

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:  
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ВЫПУСК 28**

*Труды Всероссийской научной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
15 – 16 мая 2024 г.*

**ЧАСТЬ I**

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк  
2024**

ББК 74.48.288  
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,  
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.,  
д-р техн. наук, профессор Кулаков С.М.,  
канд. техн. наук Шевченко Р.А.,  
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,  
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.,  
канд. техн. наук, доцент Темлянцева Е.Н.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 15–16 мая 2024 г. Выпуск 28. Часть I. Естественные и технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2024. – 450 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук; металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования; перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых; экологии, безопасности, рационального использования природных ресурсов; информационных технологий и систем автоматизации управления.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2024

## **II МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

УДК 669

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СМЕСЕЙ**

**Долгополов А.Е., Фейлер Д.Т., Числавлев В.В.,  
Хомутильников В.А., Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: alexdolgor@yandex.com*

В работе приведены результаты исследований тепловых процессов в сталеразливочном ковше при нахождении в нем металла и выполнена комплексная оценка температурных полей методами компьютерного моделирования. Исследование проводилось при использовании разработанной трехмерной математической модели с применением программного комплекса, основанного на конечно-объемном методе решения уравнений.

Ключевые слова: теплоперенос, ковш, тепловые потери, температурные поля, математическое моделирование

В современной металлургии большое значение придается оптимизации, улучшению энергетической эффективности и уменьшению энергозатрат при производстве стали.

В целях энерго- и ресурсосбережения в современной черной металлургии применяются теплоизолирующие смеси для защиты поверхности металла от тепловых потерь, которые подаются на поверхность металла или шлака в ковше.

Для формирования требований к теплоизолирующим свойствам разрабатываемых смесей было проведено компьютерное моделирование тепловых процессов в сталеразливочном ковше без применения защитных материалов. Разработана трехмерная математическая модель 160-тонного сталеразливочного ковша с применением программного комплекса, основанного на конечно-объемном методе решения уравнений. Результатами моделирования являются поля температур в объеме футеровки ковша, объеме жидкой стали и поверхности контакта металла с атмосферой.

В качестве расчетной области в связи с наличием вертикальной плоскости симметрии принята половина сталеразливочного ковша, занимаемая жидким расплавом. Для построения конечно-элементной модели расчетная область была разделена на 500 000 конечных объемов (расчетных ячеек) тетраэдральной формы.

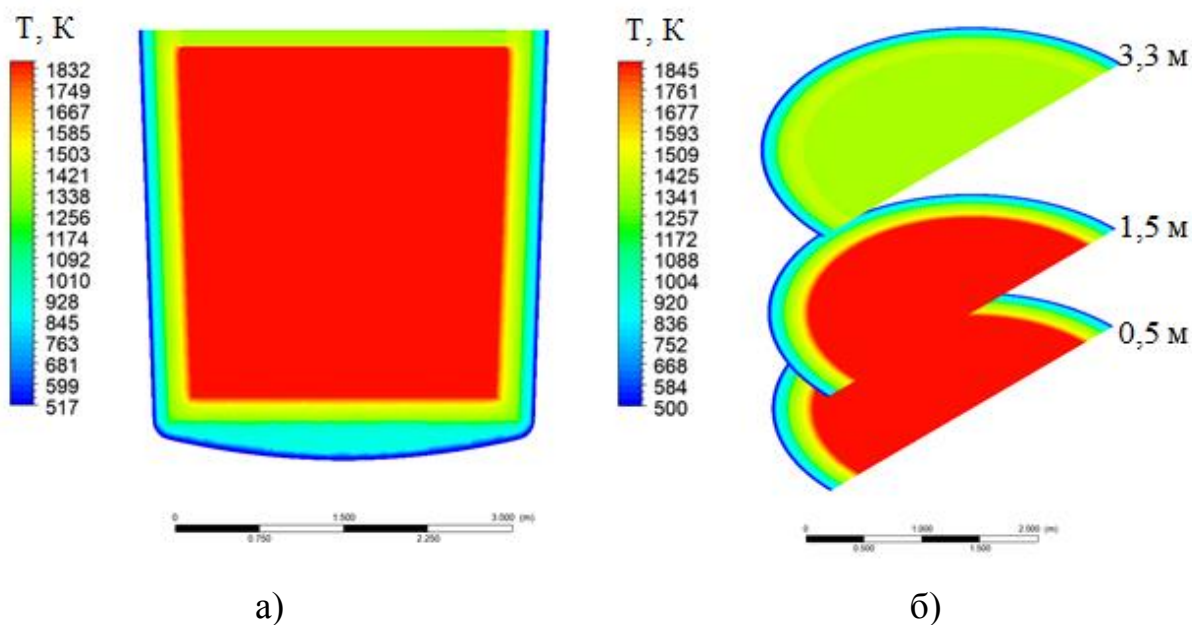
Математическая модель позволяет учесть такие свойства жидкой стали

и шлака, как плотность, вязкость, теплопроводность и теплоемкость, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры расплавов, принятые при моделировании

| Параметр                     | Сталь  | Шлак                                     |
|------------------------------|--------|--|
| Начальная температура, К     | 1873   | 1873                                     |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup> | 7030   | 3000                                     |
| Теплоемкость, Дж/(кг·К)      | 840    | $(0,175 + 7 \cdot 10^{-5} t) \cdot 4,18$ |
| Теплопроводность, Вт/(м·К)   | 27     | 0,93                                     |
| Вязкость, кг/(м·с)           | 0,0064 | 0,2664                                   |

Из рисунка 1 видно, что средние по объему значения температуры стали и шлака составляют 1814 К (-59 К) и 1711 К (-162 К) соответственно, при этом скорости снижения температуры стали составляют 0,98 К/мин, шлака 2,69 К/мин. В пристеночной области температура металла достигает 1808 К, а температура поверхности шлака 1057 К.

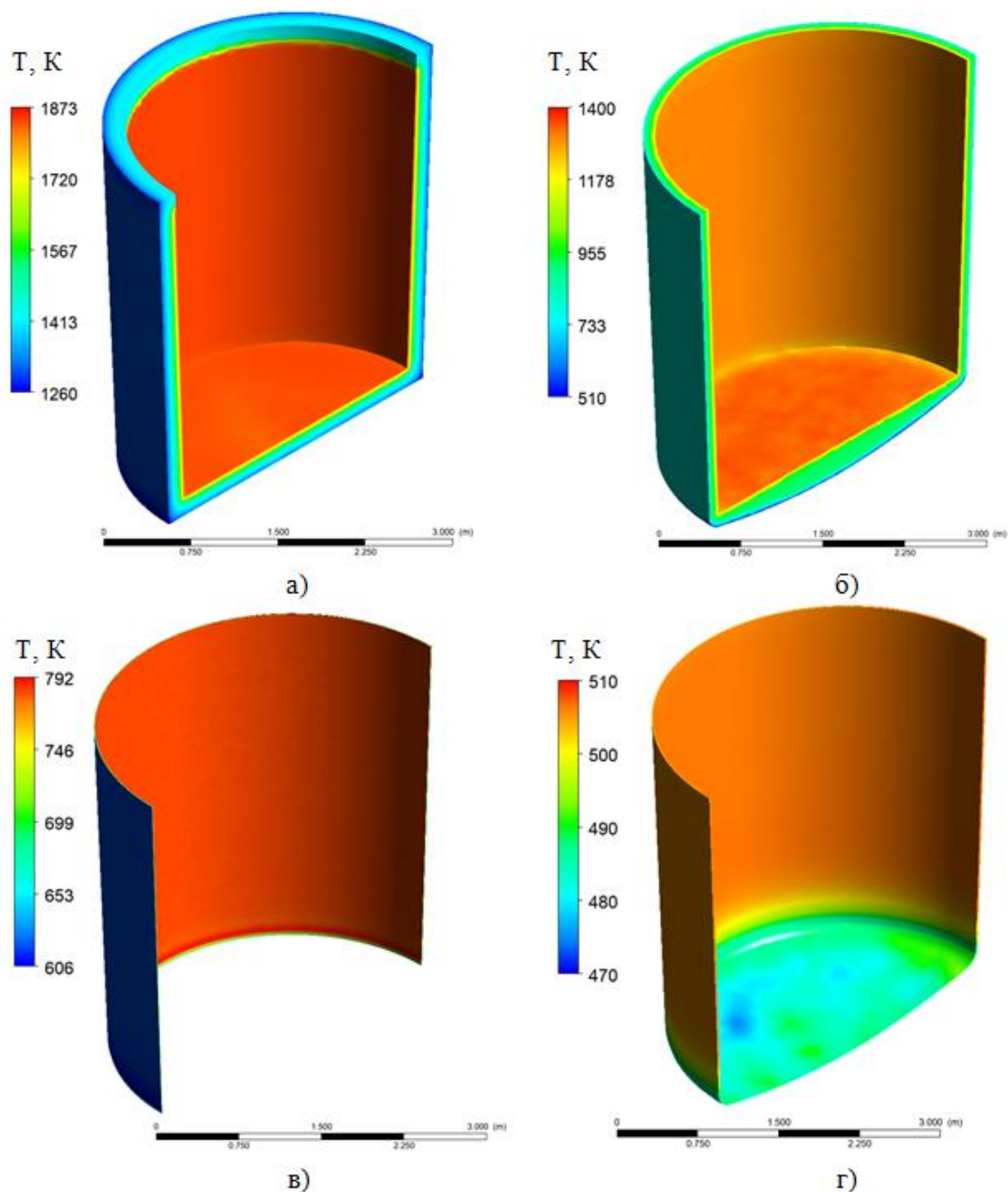


а) – продольное сечение; б) – поперечное сечение

Рисунок 1 – Контурная карта температурных полей параллельно плоскости ХОУ и в отдельных сечения сталеразливочного ковша относительно днища

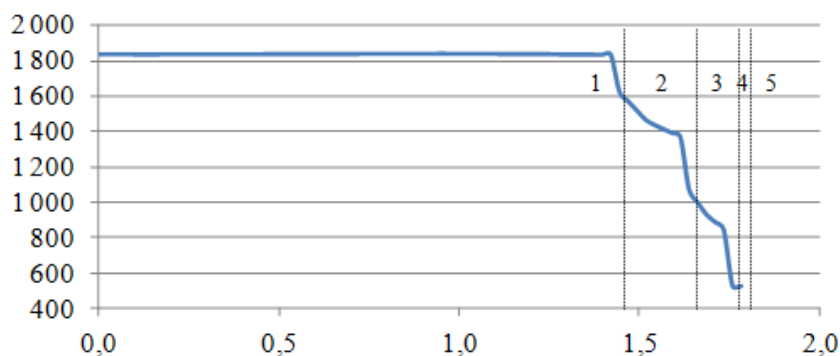
Средняя температура внешней поверхности рабочего слоя футеровки (рисунок 2) и соответственно внутренней поверхности арматурного слоя составляет 1374 К, при этом внешняя поверхность арматурного слоя достигает температуры 786 К. Средняя по объему температура теплоизоляционного слоя футеровки составляет 620 К. На внутренней поверхности, обращенной к арматурному слою достигает 786 К, снижаясь к днищу до 520 К. Средняя по объему температура кожуха ковша составляет 509 К. Максимальная температура (524 К) наблюдается в верхней области кожуха, постепенно снижаясь

к днищу до 471 К.



а – рабочий слой; б – арматурный слой; в – теплоизоляционный слой; г – кожа  
Рисунок 2 – Контурная карта температурных полей слоев футеровки  
и кожуха сталеразливочного ковша

Температура металла вдоль горизонтальной линии (рисунок 3), проведенной на расстоянии 2 м от днища находится в диапазоне 1833-1838 К. Температура на границе рабочего и арматурного слоев составляет 1374 К, на границе арматурный-теплоизоляционный слой 786 К. Температура внешней поверхности кожуха 520 К.



1 – сталь; 2 – рабочий слой; 3 – арматурный слой;  
4 – теплоизоляционный слой; 5 – кожух

Рисунок 3 – Значения температуры вдоль горизонтальной оси (2 м от днища 160-т сталеразливочного ковша)

Исходя из полученных результатов (рисунок 4), на площадь поверхности шлака (12 %) в 160-т сталеразливочном ковше приходится 67 % всех тепловых потерь, поэтому целесообразно для снижения потерь тепла с поверхности металлического расплава через шлак необходимо использовать теплоизолирующие смеси. При использовании теплоизолирующих смесей с расходом 2 кг/т скорость снижения температуры стали уменьшается на  $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  (до  $0,37\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ). Установлено, что при использовании теплоизолирующей смеси скорость охлаждения металлического расплава снижается на 30 %.

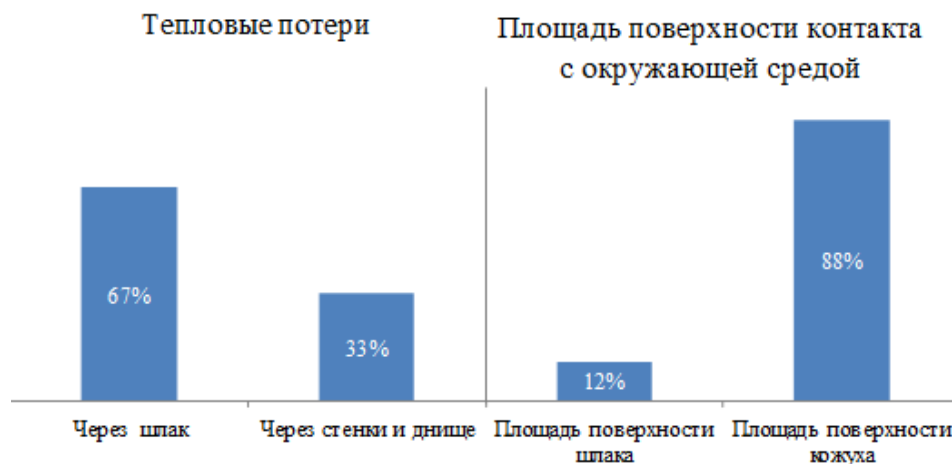


Рисунок 4 – Доля тепловых потерь в сталеразливочном ковше и площадь контакта с окружающей средой

#### Библиографический список

1. Неунывахина Д.Т. Разработка составов теплоизолирующих смесей для транспортировки жидкого чугуна / Д.Т. Неунывахина, С.В. Фейлер, А.С. Максимцов, Е.П. Чумов, В.В. Числавлев // XV Международный конгресс сталеплавильщиков. Сборник трудов. – 2018. – С. 344-349.

2. Фейлер Д.Т. Современное состояние производства и потребления

теплоизолирующих смесей для черной металлургии / Д.Т. Фейлер, В.А. Хомутинников, С.В. Фейлер // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Новокузнецк, 2023. – С. 73-77.

3. Неунывахина Д.Т. Разработка составов и опытно-промышленное апробирование теплоизолирующих смесей для жидкого чугуна / Д.Т. Неунывахина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. – С. 113-118.

4. Фомин А.А. Практическое применение методов математического моделирования на примере отрасли черной металлургии РФ / А. А. Фомин // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2018. – № 5-2. – С. 156-160.

УДК 351.777.61

## **ХАРАКТЕРИСТИКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС**

**Алехина Э.А., Карпинская Д.И., Фейлер С.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, e-mail: lina8082004@gmail.com*

В работе рассмотрены проблемы образования и утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) на ТЭЦ и отсутствие технологических решений переработки ЗШО и их вовлечения в промышленный оборот. Выполнен анализ отечественного и зарубежного опыта применения ЗШО. Рассмотрены характеристики и преимущества золошлаковых отходов для создания вторичного сырья.

Ключевые слова: металлургия, зола, золошлаки, отходы, ТЭЦ, сорбент, сырье.

В энергетической отрасли РФ ежегодно образуется около 30 млн. тонн золошлаковых отходов (ЗШО), большая часть которых складывается в отвалах и занимает значительные площади земли, но лишь небольшой процент золошлаков утилизируется.

В России объем накопленных ЗШО отходов составляет около 1,3 млрд. т, а площадь земельных участков, загрязненных золоотвалами – более 22 тысяч га.

Низкая степень утилизации ЗШО приводит к тому, что золошлаковые отвалы становятся потенциальными объектами загрязнения окружающей среды. Одновременно присутствие в составе ЗШО ценных компонентов создает несомненные предпосылки для их комплексной переработки, и в этом случае хранилища должны быть отнесены к категории техногенных сырьевых запасов отложенного спроса.

Первой проблемой является отсутствие технологии переработки зо-

|  |           |
|--|-----------|
| <b>II МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ,<br/>МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.....</b>   | <b>40</b> |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ<br>КОВШЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СМЕСЕЙ<br><i>Долгополов А.Е., Фейлер Д.Т., Числавлев В.В.,<br/>Хомутинников В.А., Фейлер С.В.....</i>           | <b>40</b> |
| ХАРАКТЕРИСТИКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ<br>ОТХОДОВ ТЭС<br><i>Алехина Э.А., Карпинская Д.И., Фейлер С.В.....</i>  | <b>44</b> |
| АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДУТЬЕВОГО РЕЖИМА КОНВЕРТЕРНОЙ<br>ПЛАВКИ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА<br><i>Хомутинников В.А, Фейлер Д.Т., Фейлер С.В.....</i>  | <b>48</b> |
| ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ И ФИТОСТЕНЫ В ИНТЕРЬЕРЕ<br><i>Алехина Э.А., Карпинская Д.И., Шевченко Р.А., Фейлер С.В.....</i>  | <b>55</b> |
| ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ ПРИ<br>УВЕЛИЧЕНИИ ДОЛИ ЖИДКОГО ЧУГУНА В МЕТАЛЛОШИХТЕ ДО 100 %<br><i>Руди А.В., Фейлер С.В. ....</i>  | <b>59</b> |
| СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА<br><i>Запольский А.С., Темлянец М.В.....</i>  | <b>63</b> |
| ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ<br>МАТЕРИАЛОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЙ РАСПЛАВ<br><i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,<br/>Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i>               | <b>70</b> |
| ОСОБЕННОСТИ КОСВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА<br>ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ<br><i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,<br/>Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i>                                | <b>75</b> |
| ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ ПЕРЕДЕЛЬНОГО<br>ЧУГУНА В ПЕЧАХ СТАЦИОНАРНОГО СЛОЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ<br><i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,<br/>Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i> | <b>80</b> |
| ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ<br>ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....  | <b>84</b> |
| <i>Сафонов С.О., Лопатина А.О., Шевченко А.А., Шевченко С.А.,<br/>Казанков С.А., Фейлер С.В.....</i>   | <b>84</b> |
| ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ<br>ПРИ ОБЕДНЕНИИ ШЛАКА МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА<br><i>Богатырев Д.М., Озеров С.С., Цымбулов Л.Б. ....</i>   | <b>89</b> |
| ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЩЕЛЕВЫХ АНОДОВ<br>НА ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ РА-167 АО «РУСАЛ НОВОКУЗНЕЦК»<br><i>Говриленко Д.А., Митягин В.О., Хамов М.А., Марьенко И.К.,<br/>Григорьев А.Ю., Ноздрин И.В.....</i>                     | <b>94</b> |



Научное издание

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Выпуск 28**

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых*

**Часть I**

Под общей редакцией

С.В. Коновалова

Компьютерная верстка

Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 14.05.2024 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 26,8 Уч.-изд. л. 28,37 Тираж 300 экз. Заказ № 87

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Издательский центр СибГИУ