

**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. Островляничик,
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

- 2019 : труды XXI Международной научно-практической конференции, 23-24 октября 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Ч. 2. – С. 93-100.
4. Использование методов термодинамического моделирования для описания процессов восстановления элементов из чистых оксидных систем [текст] / М. А. Голодова, И. Д. Рожихина, О. И. Нохрина, И. А. Рыбенко // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: тр. IV все-росс. науч.-практ. конф. с межд. участием. В 2 ч. Ч. I. ; под общ. ред. В. П. Цымбала, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк : Изд. СибГИУ, 2016. – С. 117 – 123.
 5. Трусов, Б. Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах [текст] / Б. Г. Трусов // III межд. симпозиум «Горение и плазмохимия». 24 – 26 августа 2005. Алматы, Казахстан. – Алматы : Казак университеті, 2005. – С. 52 – 57.

УДК 519.6

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРА РЕЛАКСАЦИИ НА СКОРОСТЬ СХОДИМОСТИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ T-ENERGY

Сеченов П.А.

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

Аннотация. В статье рассмотрено решение проблемы определения равновесного состояния сложной многокомпонентной термодинамической системы на основе принципа максимума энтропии. Представлен пример нахождения максимума энтропии с последовательным применением методов: Лагранжа, Ньютона-Рафсона и Гаусса и рассмотрены особенности задания системы ограничений. С использованием этих методов реализована и протестирована программа нахождения равновесного состава сложной многокомпонентной термодинамической системы.

Ключевые слова: численный метод, программный комплекс, максимум энтальпии, парадокс Гиббса, метод Ньютона-Рафсона.

Abstract. The article considers the solution of the problem of determining the equilibrium state of a complex multicomponent thermodynamic system based on the principle of maximum entropy. An example of finding the entropy maximum with the successive application of the methods: Lagrange, Newton-Raphson and Gauss is presented, and the features of specifying a system of restrictions are considered. Using these methods, a program for finding the equilibrium composition of a complex multicomponent thermodynamic system was implemented and tested.

Keywords: numerical method, software package, enthalpy maximum, Gibbs paradox, Newton-Raphson method.

Основными достоинствами методики расчета термодинамического равновесия, основанной на принципе максимума энтропии [1], является возможность расчета высоко-температурного равновесного состояния любой сложной многомерной гетерогенной системы на основании одних фундаментальных законов термодинамики независимо от условий и способов достижения равновесия при минимуме информации о системе.

Данный подход при моделировании сложных многокомпонентных термодинамических систем реализован в инструментальной системе T-Energy [2]. Программа содержит обширную базу данных по термодинамическим свойствам индивидуальных веществ [3], модуль расчета термодинамических функций химических реакций [4] и модуль расчета равновесного состояния термодинамической системы на основе принципа максимума энтропии.

В общем случае энтропию системы можно представить в виде суммы энтропии составляющих компонентов [5]:

$$s = \sum_{k=1}^K s_k^{(p_k)} n_k + \sum_{q=1}^Q s_q n_q = \sum_{k=1}^K \left(s_k^0 - R_0 \ln \frac{R_0 T n_k}{V} \right) n_k + \sum_{q=1}^Q s_q^0 n_q \quad (1)$$

где $s_k^{(p_k)}$ – энтропия i -ой компоненты газовой фазы, кДж/моль·К;
 p_k – парциальное давление, мПа;
 s_k – энтропия k -й компоненты газовой фазы при температуре T и нормальном атмосферном давлении, кДж/моль·К;
 R_0 – универсальная газовая постоянная;
 K – количество компонент в газовой фазе;
 Q – количество компонент в конденсированной фазе;
 n – концентрации компонентов соответствующей фазы в относительных единицах.

Решая уравнение (1) относительного полного приведенного изобарно-изотермического потенциала Гиббса

$$F = s - I / T, \quad (2)$$

где I – полная энтальпия, получаем уравнение для приведенной энергии Гиббса:

$$F = \sum_{k=1}^K F_k^0 n_k - \sum_{k=1}^K n_k \cdot \ln \left(\sum_{k=1}^K n_k \right) + \sum_{k=1}^K (n_k \cdot \ln(n_k)) + \sum_{q=1}^Q F_q^0 n_q. \quad (3)$$

Это уравнение является нелинейным из-за газовой составляющей. При смешении идеальных газов, возникает парадокс Гиббса [5], который отражается в выражении (3) в виде логарифмических составляющих.

Для решения задачи поиска экстремума приведенной энергии Гиббса разработан численный метод, основанный на применении методов Лагранжа [6, 7], Ньютона-Рафсона [8, 9] и Гаусса [10].

Метод Лагранжа используется для математической записи задачи в виде нелинейных уравнений, для решения которых применяется метод Ньютона-Рафсона, на каждой итерации которого используется метод Гаусса для нахождения экстремума по каждой переменной.

Представим термодинамическую систему в виде смеси индивидуальных веществ, взаимодействующих между собой, в результате этого взаимодействия система приходит в конечное равновесное состояние. Ограничения на количество вещества по каждому компоненту системы представлены уравнениями (4):

$$\begin{cases} n_{in,1} = \sum_{u=1}^U m_{u,1} \cdot n_{u,1} \\ \dots \\ n_{in,R} = \sum_{u=1}^U m_{u,R} \cdot n_{u,R} \end{cases}, \quad (4)$$

где $n_{in,1}$ – исходное количество 1-го вещества в термодинамической системе, моль;
 R – количество исходных веществ;
 U – количество возможных веществ в равновесном состоянии системы;
 $m_{u,r}$ – максимально возможное количество вещества в системе;
 $n_{u,r}$ – количество u -го вещества в конечном равновесном состоянии, моль.

После включения ограничений (4) в целевую функцию в виде функции Лагранжа, получаем следующее уравнение для приведенной энергии Гиббса:

$$F = \sum_{k=1}^K F_k^0 n_k - \sum_{k=1}^K n_k \cdot \ln \left(\sum_{k=1}^K n_k \right) + \sum_{k=1}^K (n_k \cdot \ln(n_k)) + \sum_{q=1}^Q F_q^0 n_q + \sum_{r=1}^R l_r \cdot \left(\sum_{u=1}^U m_{u,r} \cdot n_{u,r} - n_{in,r} \right). \quad (5)$$

Продифференцировав целевую функцию (5) по количеству веществ (от q до Q для твердых веществ) и (от k до K для газов), а также по неопределенным множителям Лагранжа l (от r до R), получаем систему нелинейных уравнений.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial n_q} = F_q + \sum_{r=1}^R m_{q,r} \cdot l_r = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial n_Q} = F_Q + \sum_{r=1}^R m_{Q,r} \cdot l_r = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial n_k} = F_k + \sum_{r=1}^R m_{k,r} \cdot l_r - \ln(n_k) + \ln \left(\sum_{k=1}^K n_k \right) = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial n_K} = F_K + \sum_{r=1}^R m_{K,r} \cdot l_r - \ln(n_K) + \ln \left(\sum_{k=1}^K n_k \right) = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial l_r} = \sum_{u=1}^U m_{u,r} \cdot n_{u,r} - n_{in,r} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial l_R} = \sum_{u=1}^U m_{u,R} \cdot n_{u,R} - n_{in,R} = 0. \end{array} \right. \quad (6)$$

Для решения системы нелинейных уравнений (6) использовали метод Ньютона-Рафсона. Проблема сходимости метода Ньютона-Рафсона решена, благодаря введению новых неизвестных и замене $n_t = z_t^2$ в уравнении (5).

Систему уравнений (4) с учетом замены можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial z_q} = 2 \cdot z_q \cdot \left(F_q + \sum_{r=1}^R m_{q,r} \cdot l_r \right) = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial z_Q} = 2 \cdot z_Q \cdot \left(F_Q + \sum_{r=1}^R m_{Q,r} \cdot l_r \right) = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial z_k} = 2 \cdot z_k \cdot \left(F_k + \sum_{r=1}^R m_{k,r} \cdot l_r - 2 \cdot \ln(z_k) + \ln\left(\sum_{k=1}^K z_k^2\right) \right) = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial z_K} = 2 \cdot z_K \cdot \left(F_K + \sum_{r=1}^R m_{K,r} \cdot l_r - 2 \cdot \ln(z_K) + \ln\left(\sum_{k=1}^K z_k^2\right) \right) = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial l_r} = \sum_{u=1}^U m_{u,r} \cdot n_{u,r}^2 - n_{in,r} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial l_R} = \sum_{u=1}^U m_{u,R} \cdot n_{u,R}^2 - n_{in,R} = 0. \end{array} \right. \quad (7)$$

Значения производных в системе уравнений (7) обозначим, как вектор $F(\bar{z}, \bar{l})$. 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.

Матрица Гессе (Гессиан) функции F имеет вид:

$$H(\bar{z}, \bar{l}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial z_1^2} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_1 \partial z_{K+Q}} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_1 \partial z_{K+Q+r}} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_1 \partial z_{K+Q+R}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q} \partial z_1} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q}^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q} \partial z_{K+Q+r}} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q} \partial z_{K+Q+R}} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r} \partial z_1} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r} \partial z_{K+Q}} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r}^2} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+r} \partial z_{K+Q+R}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R} \partial z_1} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R} \partial z_{K+Q}} & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R} \partial z_{K+Q+r}} & \dots & \frac{\partial^2 F}{\partial z_{K+Q+R}^2} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Определив производные, можно выделить области с однотипными значениями и значениями равными нулю.

$$H(\bar{z}, \bar{l}) = \begin{pmatrix} D_1 & \cdots & G_{1,K+Q} & V_{1,K+Q+r} & \cdots & V_{1,K+Q+R} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ G_{K+Q,1} & \cdots & D_{K+Q} & V_{K+Q,K+Q+r} & \cdots & V_{K+Q,K+Q+R} \\ V_{K+Q+r,1} & \cdots & V_{K+Q+r,K+Q} & 0 & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ V_{K+Q+R,1} & \cdots & V_{K+Q+R,K+Q} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Элементы главной диагонали D_i вычисляются с помощью следующего соотношения:

$$D_j = \begin{cases} 2 \cdot \left(F_j + \sum_{q=1}^Q m_{j,r} \cdot l_r \right), & \text{если фаза конденсированная} \\ 2 \cdot \left(F_j + \sum_{k=1}^K m_{j,k} \cdot l_k + 2 \cdot \ln(z_j) - \ln\left(\sum_{k=1}^K z_k^2\right) + 2 - \frac{2 \cdot z_j}{\sum_{k=1}^K z_k^2} \right), & \text{если фаза газообразная} \end{cases}. \quad (10)$$

При этом индекс k в z_k соответствует газообразным веществам.

Вторые производные по ограничениям имеют общую формулу:

$$V_{ij} = \begin{cases} V_{K+Q+r,u} = m_{ru} \cdot (2 \cdot z_r), & \text{если номер строки} > \text{номера столбца} \\ V_{u,K+Q+r} = m_{ur} \cdot (2 \cdot z_r), & \text{если номер строки} < \text{номера столбца} \end{cases}. \quad (11)$$

При этом $V_{ij} = V_{ji}$, где $i = 1+U, \dots, R+U$; $j = 1, \dots, U$, где R – количество реагентов, U – количество продуктов реакций.

Для газовых веществ получается общая формула:

$$G_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если фаза конденсированная} \\ \frac{-4 \cdot z_i \cdot z_j}{\sum_{j=1}^K z_j^2}, & \text{если фаза газообразная} \end{cases}, \quad (12)$$

где i – номер столбца;
 j – номер строки.

Следующим этапом является нахождение изменения по искомым переменным с помощью метода Гаусса.

Каждый элемент матрицы (9) по столбцам умножается на изменение по координате (вектор приращений):

$$H(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}) \cdot g(\Delta \bar{z}^{(1)}, \Delta \bar{l}^{(1)}) = -F(\bar{z}^{(0)}, \bar{l}^{(0)}), \quad (13)$$

где $\Delta \bar{z} = \bar{z}^{(i+1)} - \bar{z}^{(i)}$, $\Delta \bar{l} = \bar{l}^{(i+1)} - \bar{l}^{(i)}$.

Методом Гаусса (система из уравнений становится линейной) определяются такие изменения $\Delta \bar{z}$ и $\Delta \bar{l}$, при которых значение невязки по каждой строке из формулы (7) и сумма по строке из матрицы (9) равнялись бы нулю.

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

$$\bar{z}^{(i+1)} = \bar{z}^{(i)} + \Delta \bar{z}^{(i)} \cdot \bar{w}^{(i)}, \quad (14)$$

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 $z_{\max}^{(i)}$.

Если новое значение больше нуля и меньше максимально допустимого, то

$$0 < z^{(i+1)} \leq z_{\max}^{(i)}, \text{ то } w^{(i)} = 0,1.$$

Если новое значение меньше нуля, то $z^{(i+1)} \leq 0$, то $w^{(i)} = -z^{(i)} / \Delta z^{(i)} \cdot 0,97$.

Если новое значение больше максимально допустимого: $z^{(i+1)} > z_{\max}^{(i)}$, то $w^{(i)} = (z_{\max}^{(i)} - z^{(i)}) / \Delta z^{(i)} \cdot 0,97$.

В случае, когда метод Ньютона-Рафсона расходится, то есть получаются бесконечно большие или бесконечно малые значения, применяется Симплекс метод.

Разработанные математическая модель и численные методы реализованы в программном комплексе T-Energy и позволяет рассчитать равновесное состояние сложных многокомпонентных гетерогенных систем [2, 3].

Разработанный алгоритм был протестирован для 50-ти исходных наборов из двух и трех исходных веществ при трех различных температурах. Результаты тестирования показали полное совпадение с расчетами, проведенными с использованием известного программного продукта Терра [1].

Библиографический список

1. Белов Г.В. Термодинамическое моделирование: методы, алгоритмы, программы. – М.: Научный Мир, 2002. – 184 с.
2. Рыбенко И.А., Сеченов П.А. Инструментальная система расчета термодинамических функций индивидуальных веществ, химических реакций и сложной многокомпонентной гетерогенной системы // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2022. – № 3 (41). – С. 18-27.
3. 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
4. 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
5. Игнатович В. Н. Парадокс Гиббса с точки зрения математика: Монография. – Киев: АТОПОЛ, 2010. – 80 с.
6. Макаркин В.М., Апайчева Л.А. Метод Лагранжа решения экстремальной задачи // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-3. – С. 337 – 338.
7. Исмаилов Р.Т. Повышение эффективности использования резервов активной части основных производственных фондов в строительстве // Вестник Дагестанского госу-

- 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.

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., Попова 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

Темнохутов 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>Вережкин В.И., Игушев В.Ф., Вережкин 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>Спиридонов 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., Лукьянов 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

Прохоров И.М.

Трансформация образовательного процесса на основе цифровых моделей технологических объектов 161

Пьянова Е.А., Антонов Е.В., Климов О.А., Гурин И.А.

Применение Headless CMS Directus при разработке веб-сайтов 167

Chakraborty P., Bhattacharyya S., Misra P., Pal M., Neogi B., Nikitenko M.S., Das A.

A IOT based platform for upper limb rehabilitative services 172

Bhattacharjee S., Bandyopadhyay S., Sinha N., Banerjee A., Pal M., Neogi B., Nikitenko M.

Experimental investigation of inductor topologies: a modification of triangular model 177

Крюков А.В., Купчик Б.М., Новиков А.А., Суриков К.Э., Коровин Е.В., Купчик М.Б.

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

Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А., Буинцев В.Н.

Программный комплекс «Алюминщик» для моделирования и оптимизации процесса формирования алюминиевого сплава в электрическом миксере сопротивления 199

Леонтьев А.С., Ушакова Д.Е.

Разработка и интеграция модуля «Энергетика» для применения в рамках системы математического моделирования на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» 204

Губанов Н.В.

Использование численных методов в алгоритме обратного распространения ошибки на примере использования метода градиентного спуска 212

Голодова М.А., Рыбенко И.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И.

Термодинамическое моделирование процесса восстановления марганца из монофазного материала 219

Сеченов П.А.

Влияние параметра релаксации на скорость сходимости численных методов в программном комплексе T-ENERGY 225

Сеченов П.А., Рыбенко И.А.

Исследование сходимости численных методов при расчете термодинамического равновесия в программном комплексе T-ENERGY 231

Фадеев Р.Н.

Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении технологическими процессами..... 237

Гатауллина И.М.

Построение математической модели собственных колебаний энергетического трубопровода 240

Жилина Н.М., Власенко А.Е., Климантова И.П., Захарова Е.В., Якушева О.Н.

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 Keyu</i> Robust portfolio selection with wasserstein distance	264
<i>Якушенков Д.В.</i> Роль цифровых средств в анализе и противодействии влияния 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>Полещенко 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 K.</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., Калашников 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

Тарасенко А.А.

Применение стемминга для информационного поиска среди медицинского кластера документов 547

Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.

Сессии в ASP.NET или как создать собственный сервис для работы с ними 551

СЕКЦИЯ 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника

Стищенко К.П., Кипервассер М.В.

Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта 555

Федоров В.В.

Управление электроприводом постоянного тока с применением регулятора на нечеткой логике 559

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

Исследование системы векторного управления асинхронного многодвигательного электропривода кантования угольного вагоноопрокидывателя «ВРС-93-110М» 564

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.

Проблемы применения силовых трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Yn-0 в распределительных сетях 0,4 кв. 571

Мезенцева А.В.

Вопросы выбора и применения технических средств регулируемого электропривода буровых установок..... 575

Филина О.А., Прокопенко С.С.

Линейные модели систем в пространстве состояний 578

Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.

Имитационное моделирование системы автоуправления с переменной структурой для векторного управления синхронным электродвигателем классической конструкции 586

Островляничик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.

Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором..... 592

Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаатбеков А.К.

Моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой 599

Бабушкин С.В., Кубарев В.А.

Внедрение системы предиктивной аналитики на агрегатах цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» 605

Колчагов П.О., Борцинский М.Ю.

Разработка регулятора мощности с помощью системы автоматизированного проектирования Proteus..... 608

Рогожников И.П.

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