Министерство образования и науки Российской Федерации

Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2017»

15 – 16 ноября 2017 г.

Труды
XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

Новокузнецк
2017

Библиографический список

1. Этапы производства алюминия [Электронные данные]: технология производства алюминия. - Режим доступа: http://www.aluminiumleader.ru/production/aluminum_production, свободный (дата обращения: 25.09.2017).
2. Идентификация объектов управления [Электронный ресурс]: энциклопедия кибернетки. - Режим доступа: http://edu.sernam.ru/book_kiber1.php?id=516, свободный (дата обращения: 25.09.2017).
3. Тренажер «Алюминщик» для обучения технологического персонала литейного отделения алюминиевого завода [Электронный ресурс]: II Международная научно-практическая конференция «Современные научные достижения металлургической теплотехники и их реализация в промышленности», посвященная 90-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ Юрию Гавриловичу Ярошенко (18-21 сентября 2017 г.) - Режим доступа: http://conf.tim-urfu.ru/ свободный (дата обращения: 25.09.2017).
4. Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов [Электронный ресурс]: база компьютерных тренажеров. - Режим доступа: http://brstu.ru/static/ unit/ journal_ smt/docs/number11/106-114.pdf, свободный (дата обращения: 26.09.2017).
5. Мартусевич Е.А. Поиск решения технологических задач методом последовательной оптимизации [Текст] / Е.А. Мартусевич, В.Н. Буинцев.– 5-е изд. Часть 4/ Уфа: АЭТЭРНА, 2017.- 282 с.
6. Метод последовательной оптимизации [Электронный ресурс]: критерий оптимизации. - Режим доступа: http://chem21.info/info/141924/, свободный (дата обращения: 27.09.2017).
7. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс]: имитационное моделирование.- Режим доступа: http://www.intuit.ru/studies/courses/1384/156/lecture/27241, свободный (дата обращения: 28.09.2017).
8. Обучение технологическим процессам [Электронный ресурс]: технические и математические науки. - Режим доступа: http://nauchforum.ru/node/1231, свободный (дата обращения: 28.09.2017).

УДК УДК 004.942

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «ИНЖИНИРИНГ МЕТАЛЛУРГИЯ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШИРОКОГО КРУГА ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

Рыбенко И.А.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru

Аннотация: *В работе представлена инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия» в виде комплекса программ и баз данных, адаптированных для ряда металлургических технологий, позволяющая осуществлять многовариантные расчеты, проводить исследования и решать различные оптимизационные задачи по определению наилучших условий реализации металлургических процессов.*

Ключевые слова: *метод, модель, инструментальная система, программа, технология, оптимизация.*

THE INSTRUMENTAL SYSTEM «ENGINEERING-METALLURGY» FOR A WIDE RANGE OF OPTIMIZATION PROBLEMS

Rybenko I.A.

Siberian State industrial University Novokuznetsk, Russia, rybenkoi@mail.ru

Abstract: *Presents instrumental "System Engineering-Metallurgy in the form of a set of programmers and databases, adapted for a number of metallurgical technologies enables multivariate calculations, conduct research and solve various optimization problems by definition the best conditions of metallurgical processes.*

Keywords: *method, model, tooling system, program, technology, optimization.*

Одной из важнейших проблем, стоящих в настоящее время перед отраслями черной и цветной

металлургии является снижение удельных расходов исходных материалов и энергии на единицу производимой продукции, то есть проблема создания энерго- и ресурсосберегающих технологий [1]. Разработка новых ресурсосберегающих технологий невозможна без вычислительных экспериментов, которые позволяют анализировать состояния и процессы и делать выводы о поведении исследуемых объектов на основании модельных представлений. Поэтому в настоящее время актуальным является создание инструментальных систем, реализующих математические модели и позволяющих эффективно проводить расчеты, исследования и решать различные оптимизационные задачи. Для решения этих задач с использованием средств MS Excel и Delphi создана инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия», осуществляющая решение задач по определению оптимальных условий реализации металлургических технологий, в которой программно реализовано математическое описание взаимосвязи потоков и параметров процессов с использованием комплекса математических детерминированных математических моделей, основанных на первом и втором законах термодинамики [2 − 4].

Инструментальная система, структурная схема которой приведена на рисунке 1, представляет собой комплекс программ, адаптированных для ряда металлургических технологий. Программы включают в себя набор стандартных блоков: «Исходные данные», «Балансы», «Энтальпии», «Активности», «Реакции», «Технико-экономические показатели», «Оптимизация», «Графика», «Исследование», в которых используются следующие базы данных: «Химический состав материалов», «Термодинамические свойства индивидуальных веществ», «Параметры взаимодействия 1-го порядка», «Атомные параметры», «Термодинамические характеристики реакций фазовых переходов и растворения элементов», «Удельные энергоемкости материалов». Алгоритм расчета оптимальных режимов металлургических процессов в системе «Инжиниринг-Металлургия приведен на рисунке 2.

В блоке «Исходные данные» осуществляется ввод исходных данных: расходов, температур и химического состава для заданного набора шихтовых материалов и технологических параметров процесса. Пользователю предложен полный перечень шихтовых материалов для выбранного варианта технологии, предусмотрена возможность исключения какого-либо материала или добавления нового. По умолчанию в программе заданы химические составы всех используемых материалов, которые пользователь также может изменять по своему желанию. Параметры процесса определяются типом технологии, значения этих параметров также заданы по умолчанию. Их можно изменить или настроить самостоятельно.

В блоке «Балансы» осуществляется расчет всех стадий, подпроцессов и статей материального и теплового балансов. При расчете материального баланса производится декомпозиция входных потоков, поступающих в металлургический агрегат, на вещества и элементы, которые с использованием коэффициентов распределения по фазам перераспределяются в металл, шлак или газ. Коэффициенты распределения настраиваются по результатам термодинамического моделирования для проектируемых процессов либо задаются на основании экспериментальных или литературных данных для известных технологий. Материальный баланс, таким образом, представлен балансами потоков, веществ и элементов. В результате дальнейшего расчета формируются составы и массы металла, шлака и газа. В этом же блоке рассчитываются все статьи теплового баланса. К приходной части баланса относятся энтальпии исходных материалов, тепловые эффекты экзотермических реакций и приход тепла от внешних источников, к расходной – энтальпии продуктов, тепловые эффекты эндотермических реакций и потери тепла в окружающую среду.

Энтальпии исходных материалов и конечных продуктов рассчитываются в отдельном блоке «Энтальпии», в который из блока исходных данных передаются значения температур, масс и состава исходных материалов и из блока расчета материального и теплового балансов – значения температур, масс и составов металла, шлака и газа.

При расчете используются данные термодинамических функций веществ с использованием базы данных «Термодинамические свойства индивидуальных веществ». В блоке «Активности» производится расчет активностей компонентов металла с использованием аппарата параметров взаимодействия, шлака – по теории коллективизированных электронов и парциальных давлений газовой фазы. При расчетах активностей используются базы данных «Параметры взаимодействия 1-го порядка» и «Атомные параметры».

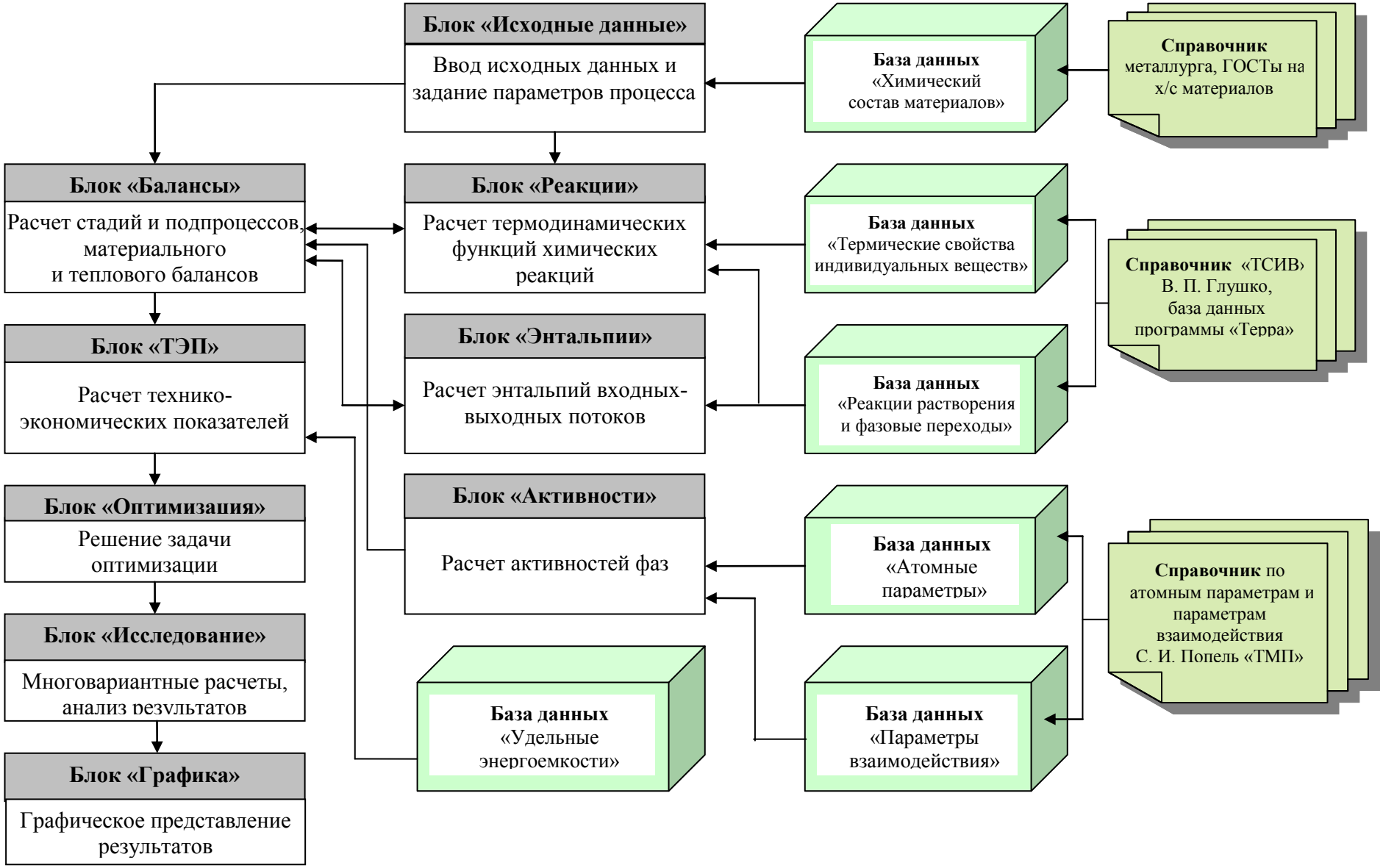

Рисунок 1 – Схема инструментальной системы «Инжиниринг-Металлургия»

Рисунок 2– Алгоритм расчета оптимальных режимов металлургического процесса в инструментальной системе «Инжиниринг-Металлургия»

При расчете используются данные термодинамических функций веществ с использованием базы данных «Термодинамические свойства индивидуальных веществ». В блоке «Активности» производится расчет активностей компонентов металла с использованием аппарата параметров взаимодействия, шлака – по теории коллективизированных электронов и парциальных давлений газовой фазы. При расчетах активностей используются базы данных «Параметры взаимодействия 1-го порядка» и «Атомные параметры».

Термодинамический анализ химических реакций константным методом осуществляется в блоке «Реакции». Перечень независимых реакций формируется с использованием методов термодинамического моделирования в результате анализа всех возможных реакций перехода системы из начального состояния в конечное. Схема расчета термодинамических характеристик основных типов металлургических реакций приведена на рисунке 3.

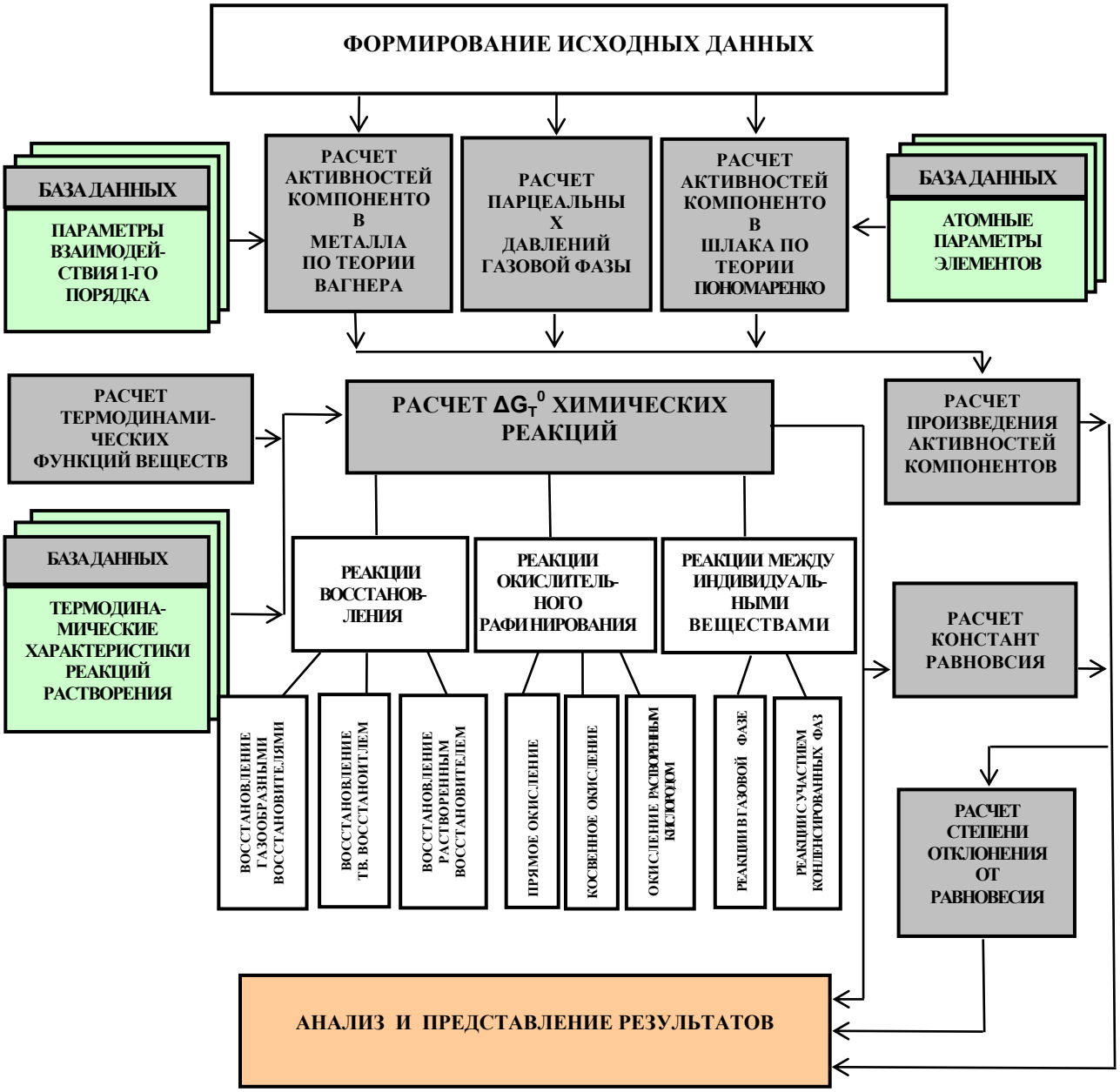

Рисунок 3 − Схема расчета термодинамических характеристик химических реакций

Для реакций горения, восстановления, окислительного рафинирования и реакций между индивидуальными веществами рассчитываются изменение изобарно-изотермического потенциала и константа равновесия. Для этого используются данные расчетов термодинамических функций индивидуальных веществ с использованием справочника по термическим свойствам веществ и баз данных по термодинамическим характеристикам реакций фазовых переходов и реакций растворения элементов в жидком железе. Производится оценка степени отклонения реакций от термодинамического равновесия путем анализа показателя отношения произведения активностей реагирующих веществ к константе равновесия. Для чего используются данные по активностям компонентов металла и шлака.

Блок «Технико-экономические показатели» представлен таблицей расчета производительности агрегата, удельных расходов материалов, себестоимости и энергоемкости продукта. При этом используется база данных значений удельных энергоемкостей материалов.

В блоке «Оптимизация» осуществляется решение задачи по определению оптимальных технологических режимов металлургических процессов, которое заключается в расчете управляющих воздействий для получения продукта с заданными свойствами при оптимизации одного из критериев. В качестве критериев могут быть выбраны следующие показатели: суммарный расход шихтовых материалов; затраты на единицу продукции, себестоимость продукции, энергоемкость процесса или производительность агрегата. Решение задачи оптимизации заключается в определении экстремума

одного из вышеперечисленных критериев при выполнении ограничений на диапазоны изменения расходов компонентов входных потоков; соблюдение закона сохранения массы на уровне потоков, веществ и элементов; соблюдение закона сохранения энергии; соблюдение ограничений на параметры готового продукта; выполнение нормирующих соотношений и выполнение целевых условий по остальным критериям. Схема постановки и решения оптимизационной задачи приведена на рисунке 4. Задача решается методом нелинейного программирования − обобщенного приведенного градиента.

В блоке «Оптимизация» также представлены сводные результаты расчета: материальный баланс по потокам, общий тепловой баланс, технико-экономические показатели и составы металла, шлака и газа. В блоке «Графика» реализовано графическое представление результатов в виде гистограмм, круговых диаграмм и графиков, позволяющих провести полный анализ полученных результатов.

В блоке «Исследование» формируется сводная таблица результатов многовариантных исследований с последующей возможностью построения графиков, включающая значения удельных расходов материалов, технико-экономических показателей, параметров металла, шлака и газа и других необходимых показателей для выбранного варианта технологии.

Модули «Энтальпии», «Активности», «Реакции», «Оптимизация», «Графика» и «Исследование», а также используемые базы данных являются стандартными и могут применяться для расчетов любых типов процессов путем согласования данных с блоками «Исходные данные» и «Балансы», которые, как и модуль «ТЭП», адаптированы к конкретному варианту технологии.

В программном комплексе в виде баз данных реализованы различные справочники, основным из которых является справочник по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ.

Рисунок 4 – Схема решения оптимизационной задачи

Он включает следующую информацию: химическую формулу вещества с указанием фазового состояния, молярную массу, энтальпию образования и энтропию вещества при стандартной температуре, температуру и изменение энтальпии фазовых переходов и коэффициенты аппроксимационного уравнения для приведенной энергии Гиббса. При его формировании за основу взяты база данных программного комплекса «Терра» [5] и справочник по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ "ТСИВ" [6].

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ
РАСПЛАВА И ТЕРМООБРАБОТКИ 174
Попова М.В., Малюх М.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
СТРУКТУРЫ СТАЛИ СТ3 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ 181
Балановский А.Е., Штайгер М.Г., Кондратьев В.В., Карлина А.И.
АКТИВНОСТЬ МАГНИЯ В РАСПЛАВАХ СИСТЕМЫ FE-MG-SI 187
Власов В.Н., Агеев Ю.А.
ОСОБЕННОСТИ ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В СТАЛИ 20ГЛ 191
Каравайцева А.А., Квеглис Л.И., Павлов А.В.
РАСЧЕТ СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ
ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ РАСПЛАВА 196
Рафальский И.В., Лущик П.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ
ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ГВС
МЕТОДОМ ВОЛОЧЕНИЯ ИЗ СПЛАВА БРБ2 200
Сидельников С.Б., Бер В.И., Вагнер А.В., Дударев В.М., Семиряков М.А.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ БОРОАЛИТИРОВАНИЯ НА ТОЛЩИНУ
ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ НА СТАЛИ 20 206
Мишигдоржийн У.Л., Улаханов Н.С., Сизов И.Г., Шурыгин Ю.Л., Хараев Ю.П.
РАЗРАБОТКА СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ТРАМВАЙНЫХ
РЕЛЬСОВ В НЕПРЕРЫВНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ 211
Сметанин С.В., Перетятько В.Н.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ 216
Медведева Е.М., Голубчик Э.М., Гулин А.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОКИЛЬНОГО
ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 221
Васюхно А.Ю., Черномас В.В.
ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ
МЕТАЛЛОВ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ …..……..……..230
**Балановский А.Е., Гречнева М.В., Ву Ван Хуи, Штайгер М.Г.,
Кондратьев В.В., Карлина А.И.**

СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

ОКИСЛЕНИЕ НАНОДИБОРИДА ТИТАНА НА ВОЗДУХЕ 235
Галевский Г.В., Руднева В.В., Ефимова К.А
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ФЛЮС-ДОБАВОК ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ СТАЛИ 241
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Кислов А.И., Свистунов А.Д.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO_3 УГЛЕРОДОМ И КРЕМНИЕМ 245
Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Шурупов В.М.
АНТИФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НА БАЗЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С КЕРАМИЧЕСКИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ 249
Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г., Катин И.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО
ПОРОШКА КАРБИДА КРЕМНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ 254
Квашина Т.С., Крутский Ю.Л., Чушенков В.И.
ВЛИЯНИЕ ИНГИБИРУЮЩИХ ДОБАВОК ТУГОПЛАВКИХ КАРБИДОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ 257
**Крутский Ю.Л., Веселов С.В., Тюрин А.Г., Черкасова Н.Ю., Кузьмин Р.И.,
Чушенков В.И., Воробьев Р.С., Квашина Т.С.**
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛАСТЕРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ФАЗЫ NI3AL ПРИ СПЕКАНИИ ПОРОШКОВ NI И AL 262
Джес А.В., НосковФ.М., КвеглисЛ.И., Казначеева А.М.

КЛАСТЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАРТЕНСИТНОГО
ПРЕВРАЩЕНИЯ В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА 267
Джес А.В., Носков Ф.М., Квеглис Л.И., Казначеева А.М.
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ
ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ 273
Вотинова Е.Б., Шалимов М.П., Табатчиков А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ
СТРУКТУРЫ СИЛУМИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЕМ НА ЕГО ПОВЕРХНОСТЬ
ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ AL-Y_2O_3 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ 277
Осинцев К.А., Бахриева Л.Р., Бутакова К.А., Мусорина Е.В.,
Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Громов В.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ
СТРУКТУРЫ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0,
СФОРМИРОВАННЫХ ПОСЛОЙНЫМ СПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ НАПЛАВЛЕНИЕМ 283
Батранин А.В., Федоров В.В., КлименовВ.А., Клопотов А.А.,
Абзаев Ю.А., Волокитин Г.Г., Курган К.А.
ЦИРКУЛЯЦИЯ ЙОДИДОВ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА
ПРИ ДИФФУЗИОННОМ ХРОМИРОВАНИИ 288
Христюк Н.А. Богданов С.П.
ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ЭПФ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ 293
Насакина Е.О., Баикин А.С., Конушкин С.В., Сергиенко К.В., Каплан М.А.,
Федюк И.М., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Клименко С.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ
КАРБИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КАЧЕСТВО
ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ WC-CO 295
Чушенков В.И., Крутский Ю.Л., Квашина Т.С.
РАШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРУЮЩИХ
ФЛЮСОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КРЕМНИЯ 300
Иванчик Н.Н., Балановский А.Е., Кондратьев В.В., Сысоев И.А., Карлина А.И.
ВЛИЯНИЯ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА АНОДНОЕ
ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА AL + 2,18 % FE В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ 305
Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Амонов И.Т., Эсанов Н.Р.
ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАЗОВОГО ИЗМЕНЕНИЯ
СПЛАВА И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА СЛОЯ ПОКРЫТИЯ 311
Шувень Сюй, Сичжан Чен
ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СИЛУМИНА
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ИТТРИЯ 318
Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Загуляев Д.В., Толкачев О.С., Петрикова Е.А., Коновалов С.В.
ФОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ ВО ВРЕМЯ ЛАЗЕРНОЙ
СВАРКИ ДВУХФАЗНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ DP780 321
Хуанг Л., Чэнь С., Коновалов С., Ма Х.
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА И ЕГО РАЗМЕРА
ЧАСТИЦ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ 327
Зиу С., Чэнь С.
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
В КАРБИДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ TI – C – H – N, TI – O – C – H - N 334
Гарбузова А.К., Галевский Г.В., Руднева В.В.
О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БИНАРНОГО СПЛАВА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ТУГОПЛАВКИМИ
НАНОЧАСТИЦАМИ 338
Черепанов А.Н., Черепанова В.К.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СВАРКИ ДЛИННОМЕРНЫХ
РЕБРИСТЫХ ТИТАНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ УСП-5000 344
Григорьев В.В., Бахматов П.В.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ
ЭЛЕМЕНТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ТРУБОПРОВОДА НА ПОРООБРАЗОВАНИЕ 350
Ващук И.А., Бахматов П.В.
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ГАЗОДИНАМИКА И
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ 358
Чинахов Д.А., Солодский С.А., Майорова Е.И., Григорьева Е.Г.

СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ 363

ОБРАЗОВАНИЕ И ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ 363
Галевский Г.В., Минцис М.Я.
СОКРАЩЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НА ТЭЦ С ПЕРЕВОДОМ ОТОПЛЕНИЯ КОТЛОВ НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО 366
Коротков С.Г., Сазонова Я.Е.
К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ 369
Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б.
ЭМИССИЯ ПАУ ИЗ САМООБЖИГАЮЩИХСЯ АНОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ 375
Минцис М.Я., Галевский Г.В.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ГАЗООЧИСТНЫХ УСТАНОВОК ОК РУСАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРОВ С САМООБЖИГАЮЩИМСЯ АНОДОМ 377
Григорьев В.Г., Тепикин С.В., Шемет А.Д., Высотский Д.В., Кузаков А.А., Тенигин А.Ю.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ГОРЕЛКЕ СО ВСТРОЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ РЕКУПЕРАТОРОМ 383
Стерлигов В.В., Старикова Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКОМАРГАНЦЕВОГО ШЛАКА 388
ПавловичЛ.Б., Исмагилов З.Р., Дятлова К.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КОКСОХИМИИ 394
Полях О.А., Пономарев Н.С., Журавлев А.Д.
ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЛОГЕНОСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 398
Гимпелевич И., Мегидов Е., Мишне И., Рам Ш., Шимон Ю.
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКРЕМНЕЗЕМА 401
Кондратьев В.В., Колосов А.Д., Горовой В.О., Небогин С.А., Ёлкин К. С., Немаров А.А., Иванов А.А.
ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОКАЛИНЫ ПРОКАТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ 406
Горшкова О. С., Матюхин В. И.
СИСТЕМА ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА СИЛИКАТНОЙ СТРУИ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ 409
Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В.
УСКОРЕННАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТХОДОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ 412
Водолеев А.С., Бердова О.В., Юмашева Н.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ 417
Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В.
ТЕПЛОВАЯ РАБОТА ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭДП 421
Корнеев С.В., Трусова И.А.
О ТЕХНОЛОГИЯХ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 427
Ёлкин К.С., Ёлкин Д.К., Карлина А.И.
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХОЙ СЕПАРАЦИИ МИКРОКРЕМНЕЗЁМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ 432
Кондратьев В.В., Небогин С.А., Колосов А. Д., Горовой В.О., Немаров А.А., Иванов А.А., Запольских А.С. 432
НАПРАВЛЕНИЯ СОКРАЩЕНИЯ РАСХОДА ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ 436
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В., Карлина А.И.
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОЧЛЕНЕНИЯХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР 439
Никитин А.Г., Абрамов А.В.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ 443
Зимина Т.И., Иванов Н.Н., Захаров С.В., Трошина А.О., Паньков А.М.
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА 446
Ершов В.А., Зимина Т.И., Говорков А.С., Иванов Н.А.,
Захаров С.В., Трошина А.О.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ РЕЗАНИЯ
НА НОЖНИЦАХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОГНУТОЙ ПОЛОСЫ 449
Никитин А.Г., Демина Е.И.
СОСТАВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЧАСТИ ОТРАБОТАНОЙ
ФУТЕРОВКИ – ОТХОДА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА
АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ 452
Ржечицкий Э.П., Петровский А.А., Немчинова Н.В.
ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ КАТАЛИЗАТОРОВ
В ПЛАЗМЕННЫХ ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ 457
Девятых Е.А., Девятых Т.О., Швыдкий В.С.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИСТЕМ
ГАЗООЧИСТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ 461
Ершов В.А., Зимина Т.И., Колмогорцев И В., Горовой В.О., Трошина А.О.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ БАРАБАННОГО ТИПА 464
Черемискина Н.А., Щукина Н.В., Лошкарев Н.Б., Лавров В.В.

Научное издание

МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2017»

Труды XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Технический редактор В.Е. Хомичева

Компьютерная верстка Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 23.10.2017 г.
Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 27,6 Уч.-изд. л. 30,0 Тираж 300 экз. Заказ № 521

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