

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

15-16 декабря 2022 г.

**Новокузнецк
2022**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, д.т.н., проф. В.Ю. Островлянчик,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

- дарственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 186-195. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-186-195>
8. Шабалин Г.С., Паздерин А.В., Чусовитин П.В., Банных П.Ю., Тащилин В.А. Анализ статической устойчивости с использованием квадратичной целевой функции и обобщенного метода Ньютона // Материалы международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГЭУ. – 2015. – С. 249 – 254.
 9. Журтов А.В., Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Карданов А.А., Шогенцуков М.А. Напряженно-деформированное состояние двухслойных армоцементных оболочек в условиях пожара // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49. – № 1. – С. 112-121. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-1-112-121>
 10. Соколова М.А. Система линейных уравнений, основные понятия. Метод Гаусса // Аллея науки. – 2018. – Т. 6. – № 6 (22). – С. 297 –301.

УДК 519.6

ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ T-ENERGY

Сеченов П.А., Рыбенко И.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, pavesa89@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение численных методов для решения задачи нахождения равновесного состава сложной многокомпонентной гетерогенной системы. Рассматриваются стратегии применения коэффициента сходимости численных методов для повышения скорости расчетов термодинамического равновесия. Приведены экспериментальные данные для решения системы из 89 и 224 неизвестных. Показано, что наилучшие результаты достигаются при постоянном значении коэффициента сходимости 0.5 и 0.9 соответственно, при которых решение задачи занимает менее 0.7 с.

Ключевые слова: численный метод, параметр релаксации, программный комплекс, время решения задачи.

Abstract. The article considers the application of numerical methods for solving the problem of finding the equilibrium composition of a complex multicomponent heterogeneous system. Strategies for applying the coefficient of convergence of numerical methods to increase the speed of thermodynamic equilibrium calculations are considered. Experimental data are presented for solving a system of 89 and 224 unknowns. It is shown that the best results are achieved at a constant value of the coefficient of convergence of 0.5 and 0.9, respectively, at which the solution of the problem takes less than 0.7 s.

Keywords: numerical method, relaxation parameter, software package, problem solution time.

Для определения термодинамических параметров сложных многокомпонентных систем разработан программный комплекс T-ENERGY, для реализации которого были созданы база данных индивидуальных веществ [1] и химических реакций [2], с использованием которых можно рассчитывать термодинамические функции: энтропию, энтальпию, приведенную энергию Гиббса и удельную теплоемкость. Применение расчетов термодинамических функций химических реакций для металлургического процесса рассмотрено в статье [3]. Наиболее интересным и сложным модулем программного комплекса T-ENERGY является расчет равновесного состава сложной многокомпонентной гетерогенной системы. Для решения такой задачи требуется применение численных методов и составление программных кодов. При этом пользователю важно получить решение задачи как можно скорее. В работе проведено исследование влияния коэффициента сходимости численных методов и применения различных стратегий его изменения во время расчета.

На рисунке 1 представлен общий вид алгоритма применения численных методов Лагранжа, Ньютона-Рафсона и Гаусса для нахождения равновесного состава сложной гетерогенной системы.

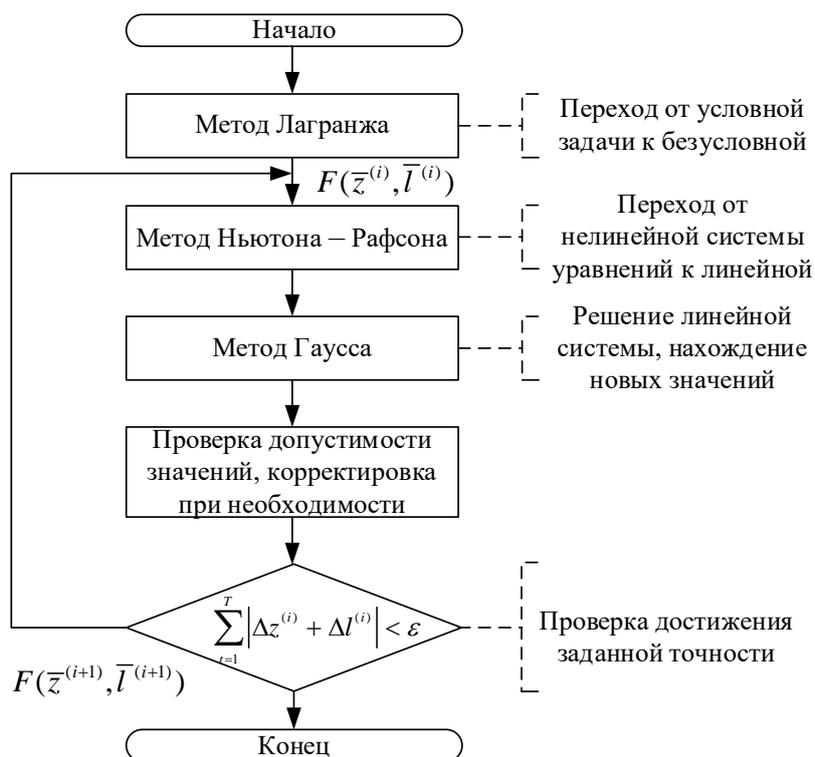


Рисунок 1 – Алгоритм применения численных методов в математической модели нахождения равновесного состава термодинамической системы

В общем виде метод Ньютона для системы нелинейных уравнений представлен уравнением:

$$F(\bar{z}, \bar{l}) \approx F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) + H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) \cdot g(\Delta\bar{z}, \Delta\bar{l}),$$

где $F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)})$ – вектор начальных значений;
 $H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)})$ – Гессиан;
 $g(\Delta\bar{z}, \Delta\bar{l})$ – вектор приращения значений.

Значение $\bar{z}^{(i+1)}$ на новом шаге для химических элементов вычисляются по формуле

$$\bar{z}^{(i+1)} = \bar{z}^{(i)} + \Delta\bar{z}^{(i)} \cdot w^{(i)}$$

где i – номер итерации;
 $w^{(i)}$ – коэффициент, учитывающий ограничения по значению переменной, таким образом, что компонента $z^{(i+1)}$ не могла бы быть меньше или равна нулю и не могла быть больше максимального значения $z_{\max}^{(i)}$.

Коэффициент $w^{(i)}$ – в методе Ньютона принят равным 1, а в методе Ньютона-Рафсона, когда исследуемая система плохо сходится – 0,1. Коэффициент $w^{(i)}$ берется равным 0,1 или 1 при условии, что значение на новом шаге находится в допустимой области.

Для исследования скорости сходимости численных методов Лагранжа, Ньютона-Рафсона и Гаусса при поиске равновесного состава системы, рассмотрим следующие стратегии изменения релаксационного параметра в методе Ньютона-Рафсона:

1. постоянный коэффициент $w^{(i)}$ от 0,1, 0,2, 0,3 ... 1;
2. при достижении сходимости метода $\sum \Delta \bar{z}^{(i)} < 0.1$ изменение коэффициента $w^{(i)}$ по линейной зависимости от 0,1 до 1;
3. для каждой исследуемой величины $w^{(i)}$ увеличивается на 0,1, если $\Delta z^{(i)} > \Delta z^{(i+1)}$, и уменьшается на 0,1 при $\Delta z^{(i)} < \Delta z^{(i+1)}$ при этом $w^{(i)}$ не может быть меньше 0,1 и не может быть больше 1;
4. ступенчатое изменение коэффициента $w^{(i)}$ в зависимости от количества итераций или достижения сходимости метода $\sum \Delta \bar{z}^{(i)}$.

В качестве тестовой системы входных данных возьмем 10 веществ со следующими массовыми соотношениями (таблица 1).

Таблица 1 – Исходный состав модельной термодинамической системы

| Вещество | C | Mn | Si | P | Fe | MnO | P ₂ O ₅ | SiO ₂ | CaO | FeO |
|-----------|---|-----|-----|-----|------|-----|-------------------------------|------------------|-----|-----|
| Масса, кг | 4 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 94,3 | 1 | 0,3 | 2 | 5 | 1,7 |

Из десяти исходных веществ с использованием разработанной базы данных [1], возможно получить 79 веществ, находящихся в системе в состоянии термодинамического равновесия:

O, O₂, P(c), P, P₂, P₃, P₄, PO, PO₂, P₂O₃, P₂O₄, P₂O₅, P₃O₆, P₄O₆, P₄O₇, P₄O₈, P₄O₉, P₄O₁₀(c), P₄O₁₀, C(c), C, C₂, C₃, C₄, C₅, CO, CO₂, C₂O, C₃O₂, CP, Si(c), Si, Si₂, Si₃, SiO₂(c), SiO₂, SiC(c), SiC, SiC₂, Si₂C, Si₂C₂, Si₃C, Fe(c), Fe, FeO(c), FeO, FeO₂, Fe₂O₃(c), Fe₃O₄(c), Fe₃C(c), Fe₂SiO₄(c), O₃, Mn(c), Mn, MnO(c), MnO, MnO₂(c), MnO₂, Mn₂O₃(c), Mn₂O₇(c), Mn₃O₄(c), Mn₃C(c), Mn₇C₃(c), Ca(c), Ca, Ca₂, CaO(c), CaO, CaP₂O₆(c), Ca₂P₂O₇(c), Ca₃P₂O₈(c), CaC₂(c), CaCO₃(c), CaSiO₃(c), Ca₂SiO₄(c), Ca₃Si₂O₇(c), SiO, CaSi(c), CaSi₂(c).

Аналитическое решение нахождения максимума энтропии для таких значений невозможно, т.к. потребуется слишком много времени: 1) с использованием метода Лагранжа [4] переход от 79 уравнений условной оптимизации, к 89 уравнениями безусловной оптимизации; 2) решение системы нелинейных уравнений с 89 неизвестными приближенным методом Ньютона-Рафсона [5, 6]; 3) решение системы линейных уравнений с 89 неизвестными точным методом Гаусса [7, 8]. На рисунке 2 показан пример составления матрицы для метода Ньютона-Рафсона размерностью 25 на 25.

Эталонный ответ при нахождении равновесного состава рассматриваемой системы приведен в таблице 2 для двух термодинамических параметров: температуры 1900 К и давления 0.1 Мпа, полученный с использованием программы расчета термодинамического равновесия Terra [9, 10].

Таблица 2 – Эталонные значения полученного равновесного состава

| Вещество | Fe ₃ C(c) | Fe(c) | Ca ₃ Si ₂ O ₇ (c) | Mn(c) | P ₂ | CaO(c) | CaSi ₂ (c) |
|-----------|----------------------|--------|--|-------|----------------|--------|-----------------------|
| Состав, % | 59,848 | 69,513 | 6,998 | 1,472 | 0,931 | 0,649 | 0,471 |

Если полученные конечные значения при заданном коэффициенте шага будут отличаться от эталонных, значит система уравнений не сходится к точному решению.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | AC | AD | AE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|--------|----|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|----------|----------|----------|---------|----------|-------|-------|-------|-------|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | O | O2 | C(c) | C | C2 | C3 | C4 | C5 | CO | CO2 | C2O | C3O2 | O3 | Mn(c) | Mn | MnO(c) | MnO | MnO2(c) | MnO2 | Mn2O3(c) | Mn2O7(c) | Mn3O4(c) | Mn3C(c) | Mn7C3(c) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | C | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | O | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 7 | 4 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | Mn | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | 0 | 9,303 | -26,55 | -1,523 | 65,92 | 73,76 | 69,72 | 90,06 | 88,5 | -38,88 | -75,69 | 3,971 | -49,52 | 1,309 | -5,674 | 11,96 | -56,36 | -11,01 | -72,91 | -32,58 | -136 | -140,1 | -196 | -17,47 | -53,73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | Начальные значения | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | l1 | l2 | l3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 0,042 | 1,5 | 37,7 | 18,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | 1,107 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Нев | | | x0 | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | l1 | l2 | l3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 0 | 3,6912 | x0 | 92,32 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 1 | 3,845 | x1 | -0,267 | 96,01 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,167 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 2 | -0,002 | x2 | 0 | 0 | -0,046 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 3 | 5,3928 | x3 | -0,267 | -0,267 | 0 | 133,2 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 4 | 6,1707 | x4 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 151,8 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,167 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 5 | 5,9597 | x5 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | 146,8 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 6 | 7,7795 | x6 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 190,4 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,333 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 7 | 7,7745 | x7 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 190,3 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,417 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 8 | -0,199 | x8 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -1,045 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 9 | -0,125 | x9 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0,74 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,167 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 10 | 3,4969 | 10 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 87,66 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,167 | 0,083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 11 | 2,3056 | 11 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 59,07 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,167 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 12 | 9,3084 | 12 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 227,1 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 13 | 1,0939 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 14 | 2,3376 | 14 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | 59,84 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | 15 | 0,0118 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,284 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,083 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 16 | 3,5649 | 16 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 89,29 | 0 | -0,267 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 17 | 1,7739 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,167 | 0,083 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 18 | 4,9091 | 18 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | -0,267 | 0 | 121,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,167 | 0,083 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | 19 | 1,2259 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,167 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 20 | 13,446 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,583 | 0,167 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 21 | 0,9343 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,333 | 0,25 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | 22 | 3,3688 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0 | 0,25 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | 23 | 6,8642 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,583 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | l1 | -1,953 | l1 | 0 | 0 | 0,083 | 0,083 | 0,167 | 0,25 | 0,333 | 0,417 | 0,083 | 0,083 | 0,167 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | l2 | -1,905 | l2 | 0,083 | 0,167 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,167 | 0,083 | 0,167 | 0,25 | 0 | 0 | 0,083 | 0,083 | 0,167 | 0,167 | 0,25 | 0,583 | 0,333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | l3 | -0,96 | l3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,083 | 0,083 | 0,083 | 0,083 | 0,083 | 0,083 | 0,167 | 0,167 | 0,25 | 0,25 | 0,583 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рисунок 2 – Пример составления матрицы размерностью 25 на 25 методом Ньютона-Рафсона

Результаты первой стратегии, когда используется один и тот же коэффициент w для всех 89 неизвестных приведены в таблице 3. Тестирование производилось на операционной 64-битной системе Windows 8.1. Для вычисления использовалось одно ядро процессора Intel Core I5-3450.

Таблица 3 – Влияние коэффициента w по первой стратегии на сходимость и время выполнения расчета

| Значение w | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Время решения, мс | 385 | 257 | 255 | 245 | 56 | 77 | 184 | 162 | 95 | 120 |
| Решение сходится | Да |

Как видно из таблицы 3 при увеличении коэффициента w численный метод сходится на всем интервале менее, чем за 0,4 секунды, самое быстрое время расчета получилось при значении коэффициента $w = 0,5$.

Рассмотрим вторую стратегию для исходной системы уравнений, когда на всем интервале применяется постоянное значение коэффициента, равное минимальному шагу 0,1, а при сходимости решения по всем переменным при значении больше 0,1 начинает изменяться по линейному закону (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние коэффициента w по первой стратегии на сходимость и время выполнения расчета

| Значение w | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Время решения, мс | 393 | 261 | 252 | 253 | 64 | 80 | 200 | 161 | 98 | 122 |
| Решение сходится | Да |

Время выполнения расчетной операции в таблицах 3 – 4 практически совпадает, а разница во времени выполнения расчета при одинаковом значении коэффициента w находится в пределах погрешности.

Результаты третьей стратегии, когда по каждой из 89 неизвестных прибавляется 0,1, если по этой неизвестной значением невязки стало меньше по сравнению с предыдущим шагом, и уменьшается в противоположном случае. Такая стратегия не сработала, среднее время расчета составило 389 мс. Решение по времени выполнения, такое же как с использованием постоянного коэффициента w равного 0,1.

Четвертая стратегия с уменьшающимся шагом по мере уменьшения суммы невязок по модулю для всех переменных: 1) если сумма меньше 500, то w равно 0,5; 2) если сумма меньше 100, то w равно 0,7; 3) если сумма меньше 10, то w равно 1. Такая стратегия показала хороший результат, как и первая стратегия при w равным 0,5 60 мс.

Самыми успешными оказались стратегии: первая и четвертая. Эти стратегии были проверены при решении системы уравнений состоящей из 224 неизвестных, за счет добавления в систему дополнительного вещества – углерода (таблица 5). Таким образом, термодинамическая система представлена элементами: Si–P–O–Mn–H–Fe–Ca–C.

Таблица 5 – Влияние коэффициента w по первой стратегии на сходимость и время выполнения

| Значение w | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| Время решения, мс | 9208 | 5814 | 4166 | 3745 | 3310 | 2994 | 1099 | 779 | 660 | 1780 |
| Решение сходится | Да | Да | Да | Да |

Из таблицы 5 видно, что при изменении значений w с 0,1 до 0,9 время сходимости уменьшается.

Для стратегии четыре, среднее время составило 3420 мс, в этой стратегии применялся следующий алгоритм: 1) если количество шагов меньше 10, то w равно 0,7; 2) иначе, если количество шагов меньше 30, то w равно 1; 3) иначе если количество шагов меньше 40, то w равно 0,5. Такая стратегия сработала лучше, а время расчета составило 1100 мс.

Таким образом, при постоянном коэффициенте сходимости w равным 0,9 время расчета составляет менее 1 секунды.

Библиографический список

1. Сеченов П.А., Рыбенко И.А. База данных и программа для определения термодинамических свойств индивидуальных веществ // Информатика и системы управления. – 2022. – № 1 (71). – С. 17 – 26. DOI: 10.22250/18142400_2022_71_1_17
2. Сеченов П.А., Рыбенко И.А. Программа расчета термодинамических свойств химических реакций // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 1 (41). – С. 60 – 64. DOI 10.25699/SSSB.2022.41.1.009
3. Рыбенко И.А., Сеченов П.А. Инструментальная система расчета термодинамических функций индивидуальных веществ, химических реакций и сложной многокомпонентной гетерогенной системы // Вестник Сибирского государственного промышленного университета. – 2022. – № 3 (41). – С. 18-27.
4. Макаркин В.М., Апайчева Л.А. Метод Лагранжа решения экстремальной задачи // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-3. – С. 337 – 338.
5. Исмаилов Р.Т. Повышение эффективности использования резервов активной части основных производственных фондов в строительстве // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 186-195. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-186-195>
6. Шабалин Г.С., Паздерин А.В., Чусовитин П.В., Банных П.Ю., Тащилин В.А. Анализ статической устойчивости с использованием квадратичной целевой функции и обобщенного метода Ньютона // Материалы международной научно-технической конференции. – Иваново: ИГЭУ. – 2015. – С. 249 – 254. Журтов А.В., Хежев Т.А., Хаджишалапов Г.Н., Карданов А.А., Шогенцуков М.А. Напряженно-деформированное состояние двухслойных армоцементных оболочек в условиях пожара // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2022. – Т. 49. – № 1. – С. 112-121. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2022-49-1-112-121>
7. Соколова М.А. Система линейных уравнений, основные понятия. Метод Гаусса // Аллея науки. – 2018. – Т. 6. – № 6 (22). – С. 297 – 301.
8. Белов Г.В. Термодинамическое моделирование: методы, алгоритмы, программы. – М.: Научный Мир, 2002. – 184 с.
9. Белов Г.В., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2013. – 96 с.

2. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. -М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.
3. Кончакова, О. В. Разработка модели мини-ТЭЦ в MATLAB / О. В. Кончакова, В. А. Кузнецов, Е. С. Кузнецова // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды Девятой научно-практической конференции, 25-26 ноября 2020 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2020. – С. 108-117.
4. Разработка модели подстанции 110/6 кв в среде «Матлаб – Симулинк» = Evelopment of the scheme of a 110/6 kv substation in the «Matlab – Simulink» environment / Кузнецов В. А., Кузнецова Е. С., Видинеев А. А. // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XXII Международной научно-практической конференции, 5 ноября 2021 г. – Пенза : МЦНС «Наука и просвещение», 2021. – С. 42–47.

УДК 004.942

МЕТОДИКА РАСЧЁТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕССА

Рыбенко И.А., Белавенцева Д.Ю., Гасымов Р.Р., Качалкова К.И.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, rybenkoi@mail.ru

***Аннотация.** В статье рассмотрена методика расчета материального баланса кислородно-конвертерного процесса и представлена математическая модель баланса потоков, веществ и элементов в кислородной конвертере, которая позволяет решать задачу определения оптимальных расходов шихтовых материалов на плавку.*

***Ключевые слова:** кислородно-конвертерный процесс, математическая модель, материальный баланс, потоки, вещества, элементы.*

***Abstract.** The article considers the method of calculating the material balance of the oxygen converter process and presents a mathematical model of the balance of flows, substances and elements in an oxygen converter, which allows solving the problem of determining the optimal consumption of charge materials for melting.*

***Keywords:** oxygen converter process, mathematical model, material balance, flows, substances, elements.*

Конвертерное производство является одним из ресурсоемких отраслей металлургии. Необходимость снижения материалоемкости конвертерной стали требует совершенствования традиционных схем производства с использованием новых современных методов моделирования, позволяющих определять оптимальные соотношения расходов шихтовых материалов [1].

В настоящее время при расчете шихтовки кислородно-конвертерной плавки используется упрощенная модель, основанная на уравнениях балансов тепла, кислорода, железа и основности шлака. Такая модель реализует последовательно уточняемый расчет, что не может обеспечить решение задачи по определению оптимальных расходов шихтовых материалов на плавку [2, 3]. Поэтому разработка комплексной математической модели расчета материального баланса кислородно-конвертерного процесса является актуальной задачей.

Кислородно-конвертерный процесс является многомерным, нелинейным, нестационарным объектом с большим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов и сопровождается сложным комплексом физико-химических превращений, протекающих в условиях твердых, жидких и газообразных сред при высокой температуре. В общем виде кислородно-конвертерный процесс можно представить в виде совокупности следующих стадий и подпроцессов: горение углерода, окисление компо-

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Спирин Н.А., Лавров В.В., Павлов А.В., Гурин И.А., Федотов Г.А.

Интегрированная автоматизированная информационно-моделирующая система анализа и прогнозирования параметров работы комплекса доменных печей 3

Бурков В.Н., Буркова И.В.

Метод сетевого программирования в задачах управления 9

Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Херасков В.Ю.

Медицинская демография в сравнении показателей России и Новокузнецка..... 15

Кизилов С.А., Баловнев Е.А., Черкасов П.В., Никитенко М.С., Худогов Д.Ю., Попинако Я.В.

Подходы к автоматизированной оценке объема и состава горной массы в процессе выпуска угля на забойный конвейер 20

Поползин И.Ю., Маршев Д.А.

Анализ режимов работы электропривода подъемной установки, построенного на основе машины двойного питания 25

СЕКЦИЯ 1. Системы автоматизации производственного, исследовательского и учебного назначения

Спирин Н.А., Федотов Г.А., Истомин А.С., Щипанов К.А.

Количественные критерии и алгоритмы расчета для оценки диагностики режима работы доменной печи 32

Темнохудов Д.Р., Кулаков С.М.

О формировании оптимальных раскройных планов на участке отделки 25-метровых рельсов..... 37

Трофимов В.Б.

Распознавание состояния доменной плавки на основе нейросетевых технологий 42

Саидмуродов Б.Р., Лавров В.В., Гурин И.А.

Проектирование и программная реализация интеллектуальной системы анализа температуры холодильников системы охлаждения доменной печи 56

Лавров В.В., Гурин И.А., Спирин Н.А.

Применение в образовательной деятельности гибкой методологии разработки программного обеспечения информационных систем..... 61

Сулимова А.А., Симилова А.А., Чичерин И.В.

Программно-аппаратный комплекс автоматизированной системы управления радиальным сгустителем на основе концепции пространства состояний и вейвлет-преобразований при неполной информации о технологических параметрах..... 68

Койнов Р.С., Кулаков С.М., Тараборина Е.Н.

О разработке моделирующего комплекса для исследования эффективности механизмов прецедентного управления 74

| | |
|--|------------|
| <i>Веровкин В.И., Игушев В.Ф., Веровкин С.В.</i> | |
| Конструкторско-технологические меры повышения стойкости стальных обшивок судов к электрохимической коррозии | 79 |
| <i>Худоногов Д.Ю., Ефременкова М.В., Никитенко М.С., Кизилов С.А.</i> | |
| Система контроля качества масла в режиме реального времени эксплуатации агрегатов в полевых и лабораторных условиях | 90 |
| <i>Каменная А.В., Кизилов С.А., Никитенко М.С., Худоногов Д.Ю.</i> | |
| Методы экспресс-анализа состава газовой среды при проведении подземной добычи угля..... | 95 |
| <i>Gusev S.S.</i> | |
| Construction of a modified algorithm for identifying a dynamic control object based on experimental data from VVER-440 and VVER-1000 reactor models | 98 |
| <i>Кулебакин И.И., Корнеева Д.И., Корнеев В.А.</i> | |
| Анализ существующих экспресс-методов определения прочности горных пород на предмет возможности их применения в роботизированных горных машинах при проведении анкерного крепления выработок | 109 |
| <i>Куликов Е.С.</i> | |
| Разработка автоматизированной системы вибродиагностики эксгаустеров агломерационной фабрики..... | 113 |
| <i>Гольцев В.А., Киселев Е.В., Дудко В.А., Ершов А.К.</i> | |
| Моделирование системы принудительного удаления газопылевой смеси из помещения плавильного цеха..... | 117 |
| <i>Гуторова Е.А.</i> | |
| Современные технологии автоматизации в управлении буровзрывными работами..... | 123 |
| <i>Сазонова Г.А.</i> | |
| Стабилизация параметров газовой смеси на отопление нагревательных печей | 128 |
| <i>Спирidonov В.В., Прохоров И.М., Михайлова О.В.</i> | |
| Прикладные задачи использования имитационных моделей технологических процессов автоматизированных производств | 132 |
| <i>Шабля Ю.В., Кручинин Д.В.</i> | |
| Автоматизация генерации и проверки математических задач с помощью системы STACK в Moodle LMS..... | 135 |
| <i>Шикова А.А., Федосова Л.О., Золотов А.В., Лукоянов А.В.</i> | |
| Моделирование и разработка комплексного программного обеспечения для пневматического стенда под управлением отечественным ПЛК | 139 |
| <i>Kukolev A.A., Piotrovsky D.L., Podgorny S.A., Spitsyn V.V.</i> | |
| Particle swarm optimization method software algorithm for complex control system dynamic link approximation with second order aperiodic link | 145 |
| <i>Билецкая Д.А., Дворянчиков М.В.</i> | |
| Сентимент-анализ: классификация текстов по эмоциональной окраске | 152 |
| <i>Таскабулов Г.Р., Белый А.М.</i> | |
| Разработка автоматизированной online - системы консультирования на базе электронного мессенджера Telegram..... | 155 |

| | |
|---|------------|
| <i>Прохоров И.М.</i> Трансформация образовательного процесса на основе цифровых моделей технологических объектов | 161 |
| <i>Пьянова Е.А., Антонов Е.В., Климов О.А., Гурин И.А.</i> Применение Headless CMS Directus при разработке веб-сайтов | 167 |
| <i>Chakraborty P., Bhattacharyya S., Misra P., Pal M., Neogi B., Nikitenko M.S., Das A.</i> A IOT based platform for upper limb rehabilitative services | 172 |
| <i>Bhattacharjee S., Bandyopadhyay S., Sinha N., Banerjee A., Pal M., Neogi B., Nikitenko M.</i> Experimental investigation of inductor topologies: a modification of triangular model | 177 |
| <i>Крюков А.В., Купчик Б.М., Новиков А.А., Суриков К.Э., Коровин Е.В., Купчик М.Б.</i> Автоматизированная система анализа эффективности лекарственных препаратов и принятия решений на базе методологии доказательной медицины..... | 193 |
| СЕКЦИЯ 2. Моделирование и наукоемкие информационные технологии в промышленности, науке и образовании | |
| <i>Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А., Буинцев В.Н.</i> Программный комплекс «Алюминщик» для моделирования и оптимизации процесса формирования алюминиевого сплава в электрическом миксере сопротивления | 199 |
| <i>Леонтьев А.С., Ушакова Д.Е.</i> Разработка и интеграция модуля «Энергетика» для применения в рамках системы математического моделирования на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» | 204 |
| <i>Губанов Н.В.</i> Использование численных методов в алгоритме обратного распространения ошибки на примере использования метода градиентного спуска | 212 |
| <i>Голодова М.А., Рыбенко И.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И.</i> Термодинамическое моделирование процесса восстановления марганца из монофазного материала | 219 |
| <i>Сеченов П.А.</i> Влияние параметра релаксации на скорость сходимости численных методов в программном комплексе T-ENERGY | 225 |
| <i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А.</i> Исследование сходимости численных методов при расчете термодинамического равновесия в программном комплексе T-ENERGY | 231 |
| <i>Фадеев Р.Н.</i> Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении технологическими процессами..... | 237 |
| <i>Гатауллина И.М.</i> Построение математической модели собственных колебаний энергетического трубопровода | 240 |
| <i>Жилина Н.М., Власенко А.Е., Климантова И.П., Захарова Е.В., Якушева О.Н.</i> Современный опыт дистанционного обучения в системе здравоохранения | 244 |

| | |
|--|------------|
| <i>Байдалин А.Д.</i> | |
| Продвинутые алгоритмы машинного обучения для решения задач математического моделирования | 247 |
| <i>Ликсонова Д.И., Медведев А.В.</i> | |
| О моделировании лавинообразных процессов..... | 251 |
| <i>Буинцев В.Н., Логунов Г.М.</i> | |
| Автоматизированная обучающая система..... | 257 |
| <i>Логунов Г.М.</i> | |
| Цифровая литература в современном формате | 260 |
| <i>Yao Keui</i> | |
| Robust portfolio selection with wasserstein distance | 264 |
| <i>Якушенков Д.В.</i> | |
| Роль цифровых средств в анализе и противодействии влиянию добычи полезных ископаемых на экологию | 269 |
| <i>Кольчурина М.А.</i> | |
| Разработка прогнозной модели оценки времени разморозки железнорудного сырья | 272 |
| <i>Белоусова О.Н., Зеркаль С.М.</i> | |
| Вычислительные алгоритмы палеомагнитной диагностики в случае бимодальной выборки..... | 276 |
| <i>Новосельцева М.А., Гутова С.Г.</i> | |
| Влияние шага дискретизации на точность идентификации мультисинусоидальных сигналов..... | 279 |
| <i>Кожевников А.А.</i> | |
| Моделирование процесса контроля проектной деятельности в сфере дополнительного профессионального образования | 286 |
| <i>Жуков П.И., Фомин А.В.</i> | |
| Разработка концепции надсистемы энергоэффективного управления нагревательной печью | 293 |
| <i>Наджафов Т.И.</i> | |
| О способах поиска и обнаружения загрязнений окружающей среды на спутниковых снимках средствами искусственных нейронных сетей..... | 299 |
| <i>Гейль К.Э.</i> | |
| О новых путях сбора сведений о ЧС и информировании населения..... | 303 |
| <i>Грачев А.В.</i> | |
| О типах передаваемых данных и оценке их влияния на состояние промежуточного сетевого узла-посредника | 307 |
| <i>Городнов Я.А., Кузнецова Е.С.</i> | |
| Исследование математических методов определения объема снижения потребления энергопринимающих устройств в проекте управления спросом на электроэнергию | 310 |
| <i>Агапитов Е.М., Фомин В.В., Михайлович А.П., Рогачев В.Е., Голиков Д.Ю.</i> | |
| Аспекты математического анализа статистических данных пробных площадей в качестве определения возрастных интервалов на основе размеров крон лиственницы сибирской (Полярный Урал) | 316 |

| | |
|--|------------|
| <i>Гайнутдинов Л.Н.</i> | |
| Роль и место информационных технологий в инвестициях..... | 320 |
| <i>Тагильцев-Галета К.В., Лактионов С.А.</i> | |
| Цифровая метрология: определение и ее место в моделировании систем..... | 322 |
| <i>Романова В.А., Дробышев В.К., Титова Т.К., Поползин И.Ю.</i> | |
| Исследования влияний молнии на низковольтные системы высоковольтных электрических подстанций 110 кВ..... | 325 |
| <i>Пермякова Е.П., Бочаров Вик.В., Бочаров Вяч.В.</i> | |
| Data Mining в реальном времени | 332 |
| <i>Кузнецова Е.С., Дурнев А.А., Пестрецов А.Е., Арбузов И.С., Полосухин А.Е.</i> | |
| Имитационное моделирование подстанции в среде «MATLAB – SIMULINK»..... | 336 |
| <i>Рыбенко И.А., Белавенцева Д.Ю., Гасымов Р.Р., Качалкова К.И.</i> | |
| Методика расчёта материального баланса кислородно-конвертерного процесса..... | 341 |
| <i>Полеценко Д.А., Петров В.А., Михайлов И.С.</i> | |
| Использование YOLOv5 для определения густоты всходов подсолнечника..... | 345 |
| <i>Гурин И.А., Лавров В.В., Спиринов Н.А.</i> | |
| Программные средства решения задач оптимизации в информационно-моделирующих системах | 348 |
| <i>Костылева Л.Ю.</i> | |
| Моделирование теплового состояния многослойных биметаллических пластин..... | 354 |
| <i>Зеркаль С.М., Пешков А.В.</i> | |
| Численное исследование томографической разрешимости специальной задачи дефектоскопии..... | 360 |
| <i>Филипас А.А., Рябов А.В.</i> | |
| Система технического зрения для условий плохой видимости в воздушной среде | 365 |
| <i>Рыбенко И.А., Roos К.</i> | |
| Анализ критериев оптимизации и способов решения оптимизационных задач в металлургии | 368 |
| <i>Сёмина В.В.</i> | |
| Декомпозиция и агрегирование слабосвязанных окрестностных систем..... | 372 |
| <i>Кузнецова Е.С., Дробышев В.К., Романова В.А.</i> | |
| Моделирование и оптимизация системы электроснабжения теплосиловой установки с применением альтернативного источника топлива | 377 |
| <i>Губанов К.Н., Калашиников С.Н.</i> | |
| Основы алгоритмизации для разработки мобильного приложения с целью распознавания кодов Data Matrix..... | 382 |
| <i>Перевалова О.С., Баркалов С.А., Мажарова Л.А.</i> | |
| Моделирование процесса внедрения системы наставничества в организационных системах..... | 385 |

| | |
|---|------------|
| <i>Каган Е.С., Гоосен Е.В., Колтинская С.А., Ложкин А.А., Михальченко М.А.</i> | |
| Проблемы и перспективы направления разработки инструментов количественной оценки стрессоустойчивости цепочек добавленной стоимости в угольной отрасли..... | 391 |
| <i>Гостевская А.Н., Маркидонов А.В.</i> | |
| Изменение поверхности ОЦК-кристалла при лазерной абляции | 396 |
| <i>Павлова Л.Д., Фрянов В.Н.</i> | |
| Моделирование предразрушения горных пород под влиянием микросейсмических воздействий на геомассив в окрестности подземных горных выработок и угольных целиков..... | 400 |
| <i>Бабушкина О.С., Калашиников С.Н.</i> | |
| Итерационный метод решения уравнений над телом кватернионов | 406 |
| <i>Ермакова Л.А.</i> | |
| Опыт разработки плагинов в СУО Moodle для анализа работы пользователей | 411 |
| <i>Бегина А.Г.</i> | |
| Информационная система ведения расписания для образовательного центра | 413 |
| <i>Бегина А.Г.</i> | |
| Ценность информационных технологий в системах управления | 417 |
| <i>Bhattacharjee S., Chakraborty P., Roy M., Banerjee A., Pal M., Nikitenko M.S., Neogi B.</i> | |
| Analytical solution of ‘nonlinearly coupled electromechanical model equations’ of human cardiovascular muscle..... | 420 |
| СЕКЦИЯ 3. Информационные технологии в управлении организационными системами | |
| <i>Добронец Б.С., Попова О.А., Шломин А.А.</i> | |
| Прогнозная аналитика и большие данные в оценке рисков инвестиционных проектов | 437 |
| <i>Добронец Б.С., Попова О.А.</i> | |
| Информационно-аналитические подходы в анализе неструктурированных данных | 442 |
| <i>Домнышев А.В.2, Затеякин О.А.</i> | |
| Опережающее развитие персонала как фактор повышения конкурентоспособности персонала и развития бизнеса | 447 |
| <i>Бычков А.Г., Киселёва Т.В., Маслова Е.В.</i> | |
| Использование детекции в свёрточных нейронных сетях для повышения точности классификации..... | 453 |
| <i>Блюмин С.Л.</i> | |
| Метаграфы и редукция Крона в моделировании оргсистем..... | 459 |
| <i>Щепкин А.В., Амелина К.Е.</i> | |
| Стимулирование публикационной активности..... | 464 |
| <i>Графкин А.В., Александрова М.И.</i> | |
| Разработка системы реализации алгоритма anti-tailgate для предотвращения несанкционированного прохода..... | 469 |

| | |
|---|------------|
| <i>Четвертков Е.В., Кораблина Т.В.</i> | |
| Разработка продукционной модели представления знаний системы поддержки принятия решений для формирования учебной нагрузки кафедры..... | 476 |
| <i>Бабушкина О.С., Калашиников С.Н.</i> | |
| Разработка теоретических основ для управления улично-дорожной сетью с целью оптимизации движения транспортного потока..... | 480 |
| <i>Власенко А.Е., Жилина Н.М., Ренге Л.В.</i> | |
| Информационная система поддержки принятия решений для охраны репродуктивного здоровья | 487 |
| <i>Баркалов С.А., Бекирова О.Н., Вторникова Я.А.</i> | |
| Определение оптимального состава парка и типа машин с применением современных экономико-математических моделей | 491 |
| <i>Крестелев Д.А., Панкова И.И., Койнов Р.С., Исаев В.В.</i> | |
| Разработка сервиса «Ментор Федеральной налоговой службы России»..... | 494 |
| <i>Нинидзе Д.Л., Усов А.Б.</i> | |
| Автоматизация внедрения инноваций на предприятии | 499 |
| <i>Поповян Н.О., Усов А.Б.</i> | |
| Аналитический блок автоматической системы поддержки решений управления строительной компанией | 506 |
| <i>Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.</i> | |
| Сравнительный анализ устройств контроля перемещений в производственных помещениях | 513 |
| <i>Рыленков Д.А., Калашиников С.Н.</i> | |
| Разработка концепции управления доступом к информационным ресурсам предприятия на основе моделирования бизнес-процессов | 517 |
| <i>Васянин А.К., Калашиников С.Н.</i> | |
| Подходы к управлению распределением подвижного состава операторских компаний на железнодорожном транспорте | 521 |
| <i>Решицько М.А.</i> | |
| Информационно-аналитическая система управления потреблением водных ресурсов в регионах | 524 |
| <i>Каиркенов Х.К., Зимин А.В.</i> | |
| О проблемах, факторах успеха и рисках управления программами развития | 528 |
| <i>Курмаз Д.А., Киселёва Т.В.</i> | |
| Анализ недостатков в существующих системах регулирования дорожного движения | 533 |
| <i>Кравцов М.С., Усов А.Б.</i> | |
| Моделирование деятельности предприятия по разработке программного обеспечения для медицинских учреждений | 536 |
| <i>Бычков К.В., Кузьмин Д.Е., Блинов Р.В.</i> | |
| Сравнение функционального и объектно-ориентированного программирования в наукоёмких технологиях..... | 542 |

| | |
|--|------------|
| <i>Тарасенко А.А.</i> | |
| Применение стемминга для информационного поиска среди медицинского кластера документов | 547 |
| <i>Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.</i> | |
| Сессии в ASP.NET или как создать собственный сервис для работы с ними | 551 |
| СЕКЦИЯ 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника | |
| <i>Стищенко К.П., Купервассер М.В.</i> | |
| Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта | 555 |
| <i>Федоров В.В.</i> | |
| Управление электроприводом постоянного тока с применением регулятора на нечеткой логике | 559 |
| <i>Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.</i> | |
| Исследование системы векторного управления асинхронного многодвигательного электропривода кантования угольного вагоноопрокидывателя «ВРС-93-110М» | 564 |
| <i>Бедарев М.А., Коновалов О.В., Купервассер М.В.</i> | |
| Проблемы применения силовых трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Yn-0 в распределительных сетях 0,4 кв..... | 571 |
| <i>Мезенцева А.В.</i> | |
| Вопросы выбора и применения технических средств регулируемого электропривода буровых установок..... | 575 |
| <i>Филина О.А., Прокопенко С.С.</i> | |
| Линейные модели систем в пространстве состояний | 578 |
| <i>Островлянчик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.</i> | |
| Имитационное моделирование системы автоуправления с переменной структурой для векторного управления синхронным электродвигателем классической конструкции | 586 |
| <i>Островлянчик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.</i> | |
| Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором..... | 592 |
| <i>Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаатбеков А.К.</i> | |
| Моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой | 599 |
| <i>Бабушкин С.В., Кубарев В.А.</i> | |
| Внедрение системы предиктивной аналитики на агрегатах цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» | 605 |
| <i>Колчагов П.О., Борцинский М.Ю.</i> | |
| Разработка регулятора мощности с помощью системы автоматизированного проектирования Proteus..... | 608 |
| <i>Рогожников И.П.</i> | |
| Технология подготовки печатных плат к производству..... | 612 |

Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.

| | |
|--|------------|
| Физическая модель ШПУ с микропроцессорной системой управления | 616 |
| СПИСОК АВТОРОВ | 620 |
| СОДЕРЖАНИЕ | 623 |

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**
(с международным участием)

15-16 декабря 2022 г.

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 05.12.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 37.13. Уч.-изд. л. 40.40. Тираж _____ экз. Заказ _____.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.
Издательский центр СибГИУ