone: 89090939244, E-mail: yuliya.somova.82@mail.ru

**Sysoev Viktor Ivanovich** – assistant, Department of physical chemistry and chemical engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: viktor.sysoev.86@yandex.ru

**Tsyganov Aleksandr Vladimirovich** – Ph.D, Associate Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, department of logistics and transport management. Phone: +7-3519-29-85-16. E-mail: ciganov\_av@mail.ru.

**Shubin Igor Gennadievich** – candidate of technical science, the associated professor of chair Materials Processing Technology department of Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU), e-mail: shubin64@mail.ru

**Shubina Marianna Vyacheslavovna** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Physical Chemistry and Chemical Technology Chair, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Phone: 8 (3519) 298425, e-mail: shubina\_mar@mail.ru.