

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

8. Комбинированная продувка в конвертерах с использованием двухконтурной фурмы / А. Г. Чернятевич, Р. С. Айзатулов, Е. В. Протопопов [и др.]. – Черная металлургия. Бюл. НТИ, 1998. – № 7. – С. 48 – 50.

9. Мокринский А. В. Численное моделирование и промышленная отработка конструкций цельноточенных наконечников кислородно-конвертерных фурм / А. В. Мокринский, Е. В. Протопопов, А.Г. Чернятевич / Изв. вуз. Черная металлургия, 2005. – № 12. – С. 16 – 20.

10. Смоктий В. В. Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах / В. В. Смоктий, В. В. Лапицкий, Э. С. Белокуров. – Киев : Техника, – 163 с.

УДК 004.94

РАСЧЕТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ

Сеченов П.А.¹, Рыбенко И.А.¹, Roos K.²

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, pavesa89@mail.ru*

²*Technische Universität Dresden,
Dresden, Deutschland*

Аннотация. В статье приведены принципы разработки имитационной модели для расчета процессов в струйно-эмульсионном реакторе. Представлен интерфейс программы и результаты исследования. Получены зависимости скоростей конденсированных частиц, как эпюр, так и распределения по высоте. Имитационная модель и заложенные в неё механизмы являются инструментом для изучения внутреннего поведения закрытой системы.

Ключевые слова: имитационная модель, струйно-эмульсионный реактор, агентное моделирование, ActionScript, Adobe Animate.

CALCULATION BASED ON A SIMULATION MODEL OF PROCESSES IN A COLUMN JET-EMULSION REACTOR

Sechenov P.A.¹, Rybenko I.A.¹, Roos K.²

¹*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, pavesa89@mail.ru*

²*Technische Universität Dresden,
Dresden, Deutschland*

Abstract. The article describes the principles of developing a simulation model for calculating processes in a jet-emulsion reactor. The program interface and research results are presented. The dependences of the velocities of condensed particles, both diagrams and distribution over height, are obtained. The simulation model and the mechanisms embedded in it are a tool for studying the internal behavior of a closed system.

Keywords: simulation model, jet-emulsion reactor, agent modeling, ActionScript, Adobe Animate.

В работе представлены принципы разработки имитационной модели гравитационного сепаратора и результаты исследования процессов в колонном струйно-эмульсионном реакторе агрегата СЭР. В основу непрерывного металлургического процесса струйно-эмульсионного типа СЭР созданного творческим коллективом научной школы, возглавляемой заслуженным деятелем науки РФ, профессором В.П. Цымбалом, положена идея реализации принципов синергетики и неравновесной термодинамики, которая позволила создать теоретические основы процесса и универсальную конструкцию агрегата, в котором возмож-

но осуществление различных процессов и технологий [1].

Имитационная модель гравитационного сепаратора в колонном струйно-эмульсионном реакторе [2, 3] отображает физико-химических процессы, происходящие в нем. В качестве математического метода моделирования использовалось имитационное моделирование «от частиц».

Согласно классификации д.т.н., профессора из СПбГПУ Карпова Ю.Г., разработавшего систему имитационного моделирования AnyLogic, выделяют следующие методы имитационного моделирования: дискретно-событийное, системную динамику и агентное моделирование. Агентное моделирование – это метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как это поведение определяет поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу вверх») [4].

В данном случае выбрано агентное моделирование, в качестве агентов выступают частицы шихтовых материалов. Для частиц разработан класс с функциями создания, передвижения и удаления частиц (рисунок 1).

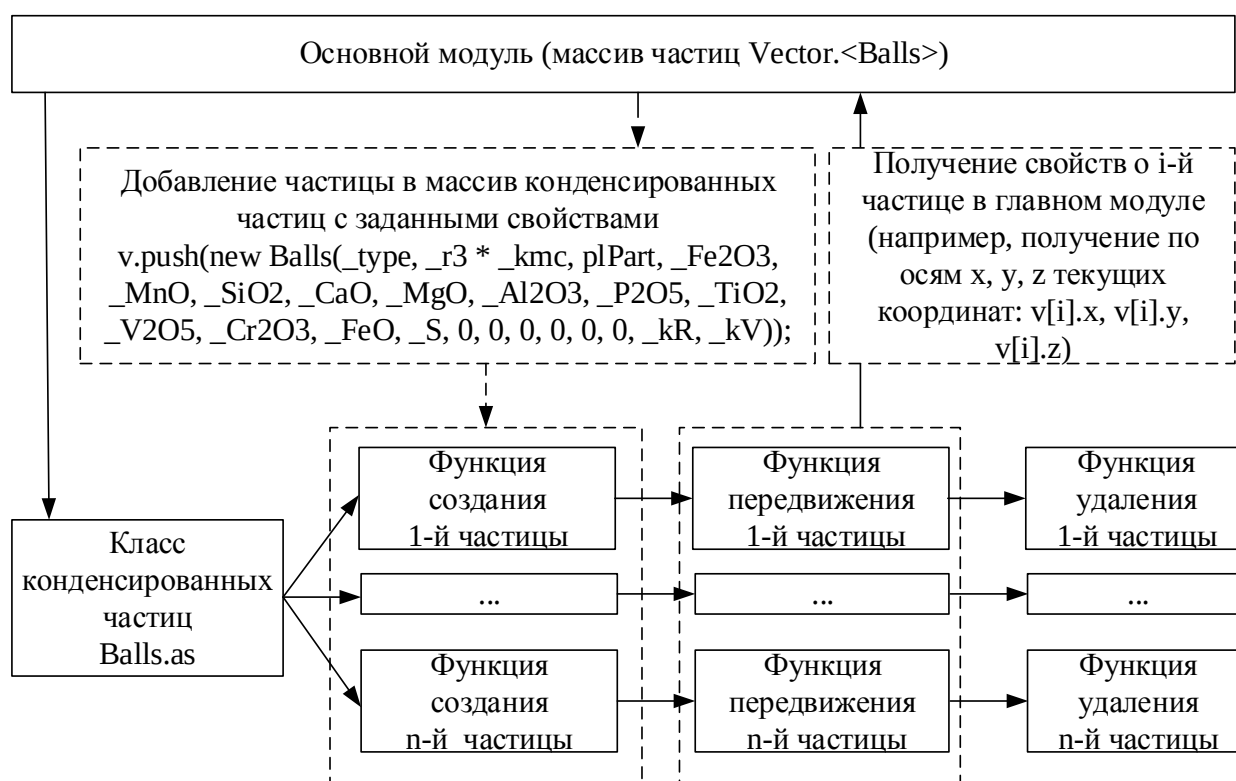


Рисунок 1 – Основные функции класса частиц

Как видно из рисунка каждой конденсированной частице задаются индивидуальные свойства: размер, плотность и состав веществ, входящих в частицу. Согласно книге автора Сато А. [5], такой метод имитационного моделирования получил название динамики диссипативных частиц, т.к. шлак в колонном реакторе представляется в виде отдельных частиц, а не моделируется сплошной средой.

На основе взаимодействия сил подъёмной тяжести и Архимеда отдельно взятая частица поднимается, опускается или витает на определенном уровне. Учитываются физические соударения отдельных агентов – частиц между собой и со стенками колонного реактора. Одновременно с этим происходят химические реакции: выгорание, плавление, образование газов и веществ. Совокупность заложенных в каждую частицу моделей и взаимодействий между агентами позволяет узнать поведение всей системы в целом.

При разработке модели в качестве объектно-ориентированного языка программирования выбран язык сценариев ActionScript 3, позволяющий анимировать объекты [6], визуализи-

зировать процессы в реакторе для лучшего понимания изучаемого процесса [7]. Программа написана в среде программирования Adobe Animate 2021.

На рисунке 2 представлены элементы интерфейса разработанной программы. В интерфейсе программы (рисунок 2) реализованы:

1. Поля ввода данных, к которым относятся: масштаб частиц, количество входящих частиц железной руды и углеродосодержащих материалов, время растворения частицы железной руды и начальная скорость потока.

2. Поля отображения данных: общее количество частиц; количество частиц и массы: железной руды, углеродосодержащих материалов, шлака, железа, CO, CO₂, находящихся в реакторе; время работы программы с момента запуска; среднее содержание углерода в копильнике; объем и время заполнения копильника; соотношение масс частиц, пришедших и ушедших из реактора; среднее время пребывания частиц железа и шлака в реакторе; таблица состава шлака.

3. График распределения массовых компонент частиц по высоте реактора.

4. Мнемосхема колонного струйно-эмульсионного реактора, в которой отображаются частицы в реальном времени.

5. Графики: секундных массовых составов железной руды, шлака и железа, CO, CO₂; средних плотностей и скоростей частиц по высоте реактора, а также эпюры скоростей в заданных по высоте слоях.

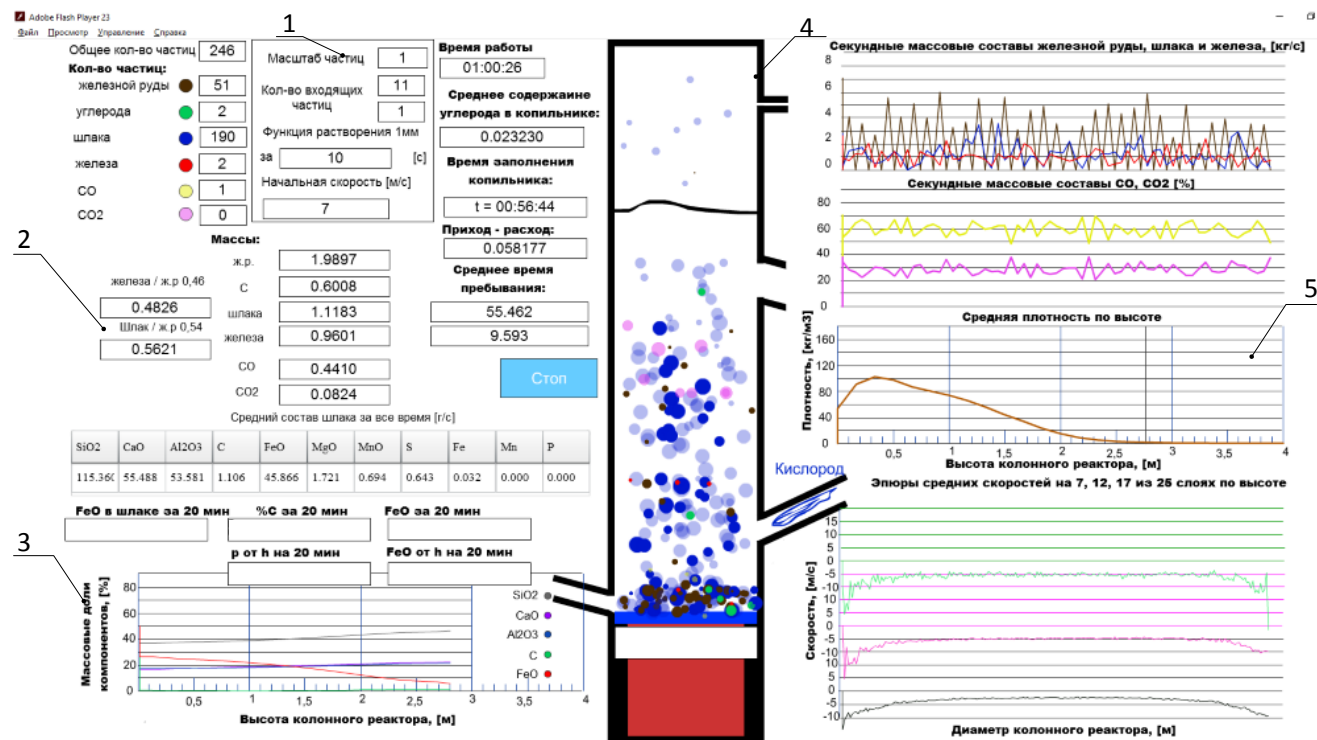


Рисунок 2 – Интерфейс программы

Предусмотрена возможность изменения гранулометрического состава и крупности частиц, количества подаваемых частиц железной руды и углеродосодержащих материалов, времени растворения средней частицы и скорости потока газа.

Имитационная модель позволяет рассматривать и изучать поведение системы на основе агентов (частиц). Так графики эпюр средних скоростей в поперечном сечении реактора показывают, что со временем идет заполнение колонного струйно-эмульсионного реактора частицами шихты и продуктов реакций, данных об агентах становится больше и графики постепенно сглаживаются (рисунок 3).

На рисунке 3 показаны эпюры средних скоростей частиц в колонном реакторе на различных высотах. Всего в реакторе выделено 25 слоев, слои начинаются снизу. Поэтому,

7-ой ряд (рисунок 3б) соответствует нижней части реактора, 12-ый ряд (рисунок 3а) – середине реактора. На первой минуте процесс ещё не стабилизировался, количество частиц в ректоре ещё будет нарастать. Тем не менее, в нижней части ректора (рисунок 3б) находится большая часть частиц, и по всей эпюре заметны отклонения частиц от нулевого значения. Чуть выше, в середине реактора, частиц меньше, и поэтому наблюдаются нулевые значения скорости, особенно по краям ректора ($0,0 \div 0,1$ и $0,9 \div 1,0$ м).

На рисунках 3в и 3г показаны эпюры средних скоростей в 7-ом и 12-ом рядах соответственно, но уже на 25-ой минуте. К этому моменту графики усреднились, и на них нет таких выбросов, как на 1-ой минуте, так как в нижней части ректора (рисунок 3г) частиц, скапливающихся в низ, больше, а по краям ректора наблюдаются максимально отрицательные скорости (т.е. частицы там падают).

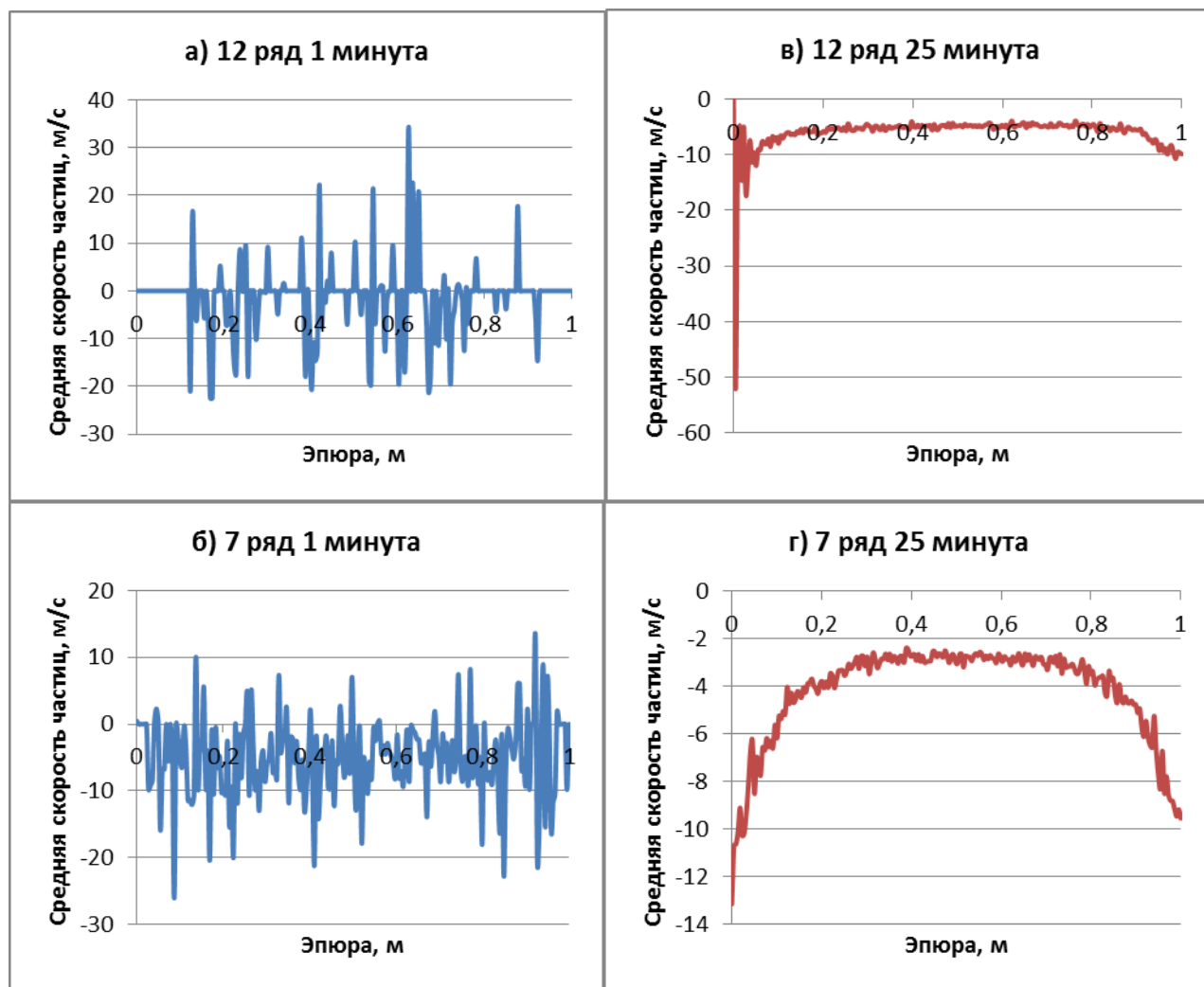


Рисунок 3 – Эпюры средних скоростей по высоте колонного реактора на 1-ой минуте (а, б) и на 25 минуте (в, г)

В середине реактора (рисунок 3в) частицы также падают, но их меньше чем в нижней части. На рисунках 3в и 3г наблюдается следующая зависимость: в левой части ректора скорости осаждения больше, чем в правой. Эта закономерность связана с тем, что в правой части есть выходное отверстие, куда и вылетает часть частиц.

Выявлена интересная закономерность, проявляющаяся в наличии минимальной средней скорости, а, следовательно, максимальной скорости осаждения, конденсированных частиц посередине высоты колонного реактора (рисунок 4), которая объясняется влиянием эффекта сепарации и изменением вероятностей столкновения конденсированных частиц, поскольку этот момент совпадает с перегибом графика средней плотности двухфазного потока.

Таким образом, созданная имитационная модель, являющаяся в определенной степени заместителем объекта, позволяет наглядно изучать механизм процессов в гравитационном сепараторе при разном гранулометрическом составе шихтовых материалов, оценивать среднее время пребывания частиц, определять средний расход частиц железа и шлака при разном заданном количестве частиц углеродосодержащих материалов, проводить разного рода статистические исследования по проверке гипотез о внутреннем механизме протекания процессов, то есть получить представление о системной динамике частиц во времени и в пространстве. По существу, мы получаем внутреннюю виртуальную реальность, не поддающуюся прямому измерению.

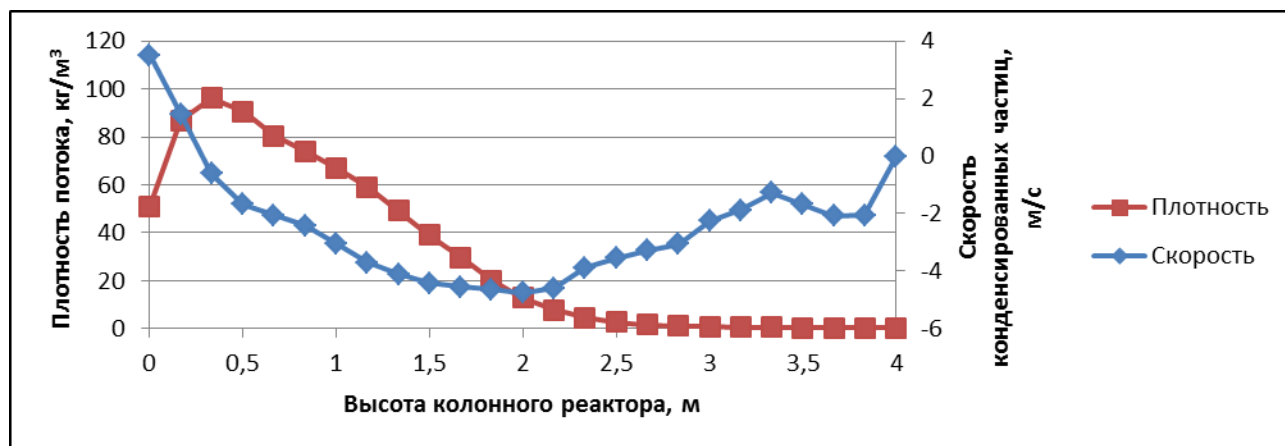


Рисунок 4 – Средняя плотность потока и скорость конденсированных частиц по высоте колонного реактора

Библиографический список

1. Процесс СЭР – металлургический струйно-эмульсионный реактор : монография / В. П. Цымбал, С. П. Мочалов, И. А. Рыбенко [и др.]. – М. : Металлургиздат, 2014. – 488 с.
2. Tsymbal V.P., Sechenov P.A., Rybenko I.A., Olennikov A.A. Nonequilibrium dissipative structures and control over the carbon content in the spray-emulsion unit // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 411(1), 012087.
3. Tsymbal V.P., Rybenko I.A., Kozhemyachenko V.I., Sechenov P.A., Rybushkin A.A., Olennikov A.A. Melting gasifier for nonwaste processing technology of dust fractions of coal and mine refuse // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 377(1), 012057
4. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
5. Satoh A. Introduction to Practice of Molecular Simulation: Molecular Dynamics, Monte Carlo, Brownian Dynamics, Lattice Boltzmann and Dissipative. – Elsevier, 2011. – 333 p.
6. Routledge G., Aminaei A., Benachour P. Developing Understanding of Programming Principles using Flash Actionscript // ITALICS Innovations in Teaching and Learning in Information and Computer Sciences in October, 2007. Vol 6. № 4, pp. 51-71.
7. Samsudin S., Irawan M.D., Harahap A.H. Mobile app education gangguan pencernaan manusia berbasis multimedia menggunakan Adobe Animate CC // Jurnal Iqra', 2015. Vol. 9 No. 01, pp 126-144.

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>Берсенева 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 НЕЙТРАЛЬНЫМ 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