

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 2

**Новокузнецк
2021**

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. 2 / под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 342 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии процессов сварки, порошковой металлургии, получения композиционных материалов и покрытий, тепло- и массопереноса в металлургических процессах и агрегатах, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов, охраны труда, автоматизации и моделирования металлургических процессов, инновационных металлургических технологий в машиностроении, экономико-управленческих проблем металлургических регионов.

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 «MATEC 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

ГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И МОДИФИКАЦИЯ МАТРИЦЫ ДВУХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Стерлигов В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, p.s.1976@bk.ru*

Аннотация. Рассмотрены условия формирования плана многофакторного эксперимента, излагаемого в так называемой «теории планирования эксперимента». В представленном докладе проведен геометрический анализ построения матрицы двухфакторного эксперимента. Доказано, что все коэффициенты регрессионной модели, могут быть получены при формировании поверхности отклика на 3^x точках, а не на 4^x , как это делается сейчас.

Ключевые слова: теория планирования эксперимента, входной фактор, поверхность отклика, уравнение регрессии, матрица, линейная модель, линеаризация, адекватность.

GRAPHICAL INTERPRETATION AND MODIFICATION OF THE MATRIX OF A TWO-FACTOR EXPERIMENT

Sterligov V.V.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, p.s.1976@bk.ru*

Abstract. The conditions for the formation of a plan for a multifactorial experiment, described in the so-called "theory of experiment planning", are considered. In the presented report, a geometric analysis of the construction of the matrix of a two-factor experiment is carried out.

It is proved that all the coefficients of the regression model can be obtained when forming the response surface at 3 points, not at 4 points, as is done now.

Keywords: experimental planning theory, input factor, response surface, regression equation, matrix, linear model, linearization, adequacy.

Введение.

Сфера производства черных металлов находится в достаточно сложном состоянии. С одной стороны, достигнув уже в 2017 году миллиона тысяч тонн в производстве чугуна, отрасль продолжает наращивать производство с приращением $2,0 \div 2,5$ % в год. Так же по стали представлены следующие показатели: 1,5 миллиона тысяч тонн в 2018 году и темп роста $\sim 4,7$ %.

С другой стороны, появление принципиально новых материалов (пластмассы, композиты, фуллерены и др.) подвигает металлургов на активную деятельность по удержанию конкурентных позиций и, прежде всего, по введению технологических инноваций: плавление и нагрев металла, создание новых сплавов с особыми свойствами и многое другое.

При этом наряду с различными методами исследований используется математическое моделирование процессов металлургии. Другой ключевой задачей является оптимизация процессов, что очень сложно для многофакторных процессов (проблем), которые решаются в металлургии. Следует отметить, что основной методикой исследований и представления их результатов, что можно назвать современным определением «информационная технология», является предложенный английским исследователем Р. Фишером метод организации исследований.

Первый специальный труд, посвященный новой стратегии эксперимента, был издан в 1960 г. в Англии под названием «Design of experiments» [1]. Первая русскоязычная книга по этому вопросу Ч. Хикса была издана в Советском Союзе в 1967 г. под названием «Основные принципы планирования эксперимента» [2].

Это определение сущности проблемы как «планирование эксперимента» было потом принято в работах советских авторов Ю.П. Адлера [3], В.В. Налимова [4] и других.

Вскоре в англоязычных изданиях появлялись работы, разъясняющие идею многофакторного эксперимента [5] как новой методологии, позволяющей создавать так называемую «поверхность отклика» (response surface).

Для визуального восприятия допустимо рассматривать такую ситуацию при двухфакторном эксперименте, который связан с построением статистической зависимости $z = f(x, y)$. В ортогональной декартовой системе координат совокупность точек z при различных комбинациях значений x и y формирует так называемую «поверхность отклика». В общем случае эта поверхность является криволинейной, а модель ее в виде записи $z = f(x, y)$ должна быть признана нелинейной.

Применительно к многофакторным моделям Р. Фишер предложил участок криволинейной поверхности заменить некоторым плоским прямоугольником для двухфакторного эксперимента. Примером такой аппроксимации являются шары, обложенные плоскими осколками зеркала, которые часто используют в зрелищных представлениях. Дальше, совершенствуя и упрощая вычисления, он сделал переход от «центрированных» величин к «нормированным», где факторы меняются в пределах от -1 до +1.

Геометрический смысл метода Р. Фишера подчеркивает и В.А. Веников [6], один из видных в отечественной науке специалистов по моделированию, предлагая: «... проводить опыты в любой сложной системе, сначала находя их линейное приближение. При этом зависимости, отражающие малые участки изучаемой функции, линеаризуются.»

Признавая огромную роль Фишера в развитии методологии эксперимента, мы хотим продолжить развитие его идей, основываясь на геометрическом подходе для объяснения математического аппарата (рисунок 1).

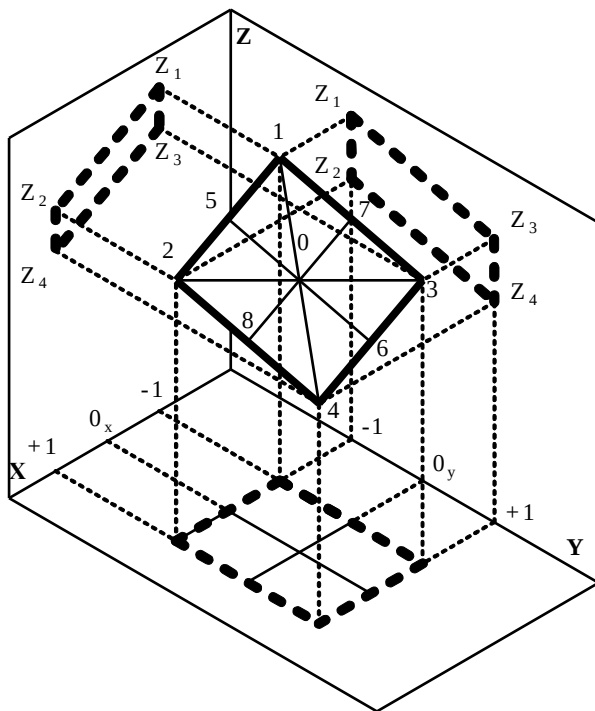


Рисунок 1 - Изометрические проекции поверхности отклика для двухфакторного эксперимента

Исследовательская часть

Фигура 1234 – есть плоская поверхность отклика. Поскольку используется прямоугольная система координат, то эта фигура является прямоугольником со сторонами, параллельными плоскостям $x-0-z$ и $y-0-z$. Проекция этой фигуры на плоскость $x-0-y$ дает квадрат со сторонами $x(-1 \div +1)$ и $y(-1 \div +1)$. Ординаты, восстановленные из угловых точек квадрата, дают 4 значения функции. Таким образом, каждая из точек поверхности отклика $z = f(x, y)$

имеют свои координаты в заданной системе, а именно: точка 1 $z(-1,-1)$, точка 2 $z(+1,-1)$, точка 3 $z(-1,+1)$, точка 4 $z(+1,+1)$.

Целью построения такой системы является получения уравнение регрессии:

$$z = z_0 + b_1x + b_2y, \quad (1)$$

где все z есть натуральные числа, определяющие значения переменных;

z_0, b_1, b_2 – величины параметров (коэффициентов) уравнения, определяемые по выборке данных эксперимента (иногда используют вместо z_0 величину b_0).

В любом издании, где излагается методика вычислений, при использовании теории планирования эксперимента даются формулы без объяснения правил их построения. Рассмотрение рисунка позволяет объяснить структуру этих выражений и также подчеркнуть суть подхода при их определении.

Известно, что параметр z_0 определяется по формуле:

$$z_0 = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4}{4}, \quad (2)$$

В случае проведения опытов, где осуществляется дублирование, необходимо подставлять средние значения выходных величин в каждой строке матрицы. В нашем случае рассматривается «идеальная» схема, где значения факторов определяются однозначно.

Формула (2) не проясняет суть подхода, но если записать ее в другом виде, то станет очевидным, что используется усреднение геометрических параметров поверхности отклика.

Преобразуем формулу (2) к виду

$$z_0 = \frac{\frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{z_3 + z_4}{2}}{2}, \quad (3)$$

Первое слагаемое числителя есть ордината точки 5, т.е. среднее значение при изменении фактора $x(-1,+1)$ при $y = -1$.

Т.е. можно записать

$$\frac{z_1 + z_2}{2} = \bar{z}_{y(-1)} = z_5 \quad (4)$$

Второе слагаемое, аналогично вычисляется для $x(-1,+1)$ при $y = +1$, тогда можно записать

$$\frac{z_3 + z_4}{2} = \bar{z}_{y(+1)} = z_6, \quad (5)$$

Тогда

$$z_0 = \bar{\bar{z}} = \frac{\bar{z}_{y(-1)} + \bar{z}_{y(+1)}}{2} = \frac{z_5 + z_6}{2}, \quad (6)$$

Таким образом, z_0 – есть среднее средних величин.

Выражение (3) можно перегруппировать и записать и в другом виде

$$z_0 = \frac{\frac{z_1 + z_3}{2} + \frac{z_2 + z_4}{2}}{2}, \quad (7)$$

Это приводит к форме

$$z_0 = \bar{\bar{z}} = \frac{\bar{z}_{(yx-1)} + \bar{z}_{(yx+1)}}{2} = \frac{z_7 + z_8}{2} \quad (8)$$

Из схемы видно, что z_0 – есть ордината точки 0, которая в прямоугольнике будет рас-

положена на пересечении медиан $\bar{X} = 0$ и $\bar{Y} = 0$, или диагоналей.

Это рассмотрение позволяет сделать вывод о том, что в основе математической матрицы двухфакторного эксперимента лежит геометрическая интерпретация процедуры вычисления коэффициентов уравнения. Это видно и при определении коэффициентов b_1 , b_2 регрессии. Для определения b_1 используется выражение

$$b_1 = \frac{(-1)z_1 + (-1)z_2 + (-1)z_3 + (+1)z_4}{4} = \frac{\frac{(-1)z_1 + (-1)z_2}{2} + \frac{(-1)z_3 + (+1)z_4}{2}}{2}. \quad (9)$$

Объяснение этому выражению можно получить, если на схеме спроецировать на поверхность xOy параллельные ей стороны аппроксимирующего прямоугольника. Верхняя сторона отражает разницу ординат точек 1 и 2, а угол наклона ее будет отражать отношение $\Delta y / \Delta x$, т.е.

$$\frac{z_1 - z_2}{x_1 - x_2} = \frac{z_1 - z_2}{-1 - (+1)} = \frac{z_1 - z_2}{-2} = b_{1(-1)} \quad (10a)$$

Это тангенс угла наклона при $y = -1$.

Аналогично нижняя линия дает тангенс угла наклона при $y = +1$

$$b_{1(+1)} = \frac{z_3 - z_4}{y_3 - x_4} = \frac{z_3 - z_4}{-1 - (+1)} = \frac{z_3 - z_4}{-2} = b_{1(+1)} \quad (10b)$$

Среднее значение, которое необходимо определять при обработке реальных данных опытов, даст

$$b_1 = \frac{b_{1(-1)} - b_{1(+1)}}{2}. \quad (10c)$$

Это при подстановке тождественно уравнению (9).

Аналогичные результаты будут получены для определения коэффициента b_2 , который будет определяться тождеством угла наклона линий, являющихся проекциями сторон аппроксимирующего плоского прямоугольника.

Таким образом, приведенный анализ показывает, что математический аппарат метода, предложенного Р Фишером, основан на использовании геометрического образа части поверхности отклика, как плоского прямоугольника, координаты угла которого x и y рассматриваются в нормированном виде в пределах изменения от -1 до +1.

Но как известно из Евклидовой геометрии, для построения плоскости достаточно иметь три точки [7]. На основе этого нами предлагается проведение всего 3 опытов, чтобы получить положение плоскости на поверхности $z = f(x, y)$.

Анализ результатов

После приведенного анализа, который определил возможность геометрической интерпретации, необходимо посмотреть насколько справедлива гипотеза о возможности проведения только трех опытов вместо обычных четырех для двухфакторного эксперимента.

Ордината точки 0, т.е. значение z_0 , по схеме определяется как ордината точки x , лежащей на середине гипотенузы рассматриваемого треугольника 1-2-3.

Из схемы следует

$$z_0 = \frac{z_2 + z_3}{2}; b_1 = \frac{z_2 - z_1}{2}; b_2 = \frac{z_3 - z_1}{2} \quad (12)$$

Для проведения численного анализа составим матрицу эксперимента, которая бы соответствовала условиям графической «идеальной» схемы рисунка с использованием треугольника.

По схеме прямоугольника с использованием «традиционных» подходов уравнение регрессии

$$z_0 = 9,5; b_1 = -1,5; b_2 = -2 : z = 9,5 - 1,5x - 2y \quad (13) \square$$

Для схемы «треугольника» получаем на основе уравнения (12) получаем

$$z_0 = \frac{z_2 + z_3}{2} = \frac{10 + 9}{2} = 9,5, b_1 = \frac{z_2 - z_1}{2} = \frac{10 - 13}{2} = -1,5,$$

$$b_2 = \frac{z_3 - z_1}{2} = \frac{9 - 13}{2} = -2$$

$$z = 9,5 - 1,5x - 2y \quad (13) \Delta$$

Для проверки справедливости гипотезы о возможности использования треугольной модификации матрицы двухфакторного эксперимента были использованы данные работ [8-10], когда во всех случаях получались тождественные результаты.

Проверка гипотезы по материалам источника [9], посвященными работе металлургической печи для плавления металла подтвердила гипотезу.

В работе [10] изучалось влияние скорости W , м/с, и температуры потока t , °С, на интенсивность конвективного теплового потока, q , Вт/м² при нагреве металла в секционных печах. Исследовалась классическая матрица двухфакторного эксперимента с шестикратным дублированием опыта в каждой точке. Кроме экспериментов в «опорных» точках проводилось еще опыты в центре плана. Обработка материала с выполнением всех процедур математической статистики (рандомизация, проверка «нормального» характера распределения ошибок опыта, определение коэффициентов регрессии, оценка их значимости, проверка адекватности модели), позволила получить уравнение регрессии для описания явления. Результаты расчетов по классическому плану и использованию 3-точечной плоскости полностью совпадают.

Задачи оптимизации процессов методом «крутого восхождения» [11], на основе теории планирования эксперимента также может быть решена, применяя предложения гипотезы.

Выводы.

Проведенный графический анализ построения геометрического плана двухфакторного эксперимента показывает, что реализация основной идеи Р. Фишера в теории планирования эксперимента о представлении некоторой ограниченной криволинейной поверхности отклика плоским прямоугольником может быть заменена на представление треугольной плоскостью, для построения которой достаточно трех точек. Это позволит уменьшить число опытов с 4 до 3 для построения математической модели, снизить трудоемкость работы. Проверочные расчеты, проведенные на материалах известных публикаций, подтвердили правильность выдвинутой гипотезы. Данное предложение может быть использовано при планировании многофакторных экспериментов, возможности выполнения которых при использовании треугольной плоскости аппроксимации значительно возрастает объем публикации не позволяет обсудить их прямо сейчас и в дальнейшем будет предложен анализ новых возможностей планирования эксперимента на основе заявленного предложения, возможности вычисления которых при использовании треугольной плоскости аппроксимации значительно возрастает. Объем публикации не позволяет обсудить их прямо сейчас и в дальнейшем будет предложен анализ новых возможностей планирования эксперимента на основе заявленного предложения.

Библиографический список

1. Fisher R. A. Design of Experiments, L., Oliver Boyd, 1960. – 310 p.
2. Ч. Хикс Основные принципы планирования эксперимента, М.: Мир, 1967. – 407 с.
3. Ю. П. Адлер Введение в планирование эксперимента, М.: Металлургия, 1969. – 157 с.
4. В.В. Налимов Теория эксперимента, М.: Наука, 1971. – 207 с.
5. Myers R. Response Surface Methodology. Allon and Bacon Inc., Boston 1971. – 480 p.
6. Веников В.А. Теория подобия и моделирования, М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
7. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев, М.: Наука, 1964. – 608 с.
8. Воскобойников Ю.Е. Регрессионный анализ данных в пакете Mathcad / Ю.Е. Вос-

кобойников, Санкт-Петербург: Лань, 2011. – 224 с.

9. Цымбал В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии. Кемерово, Москва : Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с.

10. Стерлигов В.В., Евтушенко В.Ф., Зайцев В.П. Применение планирования эксперимента при исследовании конвективного теплообмена. Сообщение 2, Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1974, № 2, С. 165-169.

11. Mramba, L.K., Gezan, S.A. Evaluating algorithm efficiency for optimizing experimental designs with correlated data/. (2018) Algorithms, 11 (12), статья № 212, DOI: 10.3390/a11120212.

УДК621.3.078

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА РЕЛЬСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО СИСТЕМЕ «ПЧ-СД» С ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ

Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С., Зайцев Н.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, vladimir.kuznezoff@yandex.ru, kuzlena00@yandex.ru, gralb@list.ru*

Аннотация. Разработана модель электропривода вращения валков реверсивного прокатного стана рельсового цеха по системе «Преобразователь частоты – синхронный двигатель» с двухзонным регулированием скорости и векторным управлением. Приведены схемы и характеристики отдельных элементов модели. Выполнено осциллографирование основных параметров модели. Приведенные осциллограммы переходных процессов, полученные в результате моделирования, соответствуют параметрам электропривода BD1 рельсобалочного цеха, что доказывает адекватность модели.

Ключевые слова: электропривод, моделирование, прокатный стан, синхронный двигатель, преобразователь частоты, двухзонное регулирование, векторное управление, осциллограммы переходных процессов.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE RAIL PRODUCTION ROLLING MILL ACCORDING TO THE FC-SM SYSTEM WITH TWO-ZONE SPEED CONTROL

Kuznetsov V.A., Kuznetsova E.S., Zaitsev N.S.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, vladimir.kuznezoff@yandex.ru, kuzlena00@yandex.ru, gralb@list.ru*

Abstract. A model of the electric drive of rotation of the rolls of a reversible rolling mill of a rail shop has been developed according to the system: frequency converter - synchronous motor with two-zone speed control and vector control. Schemes and characteristics of individual elements of the model are given. Oscillography of the main parameters of the model has been performed. The presented oscillograms of transient processes obtained as a result of the simulation correspond to the parameters of the BD1 electric drive of the rail and structural shop, which proves the adequacy of the model.

Keywords: electric drive, modeling, rolling mill, synchronous motor, frequency converter, two-zone regulation, vector control, oscillograms of transient processes.

Современные металлургические комбинаты с полным металлургическим циклом включают в себя ряд отдельных взаимосвязанных технологических стадий, оказывающих непосредственное влияние на качество получаемой конечной продукции. Основным и в то же вре-

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ.....	4
КОМБИНИРОВАННАЯ НАПЛАВКА ПРОВОЛОКОЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОПОРОШОК ВОЛЬФРАМА	
<i>Зернин Е.А., Козырев Н.А., Данилов В.И., Кузнецов М.А.....</i>	4
ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА	
<i>Михно А.Р., Козырев Н.А., Громов В.Е., Усольцев А.А., Крюков Р.Е.</i>	11
ФАЗОВЫЙ СОСТАВ АДДИТИВНО ИЗГОТОВЛЕННОГО AL-MG СПЛАВА, ОБРАБОТАННОГО ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ	
<i>Гэн Я., Панченко И.А., Чэнь С., Иванов Ю.Ф., Коновалов С.В.</i>	16
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИН НА ПРОДОЛЬНОМ СВАРНОМ ШВЕ ТРУБЫ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА	
<i>Жуков Д.В., Коновалов С.В., Чэнь Д.....</i>	19
СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЦЕМЕНТАТА ПРОИЗВОДСТВА ЗОЛОТА	
<i>ЗеляхЯ.Д., Краюхин С.А., Шунин В.А., Воинков Р.С., Тимофеев К.Л., Королев А.А., Мастюгин С.А., Кузьменко А.А.</i>	23
КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ В СРЕДЕ АЗОТА	
<i>Малушин Н.Н., Громов В.Е., Романов Д.А., Бащенко Л.П., Ковалев А.П.</i>	28
ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ МАРКИ 40Х МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	
<i>Кашин С.С., Осколкова Т.Н., Шевченко Р.А.</i>	34
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ СИСТЕМЫ Fe-C-Si-Mn-Cr- W-V-Ti	
<i>Кибко Н.В., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Михно А.Р., Сычев А.А.</i>	36
О МЕХАНИЗМЕ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО И КАРБИДОБОРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ НЕКОТОРЫХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ	
<i>Крутский Ю.Л., Крутская Т.М., Гудыма Т.С., Сквородин И.Н., Лапекин Н.И., Лазаренко Н.С., Шестаков А.А.</i>	41
ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ДИАПАЗОНА ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ПОРОШКОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА B_4C-CrB_2	
<i>Шестаков В.А., Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л., Уваров Н.Ф., Крутская Т.М.</i>	45
РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ДИБОРИДА ХРОМА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Ширяева Л.С., Ноздрин И.В.....</i>	49
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ ПАСТ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ	
<i>Непочатов Ю.К., Плетнев П.М., Кучумова И.Д.</i>	56
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ДУГОВОГО ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ	
<i>Ноздрин И.В., Полях О.А., Ширяева Л.С., Строкина И.В., Шагиев Э.Р.</i>	62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА (III) В ДУГОВОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ <i>Ноздрин И.В., Шагиев Э.Р., Строкина И.В., Аникин А.Е.</i>	66
Трибологические характеристики упрочненных поверхностей концентрированными потоками энергии сплава ВК10КС <i>Осколкова Т.Н., Симачев А.С., Фастыковский А.Р.</i>	70
Повышение надежности и долговечности деталей металлургического оборудования работающего в условиях интенсивного износа путем наплавки <i>Усольцев А.А., Козырев Н.А., Михно А.Р., Шевченко Р.А., Сычев А.А.</i>	74
Совершенствование технологии наплавки порошковой проволоки прокатных валков. <i>Полегешко С.А., Казарян Л.А., Комаров А.А., Михно А.Р., Шевченко Р.А.</i>	80
Порошковая проволока системы Fe-C-W-Cr-Si-V-Ti для восстановительной наплавки деталей, работающих в условиях высокотемпературного интенсивного износа <i>Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Сычев А.А., Козырева О.А.</i>	83
Модифицирование 3D принтера для изготовления металлических материалов по технологии проволоочно-дугового аддитивного производства <i>Розенштейн Е.О., Гомзяков Б.В., Осинцев К.А., Коновалов С.В.</i>	87
Высокоэнтропийные сплавы CoCrFeNiMn с прямым лазерным напылением: взаимосвязь между высотой осаждения пор <i>Су Ч., Коновалов С.В., Чэнь С.</i>	90
Влияние биоинертных покрытий на распределение напряжений на границе между имплантатом и костной тканью <i>Филяков А.Д., Соснин К.В., Романов Д.А.</i>	93
Исследование влияния термоограничителей на изменение формирования структуры наплавленных многослойных образцов из стали AISI 308LSI <i>Чинахов Д.А., Акимов К.О., Дубровский А.С., Рзаев Е.Д.</i>	100
СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ	109
Анализ возможности снижения выбросов CO ₂ при замене углерода водородом в доменной плавке <i>Бородин А.В., Степанова А.А., Вохмякова И.С., Берсенев И.С., Гилева Л.Ю., Загайнов С.А.</i>	109
Опыт использования техногенных территорий для организации экологических исследований обучающихся СибГИУ <i>Водолеев А.С., Захарова М.А., Домнин К.И.</i>	115
Использование природных ресурсов Томской области в черной металлургии <i>Строкина И.В., Ноздрин И.В., Полях О.А., Якушевич Н.Ф.</i>	118
Исследование минералогического и фазового составов обезуглероженных слоев ковшевых алюмопериоклазоуглеродистых огнеупоров <i>Темлянцев М.В., Протопопов Е.В., Кувшинникова Н.И., Запольская Е.М., Темлянцева Е.Н., Бивол О.В.</i>	122
Переработка мазутных отходов тепловых электростанций <i>Кашеков Д.Ю., Гончаров К.В., Олюнина Т.В., Садыхов Г.Б., Смирнова В.Б.</i>	126

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В МЕТАЛЛУРГИИ И ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	
<i>Нарский В.А., Смаковский В.Н., Лубяной Д.А.</i>	129
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ОКУСКОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Павловец В.М.</i>	134
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНВЕРТОРА ЗА СЧЕТ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ	
<i>Стерлигов В.В., Гайдаш А.В.</i>	143
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	
<i>Ермаков А.Ю., Сенкус Вас.В., Гизатулин Р.А., Сенкус Вал.В.</i>	147
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ НЕФТЕПРОМЫСЛА	
<i>Соловьев А.К., Данилкин Д.О., Кошкина Г.К.</i>	151
РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ БЛЮМИНГА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Г. НОВОКУЗНЕЦКА	
<i>Соловьев А.К., Мотуз А.О., Кошкина Г.К.</i>	154
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Павловец В.М., Домнин К.И.</i>	159
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕХНОЗЕМОВ И РАСТЕНИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ОАО АБАГУРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИОННО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ, Г. НОВОКУЗНЕЦК	
<i>Захарова М.А., Водолеев А.С., Домнин К.И.</i>	163
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ НА ПЛОЩАДКЕ РАЗРЕЗА	
<i>Мурко В.И., Черникова О.П., Сентюрев С.А, Амлин М.С.</i>	166
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	
<i>Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С.</i>	174
СЕКЦИЯ 5: АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	182
АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЯДЕРНЫХ ОЦЕНОК	
<i>Корнет М.Е, Раскина А.В, Корнеева А.А.</i>	182
МНОВОВАРИАНТНЫЕ АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ	
<i>Киселева Т.В.</i>	189
ФРАКТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ	
<i>Мышляев Л.П., Грачев В.В., Ивушкин К.А., Венгер К.Г.</i>	194
ГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И МОДИФИКАЦИЯ МАТРИЦЫ ДВУХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА	
<i>Стерлигов В.В.</i>	199

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА РЕЛЬСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО СИСТЕМЕ «ПЧ-СД» С ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ	
<i>Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С., Зайцев Н.С.</i>	204
ПРИМЕНЕНИЕ НАТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	
<i>Свинцов М.М., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Скударнова Н.В.</i>	213
ФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ТРЕНАЖЁРОВ ОПЕРАТОРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	
<i>Ляховец М.В., Макаров Г.В., Саламатин А.С.</i>	217
СЕКЦИЯ 6: ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	225
ВАРИАНТЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ПОЛОМОК В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ И НЕДОСТАТОЧНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ	
<i>Артюх В.Г., Корихин Н.В., Чернышева Н.В., Чigareва И.Н.</i>	225
КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	
<i>Гудимова Л.Н.</i>	232
ВНЕДРЕНИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МОТОР-РЕДУКТОРОВ НА ПРИВОДАХ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ СТАЛЕПРОКАТНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	
<i>Никитин А.Г., Герасимов С.П.</i>	240
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДРОБИЛЬНЫХ МАШИН	
<i>Никитин А.Г., Шабунев М.Е., Курочкин Н.М.</i>	245
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С МАРТЕНСИТНЫМИ ВАЛИКАМИ	
<i>Никитин А.Г., Полищук С.В.</i>	248
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ МНЛЗ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
<i>Савельев А.Н., Северьянов С.С., Макаров А.В.</i>	253
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ.	
<i>Савельев А.Н., Савельева Е.А.</i>	259
ИССЛЕДОВАНИЕ ШТАНГИ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ШПУРОВ С ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ В ФОРМЕ ТРЕУГОЛЬНИКА РЕЛО	
<i>Корнеев В.А., Корнеев П.А., Бедарев С.А., Кулебакин И.И.</i>	264
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОЙ ЭМИССИИ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ	
<i>Савельев А.Н., Анисимов Д.О., Карташов Р.Н.</i>	266
СЕКЦИЯ 7: ЭКОНОМИКО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ	273
АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ	
<i>Шипунова В.В., Климашина Ю.С.</i>	273
СОСТОЯНИЕ ЭКОНОМИКИ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ РЕСУРСОДОБЫВАЮЩИХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Буланов Ю.Н.</i>	278

НЕКОТОРЫЕ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ	
<i>Ковалева Е.В., Цымбалюк М.В., Жданова Н.Г.</i>	286
НОРМИРОВАНИЕ ПРОСТОЕВ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ	
<i>Фастыковский А.Р., Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	290
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА В ПРОКАТНЫХ ЦЕХАХ	
<i>Фастыковский А.Р., Мусатова А.И., Кадыков В.Н.</i>	296
ОЦЕНКА НОРМАТИВНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА	
<i>Гизатулин Р.А., Мусатова А.И., Лепихов В.С.</i>	302
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА	
<i>Куценко А.И., Кольчурина И.Ю.</i>	308
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Черникова О.П., Златицкая Ю.А., Нестерова Т.В.</i>	313
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕКЛАМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ КОМПАНИЕЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ АКТИВОВ	
<i>Черникова О.П., Шевченко А.А.</i>	321
АДАПТАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ВСТРАИВАНИЯ КАЧЕСТВА В ПРОЦЕСС ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКАХ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	
<i>Булакина Е., Кетова А., Моисеев В., Почуфаров Д., Недзельская О., Бикинеева А.</i>	330

Научное издание

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

Труды XXII Международной научно-практической конференции

Часть 2

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. 19,8 Уч.-изд. л. 22,1 Тираж 300 экз. Заказ № 235

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