

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В.Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2021»**

***Труды
XXII Международной научно-практической конференции***

10 – 11 ноября 2021 г.

Часть 1

**Новокузнецк
2021**

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 326 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и наукоёмким технологиям металлургических процессов, обработки металлических материалов: литейное производство, обработка давлением, термическая обработка.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Правительства Кузбасса
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал-Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»
Ляонинский университет науки и технологии, г. Аньшань, КНР
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «МАТЕС Web of Conferences »
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА «ЕВРАЗ ЗСМК»

Леонтьев А.С.¹, Рыбенко И.А.²

¹ООО «ЕВРАЗХОЛДИНГ»

Новокузнецк, Россия, Aleksey.Leontiev@evraz.com

²Сибирский государственный индустриальный университет,

Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru

Аннотация: На ЕВРАЗ ЗСМК с 2017г. разрабатывается и эксплуатируется математическая модель, охватывающая все передельные процессы от руды до конечной продукции. Для повышения точности предсказания объема производства агломерата и его качества в модель был интегрирован модуль машинного обучения, который дал неплохое повышение точности модели.

Ключевые слова: металлургия; моделирование; планирование; агломерат; качество агломерата

EXPERIENCE IN IMPLEMENTING MACHINE LEARNING FOR QUALITY CALCULATION AND PRODUCTION OF AGLOMERATE AT EVRAZ ZSMK

Leontiev A.S.¹, Rybenko I.A.²

¹ООО "EVRAZHOLDING"

Novokuznetsk, Russia, Aleksey.Leontiev@evraz.com

²Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, rybenkoi@mail.ru

Abstract. Since 2017, EVRAZ ZSMK has been developing and using a mathematical model covering all processes from ore to final products.

To improve the accuracy of predicting the production of sinter and its quality was integrated machine learning module, and it gave a good increase in the accuracy of the model.

Keywords: metallurgy; modeling; planning; sinter, sinter quality

Введение.

Основными производителями стали в настоящее время являются предприятия полного цикла, функционирующие на основе аглодоменного процесса [1]. Самой распространенной схемой является восстановление железа из руды с получением чугуна в доменных печах и окисление примесей в сталеплавильных агрегатах – конвертерах и электропечах с последующей выпечкой агломерата.

Известно, что в доменных печах используется агломерат и окатыши. Анализ рыночных цен за последние 5 лет показывает, что максимизация производства агломерата имеет первостепенное значение из-за более низкой цены агломерата. Из этого следует, что производство каждой дополнительной тонны агломерата приносит дополнительную прибыль производству в счет замещения окатышей. Максимизация производства агломерата возможна как за счет строительства новых мощностей, так и за счет применения технических улучшений, таких как [2]:

– применение извести и известкового молока: гидрат $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующийся при взаимодействии CaO с водой, обладает хорошими вяжущими свойствами, благодаря чему существенно повышаются скорость грануляции шихты и прочность образующихся гранул. Все это, в конечном итоге, улучшает газопроницаемость слоя спекаемой шихты и повышает производительность агломашин;

- предварительный подогрев шихты: в условиях спекания тонкоизмельченных концентратов важнейшим вопросом технологии подготовки шихты к спеканию является ее подогрев для предотвращения разрушения гранул в процессе переувлажнения. Обычно применяется подогрев шихты горячим возвратом и паром;
- увеличение разрежения в газовом коллекторе: повышает скорость горения топлива и вертикальную скорость спекания
- снижение основности агломерата за счет снижения расхода флюсов (известь, доломит, известняк).

Известные факторы, влияющие на процесс агломерации в ЕВРАЗ ЗСМК, приведены в сводной таблице 1.

Как видно из таблицы 1 некоторые факторы противоречат друг другу. Например, увеличение содержания извести повышает производительность на $1,0 \div 3,5$ %, но при этом повышенное содержание извести повышает основность агломерата, что негативно сказывается на производительности.

Таблица 1 – Факторы интенсификации производства агломерата на ЕВРАЗ ЗСМК

№	Фактор	Единица измерения	Пределы изменения	Величина изменения	
				Δa	$\Delta П$
1	Известь в шихту	%	0 – 1,5 1,5 – 2,0 2,0 – 3,0	1,0 % 1,0 % 1,0 %	+ 3,5 + 2,0 + 1,0
2	Кислород на зажигание	мм ³ /т	4 - 10	1 мм ³ /т	+ 0,2
3	Нагрев шихты	град. °С	0 - 55	55°С	+ 15,0
4	Увеличение содержания возврата в шихте	%	30 – 45	1,0 %	- 1,0
5	Увеличение содержания фракции +5 мм в возврате	%	0 - 10	1,0	- 0,4
6	Увеличение доли тонкозернистых концентратов	%	50	1,0 %	- 0,3
7	Увеличение разрежения в газовом коллекторе	мм вод. ст.	750	100 мм вод. ст.	+ 3,0
8	Увеличение высоты слоя шихты	мм	250 - 300	10 мм	- 0,6
9	Увеличение FeO в агломерате	%	14 - 18	1,0 %	- 0,5
10	Увеличение основности агломерата	доли ед.	0,90 - 1,20	0,05	- 1,0
11	Увеличение содержания железа в агломерате	%	55 - 58	1,0 %	- 1,5

В процессе работы на ЕВРАЗ ЗСМК было выявлено, что помимо указанных факторов еще и разные концентраты по-разному влияют на удельную производительность агломашин. Для повышения точности процесса планирования шихты были проведены опытные спекания различных концентратов с оценкой удельной производительности. Обезличенные (по коммерческим требованиям) результаты приведены на диаграмме 1.

Из диаграммы видно, что производительность существенно варьируется от концентрата к концентрату. По итогам испытаний была составлена модель расчета производительности по шихте, которая давала удовлетворительные результаты. Ввиду высокой стоимости процесса, а стоимость опытного спекания может достигать 1 млн. руб, в дальнейшем эти испытания не производились и коэффициенты не переоценивались более 10 лет. Для верификации модели был добавлен общий поправочный коэффициент производства.



Рисунок 1 - Удельная производительность различных концентратов на ЕВРАЗ ЗСМК

Известно, что на агломерационных фабриках в процессе эксплуатации изменяется не только компонентный состав концентратов, но и состав топлива, флюсов, основность шихты и химический состав получаемого агломерата. Из этого понятно, что для расчета производительности агломашин применение только удельной производительности концентратов недостаточно и простой переоценкой коэффициентов не достичь нужной точности модели.

Оценка влияния всех факторов на производительность агломашин и качество агломерата практически невозможно выполнить человеку, но данная задача может быть выполнена, например, с помощью машинного обучения на исторических данных.

В 2021 г. на ЕВРАЗ ЗСМК стартовал проект по построению математической модели оценки производительности агломашин по историческим данным.

Постановка задачи по использованию машинного обучения на ЕВРАЗ ЗСМК

Цель: на известных исторических данных по потреблению концентратов и производительности пользователь сможет переобучить модель под нужные периоды, что позволит:

- повысить точность системы математического моделирования;
- повысить доверие к системе (пользователь может посмотреть результаты верификации на исторических данных);

- позволит найти новые шихтовки для максимизации производства агломерата.

Прототип функционала системы указан ниже.

При нажатии на кнопку "Обучить модель" в системе она:

- загружает требуемый период исторических данных по агломерации;
- обучает модель по производительности на исторических данных;
- обучает модель по качеству на исторических данных;
- выводит таблицу/график с фактическими и предсказанными данными;
- выводит показатели качества модели (R^2);
- модель должна выдавать сообщение о том, что закончила работу;
- пользователь должен видеть информацию о последнем обучении модели: кто, когда и на каких периодах;
- отдельно пользователь должен иметь возможность переключать между графиками по следующим показателям для оценки точности модели (факт/предсказание):

- а) качество агломерата x ;
- б) качество агломерата x_1 ;
- с) количество отсева;
- е) бункерный агломерат
- ф) скиповый агломерат

В качестве входной информации были применены следующие показатели:

- потребленные номенклатуры концентратов;

- объем потребления концентратов в тоннах;
- потребление флюсов (известняк, доломит, известь, брусит) в тоннах;
- потребление топлива;
- прочность агломерата;
- химический состав агломерата (Fe, CaO, SiO₂, основность);
- технологические параметры агломашин (высота слоя, разрежение в коллекторе);
- объем производства агломерата.

Результаты анализа

Первичный анализ показателей дал хорошую значимость всех указанных факторов кроме химического состава агломерата (Fe, CaO, SiO₂, основность, который был исключен по следующим причинам:

- не оказывает значимого влияния на точность модели;
- при расчете процентного содержания элементов агломерата необходимо применять операцию деления, что негативно сказывается на скорости работы всей модели оптимизации из-за нелинейности;
- мизерная прибавка точности модели на исторических данных компенсируется снижением точности на прогнозируемых данных так как сама модель материального баланса состава агломерата обладает погрешностью в 1-2%.

Модель производительности аглофабрики была реализована с помощью регрессионной модели расчета объема бункерного агломерата вида:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n, \quad (1)$$

где y – прогнозируемый объем бункерного агломерата, т,

b_0 – свободный член;

$b_1, b_2, \dots, b_n$ – коэффициенты регрессии при факторах;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – факторы, оказывающие влияние на объем бункерного агломерата.

На рисунке 2 показано достигнутое качество модели оценки производительности аглофабрики, как видно из рисунка модель обладает минимальной погрешностью. Для этой модели применялась линейная регрессия, которая гораздо лучше подходит для систем оптимизации ввиду высокой скорости расчета лучше показателя. Коэффициент детерминации составил 97 %.

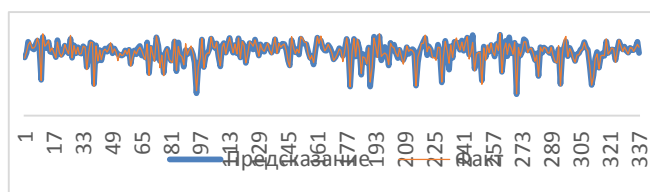


Рисунок 2 – Достигнутое качество модели по производительности

Для расчета качества агломерата был применен метод Random forest из-за более высокой точности предсказания, чем регрессия. Random forest (с англ. – «случайный лес») – алгоритм машинного обучения, предложенный Лео Брейманом и Адель Катлер, заключающийся в использовании комитета (ансамбля) решающих деревьев. Алгоритм сочетает в себе две основные идеи: метод бэггинга Бреймана, и метод случайных подпространств предложенный Тин Кам Хо. Алгоритм применяется для задач классификации, регрессии и кластеризации. Основная идея заключается в использовании большого ансамбля решающих деревьев, каждое из которых само по себе даёт очень невысокое качество классификации, но за счёт их большого количества результат получается хорошим. [3]. На рисунке 3 показана диаграмма

фактического и предсказанного качества агломерата и разброс предсказания качества агломерата по линейной регрессии.

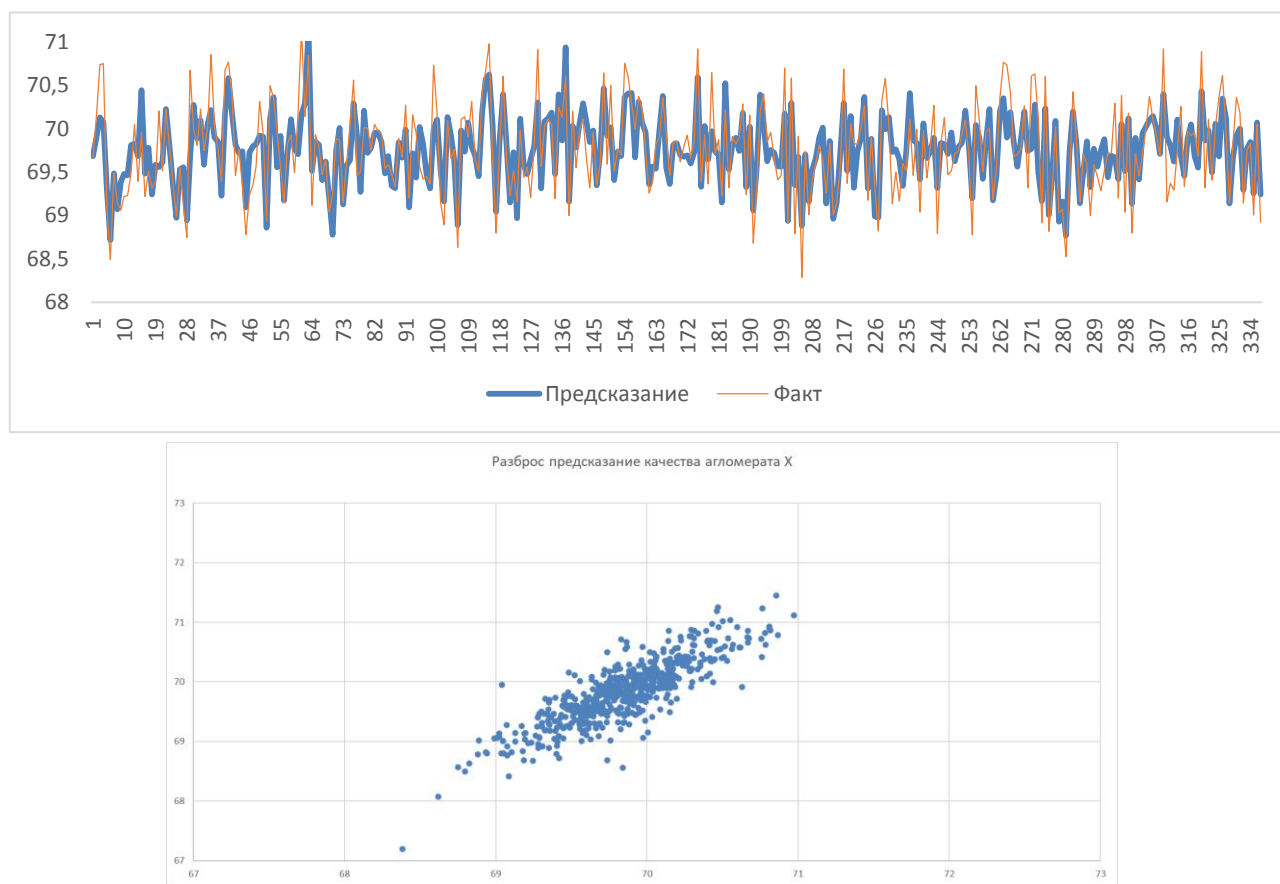


Рисунок 4 – Достигнутое качество модели по агломерату

Как видно из рисунка, было достигнуто неплохое качество модели, R^2 (коэффициент детерминации) составил 60 %, Для приемлемых моделей предполагается, что коэффициент детерминации должен быть хотя бы не меньше 50 % [4].

Выводы.

Основной задачей было построить модель предсказания производительности аглофабрики линейным методом для сохранения скорости работы системы математического моделирования ЕВРАЗ ЗСМК. Как видно из таблицы 2, в которой приведены сводные результаты моделей с оценкой, машинное обучение позволяет довольно точно предсказывать производство и качество агломерата.

Таблица 2 – Достигнутое качество

Наименование показателя	R2	MAE	MAE, %	Результат
Валовый агломерат	0,907369	34237,23	0,0374	Отлично
Бункерный агломерат	0,951864	18058,8	0,0274	Отлично
Скиповый агломерат	0,948718	17165,94	0,0284	Отлично
X	0,618572	0,24236	0,0035	Хорошо
X1	0,600096	0,053244	0,0124	Хорошо
-5	0,748789	0,545197	0,0179	Отлично
25	0,698742	2,388612	0,0455	Отлично

Библиографический список

1. Лисиенко, В. Г. Альтернативная металлургия: проблема легирования, модельные оценки эффективности [текст] / В. Г. Лисиенко, Н. В. Соловьева, О. Г. Трофимова. – М. : Изд. Теплотехник, 2007. – 440 с.
2. Фролов, Ю. А. Агломерация. Технология, теплотехника [текст] / Ю. А. Фролов – М.: Металлургия, 2006. – 600 с.
3. Случайный лес//Сайт интернет энциклопедии WIKIPEDIA [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Random_forest (дата обращения 16.06.2021).
4. Коэффициент детерминации//Сайт интернет энциклопедии WIKIPEDIA [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Коэффициент_детерминации](https://ru.wikipedia.org/wiki/Коэффициент_детерминации) (дата обращения 16.06.2021).

УДК 669.184

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗВЕСТНЯКА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ

Уманский А.А.¹, Козырев Н.А.¹, Жутов С.В.², Николаев В.К.³, Гизатулин Р.А.¹

¹*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия*

²*ООО «Гурьевский рудник», Гурьевск, Россия*

³*АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», Новокузнецк, Россия, umanskii@bk.ru*

Аннотация. Аналитическими исследованиями, проведенными для условий АО «ЕВРАЗ ЗСМК», показана технико-экономическая нецелесообразность снижения требований к химическому и гранулометрическому составу флюсовых известняков, используемых для производства металлургической извести. Определено, что уменьшение содержания CaO+MgO в известняке на 1,5% обусловит значительное снижение технико-экономических показателей конвертерной плавки, а переход на известняк более мелкого фракционного состава (с фракции 40-80 мм на фракцию 0-40 мм) при его неизменном химическом составе значительно ухудшит показатели работы шахтных печей, используемых для обжига извести.

Ключевые слова: флюсовый известняк, металлургическая известь, химический состав, гранулометрический состав, кислородно-конвертерная плавка

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CHEMICAL AND THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF LIMESTONE ON THE TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF CONVERTER MELTING ON THE EXAMPLE OF "EVRAZ ZSMK"

Umanskii A.A.¹, Kozyrev N.A.¹, Zhutov S.V.², Nikolaev V.K.³, Gizatulin R.A.¹

¹*«Siberian State Industrial University», Novokuznetsk, Russian Federation*

²*«Guryevsky rudnik», Guryevsk, Russia*

³*«EVRAZ United West Siberian Metallurgical Combine», Novokuznetsk, Russia, umanskii@bk.ru*

Abstract. Analytical studies conducted for the conditions «EVRAZ ZSMK» have shown the technical and economic inexpediency of reducing the requirements for the chemical and granulometric composition of flux limestones used for the production of metallurgical lime. It is determined that a decrease in the content of CaO+MgO in limestone by 1.5% will cause a significant decrease in the technical and economic indicators of converter melting, and the transition to limestone of a smaller fractional composition (from a fraction of 40-80 mm to a fraction of 0-40 mm) with its unchanged

СОДЕРЖАНИЕ

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ВАСИЛЬЕВИЧА ТОЛСТОГУЗОВА <i>Рожихина И.Д.</i>	4
СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	9
ЛЕГИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВОВ ПРИРОДНЫМИ И ТЕХНОГЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ <i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е., Голодова М.А., Дмитриенко В.И.</i>	9
ПОЛУЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ РУД КУЗБАССА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИИ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Голодова М.А., Ходосов И.Е.</i>	18
АНАЛИЗ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ <i>Павлов А.В., Спирин Н.А., Бегинюк В.А., Косаченко И.Е.</i>	26
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКУСКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ	32
<i>Берсенов И.С., Брагин В.В., Солодухин А.А., Поколенко А.Ю., Бардавелидзе Г.Г., Спирин Н.А.</i>	32
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ НИОБИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В ЖИДКОЙ СТАЛИ <i>Жучков В.И., Заякин О.В., Кель И.Н.</i>	37
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫЙ ГАЗОМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ <i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i>	42
ПОЛУЧЕНИЕ КРЕМНИЯ И ФЕРРОСИЛИЦИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКОЙ И ОБРАЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ <i>Ёлкин К.С., Рожихина И.Д., Ёлкин Д.К.</i>	46
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ <i>Громов В.Е., Шлярова Ю.А., Коновалов С.В., Воробьев С.В., Семин А.П.</i>	50
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ <i>Гизатулин Р.А., Лепихов В.С., Шароватых Д.Ю.</i>	54
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В МЕТАЛЛУРГИИ ЦИНКА <i>Козлов П.А.</i>	57
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ СПЛАВОВ ИЗ БЕДНЫХ КАРБОНАТНЫХ И ОКСИДНЫХ РУД В АГРЕГАТЕ СЭР <i>Рыбенко И.А., Цымбал В.П., Kongoli F.</i>	66
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВСПЕНИВАНИЯ 350-ТОННОЙ КОНВЕРТЕРНОЙ ВАННЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НИЗКОМАРГАНЦОВИСТЫХ ЧУГУНОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Полях О.А., Чернышева Н.А., Козьминых Р.А.</i>	73
КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАФИНИРОВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ НЕЙТРАЛЬНЫМ ГАЗОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ <i>Протопопов Е.В., Темлянец М.В., Запольская Е.М., Полях О.А.</i>	78
ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА И ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА НА «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Леонтьев А.С., Рыбенко И.А.</i>	82

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗВЕСТНЯКА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ <i>Уманский А.А., Козырев Н.А., Жутков С.В., Николаев В.К., Гизатулин Р.А.</i>	87
ПОВЕДЕНИЕ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Гизатулин Р.А., Дмитриенко В.И., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н., Ноздрин И.В.</i>	92
РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСОПЛОВЫХ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	95
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ И КОНСТРУКЦИИ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	101
РАСЧЕТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ <i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Roos К.</i>	107
ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЛАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОМ РАСПЛАВЕ <i>Заякин О.В., Ренёв Д.С., Жучков В.И.</i>	112
ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА, ВАНАДИЯ И ТИТАНА ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ОБЖИГЕ ТИТАНОМАГНЕТИТА <i>Агамирова А.С.</i>	116
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДОЖИГАНИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ПОЛОСТИ 160-ТОННОГО КОНВЕРТЕРА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Солоненко В.В., Темлянцев М.В., Якушевич Н.Ф., Полях О.А.</i>	121
МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕРИЯ МЕЖДУ ШЛАКОМ СИСТЕМЫ CAO-SIO ₂ -CE ₂ O ₃ -15%AL ₂ O ₃ -8%MGO И НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫМ МЕТАЛЛОМ <i>Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Уполовникова А.Г.</i>	126
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Лубяной Д.А., Юрьев А.Б., Кузнецов И.С., Маркидонов А.В., Лубяной Д.Д.</i>	131
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ С ПРЯМЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ МАРГАНЦЕМ <i>Лубяной Д.Д., Юрьев А.Б., Маркидонов А.В., Кузнецов И.С., Лубяной Д.А.</i>	136
РАЗРАБОТКА В PASCALABC.NET ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА СОСТАВА ШИХТЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Хоанг В.В., Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Плакуций А.В.</i>	141
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	147
ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА, ОБЛУЧЕННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ <i>Абатурова А.А., Загуляев Д.В., Иванов Ю.Ф., Леонов А.А., Аксенова К.В.</i>	147
О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ ИНВАРОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-Si-Cu <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Малюх М.А.</i>	154
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Князев С. В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.</i>	159

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ
ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

<i>Князев С.В., Козырев Н.А., Усольцев А.А.</i>	163
КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЧУГУНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОСБОРНОГО КОЛОКОЛА	
<i>Усольцев А.А., Князев С.В., Куценко А.И., Козырев Н.А., Дмитриенко В.И.</i>	167
ОЦЕНКА ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ50 И ЧХЗ	
<i>Дмитриенко В.И., Князев С. В., Козырев Н.А., Куценко А.И., Усольцев А.А.</i>	177
ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ ХН65ВМТЮ (ЭИ896) МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Комаров Д.В., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Чэнь Д., Панченко И.А.</i>	184
ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ И ДЕФЕКТНОЙ СУБСТРУКТУРЫ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЛЬСОВ	
<i>Кузнецов Р.В., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Шлярова Ю.А., Кормышев В.Е., Перегудов О.А., Семин А.П.</i>	189
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ СИЛУМИНОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ И МЕДИ	
<i>Попова М.В., Жибинова И.А., Прудников А.Н.</i>	194
ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГРАФИИ ВЫСОКОЧИСТОГО ЖЕЛЕЗА 008ЖР	
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В.</i>	201
МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ДОМЕННОГО ЧУГУНА ПОСЛЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П., Жибинова И.А., Малюх М.А.</i>	208
ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА А0 С НИЗКОЙ СТЕПЕНЬЮ ПРОРАБОТКИ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ	
<i>Яшин В.В., Арышенский Е.В., Коновалов С.В., Арышенский В.Ю., Латушкин И.А.</i>	212
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫКАТЫВАЕМОСТИ ДЕФЕКТОВ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОКАТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО СТАНА	
<i>Уманский А.А., Юрьев А.Б.</i>	216
МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКСТУРЫ И СВОЙСТВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ ПРИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Арышенский Е.В., Коновалов С.В.</i>	225
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЛИТЬЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ SI ЛЕГИРОВАННОГО МАЛЫМИ ZR, SC ДОБАВКАМИ	
<i>Лапишов М.А, Арышенский Е.В., Коновалов С.В., Арышенский В.Ю.</i>	232
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ, МИКРОТВЕРДОСТЬ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 9СRМОВ-N ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Осинцев К.А., Шляров В.В., Чэнь С., Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Чаплыгин К.К.</i>	240
ПРОКАТКА ДЛИННОМЕРНОЙ РЕЛЬСЫ С УСКОРЕНИЕМ	
<i>Соловьев В.Н., Белолипецкая Е.С.</i>	248
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ ДИФфуЗИИ ПО ТОЛЩИНЕ ДИФфуЗИОННОГО СЛОЯ (ФАЗЫ) ПРИ ВЛИЯНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО НИКЕЛЯ НА ДИФфуЗИОННЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ	
<i>Розенштейн Е.О., Бондарева О.С., Коновалов С.В.</i>	255

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИНДУКЦИЕЙ 0,3 ТЛ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА <i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i>	261
ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2 <i>Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.</i>	266
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ <i>Ахкильгов Г.В., Носова Е.А.</i>	271
ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.</i>	276
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОКАТКИ И ОТЖИГА <i>Штырова А.А., Носова Е.А.</i>	281
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА СИЛ ТРЕНИЯ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ СОЧЛЕНЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ <i>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А.</i>	286
СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ <i>Фастыковский А.Р., Осколкова Т.Н., Юрьев А.Б., Прудников А.Н.</i>	290
УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЗАГОТОВОЧНЫХ И СОРТОВЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Леонтьев В.В., Губарев Е.И., Перминов Д.А., Зайков И.Г.</i>	296
ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО БАЛАНСА УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРОВ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Добрянский А.В., Дорофеев В.В.</i>	299
ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Куценко А.А.</i>	304
АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	309
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ <i>Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И., Пономарева К.В., Сметанюк С.В., Сокорев А.А.</i>	316

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2021»

Труды XXII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор	Г.А. Морина
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 20.10.2021 г.
Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 23,4 Уч.-изд. л. 25,8 Тираж 300 экз. Заказ № 234

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ