

К.В. Баюл, А.Ю. Худяков, С.В. Ващенко, Н.А. Солодка

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ
ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ФОРМУЮЩИХ
ЭЛЕМЕНТОВ ВАЛКОВЫХ ПРЕССОВ
НА УПРУГОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ В БРИКЕТАХ**

Аннотация. Разработан экспериментально-аналитический метод определения и оценки влияния конфигурации формующих элементов на упругое последствие в брикетах с учетом физико-механических свойств брикетированной шихты и параметров уплотнения.

Ключевые слова. Формующие элементы, напряженно-деформированное состояние упругое последствие, поля напряжений, экспериментально-аналитический метод.

Постановка задачи

Уплотнение материала в валковом прессе осуществляется в формующих элементах со сложной криволинейной конфигурацией. Это приводит к усилению влияния сдвиговых деформаций на процесс уплотнения. Геометрия формующих элементов определяет неравномерное распределение нормальных и касательных контактных напряжений. Значительная неравномерность характеристик уплотнения (напряжение и плотность), вызванная влиянием геометрических параметров формующих элементов, в сочетании с упругим расширением после снятия нагрузки может привести не только к разуплотнению брикетов, но и к снижению прочности, возникновению различного рода дефектов в виде трещин и расслоений. Плотность в объеме брикета распределена таким образом, что имеются ярко выраженные области переуплотнения, характеризующиеся наличием макротрещин, в то же время центральная часть остается недоуплотненной. Все это негативно сказывается на потребительских свойствах брикетов.

Для получения брикетов с требуемой плотностью и прочностью необходимо для прессуемого материала с учетом его свойств выбрать рациональные геометрические параметры формующих элементов, обеспечивающие наименьшее негативное влияние неравномерности распределения уплотнения и упругого последствия в брикете.

© Баюл К.В., Худяков А.Ю., Ващенко С.В., Солодка Н.А., 2017

Решение этой задачи требует создания нового методического подхода, основанного на изучении механизма уплотнения материала в формующих элементах со сложной криволинейной конфигурацией.

Цель работы

Разработка метода оценки влияния конфигурации формующих элементов и параметров уплотнения на упругое последствие в брикете, основанного на установлении связей между полями распределения напряжений, упругим расширением и плотностью.

Изложение основных материалов исследования

Для решения задачи и достижения поставленной в работе цели предложена концепция, предполагающая установление связи между напряженно-деформированным состоянием шихты на финальной стадии уплотнения в очаге деформации валкового пресса с распределением плотности и упругим последствием в брикете.

В ранее выполненных исследованиях [1] создана математическая модель, позволяющая для любой точки в объеме брикета рассчитать величину коэффициента уплотнения, напряжения и соответствующее значение плотности. Результаты этих исследований являются основой решения поставленной в работе задачи. На рисунках 1 и 2 представлены структура и алгоритм реализации предложенного метода.

Для применения предлагаемого метода сформирован расчетно-аналитический аппарат и программные средства.

На первом этапе проводятся экспериментально-аналитические исследования, в результате которых устанавливаются зависимости

$$p = \sigma = f(Ky), \quad \delta_v = f(\sigma), \quad \rho_1 = f(\sigma), \quad (1)$$

характеризующие сопротивление сжатию и упругое расширение брикета после снятия нагрузки. Используя расчетно-аналитический аппарат, созданный при выполнении работы [1], и указанные экспериментально установленные зависимости на втором этапе осуществляются расчетно-аналитические исследования связей конфигурации формующих элементов с распределением напряжений, упругого последствия и разуплотнения в брикетах, представляемых в виде эпюр.



Рисунок 1 – Структура метода оценки влияния конфигурации формирующих элементов на упругое последствие в брикетах

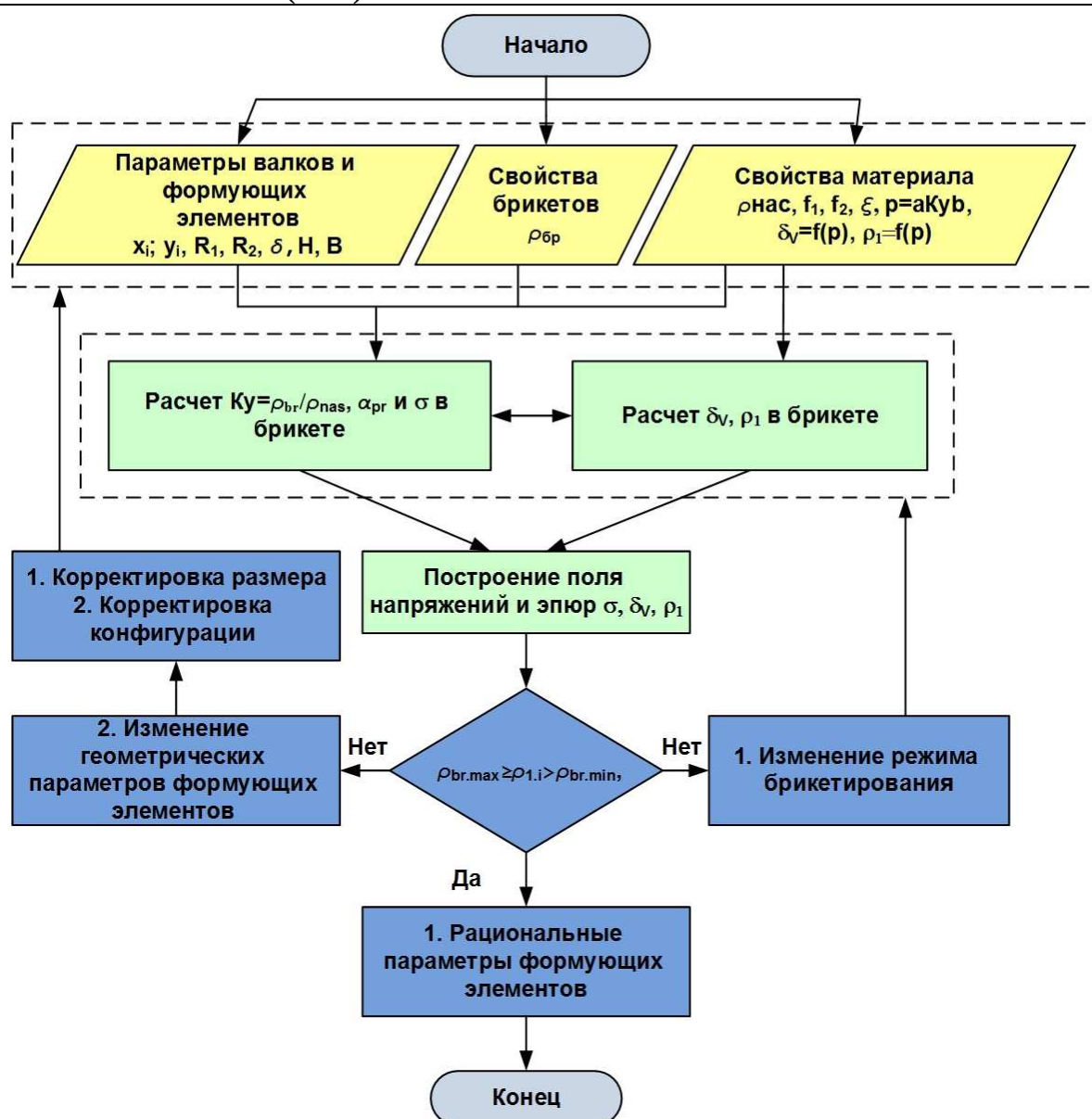


Рисунок 2 – Алгоритм применения метода оценки влияния конфигурации формующих элементов на упругое последствие в брикетах

x_i , y_i - координаты контура формующего элемента; R_1, R_2 - радиусы валков; δ - зазор между валками; H - толщина формующего элемента; B - приведенная ширина формующего элемента; $\rho_{бр}$ - заданная плотность брикета; f_1, f_2, ξ - коэффициенты внешнего и внутреннего трения, и бокового давления, соответственно; K_y - коэффициент уплотнения; $\rho_{нас}$ - насыпная плотность; $\alpha_{пр}$ - угол прессования; σ - напряжения в брикетируемом материале; $\rho_{бр.max}, \rho_{бр.min}, \rho_{1.i}$ - максимальная, минимальная и текущая плотность материала в брикете с учетом упругого последствия.

Принцип построения эпюр рассмотрен на примере брикетирования каолина (фр.-3мм, влажность – $W=10\ldots 12\%$) в валках с формирующими элементами R14 с габаритными размерами 32,0х30,0х15,0мм и объемом 10,0 см³.

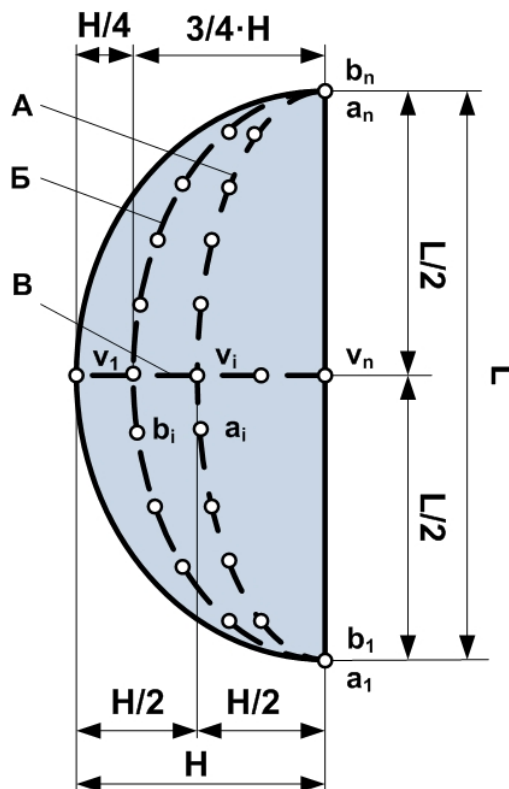


Рисунок 3 – Схема расположения линий и точек для построения эпюр в брикете

Расчет параметров уплотнения выполнен из условия достижения давления прессования 100МПа. Для проведения расчетов использованы ранее экспериментально установленные связи (1) параметров уплотнения с упругим последствием для условий прессования каолина [2]:

$$\sigma = p = 0,0117 \cdot Ky^{11,086},$$

$$\delta_v = 5,5542 \cdot p^{0,3239},$$

$$\rho_{br.1} = 1,2447 \cdot p^{0,0667}. \quad (2)$$

На основе выполненных расчетов осуществляется построение поля распределения напряжений, отражающих напряженно-деформированное состояние уплотняемого материала. Для расчета и построения эпюр напряжений, упругого расширения и разуплотнения в заданном сечении выбраны три линии А, Б и В, в продольном и по-

перечном направлениях (рис. 3). Количество и направления линий могут уточняться с учетом размера и формы брикета. На линиях А, Б в зависимости от размера брикета выделяются 10...13 точек, на линии В – 5...8 точек, которые охватывают центр и периферию брикета. Для заданных линий и выбранных на них точек рассчитываются значения и строятся эпюры напряжений, упругого последействия и плотности после упругого расширения (рис. 4).

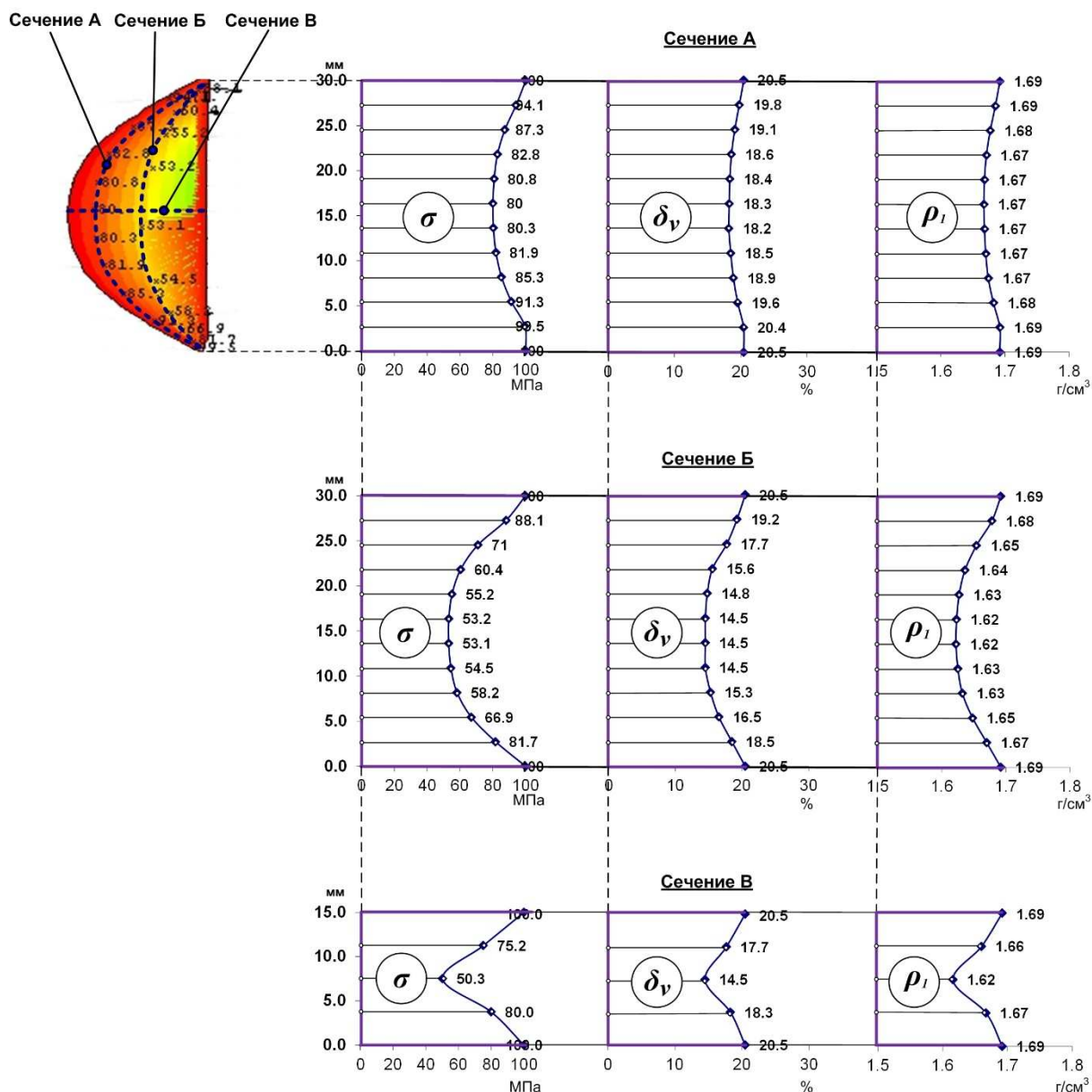


Рисунок 4 – Эпюры распределения в брикете напряжений, упругого последействия и плотности, конфигурация формующих элементов R14, материал – каолин (фр. -3мм)

Выводы

Создан экспериментально-аналитический метод оценки влияния конфигурации формующих элементов на упругое расширение брикетов, основанный на использовании полей напряжений, включающий построение эпюр распределения напряжений, упругого последействия и плотности после упругого расширения. Предложенный метод используется для решения следующих задач:

1. Прогнозирование и оценка влияния конфигурации формующих элементов на параметры уплотнения и развитие упругого последействия в брикетах;
2. Установление рациональных геометрических параметров формующих элементов, обеспечивающих достижение заданных характеристик уплотнения брикета;
3. Моделирование формующих элементов с целью снижения негативного влияния упругого расширения на качество брикетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка параметров формующих элементов валковых прессов для брикетирования мелкофракционных металлургических отходов [Текст] [Рукопись]: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / К. В. Баюл; научн. рук. В. А. Носков; НМетАУ. - Днепропетровск, 2008. - 173 с. - Библиогр.: с. 158-172. - (в пер.) На правах рукописи.
2. Баюл К. В. Исследования зависимостей между параметрами уплотнения и упругим последействием с учетом свойств брикетируемых материалов / К. В. Баюл, С. В. Ващенко, А. Ю. Худяков / Матеріали І Всеукраїнській науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем», Частина 1, Дніпропетровськ 2015 – С.31-37.

Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов,

Л.С. Молчанов, Е.В. Синегин

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТОРЕ

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме анализу особенностей математического описания процесса выплавки стали в кислородных конвертерах. В ней представлена концепция двухуровневого алгоритма процесса выплавки стали в кислородном конвертере. Проведена параметризация основных технологических операций по выплавке стали в соответствии с предложенной моделью алгоритма.

Ключевые слова: кислородный конвертер, сталь, двухуровневый алгоритм, статическая модель, динамическая модель.

Постановка проблемы

На современном этапе развития металлургического производства особое место уделяется процессам автоматизации технологических процессов. Данная задача успешно решается в сфере машиностроения и обработки материалов, но в технологических процессах производства чугуна и стали еще полностью не решена на уровне, который бы удовлетворял требования производства. Это связано, в первую очередь, с системным характером указанных выше технологических операций, а также с высокими скоростями протекания физико-химических превращений.

Анализ публикаций по теме исследования

Первоначально управление ходом протекания процесса выплавки стали в кислородных конвертерах осуществлялось непосредственно дистрибьюторщиком конвертера. При этом процесс выплавки зависел от квалификации технического персонала, а само производство отличался значительным количеством плавов с додувками по углероду и температуре [1, 2]. В процессе расширения теоретических представлений о закономерностях рафинирования металла в кислородных конвертерах был создан ряд статических моделей. Они позволяли с высокой степенью точности прогнозировать расход материалов

на плавку в целом [3]. Базой для создания статической модели кислородно-конвертерной плавки является материальный и тепловой балансы, а точность прогнозирования определяется верным определением дополнительных параметров (тепловые потери конвертера, загрязнения лома и т.д.) [4]. При этом существенным недостатком такого прогнозирования является невозможность определения динамики основных технологических показателей плавки. По мере усовершенствования методов контроля и измерения основных параметров кислородно-конвертерной плавки появились динамические модели прогнозирования. Их внедрение позволяет определять основные технологические параметры плавки в любой момент времени. При этом необходимо внедрение значительного количества дополнительного дорогостоящего оборудования для осуществления контроля технологических параметров [5-7].

Цель и задачи исследований

Для современных условий металлургического производства характерен дефицит качественных шихтовых материалов. Что приводит к необходимости применять материалы со значительным колебанием химического и фракционного состава, использовать в процессе конвертерной плавки нетрадиционные материалы. Такое развитие событий приводит к значительному усложнению процесса выплавки стали в кислородных конвертерах, снижению его эффективности и повышению себестоимости жидкой стали. При этом единственным способом преодоления сложившейся ситуации является разработка усовершенствованных методов прогнозирования результатов кислородно-конвертерной плавки, которые учитывали бы как статические, так и динамические модели.

Основная часть

Для эффективного прогнозирования процесса и результатов выплавки стали в кислородных конвертерах необходимо учитывать как статические, так и динамические алгоритмы при этом предлагаемая модель будет иметь двухуровневый характер (рисунок 1).

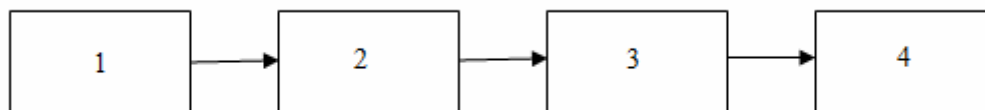


Рисунок 1 – Схема двухуровневого алгоритма моделирования выплавки стали в кислородных конвертерах: 1 – входные параметры; 2 – прогнозирование с учетом статических моделей; 3 – уточнение технологических операций с применением динамических моделей; 4 – результаты плавки

На первом уровне осуществляется предварительная оценка процессов выплавки стали в кислородных конвертерах, позволяющая определить необходимые расходы кислорода, шлакообразующих материалов, металлического лома и других охладителей, а также жидкого чугуна на плавку. Следующим этапом расчета является уточнение определенных расходов материалов и порядка их присадки в процессе плавки. Что решается за счет применения динамических моделей.

Для успешной реализации запланированного двухступенчатого алгоритма необходимо провести адекватную параметризацию процесса выплавки стали в кислородных конвертерах. Особенностью данной операции является выделение наиболее значимых факторов для каждого из уровней алгоритма. Дифференцирование технологических факторов в соответствии с основными блоками, разработанного алгоритма представлено в таблице 1.

В ходе выполнения исследований были проанализированы нормативные документы [8, 9], регламентирующие технологические особенности по выплавке стали в кислородных конвертерах, определено, что к основным факторам, определяющим особенности ведения плавки, можно отнести: разновидность применяемой технологии по выплавке стали в кислородных конвертерах; химический состав, конечную температуру и массу готовой стали.

Применяемые в алгоритме статистические модели базируются на выполнение закона сохранения энергии и массы, который реализован в основных уравнениях теплового и материального балансов кислородно-конвертерной плавки [10]. Поэтому при осуществлении расчетов на их базе необходимо задаться следующими уточняющими параметрами: количество, химический и фракционный состав приме-

няемых материалов; тепловые потери конвертера. В результате расчета по статическим моделям формируется решение о необходимом количестве материалов затраченных на плавку в целом.

Учитывая, что процесс выплавки стали отличается высокими скоростями рафинировочных процессов, то обязательной операцией в алгоритме его описания является уточнение основных технологических параметров в соответствии с динамическими моделями. Данные модели базируются на основных кинетических уравнениях физико-химических реакций, характерных для условий выплавки стали в кислородных конвертерах [11, 12]. Таким образом, в соответствии с разработанным алгоритмом, определено, что в качестве исходных параметров применяются результаты расчетов по статическим моделям. Кроме того, расчет динамических параметров предполагает использование следующих параметров: особенности дутьевого режима плавки (динамика изменения положения фурмы и расхода кислорода по ходу плавки); шлаковый режим (динамика присадки шлакообразующих и наведения шлака); необходимость проведения дополнительных технологических операций в ходе выполнения плавки (скачивание вспененного шлака, проведение додувок). Для эффективного расчета по динамическим моделям необходимо предусмотреть размещение дополнительного оборудования по фиксации динамики изменения химического состава отходящих газов, температуры ванны и положения фурмы. Причем указанное выше оборудование должно быть включено в состав систем АСУ ТП кислородного конвертера.

Прогнозирование плавки стали в кислородном конвертере должно обеспечить достижение наиболее значимых параметров выплавки стали в кислородных конвертерах: необходимую длительность плавки, заданный химический состав, температуру и массу стали.

Применение в составе алгоритма двух уровней расчета позволяет предварительно, до проведения плавки, определить необходимые расходы шихтовых материалов и уточнить их количество и режим введения в металлическую ванну непосредственно во время проведения плавки. Таким образом, реализация предложенной схемы алгоритма по прогнозированию результатов плавки в кислородном конвертере должна существенно упростить данный процесс и значительно снизить долю плавков осуществленных с додувками.

**Параметризация технологической операции по выплавки стали в
кислородных конвертерах**

№	Вид параметров	Виды параметров
1.	Входные параметры	- вариант применяемой технологии; - температура и заданный химический состав стали; - заданная масса стали.
2.	Уточняющие параметры для расчета по статическим моделям (1 уровень алгоритма)	- количество, габариты и химический состав металлического лома; - тепловые потери конвертера; - химический состав и температура чугуна; - степень чистоты кислорода.
3.	Входные параметры для расчетов по динамическим моделям (определены по результатам статического расчета)	- количество чугуна на плавку; - количество шлакообразующих материалов на плавку; - количество добавочных материалов на плавку; - расход кислорода.
4.	Уточняющие параметры для расчета по динамическим моделям (2 уровень алгоритма)	- дутьевой режим (расход кислорода, положение фурмы); - шлаковый режим (применение дополнительных шлакообразующих материалов, режим присадки); - дополнительные технологические операции (скачивание шлака, додувки).
5.	Результаты плавки	- заданная длительность продувки; - заданная температура стали; - заданный химический состав стали; - заданную массу стали.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. На основании выполненных исследований установлены наиболее характерные особенности прогнозирования результатов кислородно-конвертерной стали как с применением статических, так и динамических моделей.

2. Предложена схема двухстадийного алгоритма прогнозирования кислородно-конвертерной плавки с объединением как статических, так и динамических моделей.

3. Проведена параметризация процесса выплавки стали с учётом особенностей разработанного двухстадийного алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баптизманский В. И. Теория кислородно-конвертерного процесса. — М.: Metallurgy, 1975. — 375с.
2. Якушев А.М. Справочник конверторщика / А.М. Якушев. — Челябинск: Metallurgy, 1990. — 448 с.
3. Разработка технических решений по комплексному совершенствованию дутьевого, шихтового и шлакового режимов конвертерной плавки / Отчёт по НИР. — Инв.№ Х060030002. — Днепропетровск: НМетАУ. — 2014. — 73 с.
4. Колпаков С.В. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / Колпаков С.В., Старов Р.В., Смоктий В.В. - М.: Машиностроение, 1991. — 464с.
5. Celso Dias. Blow end manganese control with manganese ore addition / Celso Dias. — Proceedings of The 6th European Oxygen Steelmaking Conference — Stockholm 2011. — P. 1-07.
6. Yu Miyamoto. Reduction of specific consumption of auxiliary materials by improvement of calculation models for BOF blowing / Yu Miyamoto, Takashi Fujita. — Proceedings of The 6th European Oxygen Steelmaking Conference — Stockholm 2011. — P. 1-10.
7. Замкнутая система управления кислородно-конвертерной плавкой / В.С. Богушевский, С.В. Жук, С.Г. Мельник, Е.Н. Зубова // Литье и металлургия. — 2013. — №3 (72). — С. 207 — 211.
8. ТИ 230-С320-12. Выплавка конвертерной стали [Технологическая инструкция]. Утв. 31.07.2012. Днепропетровск: ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского», 2012. — 53 с.
9. ТИ-233-СТ.КК-02-2014. Производство конвертерной стали [Технологическая инструкция]. Утв. 01.02.2014. Днепропетровск: ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского», 2014. — 95 с.
10. Бойченко Б.М. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. — Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. — 456с.
11. Бигеев А.М. Математическое описание и расчёты сталеплавильных процессов [Учеб. пособие для ВУЗов] / А.М. Бигеев. — М.: Metallurgy, 1982. — 160 с.
12. Рожков И.М. Математические модели конвертерного процесса / И.М. Рожков, О.В. Травин, Д.И. Туркенич. — М.: Metallurgy, 1978. — 184 с.

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР СИСТЕМ КОГНИТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Предложены модели функциональных структур систем когнитивного управления в виде двух взаимодействующих пирамид - знания и деятельности. В зависимости от используемого в системе уровня взаимодействия определены структуры систем непосредственного, сигнального, вычислительного, информационного, когнитивного, концептуального и целевого управления. Сформулирован принцип однородности знаний хранящихся в системе и следствие из него о возможности управления формами деятельности и знаний нижестоящих управляющих устройств.

Ключевые слова: функциональные структуры управления, когнитивное управление, теоретико-множественные модели структур управления.

Введение

Современным системам управления (СУ) присущи такие качества как многофункциональность, гибкость, использование вычислительных средств и знаний. Эти качества позволяют адаптировать техническую систему к изменениям в самой системе (износ, поломки и др.) и во внешней среде системы (изменения нагрузки, температуры, воздействия помех и др.) и на этой основе повысить эффективность ее использования. Качество управления системами возросло с расширением информационной базы управления и с усложнением алгоритмов обработки этой информации. Включение в состав систем управления узлов с памятью, вычислительным и сетевым ресурсами, способность изменять алгоритм управления средствами самой системы открыло доступ к использованию в процессе управления сложных форм знаний.

Это направление получило название «когнитивное управление». В технические системы оно пришло из социальных систем, систем управления организациями как технология решения слабоструктурированных задач. [1]. Значимость для общества использования

когнитивного управления в искусственных системах сравнивается со значимостью использования компьютера [2], что свидетельствует об актуальности исследований в этой области.

Постановка задачи исследования

Различные формы знаний, которые используются в когнитивных системах управления, представлены моделью пирамиды DIKW (Data-Information-Knowledge-Wisdom)(Данные-Информация-Знания-Мудрость) [3]. В ряде публикаций, например [4] вводятся дополнительные формы знаний, с учетом которых пирамида познания имеет следующие формы: Сигнал-Данные-Информация-Знания-Понимание-Мудрость. Знания, этих типов (кроме сигналов), хранятся в СУ в соответствующих базах и используются блоками СУ. Особенности процессов использования знаний в СУ заключаются в том что, во-первых эти знания из различных предметных областей, в некоторых случаях взаимосвязанных, во-вторых познание в процессах управления сочетается с деятельностью в различных формах.

В известной автору литературе не исследована трансформация знаний в когнитивных системах с иерархией управлений [5] и функциональные структуры, обеспечивающие эту трансформацию. А также отсутствуют модели связывающие формы знаний и деятельности с элементами функциональной структуры. Отсутствие таких моделей усложняет проектирование СУ на основе использования высших форм знаний и деятельности и является нерешенной научно-технической задачей.

Целью настоящей работы является упрощение процесса проектирования когнитивных СУ на основе выделения и описания на теоретико-множественном уровне типовых элементов и структур.

Структуры когнитивных систем управления

Обобщенная структура СУ в которой хранятся и используются знания приведена на рис.1.

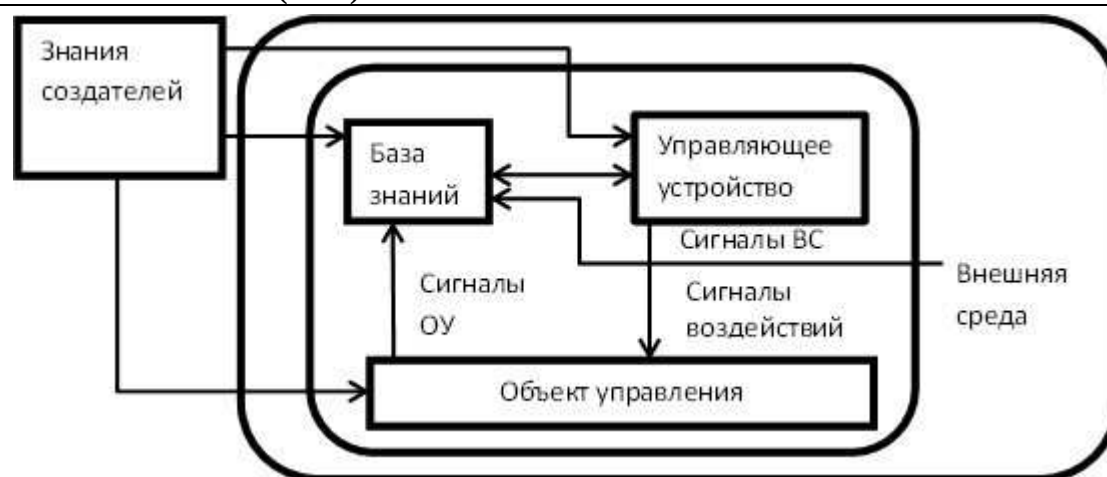


Рисунок 1 – Структура когнитивной системы управления

Она включает в себя: объект управления (ОУ), управляющее устройство (УУ), базу знаний (БЗ) и внешнюю среду (ВС). ВС имеет внутреннюю и внешнюю границы. Собственно СУ находится за внутренней границей ВС. Внутри ВС протекают различные процессы и возможно имеются системы, взаимосвязанные с СУ, а за внешней границей - не взаимосвязанные. В перспективных системах границы ВС не являются неизменными – СУ может изменяться (расширяться или сужаться) за счет ВС, а сама ВС может менять свою внешнюю границу. На этапе создания системы в УУ вносятся знания создателей, определяющие конструктивные, схемные и (или) программные решения, а в БЗ – знания об ОУ, ВС, УУ которые могут быть полезны в процессе управления объектом и эволюции УУ. В процессе использования СУ знания из БЗ перерабатываются совместно со знаниями, полученными от ОУ и ВС. Результаты переработки инициируют деятельность УУ направленную на ОУ, ВС и на себя. В деятельности УУ выделим ряд форм, которые образуют пирамиду деятельности

Следует отметить, что низшей формой знаний от ВС и ОУ в рассматриваемой системе являются сигналы, а низшей формой деятельности УУ – сигналы воздействий. При более детальном рассмотрении в СУ должны быть включены подсистемы формирования сигналов (ФС) и управляющих воздействий (УВ). ФС имеют на входах физический процесс с определенным значением параметра. ФС выполняет масштабирование параметра, преобразование, как правило, в электрический сигнал, передачу сигнала в географически другую точку пространства, в которой расположено УУ, фильтрацию от помех и запоминание. В подсистеме УВ сигнал воздействия также пере-

дается по линиям связи к ОУ, усиливается и управляет энергией внешнего воздействия на физический процесс в ОУ.

Предлагаемая структура СУ детализированная до уровней знаний и деятельности приведена на рис.2.

Каждый уровень управления имеет свой контур управления в системе. Так непосредственное управление выполняется в контуре ОУ – Параметр - Воздействие ОУ, а когнитивное – ОУ - Параметр – ... - Знание – Анализ - ... - Воздействие – ОУ. В системе могут быть более одного контура управления. Множества знаний и деятельности каждого уровня, множество контуров управления описывают систему на теоретико-множественном уровне.

Приведенные на рис.2 структуры управлений назовем «каноническими» и отметим особые случаи:

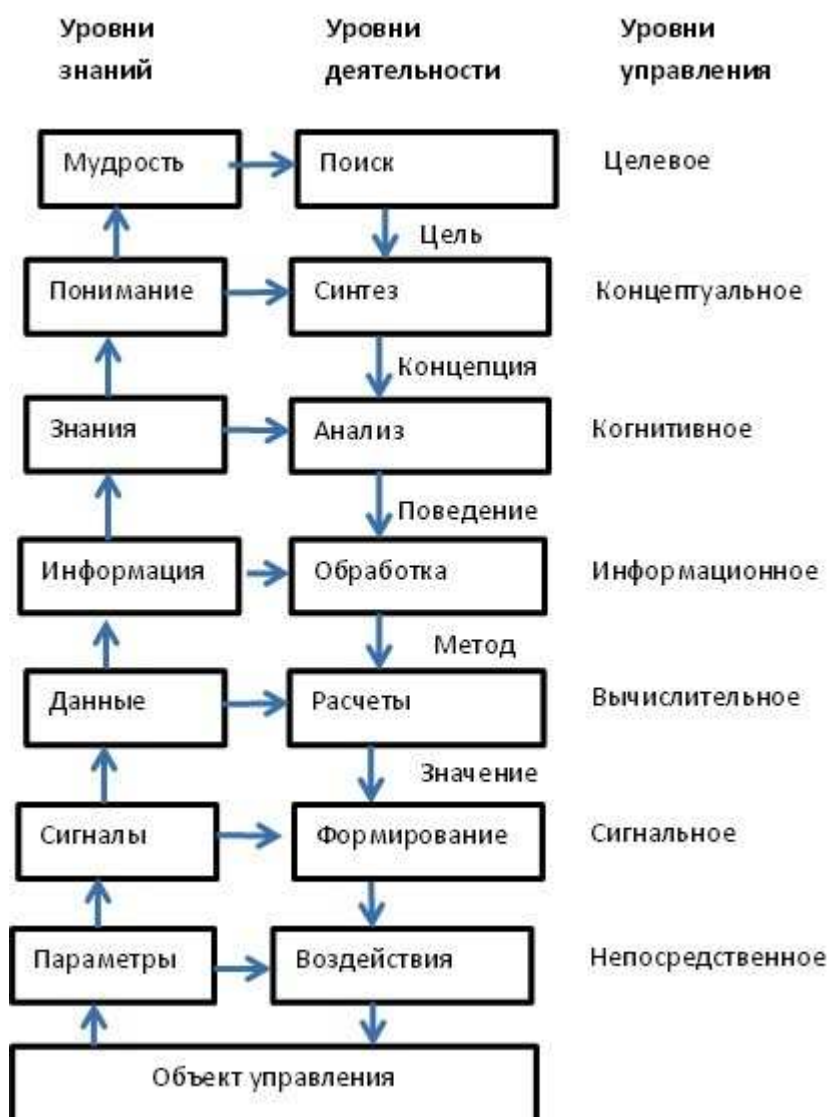


Рисунок 2 – Уровни знаний, деятельности и управлений в СУ

о Управление интеллектуальным объектом, который выдает знания о себе более высокого уровня, чем сигналы и воспринимает деятельность более высокого уровня, чем сигналы воздействий;

о Иерархия управлений, когда устройство управления i -го уровня становится ОУ на $i+1$ - уровне;

о Групповое управление, когда более одного ОУ управляются одним УУ;

о Коллективное управление, когда более одной системы управляют одним объектом с возможной координацией целей и деятельности.

Структура знаний, деятельности и управлений определяет структуру баз знаний и устройства управления. На рис. 3 приведен фрагмент обобщенной структуры СУ для уровня вычислительного управления.

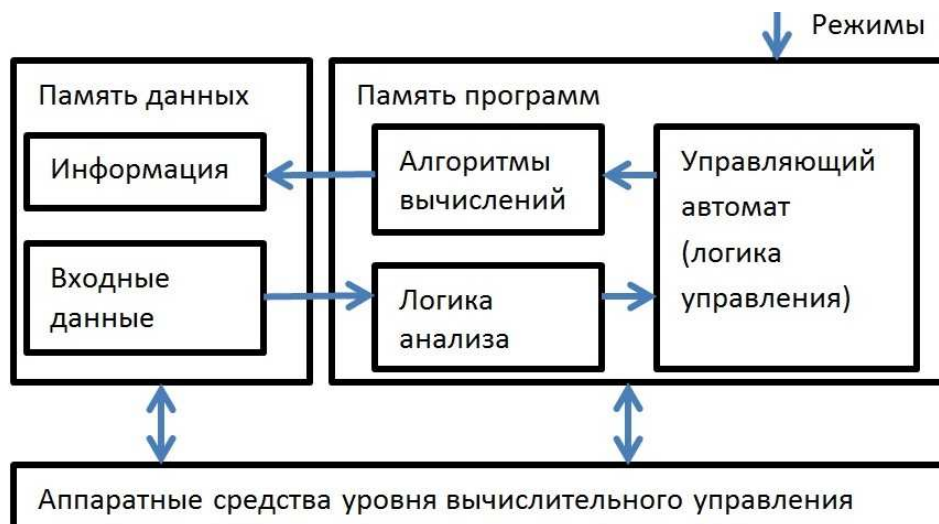


Рисунок 3 - Фрагмент обобщенной структуры СУ для уровня вычислительного управления

На данном уровне данные перерабатываются в информацию с помощью управляющей программы, которая помещена в память программ и может быть изменена средствами самой СУ - следствие из принципов фон Неймана. Функционально управляющая программа представляет собой входной (логика анализа), выходной (логика вычислений знаний и воздействий) операционные автоматы (ОА) и управляющий (логика управления) автомат (УА). Логика ОА при переработке входных данных в информацию использует знания: масштаба преобразования входного сигнала (функцию значения параметра ОУ от кода принятого сигнала); частоты дискретизации и уровней

квантования сигнала; единиц измерения (параметры масштабирования в подсистеме ФС), схемы подключения датчиков к УУ (соответствие номера канала УУ наименованию параметра ОУ), масштаба преобразования времени (функцию значения астрономического времени от кода системного времени в момент приема сигнала) и др. Эти знания являются моделью преобразования и могут быть изменены в процессе работы СУ.

При формировании сигналов управляющих воздействий на основе имеющейся информации используются аналогичные знания: масштабов преобразования времени начала и продолжительности воздействия, масштаба преобразования величины в код воздействия, схемы подключения УУ к ФВ и др. Формирование сигналов управляющих воздействий инициируется УА на основе событий формируемых ОА. Например, событий приема нового сигнала, событий достижения заданного момента времени начала управляющего воздействия и др.

Обобщенная структура i -го уровня управления приведена на рис.4.

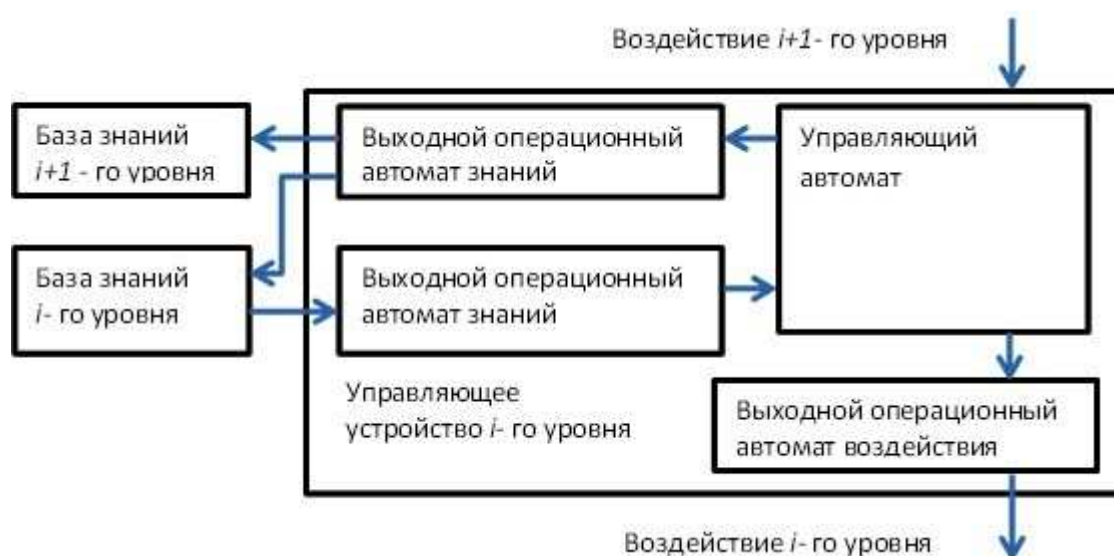


Рисунок 4 - Обобщенная структура i -го уровня управления

На этом уровне знания из базы знаний i -го уровня перерабатываются в знания $i+1$ -го уровня, а управляющие воздействия $i+1$ -го уровня детализируются до i -го уровня с помощью управляющего устройства i -го уровня. Это устройство состоит из входного, выходного ОА и управляющего автомата (УА). База знаний и знания управляющего устройства хранятся в памяти системы, что позволяет сформу-

лизовать для данного уровня СУ аналог принципа фон Неймана об однородности памяти в ЭВМ – принцип однородности знаний в базе знаний и в управляющем устройстве и следствие из него об изменении знаний управляющего устройства средствами самой системы.

Выводы

Системы когнитивного управления имеют иерархическую структуру, основанную на пирамидах форм знаний и деятельности. Каждому слою в этих пирамидах соответствует форма управления: непосредственное, сигнальное, вычислительное, информационное, когнитивное, концептуальное и целевое. Множества форм знаний, деятельности и управлений описывают систему управления на теоретико-множественном уровне.

Деятельности в системе управления направлены на объект управления, элементы устройства управления (операционные и управляющие автоматы) и базы знаний различных форм. В основе функционирования когнитивных систем управления лежит принцип однородности знаний хранящихся в системе – знаний об объекте управления и управляющем устройстве. Следствием из этого принципа является возможность управления формами деятельности нижестоящих управляющих устройств. На уровне вычислительного управления принцип однородности знаний известен как принцип фон Неймана об однородности памяти компьютера.

Предложенные структуры систем когнитивного управления использованы при разработке структуры удаленной лаборатории по обучению проектированию систем управления разработанной в рамках международного проекта “Tempus” “ICo-op – Industrial Cooperation and Creative Engineering Education based on Remote Engineering and Virtual Instrumentation”, Grant No. 530278-TEMPUS-1-2012-1-DE-TEMPUS-JPHES [6,7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В.Я., Соловьев И.В. Принципы когнитивного управления сложной организационно-технической системой. /Государственный советник Изд.: Экологическая помощь (Воронеж) №1(13), 2016, с. 27-32, ISSN: 2308-9369, eISSN: 2308-9369.
2. Научная сессия НИЯУ МИФИ–2010. XII Всероссийская научно-техническая конференция «НЕЙРОИНФОРМАТИКА–2010»: Лекции по нейроинформатике. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 328 с. ISBN 978–5–7262–1225–8.
3. Rowley, Jennifer. The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy ./ Journal of Information and Communication Science. 2007, 33 (2): 163–180. doi:10.1177/0165551506070706.
4. Ackoff R.L.. From data to wisdom. /Journal of Applied Systems Analysis 16 (1989) 3–9.
5. Поляков М.А. Теоретико-множественные модели элементов и структур интегрированных контроллерных систем управления. // Системні технології.- 2012, №2, с. 75-81.
6. М. Poliakov, T. Larionova, G. Tabunshchyk, A. Parkhomenko, K. Henke. Remote laboratory for teaching of control systems design as an integrated system// International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV2016, Madrid, Spain, February 24-26, 2016, pp. 333-340.
7. М. Poliakov, T.Larionova, G. Tabunshchyk, A. Parkhomenko and Karsten Henke. «Hybrid Models of Studied Objects Using Remote Laboratories for Teaching Design of Control Systems» in: International Journal of Online Engineering (iJOE), Vol.9(2016), Vienna, IAOE, pp. 7-13. <http://dx.doi.org/10.3991/ijoe.v12i09.6128>

N.M. Velikonskaya, N.V. Nikolenko,

Yu.D. Khrutskaya, V.V. Velichko

PHYSICAL AND CHEMICAL STUDY OF LEACHING PROCESS OF GERMANIUM FROM ASH WASTE

Abstract. The analysis of the content of Ge in ash and slag waste produced by burning power coal. Using thermodynamic simulation programs were determined values of pH and E for the existence of ionic forms of germanium at different temperatures of leaching with hydrochloric and sulfuric acids. Improved the method of spectrophotometric determination of germanium by phenylfluorone. Considered the effect of surfactants on the spectrophotometric characteristics of phenylfluoronate germanium.

Keywords: fly ash, germanium, leaching, thermodynamic equilibrium, spectrophotometric analysis.

Problem formulation

The use of secondary raw materials and solution the resource-saving problems lead to necessity of research into alternative sources of metals, the development of technologies for their preparation and processing. To do this, you must carry out a comprehensive analysis of secondary materials, in particular coal and its combustion products - ash and slag waste. Under the ash and slag waste is understand the ash and slag that are forming during the burning coal process. That type of waste is a concentrate of impurity elements (germanium, gallium, scandium, yttrium, tungsten, and molybdenum).

The purpose of the article

Ukraine has about 25 billion tons of industrial waste and their number is increasing by 150 - 200 million tons per year. The share of waste from coal production, coal beneficiation and ash and slag waste accounts for about 22% of the total industrial waste. Using of coal as the valuable mineral is implemented only partially. Really is extracted from coal and ashes just some impurity elements [1]. In addition, an integrated approach to the use of ash and slag waste is relevant in terms of addressing environmental problems.

© Velikonskaya N.M., Nikolenko N.V., Khrutskaya Yu.D.,
Velichko V.V., 2017

From the accurate determination of the chemical composition of the ash and slag waste, metal distribution in the processing of coal, depending the direction of their future use. Recycling of ash and slag waste in an industrial plant can provide from one to several tens of tons of rare and scattered metal per year [2].

The purpose of this study is theoretical justification of opportunities for a obtaining the given product - germanium concentrate from fly ash from power coal burning.

Main material

For the development of technology of germanium extraction from coal and its combustion products is necessary to know the chemical composition and the distribution of germanium depending on the type of coal. Samples of coal from different coal-bearing areas (Lisichansk, Almazno-Marevsk, Seleznev, Krasnodon, Bokovo-Hrustalsk and Dolgano-Rovenetsk regions) were studied by semi-quantitative spectral analysis [1]. Have been allocated a group of elements that concentrate in the coals of certain grades (Table 1,2).

Manganese, vanadium, scandium, molybdenum, yttrium is concentrated in the anthracite. In gas coal - molybdenum, scandium, gallium, and germanium is concentrated in long-flame coal. Germanium content decreases from 11 g/t in the long-flame coal to 2.2 g/t in the anthracite. The average content of impurities that have industrial value in ash more than in the coals. Analysis of the chemical composition of different coals and ash confirms the feasibility of the extraction of germanium from long-flame energy coal, in which the germanium content is 3 times higher than the minimum industrial content.

The study of the phase composition of fly ash from power coal-burning allowsto set the form of germanium in raw materials and macrocomponents to which they are confined. An integrated approach to the study of the phase composition [4] based on the study of the behavior of germanium under the action on a sample of the various reagents in combination with heat, oxidation and reduction. The results of the phase analysis of fly ash from power coal with a chemical composition of Ge - 0,36%, Pb - 1,20%, Al - 6,67%, Si - 23,15%, Fetotal - 3,33%, Zn - 1,02 %, (Ca + Mg) - 8,01%, S - 2,83% were interpreted with using X-ray diffraction studies of these specimens. Germanium is determined by titrimetric and spectrophotometric method. At a temperature of 600 -

650°C germanium passes into the gas phase in the form monoxide (GeO), monosulfide (GeS), and disulfide (GeS₂). Leaching with 1-5% sulfuric acid at a temperature of 90 - 100°C in a solution of germanium is present as an oxide, dioxide (amorphous modifications and hexagonal) and monosulfide.

Table 1

The average content of trace elements
in coals of different grades, g/t [1]

Coal grade	Ge	Sc	Ga	Y	V	Be	Mo	Mn
Anthracite	2,2	7,9	11,5	33,9	51	4,5	5,1	660,4
Lean coal (semi-antracite)	3,4	3,9	6,7	17,9	32,4	6,2	2,8	321
Bituminous coal, coking, leaning caking	3,9	4,7	7,1	19	36,6	8,1	2,9	321
Gas	5,9	5,7	44,3	18,1	39,5	7,8	4,1	349,4
Long-flame	11	5,6	8,3	21,4	37,4	19,1	3,5	287

Table 2

Trace elements that reach a minimum industrial content in the coals of various grades

Coal grade	Trace elements, reaches a minimum industrial content	
	In coal	In ash
Anthracite	Y, Bi, Yb, Ti	Mn, Y, Mo, Li, Bi, Yb
Lean coal (semi-antracite)	Y, Be	Li
Bituminous coal, coking, leaning caking	Y, Be	Y, Mo, Mn, Sc, Co, Yb
Gas	Y, Ga, Li, Be, Bi	Ge, Mn, Mo, Sc, Li, Be
Long-flame	Ge, Y, Be, Bi, Yb	Ge, Sc, Ga, Mo, Mn, Co

Conducted the thermodynamic analysis the possibility of water electrolysis reaction, and also leaching with hydrochloric and sulfuric acids. Studied the systems of Ge - water, Ge - sulfuric acid - water (Figure 1), Ge - hydrochloric acid - water (Figure 2) at different temperatures. For this Purba diagrams were built[5]. Purba Diagrams (diagrams of state metal - water) are used to predict the thermodynamic possibility of processes of electrochemical oxidation of metals, the formation of

stable ionic complexes and to solve a number of other issues. Knowing the temperature, pH, and E can be said in what form will be one or another metal upon contact with reagents in aqueous solutions.

For system of germanium - sulfuric acid - water at a temperature of 25°C stable solid phases may be Ge, GeS, GeS₂ and GeO₂. In the liquid phase anions are present. In this system, germanium decompose water with the evolution of hydrogen (potential value higher than zero), while in the pH range from 0 to 7.8 thermodynamically probable existence of GeO₂ (Figure 1,a). At a temperature of 90° C (Figure 1,b) stable solid phases may be GeS₂ and GeO₂. In the liquid state - anions. In the pH range from 0 to 7.0 thermodynamically probable existence of GeO₂.

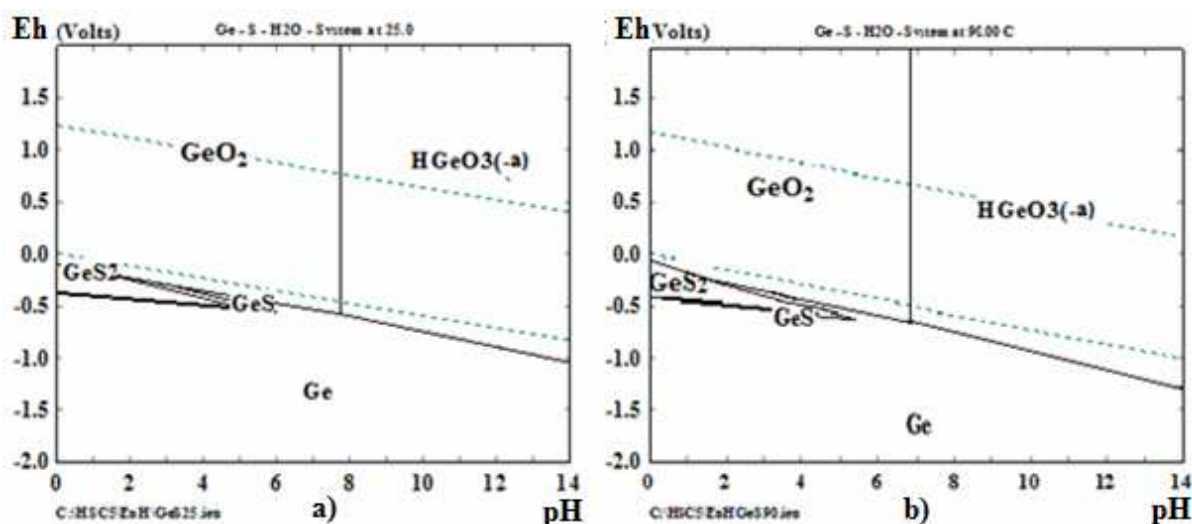
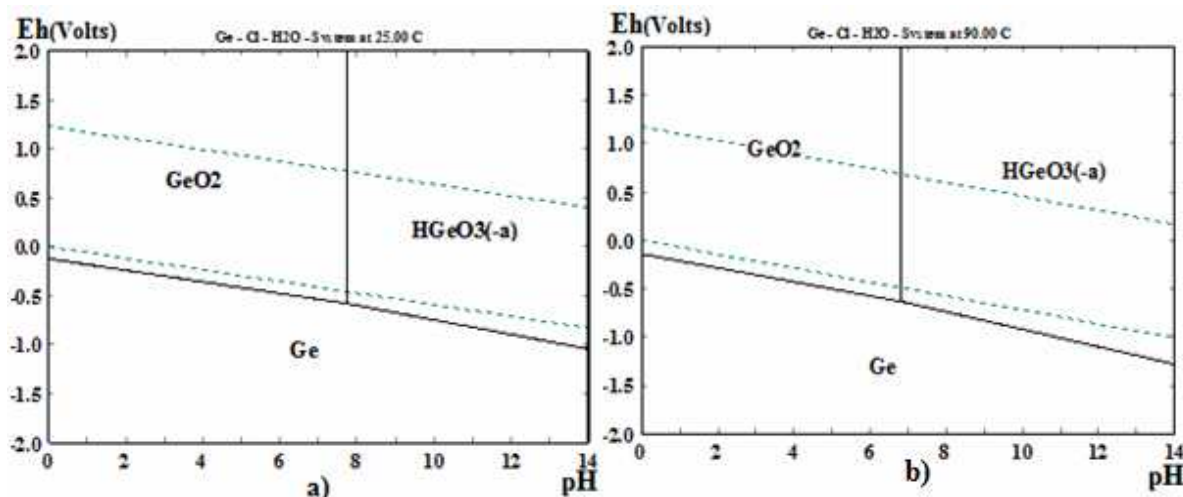


Figure 1 - Diagram E - pH for Ge-H₂SO₄-H₂O system:

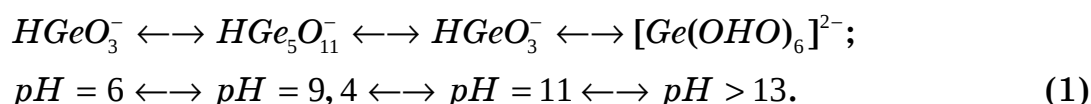
a) T = 25°C, b) T = 90°C

For system of germanium - hydrochloric acid - water at a temperature of 25°C stable solid phases may be Ge, GeO₂. In the liquid phase anions are present. In this system, germanium decompose water with the evolution of hydrogen (potential value higher than zero), while in the pH range from 0 to 8.0 thermodynamically probable existence of GeO₂ (Figure 2, a). At a temperature of 90°C (Figure 2, b) stable solid phases may be Ge, GeO₂. In the liquid state - anions. In the pH range from 0 to 6.8 thermodynamically probable existence of GeO₂.

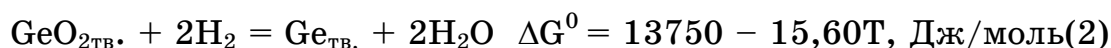
Figure 2 - Diagram E - pH for Ge-HCl-H₂O system:

a) T = 25°C, b) T = 90°C

Effect of pH on the equilibrium between the various forms of germanate ions [6].



From the resulting after leach solutions is precipitated germanium concentrate. Further reduction of germanium is carried out by gas-reducing agents. The overall reduction reaction and the equation for calculating the Gibbs thermodynamic potential is given in paper [7].



Intensive reduction of germanium dioxide to metallic germanium begins at 600°C, as evidenced by the magnitude of the Gibbs energy, which has a negative value above the specified temperature. Reduction proceeds in two stages with intermediate formation of germanium monoxide:



Figure 3 and Figure 4 shows the calculated values of the changes of Gibbs free energy in the temperature range 900 - 1900 K for the reduction processes of germanium dioxide with gases - CO and H₂.

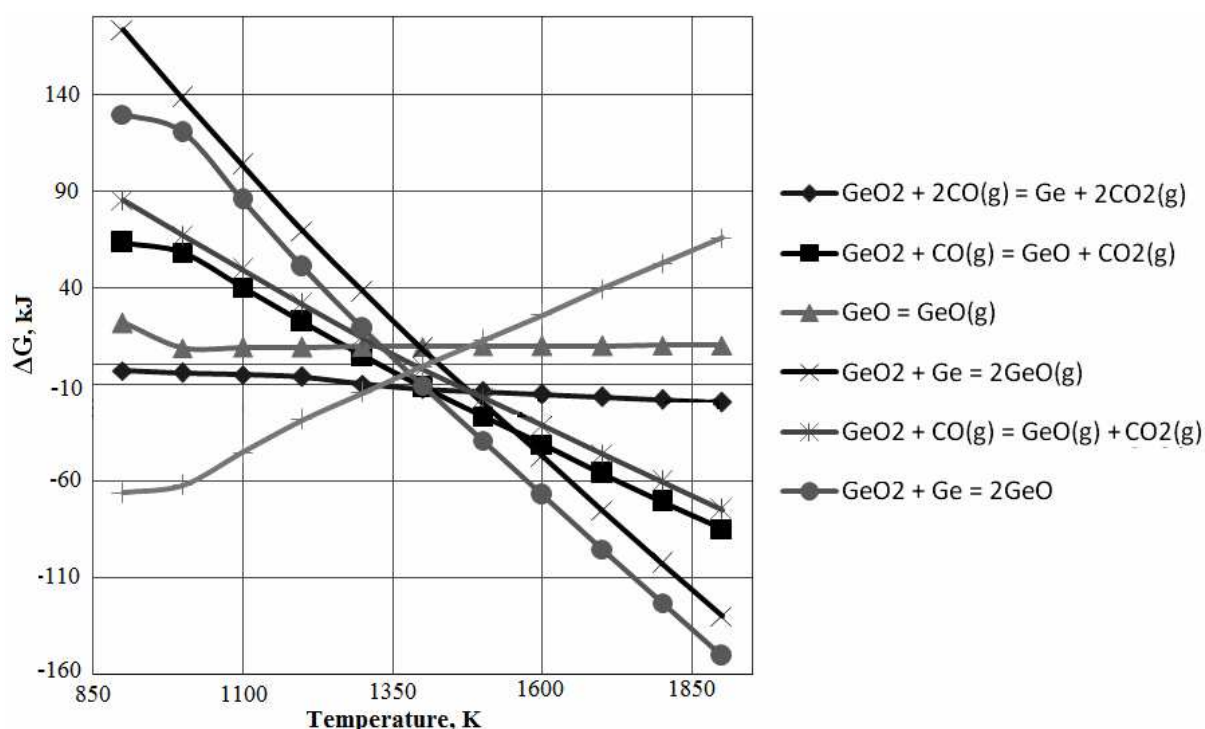


Figure 3 - Change of GeO₂-CO systems isobaric potential depending on the temperature

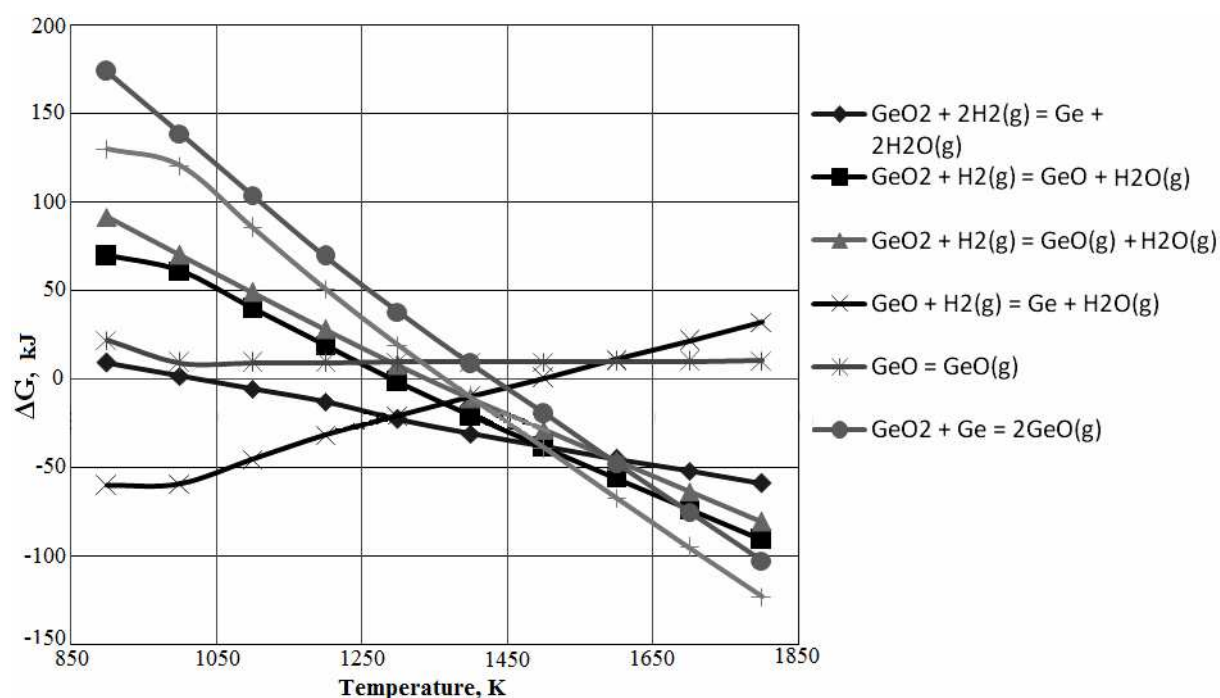
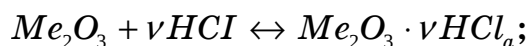


Figure 4 - Change of GeO₂-H₂ systems isobaric potential depending on the temperature

This method provides the definition of all possible compounds germanium contained in the raw material, regardless of the achieving the equilibrium conditions of reaction (in equilibrium conditions germanium is in the raw materials is in the form of dioxide, germanates, silica-germanate or $(\text{Si,Ge})\text{O}_2$; in nonequilibrium conditions can expect the presence of elemental germanium, its sulfide or monoxide). It can be concluded that the processes occurring in the formation and trapping fumes from coal combustion, provide the lack of nonequilibrium phases of germanium and of dioxide of tetragonal modification in them, the formation of the soluble form of GeO_2 , and also that the germanium is in easy-open phases of the macro-components. This explains the extraction of germanium from this raw material by conventional methods by acid with high percent of extraction ($\approx 80\%$). To increase the degree of extraction of germanium to 94.64% is proposed [8] to conduct the reduction process at $P = 1\text{-}10\text{ Pa}$, $T = 1473\text{ K}$. To date, this method of reduction is in laboratory tests.

We have done the spectrophotometric analysis of germanium content in fly ash and in the original coal. Interaction fly ash with hydrochloric acid is described by equations in stages:



In the first stage there is an equilibrium:



$\text{Me}_2\text{O}_3 + \nu\text{HCl}_a \Leftrightarrow \text{Me}_2\text{O}_3 \cdot \nu\text{H}_3\text{O}^+ + \nu\text{Cl}^-$, caused by state of acid in solution.

For the opening of of samples and determination of germanium content in the fly ash from the combustion of coal used in the Dnieper TPP, was improved methodology for spectrophotometric analysis. As reagent was used the phenylfluorone, to stabilize complexes and to improve the spectrophotometric characteristics were used various combinations of surfactants of cationic and nonionic type and derivatives thereof. Established the optimum pH, defined molar extinction coefficient and calculated the constant instability of the equation:

$$K_H^1 = \frac{(C_{Ge} - x) \cdot (C_R - 2x)}{x}; x = \frac{A_C}{A_{\max}}, \quad (5)$$

where x - equilibrium concentration of the complex in solution; C_{Ge} and C_R - total concentration of Ge and reagent in solution respectively; A - absorption of the solution at a stoichiometric ratio of germanium and trihydroxyfluorones; A_{max} - the same with reagent excess.

Conclusions

1. The chemical and phase analysis of coals and refined products showed that in Ukraine the main source of a germanium is fly ash from power coal burning. Significant germanium content, three times more than the industrial, shows prospects of using ash and slag waste.

2. Considered the thermodynamics of the successive stages of germanium extraction from fly ash by reacting with hydrochloric and sulfuric acids, and also during the reduction of germanium (IV) by reduction gases.

3. Improved the method of spectrophotometric analysis. Established the molar coefficient of light absorbance for the studied combinations germanium - phenylfluorone - surfactant. Determined the boundaries of subordination of the analyzed systems to Beer's law, calculated instability constants of the complexes formed.

REFERENCES

1. Shubin Yu. P. Useful impurity elements in coals of different grades of Donbass // Proceedings of UkrNDMI National Academy of Sciences of Ukraine. - 2008. - №2. - P.192-198. (inrussia)
2. Krasnov O.S. Prospects for production of scarce non-ferrous and rare metals from waste coal in the Kuzbass / O.S. Krasnov, V.A. Salikhov // Nonferrous metals. - 2007. - №8. - P. 8 - 10.(inrussia)
3. Yudovich Y.E. Germanium in coal / Y.E. Yudovich, M.P. Ketris. - Syktyvkar, 2004. - 215 p.(in russia)
4. Blayda I.A. Evaluation phase composition of germanium raw materials and the choice of methods of its opening / I.A. Blayda, L.I. Slyusarenko, I.N. Barba, F.V. Makordey // Herald ONU. Volume 12, Issue 2 - 2007. - P. 135 - 142.(inrussia)
5. Bebeshko G.I. Using Purba charts to predict the optimal conditions for separation and determination of halogens in natural objects / G.I. Bebeshko // Factory Laboratory. Diagnosis materials. 2008 - Volume 74. - № 6. - P. 20 - 25.(inrussia)

6. Lomashov I.P., Losev B.I. Germanium in fossil coals / I.P. Lomashov, B.I. Losev. - М.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1962. – 259p. (in russia)
7. Okunev A.I. Extraction of germanium and other elements from the dust of copper smelting production: On the 50th anniversary of the introduction of technology / A.I. Okunev, L.D. Kirra, G. V. Skopov // Nonferrous metals. -2011. - №10. - P. 54 - 58. (inrussia)
8. Lingen Zhang. An environmentally-friendly vacuum reduction metallurgical process to recover germanium from coal fly ash / Lingen Zhang, Zhenming Xu // Original Research Article. Journal of Hazardous Materials, Volume 312, 15 July 2016, Pages 28-36.
9. Abisheva Z.S. Ways of gallium extraction of the fly ash from power coal combustion / Z.S. Abisheva, I.A. Blayda, E.I. Ponomareva // Non-ferrous metals. - 1994. - №2. - P. 42-44. (inrussia)

Л.П. Клименко, А.П. Гожий, В.И. Андреев,

О.Ф. Прищепов, А.Ю. Случак, В.В.Шугай

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ЗАГотовок ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы усовершенствования технологического процесса центробежного литья гильз цилиндров с повышенной износостойкостью. Для этого моделируются и рассчитываются параметры кокиля с изменяемыми термическими характеристиками. Это позволит управлять тепловым режимом системы “отливка – форма” и регулировать процесс кристаллизации гильзы. Разработаны усовершенствованный технологический процесс литья гильз цилиндров с повышенной износостойкостью и рабочая диаграмма режимов охлаждения заготовок.

Ключевые слова: Центробежное литье, технологический процесс литья, гильзацилиндров, износостойкость, рабочая диаграмма.

Введение. Мировой опыт двигателестроения показывает, что способ центробежного литья наиболее перспективный и единственно способный удовлетворять как массовости производства, так и все возрастающим техническим требованиям к гильзам цилиндров. В комплексе задач, которые возникают в практике центробежного литья в кокиль, ведущая роль принадлежит тепловым процессам как первопричине происходящих в формирующейся отливке изменений структуры и свойств. При этом основными задачами являются:

- добиться необходимых размеров и форм пластинчатого графита методами принудительного уменьшения скорости охлаждения чугуна;
- стабилизировать мелкодисперсность перлитной металлической матрицы принудительным увеличением скорости охлаждения внутренней поверхности отливки в процессе эвтектоидного распада аустенита.

Для совершенствования технологического процесса литья необходимо исследовать элементы технологического процесса литья за-

готовок гильз цилиндров ДВС с повышенной износостойкостью. А именно, смоделировать и аналитически рассчитать параметры кокиля с изменяемыми термическими характеристиками, что позволит управлять тепловым режимом системы “отливка – форма” и регулировать процесс кристаллизации гильзы, а впоследствии, используя теплоту кристаллизующейся и затем охлаждаемой заготовки, оптимизировать размеры графитовых включений в чугунах, улучшить характеристики металлической основы, стабилизировать и повысить твердость литой заготовки.

Разработанные принципы позволяют использовать комплекс управляемых воздействий на тепловые параметры формирования отливки на всем протяжении технологического процесса – от заливки металла в форму до остывания заготовки.

Постановка задачи исследования. Основной целью данного исследования является разработка и построение усовершенствованного технологического процесса литья заготовок гильз цилиндров с повышенной износостойкостью, на основе результатов исследования физико-механических характеристик заготовки и новых методов получения гильз цилиндров.

Результаты исследований. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Исследовать процесс формирования структуры металла в ходе структурных превращений за счет тепловой энергии.
- Исследовать влияния режимов охлаждения заготовки на ее физико-механические характеристики.
- Установить основные закономерности влияния скорости кристаллизации заготовки на его теплофизические характеристики.
- Формирование методики получения гильз цилиндров с заданными свойствами.

Для решения этих задач была предложена технология жидкостного охлаждения отливки от температуры 800...750 °С со скоростью 15...20 °С/с для ускоренного перехода интервала температур перлитного превращения в чугунах и образования стабильной сорбитообразной структуры; принудительное охлаждение заканчивается при 550...400 °С, с последующей изотермической выдержкой в течение 20...40 мин при 320 °С, с целью снятия остаточных напряжений. С целью выравнивания эпюры износа цилиндра ДВС хладагент подают

в зону, которая прилегает к верхнему бурту отливки, для получения структуры повышенной износостойкости.

При построении структуры технологического процесса литья заготовок гильз цилиндров с повышенной износостойкостью было задано, что износостойкие физико-механические характеристики в каждой точке рабочей поверхности детали обеспечиваются непосредственно в процессе отливки заготовок без последующей упрочняющей обработки. Необходимые процессы структурных превращений достигаются за счет тепловой энергии заготовки без дополнительных энергозатрат [1; 2].

Структура представлена на рис. 1, состоит из следующих этапов и описывает основные этапы технологического процесса литья:

- процесс кристаллизации заготовки и обеспечение заданной скорости кристаллизации;
- выбор параметров кокиля с заданными теплофизическими свойствами, обеспечивающими необходимую скорость кристаллизации и охлаждения заготовки, которая исключает поверхностный отбел, для высокой стойкости и чистоты поверхности детали;
- процесс охлаждения закристаллизовавшихся заготовок гильз, с целью обеспечения заданной структуры и физико-механических свойств в каждой точке рабочей поверхности;
- получение заданной твердости на рабочей поверхности гильзы и, как следствие, ее повышенной износостойкости.

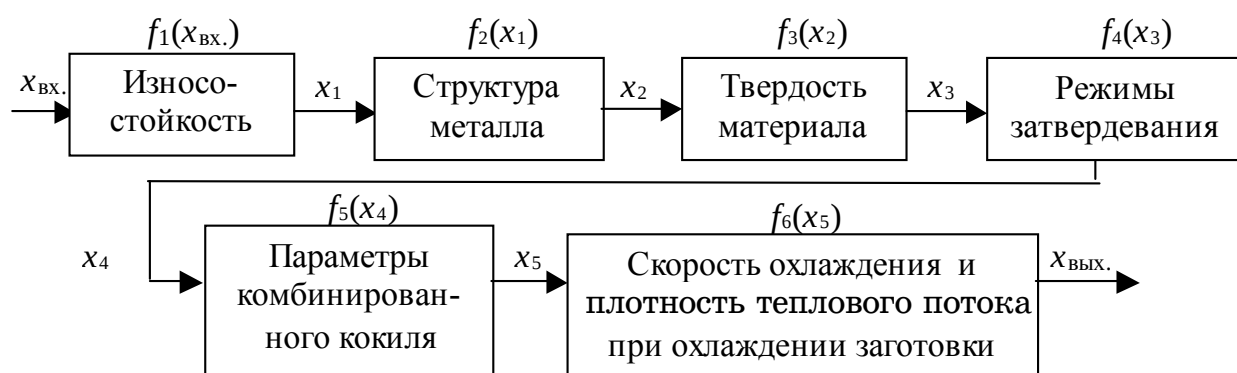


Рисунок 1 - Структура технологического процесса изготовления гильз цилиндров с повышенными износостойкими свойствами

В процессе разработки и проектирования технологического процесса решаются следующие задачи:

- определяется зависимость, заданная для равномерного износа, переменной износостойкости в каждой точке рабочей поверхности цилиндра, зависящую от формы эпюры износа детали с постоянными физико-механическими свойствами;

- определяется структура материала в зависимости от требуемой износостойкости в каждой точке рабочей поверхности;

- устанавливается значение механических свойств (твердости) поверхности в зависимости от заданной структуры;

- определяется зависимость скорости кристаллизации и охлаждения отливки в каждой точке для обеспечения заданных механических свойств;

- определяется зависимость между режимами затвердевания отливки и теплофизическими параметрами кокиля, обеспечивающими необходимую скорость кристаллизации и охлаждения заготовки;

- определяется зависимость между интенсивностью охлаждения (количеством подаваемого для охлаждения хладагента) и скоростью охлаждения затвердевшей отливки ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$).

Для решения этих задач и ряда других, при разработке реальных технологических процессов получения заготовок гильз ДВС с повышенными износостойкими свойствами необходимо использовать эмпирическую диаграмму (рис. 2), построенную на основе данных, которые получены в результате многочисленных экспериментов.

Практическое применение диаграммы основано на том, что во входящих параметрах уже задается степень повышения износостойкости планируемых к отливке гильз цилиндров двигателя [3]. Эта износостойкость должна быть соотнесена с износостойкостью базовой (или серийной) отливки. На основе входящих данных и с использованием диаграммы определяются:

- теплофизические параметры кокиля, обеспечивающие необходимую скорость кристаллизации и охлаждения заготовки, исключают поверхностный отбел и обеспечивают высокую стойкость и чистоту поверхности детали;

- по износостойкости изделия определяется требуемая структура металла гильзы на рабочей поверхности;

- в зависимости от структуры рассчитывается необходимая твердость на рабочей поверхности гильзы цилиндра;

– по твердости материала изделия определяются термодинамические параметры процесса формирования (тепловой напор на поверхности отливки);

– по заданным тепловым параметрам определяются технологические режимы процесса получения заготовки (масса жидкости, подаваемой на охлаждение заготовки) и рассчитывается время охлаждения.

Разработанный метод построения технологического процесса литья заготовок гильз цилиндров и практическая диаграмма предназначены для получения чугунных деталей в серийном производстве с высокими эксплуатационными свойствами.



Рисунок 2 - Диаграмма режимов охлаждения отливки в зависимости от параметров износостойкости гильзы цилиндра двигателя

Они позволяют улучшить качество металла и поднять его износостойкие свойства в самых ответственных местах детали, изменить условия трения деталей ЦПГ и, как следствие, повысить общий ресурс двигателя. Параметры опытных отливок, получаемых с применением данного алгоритма, представлены на рис. 3 в сравнении с серийными отливками.

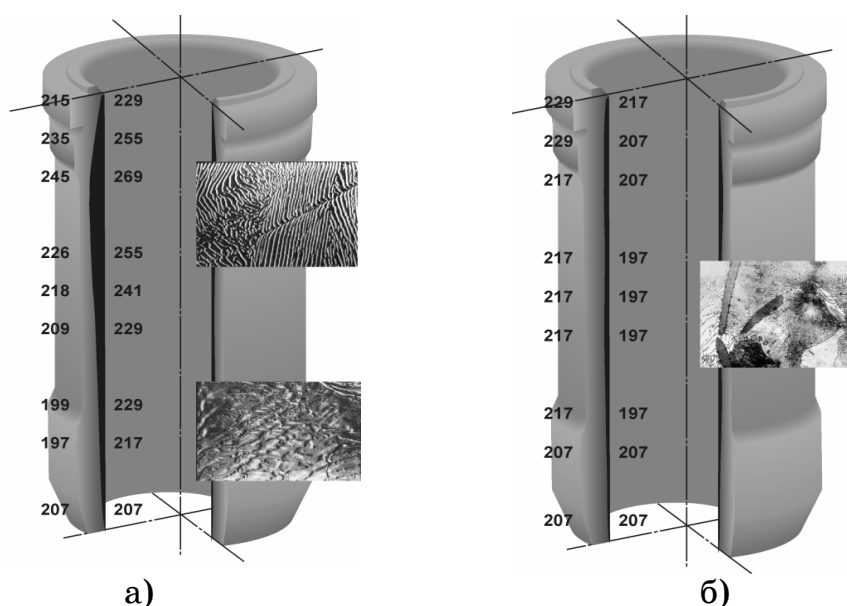


Рисунок 3 - Значения твердостей и структуры
а) опытной и б) серийной отливок

В практическом применении разработанная технология управления тепловыми процессами структурообразования при центробежном литье достаточно проста, не требует дополнительных затрат энергии на нагрев под термообработку, сокращает время выдержки заготовки в форме, способствует повышению производительности литейных конвейеров и уменьшает пылеобразование при выбивке. Учитывая, что экология пока остается серьезной проблемой любого литейного производства [4-6], то применение данной технологии дает возможность заменить литье в разовые песчаные формы на литье в постоянную изложницу, а это уменьшает выделение пыли и вредных газов. При внедрении технологии на кокильном производстве снижается толщина покраски и, соответственно, расход противопожарных и теплоизолирующих покрытий, которые выгорают в процессе заливки, отрицательно воздействуя на работников. Применение внутреннего жидкостного охлаждения цилиндрических отливок, в свою очередь, способствует выносу из внутренней части заготовок пыли и литейной грязи, смывая их или унося в систему вентиляции.

Выводы .В результате проведенных исследований было установлено:

1. Что увеличивая в 4...6 раз интенсивность теплоотвода от внутренней поверхности центробежной отливки в эвтектоидном ин-

тервале температур, можно получать структуру с высокодисперсной металлической матрицей Пд_{0,3}.

2. С использованием управляемой технологии литья получены заготовки с превышением внутренней твердости (260...280 НВ) над наружной (230...260 НВ) на 30...40 НВ, чего нельзя получить при обычном центробежном литье.

3. Разработаны усовершенствованный технологический процесс литья гильз цилиндров с повышенной износостойкостью и рабочая диаграмма режимов охлаждения заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.И., Теоретические основы и технологии создания узлов трения с переменной износостойкостью / В.И.Андреев, Л.П. Клименко, О.Ф.Прищепов // Сборник докладов Международного конгресса “Механика и трибология транспортных систем – 2003”. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2003. – Т. 1. – С. 402-405.
2. Андреев В.І., Математичне моделювання процесів твердіння та охолодження порожнинного циліндричного виливка при відцентровому литті в масивний кокіль /В.І. Андреев, Л.П. Клименко, Л.М.Дихта // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 35. Вип. 22. Комп’ютерні технології. Системний аналіз. Моделювання. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2004. – С. 59-69.
3. Толоконников В.И. и др. Роль структуры материала в обеспечении износостойкости деталей цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания // Современные проблемы триботехнологии: Сборник научных трудов. – Николаев: НКИ, 1988. – С. 250-251.
4. Сперанский Б.С., Охрана окружающей среды в литейном производстве / Б.С. Сперанский, Б.Ф.Туманский – Киев; Донецк: Вища школа, 1985. – 80 с.
5. Изложница для центробежного литья: А.с. 1465171 СССР, МКИ В22Д13/10 / В.И. Андреев, Л.П. Клименко, В.Е. Яковчук, И.С. Долгопят, Э.Б. Хачатуров, В.А. Павлов, Б.П. Прушинский, В.К. Сошников (СССР). – 4292704/31-02; Заявлено 03.08.1987; Опубл. 15.03.1989; Бюл. №10. – С. 76.
6. Новый конструкционный материал титан // Труды н.-т. совещания. – М.: Наука, 1972. – 220 с.

Лю Джи Чанг, Лю Тяньи, А.Г. Величко

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВОЙ КИСЛОРОДНО - КОНВЕРТЕРНОЙ ФУРМЫ

Аннотация. В условиях работы кислородных конвертеров завода Chengde Steel (КНР) проблемы с наведением шлака ограничивали возможности получения качественной стали. Для решения задачи предложено заменить штатную 5 сопловую кислородно-конвертерную фурму с центральным подводом кислорода на сопловую с центральным подводом воды.

Повышению стойкости конвертерной фурмы способствовала конусность нижней части фурмы, которая выполнялась на участке длиной до 6 м от наконечника фурмы. Наличие конусности приводило к самоочищению поверхности наружной трубы фурмы от налипших капель металла и шлака.

Применение наконечников кислородных фурм различной конструкции определяет связанные между собой технологические и технико-экономические результаты продувки конвертерной ванны. Размещение 3 - 4 сопел в наконечнике, как правило, сопровождается "жесткой" продувкой, а увеличение числа сопел приводит к "мягкому" ведению плавки с улучшенным шлакообразованием.

На конвертерах малой и средней емкости применяют кислородные фурмы с центральным подводом кислорода (рис. 1). Последние имеют диаметр наружной трубы 180, 194, 219 и 245 мм и, в силу этого, в наконечнике чаще размещают 4 сопла или их максимально возможное количество - 5. В таких фурмах не возможно разместить 6 сопел, хотя, в определенных условиях, возникает необходимость увеличения площади вдувания, улучшения условий наводки и вспенивания шлака.

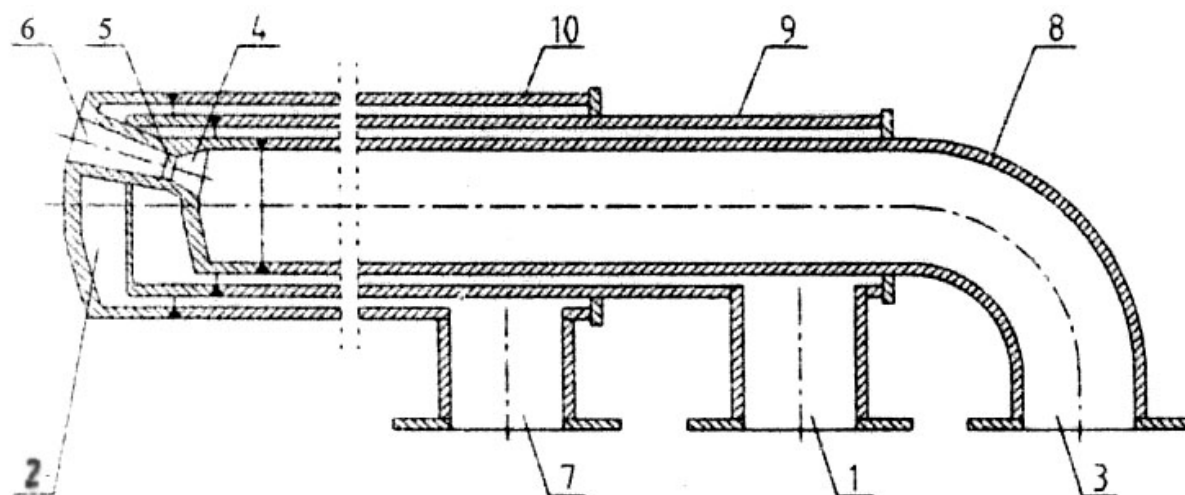


Рисунок 1 - Типовая конструкция кислородно-конвертерной фурмы с центральным подводом кислорода (1 - подвод воды, 2 – канал организованный охлаждения наконечника фурмы, 3- подвод кислорода, 4 - сужающаяся часть сопла Лавалья, 5 - критическое сечение сопла Лавалья, 6 - расширяющаяся часть сопла Лавалья, 7 - отвод воды, 8 - центральная труба, 9 - промежуточная (разделительная) труба, 10 - наружная труба

На металлургическом заводе Chengde Steel (КНР) осуществляют передел ванадийсодержащего чугуна дуплекс процессом. На первом переделе получают и отделяют ванадийсодержащий шлак для последующей переработки, а жидкий металл этого передела рафинируют в конвертере для получения качественной стали.

Химический состав продуваемого на сталь металла после отделения ванадийсодержащего шлака приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав продуваемого на сталь полупродукта

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% V
3,5-4,0	0,007- 0,015	0,002- 0,004	0,13-0,17	0,03-0,05	0,02-0,04

Температура металла в начале продувки ~ 13700С.

Поскольку металл практически не содержит кремний, марганец и имеет повышенное содержание фосфора, особые условия плавки связаны с наведением высокоосновного вспененного и жидкоподвижного шлака. Последнее не удавалось достигнуть в полной мере при-

меняя штатную 5 сопловую фурму с центральным подводом кислорода.

В специфических условиях работы кислородных конвертеров завода Chengde Steel проблемы с наведением шлака серьезно ограничивали возможности получения качественной стали.

Для решения задачи предложено заменить штатную 5 сопловую кислородно-конвертерную фурму с центральным подводом кислорода на сопловую с центральным подводом воды (рис.2).

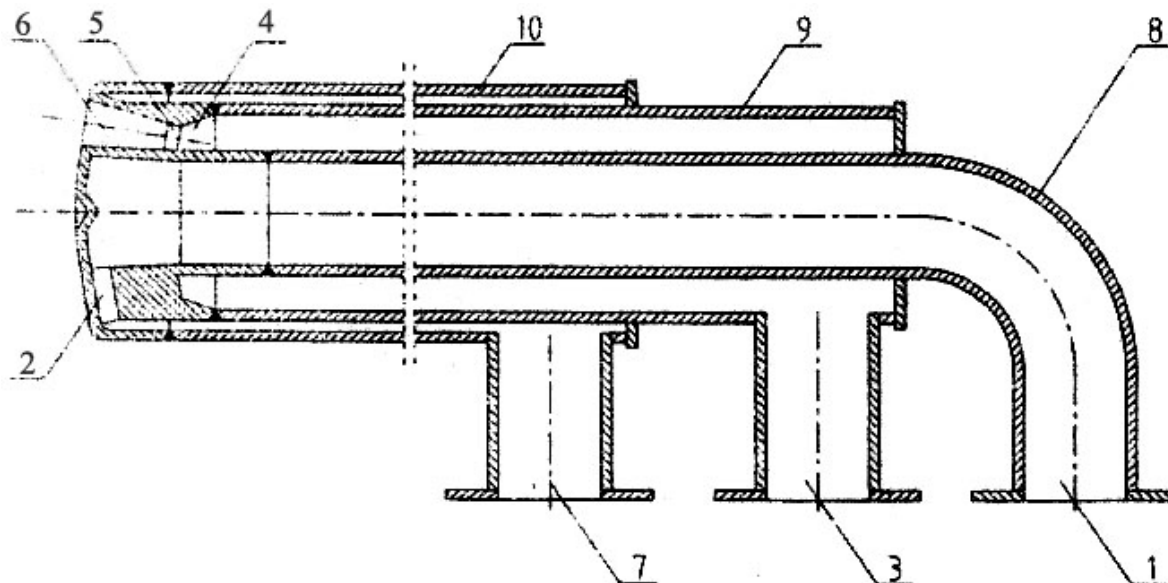


Рисунок 2 - Конструкция кислородно-конвертерной фурмы с центральным подводом воды (обозначения те же, что и на рис. 1)

В этом случае охлаждающая вода по центральной трубе 8 подается в наконечник кислородной фурмы, омывает поверхность наконечника и по каналам между соплами 2 отводится в кольцевую щель, образованную промежуточной и наружной трубами и далее 7.

Кислород подается по кольцу, образованному центральной 8 и промежуточной 9 трубами. В наконечнике фурмы по кислородному кольцу можно расположить 6 сопел (или даже 7 или 8).

Для 6-ти соплового наконечника предложено три сопла расположить под углом 150 к вертикали и три сопла под углом 120.

Ряд параметров вдуваемого кислорода и конструкции наконечника фурмы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры вдуваемого кислорода и конструкции
наконечника кислородно-конвертерной фурмы

Давление кислорода, МПа	Расход кислорода, м ³ /час	Число сопел	Угол наклона к вертикали, град.	Число Маха	Соотношение подаваемого кислорода, %
1,0	30530	3	15	2.10	55
		3	12	2.10	45

В таблице 3 приведен химический состав и температура металла в конце продувки при применении 6-ти сопловой кислородно-конвертерной фурмы.

Таблица 3

Химический состав и температура металла в конце продувки

С, %	S, %	P, %	T, °C
0,05-0,1	0,017-0,03	0,012-0,02	1650-1680

При этом химический состав конечного шлака характеризовался высокой основностью (табл. 4). Соотношение CaO/SiO₂ достигало 4,5-5,5.

Таблица 4

Химический состав конечного шлака

CaO, %	SiO ₂ , %	MgO, %	S, %	FeO, %	P, %
35-40	7-8,2	11,5-11,7	0,1-0,14	21-26	1,7-1,73

Сравнение результатов работы 5 и 6 сопловых кислородно-конвертерных фурм приведено в таблице 5. Благодаря более раннему наведению высокоосновного вспененного шлака при применении 6 сопловой фурмы достигнуты лучшие результаты по удалению фосфора.

**Сравнение результатов работы 5 и 6 сопловых кислородно-
конвертерных фурм**

	Потребление кислорода, м ³ /т	Температура, °С	Содержание Р, %	Содержание железа в шлаке, %
5 сопловая с центральным подводом кислорода	39,03	1638,5	0,021	18,09
6 сопловая с центральным подводом воды	38,16	1638,63	0,017	16,73
Сравнение	- 0,87	+ 0,13	- 0,004	- 1,36

Увеличение числа сопел в наконечнике фурмы, как правило, сопровождается повышением окисленности шлака. При применении 6 сопловой фурмы содержание железа в шлаке уменьшается (таблица 4).

Последнее достигается тем, что центральный подвод воды улучшал охлаждение наконечника и позволил в основной период продувки снижать положение фурмы над уровнем ванны.

Подача охлаждающей воды по центральной трубе улучшила условия охлаждения наконечника фурмы, что позволило существенно повысить его стойкость, в среднем, до 677 плавов против 392 плавов на 5 - сопловой фурме с центральным подводом кислорода.

Повышению стойкости конвертерной фурмы способствовала конусность нижней части фурмы, которая выполнялась на участке длиной до 6 м от наконечника фурмы. Наличие конусности приводило к самоочищению поверхности наружной трубы фурмы от налипших капель металла и шлака.

КЛАССИФИКАЦИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Аннотация. Проведен анализ мощности классификации многомерных измерений с неизвестными статистическими закономерностям при использовании энтропийных преобразований и критериев непараметрической статистики.

Ключевые слова: выборка измерений, непараметрические критерии, энтропийные преобразования.

Постановка задачи

В настоящее время научная деятельность в технике, медицине, биологии, физики и других областях тесно связана с обработкой и анализом массивов данных, которые содержат информацию об объектах предметной области.

Рассмотрим подход к построению меры различий, которая предназначена для выявления структурных особенностей в значениях характеристик элементов исследуемых множеств, и разработке на ее основе алгоритмов классификации, например, трехпараметричных объектов по экспериментальным данным.

Цель исследования – оценка вероятностей ошибочных решений и анализ работоспособности классификации многопараметрических объектов при использовании энтропийных преобразований и комплексного критерия непараметрической статистики, в задачах неразрушающего контроля и технической диагностики.

Вычислительные эксперименты

Рассмотрим объекты классификации, находятся под влиянием трёх факторов, обуславливающих их состояние. Первая причина связана с изменением параметра $x_1(k)$ и статистически связана с измерениями $x_2(k)$ и $x_3(k)$, которые, в свою очередь, связаны законами распределения $W(x_1x_2) = W(x_1)W\left(\frac{x_2}{x_1}\right)$.

В этом случае для выборок с нормальным распределением условный закон запишется в виде

$$W\left(\frac{x_j}{x_i}\right) = \exp - \frac{\left(\frac{x_j - a_j}{\sqrt{D_j}} - r_{ij} \frac{x_i - a_i}{\sqrt{D_i}}\right)^2}{2(1 - r_{ij}^2)} / 2\pi\sqrt{D_i D_j (1 - r_{ij}^2)}$$

Введем следующие обозначения для упрощения записи законов распределения $z_1 = \frac{x_1 - a_1}{\sqrt{D_1}}$, $z_2 = \frac{x_2 - a_2}{\sqrt{D_2}}$, $z_3 = \frac{x_3 - a_3}{\sqrt{D_3}}$, и их корреляционные зависимости $A_{11} = 1 - r_{23}^2$, $A_{22} = 1 - r_{13}^2$, $A_{33} = 1 - r_{12}^2$, $A_{12} = r_{12} - r_{13}r_{23}$, $A_{13} = r_{13} - r_{12}r_{23}$, $A_{23} = r_{23} - r_{12}r_{13}$. В этом случае случайные величины z_1 , z_2 , z_3 имеют нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию, а их трехмерный закон распределения вероятностей запишется в виде

$$W(z_1 z_2 z_3) = \frac{\exp\left[-\frac{A_{11}z_1^2 + A_{22}z_2^2 + A_{33}z_3^2 - 2A_{12}z_1z_2 - 2A_{13}z_1z_3 - 2A_{23}z_2z_3}{2(1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23})}\right]}{\sqrt{(2\pi)^3(1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23})}}.$$

Условные математические ожидания и дисперсии равны

$$M[z_1] = 0, \quad M\left[\frac{z_2}{z_1}\right] = r_{12}z_1, \quad M\left[\frac{z_3}{z_1 z_2}\right] = \frac{r_{13} - r_{12}r_{23}}{1 - r_{12}^2}z_1 + \frac{r_{23} - r_{12}r_{13}}{1 - r_{12}^2}z_2, \\ D[z_1] = 1, \quad D\left[\frac{z_2}{z_1}\right] = 1 - r_{12}^2, \quad D\left[\frac{z_3}{z_1 z_2}\right] = 1 - \frac{r_{13}^2 + r_{23}^2 - 2r_{12}r_{23}r_{13}}{1 - r_{12}^2}.$$

Эти знания позволяют формировать трехмерные выборки случайных величин для проведения вычислительных экспериментов. Если $z_1 = \xi_1$, $z_2 = r_{12}\xi_1 + \sqrt{1 - r_{12}^2}\xi_2$, $z_3 = b_1z_1 + b_2z_2 + b_3\xi_3$, где ξ_i – нормальные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией ($i = 1, 2, 3$). Коэффициенты b_1 , b_2 , b_3 определим из системы уравнений

$$\begin{cases} r_{13} = b_1 + b_2r_{12}, \\ r_{23} = b_1r_{12} + b_2, \\ 1 = b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + 2b_1b_2r_{12}. \end{cases} \quad (1)$$

Решив систему уравнений (1) получим коэффициенты

$$b_1 = \frac{r_{13} - r_{12}r_{23}}{1 - r_{12}^2}, \quad b_2 = \frac{r_{23} - r_{12}r_{13}}{1 - r_{12}^2},$$

$$b_3^2 = 1 - \left[\left[\frac{r_{12}(r_{13} - r_{23}r_{12})}{1 - r_{12}^2} + \frac{r_{23} - r_{13}r_{12}}{1 - r_{12}^2} \right]^2 + \left[\frac{r_{13} - r_{12}r_{23}}{\sqrt{1 - r_{12}^2}} \right]^2 \right].$$

Имея в распоряжении некоторое число трехпараметрической объектов со случайными параметрами и выборками их измерений, необходимо выделить классы объектов с одинаковыми параметрами. Эту задачу можно решить путем энтропийных преобразований выборок измерений и проверкой гипотез о равенстве их оползней, масштабов и корреляционных связей на основе критериев Ван-дер-Вардена, Клотца и Буша-Винда.

Рассмотрим эту задачу на примере следующих двух видов разницы объектов. Первый вид различий: 1) объекты отличаются лишь параметром сдвига; 2) объекты отличаются лишь параметром масштаба; 3) объекты отличаются только статистическими связями (коэффициентом корреляции).

Второй вид различий (сдвиг, масштабов и корреляции): 1) объекты отличаются одним (неизвестным) параметром; 2) объекты отличаются двумя (неизвестным) параметрами; 3) объекты отличаются всеми (тремя) параметрами.

Проведем учебный вычислительный эксперимент, чтобы получить информацию о различиях соответствующих энтропийных преобразований, их гистограммы, минимальные, максимальные и средние значения, выборочные дисперсии и коэффициенты вариации и размахов. Если коэффициент вариации - это отношение $k_v = \sqrt{D^*} / M^*$, то коэффициент размаха - $k_p = (L_{\max} - L_{\min}) / \sqrt{D^*}$. Считая параметры трех эталонных гауссовых выборок измерений известными (см. таблицу 1) определим их идеальный энтропийный преобразователь $L_\rho(x_1(k), x_2(k), x_3(k))$.

Таблица 1

Параметры эталонного энтропийного преобразователя

Параметры	a_1	a_2	a_3	D_1	D_2	D_3	r_{12}	r_{13}	r_{23}
Эталон	10	20	30	1	2	3	0,8	0,8	0,8

$$L_1(x_1(k), x_2(k), x_3(k)) = \frac{1}{2} \ln \left[(2\pi)^3 (1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23}) D_{11}^* D_{12}^* D_{13}^* \right] +$$

$$+ \left(\frac{A_{11}x_1^2 + A_{22}x_2^2 + A_{33}x_3^2 - 2A_{12}x_1x_2 - 2A_{13}x_1x_3 - 2A_{23}x_2x_3}{2(1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23})} \right) \quad (2)$$

где $x_1(k) = a_{11} + \sqrt{D_{11}}z_1$, $x_2(k) = a_{12} + \sqrt{D_{12}}z_2$, $x_3(k) = a_{13} + \sqrt{D_{13}}z_3$.

Имея в распоряжении три выборки измерений независимых нормальных случайных величин с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией $\xi_1(k)$, $\xi_2(k)$, $\xi_3(k)$, сформируем три выборки взаимокоррелированных случайных величин $z_1(k) = \xi_1(k)$, $z_2(k) = r_{12}\xi_1(k) + \sqrt{1 - r_{12}^2}\xi_2(k)$, $z_3(k) = b_1z_1(k) + b_2z_2(k) + b_3\xi_3(k)$. Изменяя их параметры исследуем статистические закономерности энтропийных преобразователей в соответствии с указанными выше типов различий смоделированных выборок от идеала. По первым видом имеем три варианта различий: 1) $a_1 = 11$, $a_2 = 21$, $a_3 = 31$; 2) $D_1 = 1,5$, $D_2 = 2,5$, $D_3 = 3,5$; 3) $r_{12} = 0$, $r_{23} = 0$, $r_{13} = 0$. Объем измерений составляет $n = 1000$.

Статистические показатели энтропийного преобразователя представим в виде таблицы 2.

Таблица 2

Статистические показатели энтропийного преобразователя

	$\bar{L}^*$	$\sqrt{D^*[L]}$	$L_{\max}^*$	$L_{\min}^*$	k_e	k_p
Эталон	3330	5,834	3330	3289	0,018	7,773
1	3337	5,889	3342	3294	0,017	7,7
2	3422	6,112	3446	3399	0,017	7,7
3	5,141	1,487	3,653	11,281	0,237	6,252

По данным таблицы 2 можно утверждать, что, несмотря на изменения математического ожидания и дисперсии входных данных, смещение и масштаб энтропийного преобразователя остаются практически неизменными, а при изменении корреляции происходит существенное изменение математического ожидания, и уменьшается дисперсия преобразователя. На рисунке 1 изображены гистограммы трехмерных энтропийных преобразований эталона (рисунок 1а и случая, когда входные данные отличаются смещением при неизменных масштабах и коэффициентах корреляции эталона (рисунок 1б)

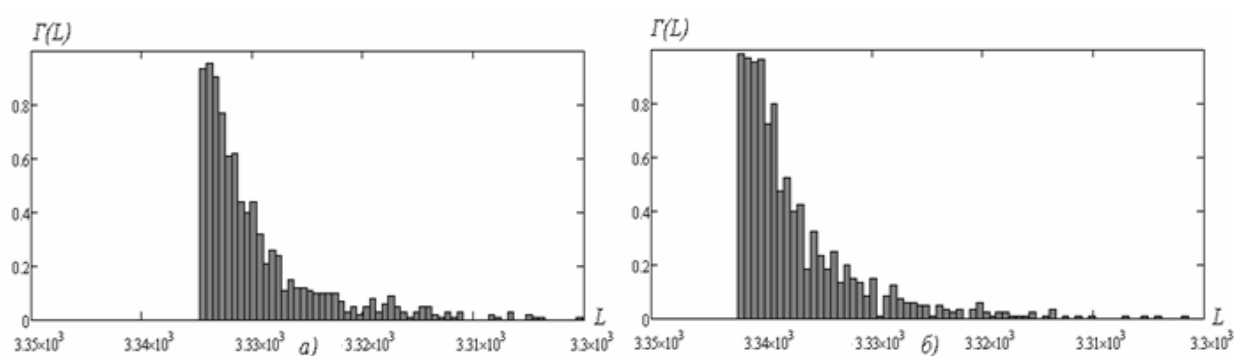


Рисунок 1 - Гистограммы трехмерных энтропийных преобразований а) эталонный энтропийный преобразователь; б) энтропийный преобразователь при уменьшении математического ожидания входных данных

Из анализа рисунка 1 следует, что вид закона распределения вероятностей энтропийного преобразователя не зависит от изменения статистических показателей входных данных.

Исследуем влияние на преобразователь второго вида различий, а именно: изменим параметры только первой из трех эталонных выборок (см. таблицу 1): 1) $a_1 = 11$, $D_1 = 1,5$, $r_{12} = 0,5$; 2) первой и второй эталонных выборок $a_1 = 11$, $D_1 = 1,5$, $r_{12} = 0,5$; $a_2 = 21$, $D_2 = 2,5$, $r_{23} = 0,7$; 3) всех трех выборок.

Статистические показатели энтропийного преобразователя представим в виде таблицы 3.

Статистические показатели энтропийного преобразователя

	$\bar{L}^*$	$\sqrt{D^*[L]}$	$L_{\max}^*$	$L_{\min}^*$	k_e	k_p
Эталон	3330	5,834	3330	3289	0,018	7,773
1	4769	7,323	4776	4707	0,015	9,312
2	2805	5,05	2809	2771	0,018	7,58
3	2638	4,413	2642	2609	0,016	7,363

Анализируя данные таблицы 3 приходим к выводу, что разница одного параметра влияет на статистические показатели энтропийного преобразователя намного сильнее, чем общее увеличение или уменьшение математического ожидания или дисперсии.

Для проверки возможности использования критерия Буша-Винда для выявления различий статистических закономерностей энтропийных преобразователей исследуем вероятности принятия решений по одинаковости объектов контроля по сравнению с эталоном, при условии, что второй объект имеет отличие от эталона первого и второго класса, при параметрах указанных выше. Объем измерений составляет $n = 1000$ количество реализаций 1000. Результаты опыта представлены в таблице 4.

Таблица 4

Вероятности принятия решений об однородности энтропийных преобразователей по критерию Буша-Винда

Эталон	1 класс отличий (изменяемые параметры)			2 класс отличий (изменяемые параметры)		
	МО	Дис.	Кор.	x_1	x_1 и x_2	x_1, x_2, x_3
0,994	0,003	0,007	0,894	0,793	0,433	0,004

По данным таблицы 4 можно сделать вывод о высокой эффективности совместного использования комплексного непараметрического критерия Буша-Винда и энтропийных преобразований в задачах дефектоскопии. Поскольку критерий в совокупности с энтропийными преобразованиями позволяют определить изменения как только один из параметров измерений, так и изменение статистических показателей одной выборки многомерного объекта неразрушающего контроля.

Выводы

Использование комплексного критерия непараметрической статистики Буша-Винда совокупно с энтропийными преобразованиями позволяет с высокой степенью достоверности (0,95) классифицировать объекты неразрушающего контроля. Эти методы позволяют делить изделия не только на нормальные и дефектные, но и устанавливать чем именно каждое изделие отличается от «нормы». Установленные таким образом причинно-следственные связи между измерительными параметрами объектов контроля и их отношением к определенному классу, позволяют корректировать технологию производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куренков Н. И. Энтропийный подход к решению задач классификации многомерных данных / Н. И. Куренков, С. Н. Ананьев // Ежемесячный теоретический и прикладной научно-технический журнал «Информационные технологии». – М. : «Новые технологии», 2006. – № 8. – С. 50-55.
2. Jenssen R. An Information Theoretic Approach to Machine Learning : Diss. for the Deg. of Dr. Scientiarum / R. Jenssen ; Department of Physics University of Tromso. – Tromso, 2005. – 179 p.

Ю.Е. Харламов, Лю Ли, А.Н. Овчарук,

А.Ю. Таран, О.В. Замковой, В.Ю. Харламов

**ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА
РАФИНИРОВАННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ**

Анотація. Виконано аналіз сучасного виробництва рафінованих марганцевих ферросплавів і основних напрямків його вдосконалення. Показано, що основна тенденція розвитку даного напрямку базується на впровадженні технологічних схем рафінування розплавів продуванням в конвертерах або традиційними методами їх змішування з оксидними розплавами і їх інтенсифікації шляхом збільшення площі контакту реагуючих компонентів за рахунок інтенсивного їх перемішування або продувки інертними газами. Приведена технологічна схема, обладнання, його характеристики (постачальник - компанія Sinosteel JEMECO (КНР) для заводу з виробництва металевих марганцю силікотермічним способом.

Ключові слова: марганець металевий, проєкт, рафінування, технологічна схема, параметри печі, футерівка, токопідвід, екологія

Несмотря на то, что в настоящее время развитие мировой экономики ориентировано на разработку и внедрение современных технологий получения новых материалов на базе наночастиц, IT-технологий, технологии 3d-принтер, электромобилестроение, возобновленные экологически безопасные источники энергии, создание инфраструктуры повышенной комфортности и скоростей и т.д.ё металлургическая продукция и в дальнейшей перспективе останется основным конструкционным материалом развития цивилизации.

Так, с начала 3-го тысячелетия годовой объем мирового производства стали увеличился с 850 до 1670 млн.т и, по нашему мнению, через такой же период времени достигнет 2 млрд.т.

В настоящее время, в связи мировым экономическим кризисом, темпы роста производства стали несколько снизились, однако объем выплавки специальных марок сталей и сплавов возрастает, соответственно возрастает объем производства рафинированных марок

© Харламов Ю.Е., Лю Ли, Овчарук А.Н.,

Таран А.Ю., Замковой О.В., Харламов В.Ю., 2017

марганцевых ферросплавов [1], занимающих ведущую позицию в общем объеме производства ферросплавов.

В последние годы на мировой рынок поставляется большое количество (свыше 1 млн.т) электролитического металлического марганца, основной объем которого производится в КНР (97,5%), а остальное в США. Однако, спрос на рафинированные марганцевые сплавы – металлический марганец, средне- и низкоуглеродистый ферромарганец, производимые в электропечах силикотермическим способом не снижается.

Кафедрой электрометаллургии Национальной металлургической академии Украины, имеющий большой опыт в разработке и совершенствовании технологических схем производства рафинированных сплавов [2-5] и ее структурным подразделением – НПФ «Техносплавы»^{х)} разработано технологическое задание (ТЛЗ) и технико-экономическое обоснование (ТЭО) строительства электрометаллургического комплекса для производства металлического марганца в объеме 33 тыс.т [6].

В проекте использована технология производства, существенно отличающаяся от общепринятой и действующей в Китае, Украине и других странах.

Данная технология основана на трехстадийной схеме производства металлического марганца (рис. 1).

Основной задачей первой стадии производства является получение высококачественного передельного марганцевого шлака с минимальным содержанием фосфора и железа, которое достигается за счет их полного восстановления по реакциям:



а также получение попутного металла, являющегося товарной продукцией и содержащий свыше 50% Mn, который параллельно восстанавливается в процессе рудовосстановительной плавки в электропечи по реакции:



Теоретическая температура начала восстановления оксидов Fe, P и Mn составляет 738°C, 820°C и 1324°C соответственно.

Первую стадию производства предусмотрено осуществлять в рудовосстановительной электропечи типа РКО-15. Характеристики основных технических показателей приведены в таблице 1.

На второй стадии предусмотрено, используя высококачественный перекисный бесфосфористый и безжелезистый шлак углеродовосстановительным процессом в рудовосстановительной печи типа РКО-15, производить нерафинированный низкофосфористый, низкоуглеродистый и высококремнистый (30-32% Si) сплав, который предусматривается рафинировать на третьей заключительной стадии. Особенностью этой стадии является использование флюса и восстановителя с минимальным содержанием фосфора и железа, основных вредных примесей марганца металлического.

Получение марганца металлического осуществляется в рафинировочной электропечи с установленной мощностью трансформатора 5 МВ·А (таблица 2).

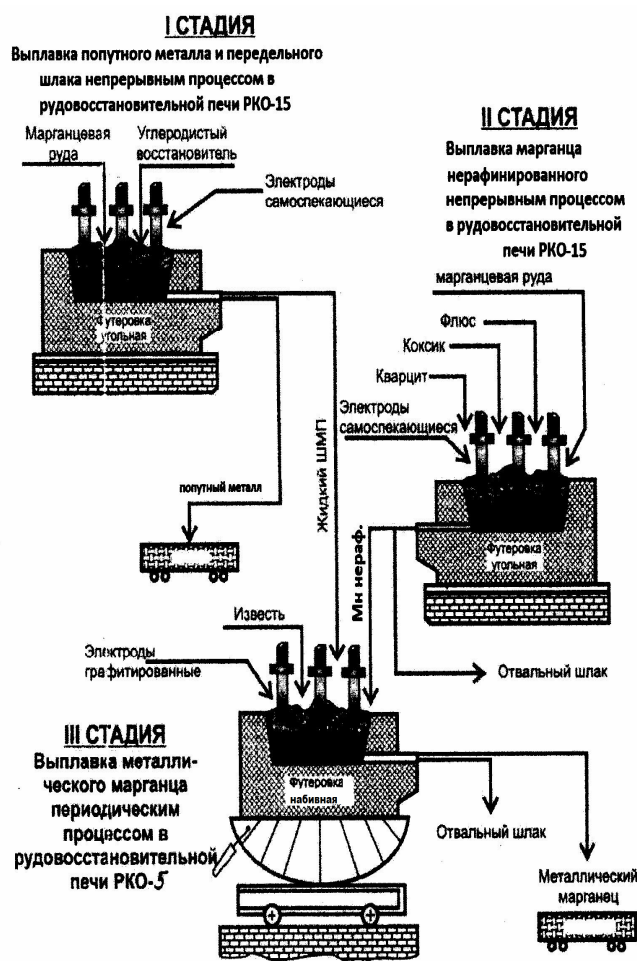


Рисунок 1 - Технологическая схема производства марганца металлического марганца

Основные технические характеристики печей РКО-15 и РКО-5 приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Характеристики печей РКО-15 МВ·А

Наименование параметров	Единица измерения	Величина
1. Мощность печи	МВ·А	15
2. Тип электродов	Самоспекающиеся	
3. Количество электродов	шт	3
4. Диаметр электрода	мм	1100
5. Ход электрода рабочий	мм	1200
6. Ход электрода полный	мм	1500
7. Скорость перемещения электрода	м/мин	0,2-0,7
8. Диаметр распада электродов	мм	2800
9. Диаметр ванны печи	мм	6100
10. Глубина ванны	мм	2750
11. Диаметр кожуха ванны	мм	8600
12. Высота кожуха ванны	мм	4750
13. Количество леток	шт	1
14. Высота оси летки над подиной	мм	100
15. Диаметр зонта	В габаритах кожуха ванны	
16. Высота зонта (не более)	мм	2000
17. Количество печных бункеров	шт	12
18. Количество труботечек на зонте	шт	10
19. Диаметр центральной труботечки	мм	530 x 16
20. Диаметр средних труботечек	мм	426 x 16
21. Диаметр периферийных труботечек	мм	426 x 16
22. Количество газоотводных патрубков	шт	2
23. Установленная мощность трансформатора	кВА	5000 x 3 шт
24. Первичное напряжение трансформатора	кВ	110
25 Вторичное напряжение трансформатора	В	115 – 193 (19 ст.)
26. Максимальный рабочий ток в электроде	А	63680
27. Номинальная частота тока	Гц	50
28. Напряжение оперативных цепей	В	220/380

Характеристики печей РКО-5 МВ·А

Наименование параметров	Единица измерения	Величина
1. Мощность печи	МВ·А	5
2. Тип электродов	графитированные	
3. Количество электродов	шт	3
4. Диаметр электрода	мм	400
5. Ход электрода	мм	2350
6. Скорость перемещения электрода 2 режима:		
«медленно»	мм/сек	3-6
«быстро»	мм/сек	30
7. Диаметр распада электродов	мм	1250
8. Диаметр ванны печи	мм	3100
9. Глубина ванны	мм	1490
10. Диаметр кожуха ванны	мм	5000
11. Высота кожуха ванны	мм	2670
12. Количество леток	шт	1
13. Количество печных бункеров	шт	5
14. Установленная мощность трехфазного трансформатора	кВА	5000
15. Первичное напряжение трансформатора	кВ	6
16. Вторичное напряжение трансформатора	В	202 – 322 (7ст.)
17. Номинальная частота тока	Гц	50
18. Напряжение оперативных цепей	В	220/380

Процесс рафинирования осуществляется за счет окисления кремния марганца нерафинированного оксидом марганца, содержащегося в силикатах марганца, передельного марганцевого шлака по реакции:



$$\Delta G_T^0 = -32018 + 141,78T, \text{ Дж/моль}$$

Новшеством финишной стадии получения марганца металлического электротермическим способом является то, что в данном проекте предусмотрено осуществлять его методом смешивания двух расплавов, удельный вес которых значительно различается. С целью

интенсификации и полноты протекания процесса рафинирования и извлечения ведущего элемента в конечную продукцию необходимо увеличение поверхности контакта реагентов, что достигается за счет оснащения рафинировочной печи оборудованием, обеспечивающим интенсивное объемное перемешивание марганца нерафинированного и шлака передельного в двух плоскостях. Прогнозно это позволит повысить сквозное извлечение марганца на 10-15%.

Одной из проблем, снижающих эффективность электротермического производства марганца металлического, является низкая стойкость футеровки рафинировочных печей. Китайская компания Sinosteel JEMECO предусматривает футеровать рафинировочные печи набивной массой и гарантируют повышение ее стойкости в 2-2,5 раза.

Для обеспечения экологической безопасности и охраны окружающей среды, проектом предусматривается:

- строительство оборотного цикла водоснабжения;
- полная переработка и утилизация отвального шлака марганца нерафинированного и рафинировочного шлака в товарную продукцию;
- сухая газоочистка, обеспечивающая улавливание пылегазовой смеси на всех производственных участках со степенью ее очистки 99,9%.

Компания Sinosteel JEMECO, поставщик электротермического оборудования, является одним из крупнейших производителей рудно-термических печей, печных трансформаторов с глубоким вводом и напряжением высокой стороны от 35 до 220 кВ, систем автоматизации и контроля [6]. Производственные мощности компании находятся в г. Цзилинь на северо-востоке Китая, которые состоят из 4 комплексов:

- машиностроительный,
- трансформаторостроительный,
- производство металлоконструкций,
- производство систем автоматизации и электрического контроля.

Наиболее оригинальной является система комбинированного производства с устройством перепуска электродов. Ее технические преимущества в следующем:

1. Простая структура токоведущих контактных элементов заменила громоздкие контактные щеки.

2. Контактные элементы применяются на самоспекающихся электродах различных диаметров за счет изменения количества элементов. Конструкция универсальна, что приводит к снижению количества комплектующих запасных частей.

3. Оболочка электрода не зажата в контактные щеки – отсутствуют проблемы с деформацией и задирами кожуха.

4. В процессе работы такая конструкция токоподвода позволяет снизить теплоперепад электрода и регулировать уровень спекания электрода.

5. Такой токоподвод снижает количество аварийных ситуаций и отгаров электродов.

Благодаря новой конструкции ребра кожуха электрода, прохождение тока по электроду более сбалансировано, способствует ускорению спекания электрода и избеганию возникновения аварий. Комбинированный токоподвод надежен в эксплуатации.

Система автоматики и управления РТП обеспечивает безопасность и надежность производственного процесса и позволяет повысить производительность, снизить расход электроэнергии и повысить эффективность работы оборудования.

Применяемая система мокрой и сухой очистки пылегазовой смеси обеспечивает высокую степень очистки газов (99,9%) и утилизацию пылей.

Выводы

Разработанная и заложенная в проект современная технологическая схема производства марганца металлического силикотермическим способом с использованием новейшего электротермического оборудования китайской компании Sinosteel JEMECO позволит повысить сквозное извлечение марганца в сплав на 10-15%, в 2-2,5 раза увеличить срок службы рафинировочной печи, обеспечить утилизацию вторичных материалов и решить вопросы охраны окружающей среды.

^{х)} Совместно с разработчиком и поставщиком комплекса электротермического оборудования китайской компанией Sinosteel JEMECO.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грищенко С.Г., Куцин В.С., Кравченко П.А., Кудрявцев С.Л. Ферросплавная промышленность мира и Украины в 2014-2015 годах. Сучасні проблеми металургії, Том 19, Випуск 1 (2016). Наукові вісті. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2016. С.279-285.
2. Гасик М.И. Физикохимия и технология электроферросплавов: учебник (для высш.учебн.зав.) / М.И.Гасик, Н.П.Лякишев. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 448 с.
3. Гаврилов В.А. Силикотермия марганца / В.А.Гаврилов, М.И.Гасик. - Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2001. – 512 с.
4. Сезоненко О.Н. Электротермический металлический марганец: учебн. пособие /Сезоненко О.Н., Гасик М.И., Поляков О.И. – Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины. 2011. – 100 с.
5. Величко А.Г. Теоретические основы процессов и технологии среднеуглеродистого ферромарганца: монография /А.Г.Величко, Ду Юньшен, М.И.Гасик – Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины, 2016. – 259 с.
6. Ji Peng, Харламов Ю.Е. Sinosteel Jemeco – инновации в ферросплавной промышленности. Международная научно-техническая конференция УкрФА «Ключевые аспекты развития электрометаллургической отрасли». - Материалы конференции. Выпуск 5. Киев. – 2014. – С. 84-100.

В.Ф. Балакин, С.В. Пилипенко

**РАЗВИТИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ПЛОЩАДИ
КОНТАКТА МЕТАЛЛА ТРУБЫ С РУЧЬЕМ КАЛИБРА В
МГНОВЕННОМ ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ СТАНОВ ХПТ**

Аннотация. В статье рассмотрены основные существующие на данный момент зависимости, позволяющие правильно рассчитать тепловыделения от пластической деформации при данном виде ОМД. Также рассмотрены зависимости, позволяющие учесть тепловые потери от конвекции и теплопередачи. На основе имеющихся зависимостей предложен свой метод расчета тепловыделений, позволяющий более точно учитывать особенности процесса ХПТ. Результаты расчетов проверены в ходе практики холодной пильгерной валковой прокатки и доказывают действенность метода.

Ключевые слова: Холодная пильгерная прокатка, пластическая деформация, мгновенный очаг деформации, тепловыделения, безэмульсионная прокатка.

Постановка проблемы. Деформация трубы в станах пильгерной прокатки совершается в непрерывно изменяющемся мгновенном очаге деформации (МОД). В результате этого образуется так называемый конус прокатки, любое из сечений которого является сечением выхода металла из МОД [1-2]. Очень часто прокатку ведут с максимально возможными величинами обжатий по площади поперечного сечения, при максимально возможных величинах подачи. Как правило эти величины определяются расчетным путем и верность их определения важна как с экономической точки зрения, так и с точки зрения возможности выполнения таких режимов прокатки без угрозы разрушения оборудования. Поэтому, при расчете параметров деформационного инструмента станов холодной прокатки труб очень важно правильно спрогнозировать распределения силовых параметров деформации трубы в МОД вдоль конуса прокатки. Одним из параметров, влияющих на точность определения силы прокатки является величина поверхности соприкосновения металла с рабочей частью ручья калибров в МОД.

Целью статьи является анализ и развитие существующих методов определения величины поверхности соприкосновения металла с рабочей частью ручья калибров в МОД.

Анализ публикаций. Усилие, действующее на валки для любой из зон МОД (редуцирования или обжатия стенки) определяется по формуле:

$$P_x = p_{cp.x} \cdot F_{к.х}, \quad (1)$$

где $F_{к.х}$ – горизонтальная проекция контактной поверхности в зоне МОД (с учетом сплющивания); $p_{cp.x}$ – среднее удельное давление в зоне МОД.

На рисунке 1 показано влияние удельного давления при редуцировании на усилие деформации в мгновенном очаге деформации. Как видно, оно не превышает 3-5 процентов и может быть проигнорировано при расчетах. Так что в дальнейшем мы будем рассматривать именно параметры зоны обжатия МОД при прямом ходе клетки.

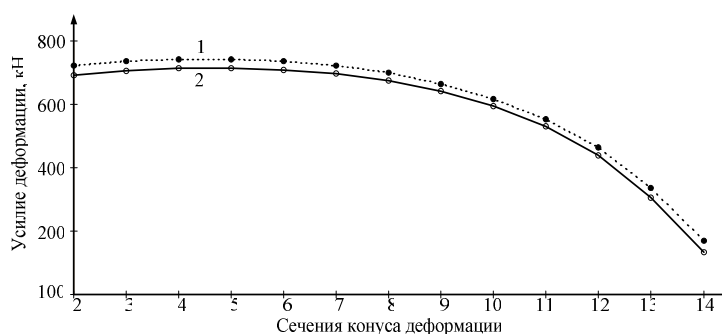


Рисунок 1 - Распределение усилия деформации вдоль зоны обжатия конуса деформации при прямом ходе клетки (ХПТ-75, маршрут – 85x14,5-60x7, сплав Gr 2, $m = 7$ мм): 1 – с учетом усилия в зоне редуцирования МОД; 2 – без учета усилия в зоне редуцирования МОД

Площадь горизонтальной проекции контактной поверхности зоны обжатия стенки (рис 2-4) можно определить, численно проинтегрировав в одном из математических редакторов следующее выражение [3]:

$$F_S = 2,81R_x \sqrt{\Delta t_x \cdot R_x} \int_0^{\pi/2} \sqrt{\frac{(R_0 - R_x \cos \phi_x)}{R_x \cos \phi_x}} \cos \phi_x d\phi_x, \quad (2)$$

где ϕ_x – угол развалки (рис. 3) Δt_x – величина обжатия стенки трубы в МОД для данной точки конуса.

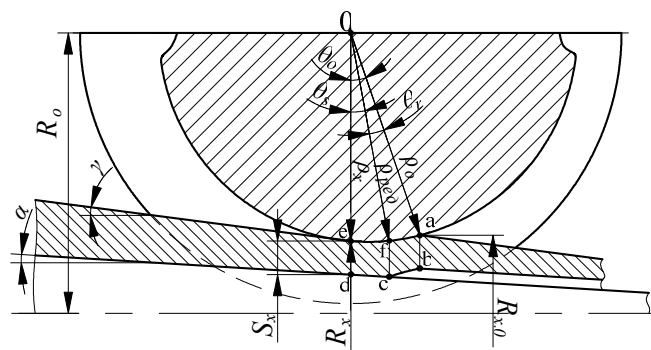


Рисунок 2 - Параметры мгновенного очага деформации для прямого
хода клетки по П.И. Орро и Я.Е. Осада [4]

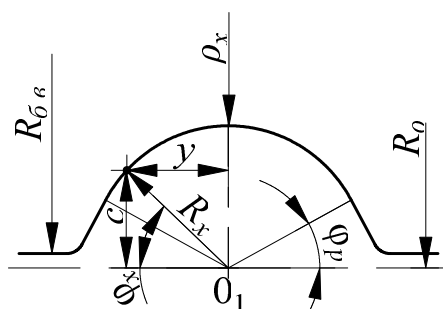


Рисунок 3 - Схема ручья калибра [3]

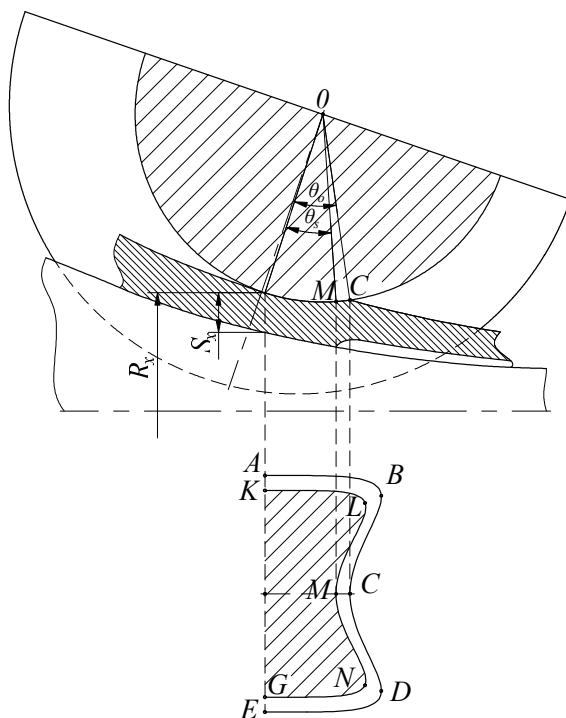


Рисунок 4 - Схема мгновенного очага деформации и горизонтальной проекции контактной поверхности: ABCDE - полная горизонтальная проекция поверхности контакта металла с ручьем калибра; KLMNG – зона обжатия толщины стенки трубы [5]

Для инженерных расчетов предлагается более простая формула:

$$F_S = \eta_3 D_x \sqrt{2\rho_x \cdot \Delta t_x}. \quad (3)$$

где η_3 – коэффициент формы калибра (при двухвалковой схеме $\eta_3 = 1,26 \dots 1,3$ [5], для трёхвальной $\eta_3 = 1,1$ [3]; ρ_x – радиус гребня вала.

Полную контактную поверхность можно рассчитать по формуле [5]:

$$F_{\text{полн.к}} = \eta_3 B_x \sqrt{2\rho_x \cdot \Delta R_x}, \quad (4)$$

где ΔR_x – величина редуцирования трубы в МОД для данной точки конуса ($R_{\Delta x} - R_x$ на рис. 5); B_x – ширина калибра.

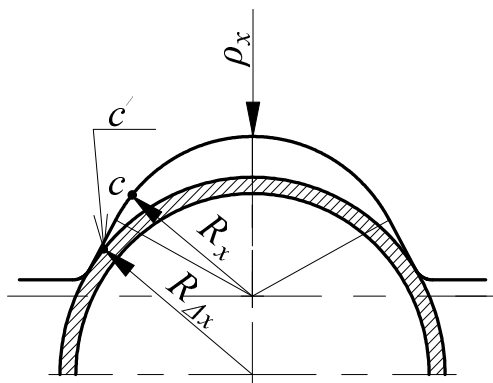


Рисунок 5 - Схема, к определению координаты первой точки касания валков с конусом деформации в МОД (оправка не показана) [3]

Площадь горизонтальной проекции контактной поверхности зоны обжатия стенки, с учетом сплющивания валков, определяется из зависимости:

$$F_{S.\text{спл.}} = \eta_3 D_x \sqrt{2\rho_x \cdot \Delta S_x} + 3,9\sigma_\sigma D_x \left(0,393R_{\text{ов}} - \frac{D_x}{6} \right) \cdot 10^{-4}. \quad (5)$$

Основной материал. На рис. 6 показаны результаты расчетов величины площади горизонтальной проекции контактной поверхности зоны обжатия стенки МОД. Как видно из графиков формула 3 (при $\eta_3 = 1,3$) дает более высокие результаты, чем формула 2. Учет величины сплющивания валков так же увеличивает расчетную величину площади (ф. 5).

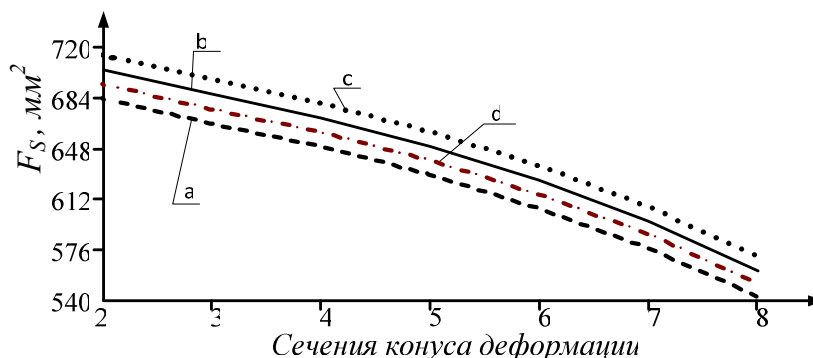


Рисунок 5 - График результатов расчета изменения вдоль зоны обжатия конуса деформации величины площади горизонтальной проекции контактной поверхности зоны обжатия стенки МОД (ХПТ-75, маршрут – 85х14,5-60х7, сплав – Gr-2. $m = 10$ мм): а – согласно формулы 2, b - согласно формулы 3, с - согласно формулы 5; d – согласно формулы 6

Предлагается вести расчет величины площади горизонтальной проекции контактной поверхности зоны обжатия стенки МОД по формуле, которая является симбиозом формул 2 и 5:

$$F_S = 2,81R_x \sqrt{\Delta t_x \cdot R_x} \int_0^{\pi/2} \sqrt{\frac{(R_0 - R_x \cos \phi_x)}{R_x \cos \phi_x}} \cos \phi_x d\phi_x + 3,9\sigma_\epsilon D_x \left(0,393R_{\sigma\epsilon} - \frac{D_x}{6} \right) \cdot 10^{-4}. \quad (6)$$

Данная формула дает возможность более точно определять величину площади горизонтальной проекции контактной поверхности зоны обжатия стенки в МОД.

Выводы

В результате анализа существующих методов определения площади поверхности соприкосновения металла с рабочей частью ручья калибров в МОД сделан вывод, что существующие на данный момент формулы дают значительный разброс расчетных значений этой величины. Метод расчета величины поверхности соприкосновения металла с рабочей частью ручья калибров требует дальнейшего развития и уточнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакин В.Ф. Геометрия прокатного инструмента и алгоритмы его расчета для станов холодной прокатки труб/ В.Ф. Балакин, В.Р. Кучеренко, И.А. Соловьева, С.В. Пилипенко// Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес. Коллективная

- монография. Под редакцией Величко А.Г., Большакова В.И., Балакина В.Ф. –Днепропетровск,: ЧМП «Экономика» -2015 -С. 434-450.
2. Григоренко В.У. Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пильгерної прокатки труб і калібровки інструмента: [Монографія]/В.У. Григоренко, С.В. Пилипенко, О.П. Головченко. - Дніпропетровськ: Пороги. - 2015. - 120 с.
3. Шевакин Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю.Ф. Шевакин. - М: Металлургиздат, 1963. - 269 с.
4. Орро П.И. Производство стальных тонкостенных труб: [Монография] / П.И. Орро, Я.Е. Осада. - М. Харьков: Металлургиздат, 1951. - 416 с.
5. Шевакин Ю.Ф. Производство труб из цветных металлов. Сопротивление деформации и пластичность / Шевакин Ю.Ф., Рытников А.М., Сейдалиев Ф.С., – М.: Металлургиздат, 1963. - 355 с.
6. Журавлев Г. М. Расчет температурного поля в зоне пластической деформации/ Журавлев Г. М., Дао Тиен Той // Известия ТулГУ. Технические науки. Сталь. – 2012. – №2. - С. 221-227
7. Смирнов В.С. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1973. 796с.
8. Томленов А.Д. Теория деформирования металлов. М.: Металлургия, 1972. 402с.
9. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. М.: Металлургия, 1970. 229с.
10. Онищенко И.И. Механика сплошной среды. Теория пластичности. К.: Издательство КР «Политех», 1996. 274 с.
11. Томсен Э Механика пластических деформаций при обработке металлов / Э Томсен, Ч. Янг, Ш. Кобаяши // М.: Машиностроение, 1969. 504 с.
12. Яловой Н.И. Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением. М.: Издательство «Высшая школа», 1973. 631 с.
13. Орро П.И. Производство стальных тонкостенных труб:[Монография]/П.И.Орро, Я.Е.Осада.- М.Харьков:Металлургиздат,1951.-416 с.
14. Шевакин Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю.Ф. Шевакин. - М: Металлургиздат, 1963. - 269 с.
15. Тетерин П.К. Теория периодической прокатки / П.К. Тетерин - М.: Металлургия, 1978. – 256 с.

И.М. Гвоздева, В.В. Демиров

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК В ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье рассмотрен трендовый анализ временных рядов параметров, характеризующих температурные режимы судовых дизель-генераторных установок в процессе их длительной эксплуатации. Анализ выборки на статистическую однородность выполнен по критерию Колмогорова-Смирнова. Получены распределения коэффициента взаимной корреляции температуры и тока нагрузки по Авыборке для каждого из цилиндров анализируемой дизель-генераторной установки. Построена статистическая модель зависимости номинальной средней температуры от нагрузки дизель-генераторной установки. При построении признакового пространства в качестве его элементов приняты отклонения температуры от статистической модели.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, диагностирование, трендовый анализ, признаковое пространство, статистическая модель.

Введение

Важной научно-технической проблемой продления жизненного цикла дизель-генераторных установок (ДГУ), входящих в состав современных судовых электроэнергетических систем (СЭЭС), является обеспечение требуемой эксплуатационной надежности. Решение указанной проблемы достигается путем перехода к эксплуатации объектов СЭЭС по их техническому состоянию, что, в свою очередь, требует совершенствования, как методов технического контроля текущего состояния указанных объектов, так и методов долгосрочного прогнозирования их технического состояния. Технологии диагностирования и контроля технического состояния развиваются по двум направлениям, первое из которых нацелено на развитие автоматических систем безопасного управления контролируруемыми объектами, а второе – на совершенствование процессов обслуживания и ремонта.

К методам диагностирования, применяемым при планировании работ по обслуживанию и ремонту судовых ДГУ, предъявляются ряд

взаимно противоречивых требований по глубине диагностирования, по скорости принятия решений и по и точности диагноза и прогноза. Одной из основных задач прогнозирования технического состояния судовых ДГУ является обнаружение опасных дефектов на начальной стадии их развития с целью предотвращения возникновения отказов.

Ключевым моментом в сближении двух направлений диагностики является потребность устанавливать на наиболее ответственные агрегаты стационарные системы общего мониторинга состояния для решения проблем предупреждения аварийных ситуаций, возникающих из-за ошибок управления, без преждевременной остановки агрегата. Время, отводимое на принятие решений в таких системах, в несколько раз больше, чем в системах аварийной защиты, что позволяет дополнить ее различными алгоритмами контроля и прогнозирования, при этом объём используемой диагностической информации увеличивается в несколько раз. Это, в свою очередь, позволяет повысить достоверность прогнозов технического состояния судовых ДГУ.

Обзор известных решений. Методы трендового контроля, применяемые в современных судовых системах технической диагностики и контроля (СТДК), позволяют установить лишь факт отклонения регистрируемых параметров от их номинальных значений [1–4], но не позволяют дать прогнозную оценку изменения контролируемых параметров и возможного состояния установки. К таким СТДК относится система DATACHIEF C20 компании KONGSBERG, которая предназначена для контроля текущих параметров оценки технического состояния [4] судовых энергетических установок (СЭУ). Принцип работы известной [5] судовой системы диагностики FAKS (Fault Avoidance Knowledge System) основан на применении методов экспертной оценки возникающих изменений технического состояния СЭУ. Мониторинговая система диагностики “Watch free system WE22”, разработанная компанией TERASAKI, выполняет функции удаленного мониторинга СЭУ и контроля текущих значений параметров, определяющих их техническое состояние [6].

С другой стороны, в ряде работ [7–10] предложено использование методов анализа временных рядов регистрируемых параметров для решения задач прогноза состояния сложных технических объектов, что позволяет расширить признаковое пространство принятия

решений и, тем самым, повысить надежность диагностических выводов.

Целью работы является дисперсионный и трендовый анализ температурных режимов судовых дизель-генераторных установок в длительной эксплуатации, отыскание элементов признакового пространства для последующей оценки и прогнозирования их технического состояния.

Основная часть

В качестве исходных данных рассматривались параметры посуточной регистрации состояния судовых дизель-генераторных установок (ДГУ) HFC5 710-14 L мощностью 1875 кВА, общий объем выборки составлял 62 суточных среза по 23 параметрам, в том числе текущие значения температур газов для цилиндров двигателя. Обработка данных параметров регистрации технического состояния ДГУ проводилась в следующей последовательности: предварительный просмотр и сортировка данных; цензурирование выборки; исследование зависимостей; построение статистической модели; построение признакового пространства; трендовый анализ; формирование диагностического сообщения.

Анализ данных параметров регистрации технического состояния ДГУ показал, что начиная с 03.04.2016 г. произошло резкое изменение условий эксплуатации, что иллюстрирует, в частности, график изменения мощности, представленный на рис. 1.

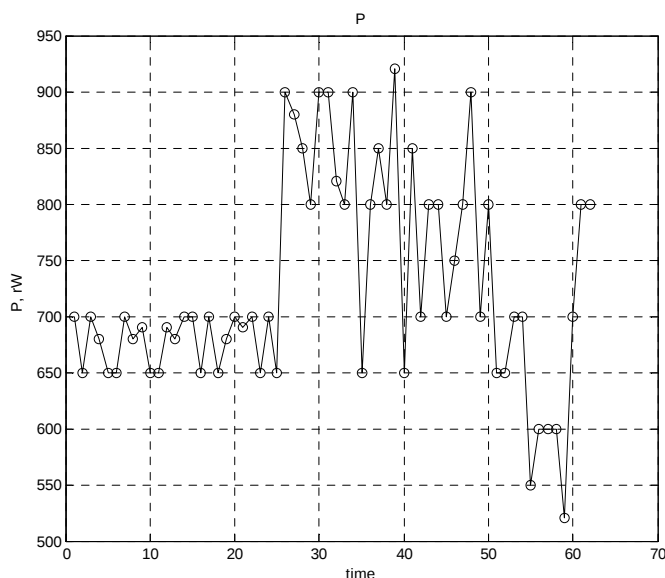


Рисунок 1 - Изменение мощности ДГУ

Выборка была разделена на две части и в последующем детальному анализу подвергалась лишь вторая ее часть, как наиболее информативная, характеризующаяся значительными изменениями нагрузки ДГУ. На основе анализа выборки данных было установлено, что в процессе эксплуатации включались различные ДГУ, поэтому для анализа температурных режимов были оставлены данные лишь по ДГУ № 2, как наиболее представительные. Выборка составила 37 суточных срезов, ее отличительной особенностью является неравномерность снятия данных во времени.

Последующий анализ выборки на статистическую однородность позволил установить два среза, которые по критерию Колмогорова-Смирнова существенно отличались от других. Выбросы, не соответствующие свойствам выборки, были исключены при последующем анализе.

Следующим этапом является корреляционный анализ многомерного массива данных.

Распределения коэффициента взаимной корреляции температуры и тока нагрузки по выборке для каждого из цилиндров приведены на рис. 2. Установлено, что корреляционных связей тока нагрузки с другими параметрами нет.

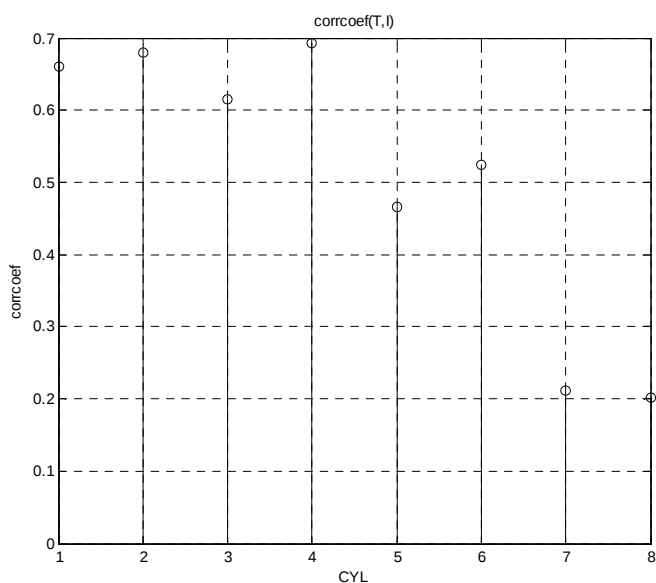


Рисунок 2 - Распределение коэффициента взаимокорреляции температуры и тока нагрузки для каждого из цилиндров

Как это следует из результатов корреляционного анализа, закономерности изменения температуры для цилиндров № 7 и № 8 су-

щественно отличаются. Для построения статистической модели выбрана группа первых четырех цилиндров. Зависимость средней температуры от нагрузки по этим цилиндрам представлена на рис. 3 вместе с ее аппроксимацией.

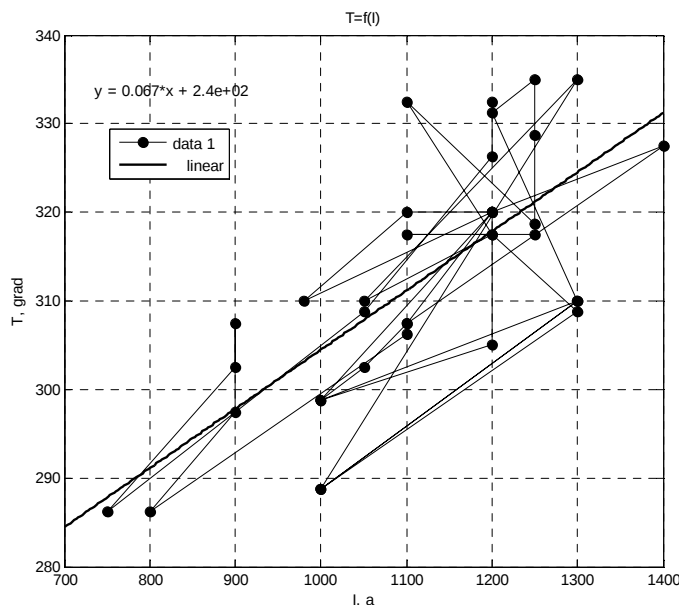


Рисунок 3 - Зависимости средней температуры от тока нагрузки и ее аппроксимация

В качестве аргумента графика средней температуры (рис.3) выбран ток нагрузки, поскольку данные регистрации мощности имеют слишком большую цену деления. Для построения статистической модели была использована линейная аппроксимация, поскольку повышение порядка полинома статистической модели не приводит к уменьшению дисперсии ошибки аппроксимации.

При построении признаков пространства в качестве его элементов приняты отклонения температуры по каждому из 8 цилиндров ДГУ от статистической модели. Как это следует из результатов анализа, временные зависимости отклонений температур от статистической модели для цилиндров 7 и 8 существенно отличаются от временных зависимостей цилиндров 1...6.. Временные ряды отклонений температур от статистической модели для цилиндров 1...6 имеют постоянные первые два момента (среднее и дисперсию) и являются стационарными. Напротив, отклонения температуры от статистической модели для цилиндров 7 и 8 имеют явно выраженный тренд с положительным градиентом. На рис. 4 и рис. 5 приведены такие отклоне-

ния для цилиндров 7 и 8. Ограниченный объем анализируемой выборки не позволяет выполнить интервальную оценку первых, вторых и смешанных моментов на достаточно высоком уровне статистической значимости.

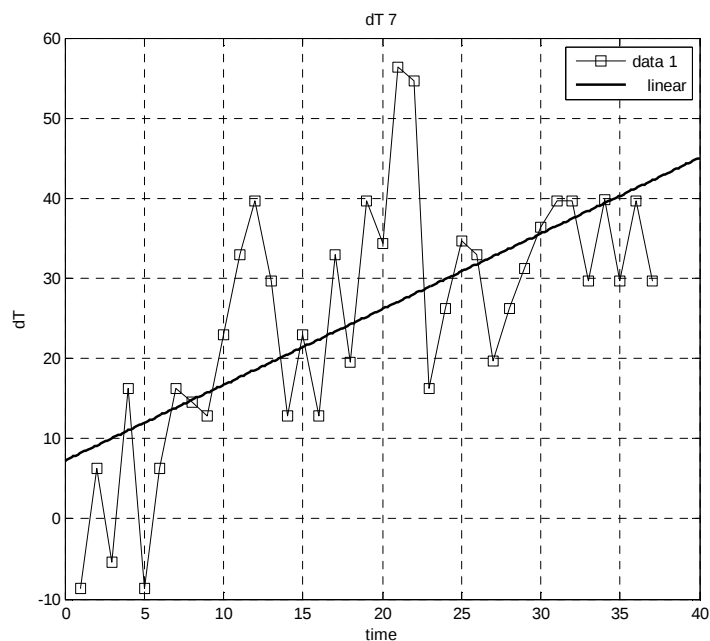


Рисунок 4 - Зависимости отклонений температуры для цилиндра 7 вместе с линейным трендом

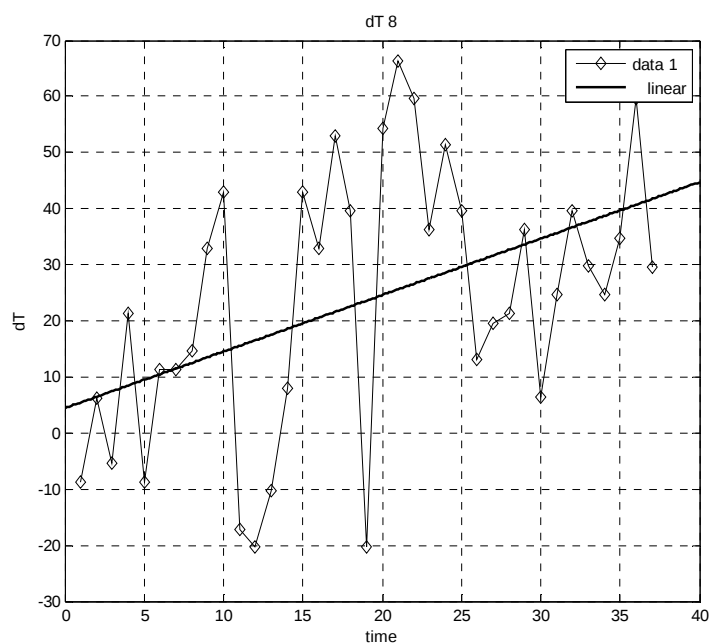


Рис. 5 Зависимости отклонений температуры для цилиндра 8 вместе с линейным трендом

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенный предварительный анализ температурных режимов судовых дизель-генераторных установок позволил расширить признаковое пространство для последующей оценки и прогнозирования их технического состояния. На основе проведенного анализа временных рядов можно предложить диагностическое сообщение о ненормальном функционировании цилиндров 7 и 8 исследуемого дизель-генератора.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в усовершенствовании методов трендового контроля и анализа временных рядов параметров регистрации технического состояния судовых ДГУ с учетом наличия тренда, связанного с выработкой их ресурса в результате долговременной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wartsila 2 stroke engines Manual “Operator flexView”. – Switzerland, 2008. – P. 152.
2. Wartsila RT-flex82C Operating manual “Marine”. – 2009. – Rev2.3.1. – P. 42.
3. Гвоздева И.М. Трендовый контроль в современных системах диагностики судовых энергетических установок / И.М. Гвоздева, В.В. Демиров // Вестник Херсонського національного технічного університету. – Херсон. – 2016. – С. 191–194.
4. Kongsberg Norcontrol marine automation systems. – Norway, 2005. – 140 р.
5. Электронный ресурс.
http://www.eurostarltd.net/prog/voznitskii_sredneoborotnye.htm.
6. Варбанец Р.А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей / Р.А. Варбанец. – Одесса: Судоходство, 2004. – С. 24–27.
7. Миргород В.Ф. Применение методов трендового анализа в задачах диагностики авиационных двигателей / В.Ф. Миргород // Основные результаты научно-технической деятельности: Сб. научн. тр. . – Одесса: АО “Элемент, 2008. – С. 218–226.
8. Миргород В.Ф. Прогноз поведения временных рядов в задачах оценки технического состояния ГТД / В.Ф. Миргород, Е.В. Деренг // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2014. – №10(117). – С. 165–168.
9. Миргород В.Ф. Оценка доверительных интервалов трендовой компоненты временных рядов / В.Ф. Миргород, Е.В. Деренг // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2014. – №7(114). – С. 175–179.
10. Миргород В.Ф. Многомерный трендовый анализ временных рядов в задачах оценки технического состояния / В.Ф. Миргород, И.М. Гвоздева // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2012. – С. 241–244.

Р.В. Кирия, А.Н. Смирнов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СТАВА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Аннотация. В работе решена задача определения живучести и интенсивности восстановления конвейерного става как системы параллельно соединенных элементов (роликоопор). При этом рассматривался став с роликоопорами четырех различных типов. В результате получены зависимости показателей надежности става ленточного конвейера, в частности, уровня надежности от среднего количества замен роликов в смену для рассмотренных типов роликоопор.

Ключевые слова: ленточный конвейер, конвейерный став, роликоопора, показатели надежности, живучесть.

Как показал опыт эксплуатации ленточных конвейеров на угольных шахтах, основным фактором, влияющим на отказы роликоопор и снижение надежности става конвейера, являются динамические нагрузки, возникающие при движении крупных кусков по роликам. Динамические нагрузки приводят к отказам роликов из-за усталостного разрушения элементов подшипникового узла ролика, что снижает надежность конвейера и увеличивает затраты на обслуживание конвейерного става.

Одним из путей повышения эффективности работы става ленточного конвейера является снижение динамических нагрузок на ролики за счет выбора параметров конвейера и конструкции роликоопор, а также определение показателей ремонтпригодности, то есть определение среднего количества замен роликов в смену, при котором для данного грузопотока надежность конвейерного става будет наибольшей.

Следовательно, одной из важных задач при эксплуатации ленточных конвейеров, транспортирующих горную массу, является задача определения показателей надежности става, то есть вероятности безотказной работы и среднего числа замены роликов в смену.

Став ленточного конвейера можно представить как систему параллельно соединенных одинаковых элементов (роликоопор). Выход

из строя одной или нескольких роlikоопор (роликов) не приводит к потере работоспособности става ленточного конвейера, а приводит к снижению эффективности его функционирования, т.е. увеличению сопротивления движению ленты с грузом по роlikоопорам. То есть став конвейера является высокорезервированной системой и, несмотря на невысокую надежность роlikоопор, имеет высокую вероятность безотказной работы, близкую к единице [1].

Это значит, что надежность такой сложной системы невозможно оценить вероятностью безотказной работы става [2]. Надежность такой системы определяется понятием живучести [3].

Живучесть става – это способность сохранять свои функции (несущие, подвижные) даже при выходе из строя некоторого количества роликов.

В процессе работы конвейера (конвейерной линии) через определенные промежутки времени (смена – 8 часов) производится замена некоторого количества вышедших из строя роликов.

Следовательно, став ленточного конвейера можно рассматривать как систему с восстанавливаемыми элементами, а процесс ее функционирования можно рассматривать как процесс гибели и размножения. Поддерживать живучесть става ленточного конвейера можно за счет необходимого уровня его обслуживания (замены роликов).

Представим став в виде системы из n параллельно соединенных элементов (роlikоопор) с интенсивностью отказов и восстановлений λ_p и μ_p соответственно. Тогда процесс функционирования става ленточного конвейера можно представить в виде марковского процесса гибели и размножения [4].

Пусть $P_k(t)$ – вероятность того, что в ставе в момент времени t не работают k роlikоопор. Тогда вероятность того, что за бесконечно малое время Δt в ставе, имеющем $(k-1)$ неработающих роlikоопор, откажет еще одна роlikоопора, равна $\lambda_p \Delta t + o(\Delta t)$. А вероятность того, что за время Δt одна роlikоопора восстановится и став будет иметь k неработающих роlikоопор, равна $\mu_p \Delta t + o(\Delta t)$. Кроме того, вероятность того, что за время Δt ни одна роlikоопора не выйдет из строя и не восстановится, а в ставе останется k неработающих роlikоопор, равна $1 - (\lambda_p + \mu_p) \Delta t + o(\Delta t)$.

Тогда вероятность того, что в момент времени $t+\Delta t$ став будет иметь k неработающих роlikоопор, по формуле полной вероятности равна [5]:

$$P_k(t + \Delta t) = P_{k-1}(t)[\lambda_p \Delta t + o(\Delta t)] + P_k[1 - (\lambda_p + \mu_p)\Delta t + o(\Delta t)] + P_{k+1}[\mu_p \Delta t + o(\Delta t)] \quad (1)$$

Переходя в последнем равенстве к пределу $\Delta t \rightarrow 0$, получим систему обыкновенных уравнений относительно вероятности P_k :

$$\frac{dP_k}{dt} = \lambda_p P_{k-1}(t) - (\lambda_p + \mu_p)P_k(t) + \mu_p P_{k+1}(t), \quad (2)$$

где $k=1, 2, \dots, n-1$.

Для $k=0$ и $k=n$ можно получить соответственно аналогичные равенства:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda_p P_0(t) + \mu_p P_1(t); \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= \lambda_p P_{n-1}(t) - \mu_p P_n(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Кроме того, из теоремы о полной вероятности несовместимых событий для вероятностей $P_k(t)$ выполняется условие:

$$\sum_{k=0}^n P_k(t) = 1. \quad (4)$$

Уравнения (1)–(3) представляют собой систему линейных обыкновенных дифференциальных уравнений относительно неизвестных функций $P_k(t)$ ($k=0, 1, \dots, n$).

Задавшись начальными условиями:

при $t=0$ $P_0 = 1$, $P_k = 0$, где $k=1, 2, \dots, n$,
получим решение этой системы.

На практике время работы конвейера, а следовательно, и става гораздо больше начального периода приработки.

В работе [6] показано, что для любого начального состояния системы, описываемой процессом гибели и размножения, при больших t существуют пределы:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_k(t) = P_k, \quad k = 0, 1, \dots, n,$$

причем решение системы (2) и (3) существует, если выполняется условие

$$\lambda_p < \mu_p (\lambda_p > 0, \mu_p > 0). \quad (5)$$

Переходя к пределу в системе (2) и (3), получим для стационарного режима систему алгебраических уравнений

$$\begin{cases} 0 = \lambda_p P_{k-1} - (\lambda_p + \mu_p) P_k + \mu_p P_{k+1}; \\ 0 = -\lambda_p P_0 + \mu_p P_1; \\ 0 = \lambda_p P_{n-1} - \mu_p P_n, \end{cases} \quad (6)$$

где $k=1,2,\dots,n-1$.

Кроме того, переходя к пределу в (4), получим

$$\sum_{k=0}^n P_k = 1. \quad (7)$$

Решая систему (6) при условии (7), получим [4]

$$P_k = \frac{\theta^k (1 - \theta)}{1 - \theta^{n+1}} \quad (k = 0, 1, \dots, n), \quad (8)$$

где $\theta = \frac{\lambda_p}{\mu_p}$.

Причем, стационарное решение существует и оно единственное при $0 \leq \theta < 1$ ($\lambda_p < \mu_p$). При $\theta \geq 1$ ($\lambda_p \geq \mu_p$) стационарного решения не существует. В этом случае число неработающих роlikоопор возрастает до бесконечности.

Уровень надежности става α определим как вероятность того, что количество неработающих роlikоопор превысит допустимое значение n_1 для данного конвейера:

$$\alpha = P\{k > n_1\}, \quad (9)$$

где n_1 – допустимое количество неработающих роlikоопор в ставе конвейера, определяемое предельно допустимым превышением мощности привода конвейера.

Согласно [7] n_1 определяется из соотношения

$$\frac{N'_c - N_c}{N_c} = k_3 - 1 \quad \text{или} \quad \frac{N'_c}{N_c} = k_3, \quad (10)$$

где N_c – сила сопротивления движению ленты по роlikоопорам при всех работоспособных роliках на ставе ленточного конвейера; N'_c – сила сопротивления при n_1 заторможенных (неработающих) роliках; k_3 – коэффициент запаса привода по тяговой способности (по сцеплению).

Коэффициент k_3 согласно [8, 9] равен 1,2–1,4. В нашем случае принимаем $k_3 = 1,25$.

Если общее количество роlikоопор на стaве конвейера равно n ($n=L_{\kappa}/l_p$, где L_{κ} – длина конвейера, м), то сила сопротивления при неработающих n_1 роlikоопорах грузеной ветви стaва равна

$$N'_c = (q_z + q_l + q_p)n_1 f l_p + (q_z + q_l + q_p)(n - n_1) \omega_z l_p + (q_l + q_p)n \omega_x l_p.$$

Сила сопротивления при всех работающих роliках на стaве конвейера равна

$$N_c = (q_z + q_l + q_p)n \omega_z l_p + (q_l + q_p)n \omega_x l_p.$$

Тогда подставим значения N_c и N'_c из последних равенств в (10) и из полученного равенства определим n_1 . В результате для n_1 получено выражение

$$n_1 = \frac{(k_3 - 1)[(q_z + q_l + q_p)\omega_z L_{\kappa} + (q_l + q_p)\omega_x L_{\kappa}]}{(q_z + q_l + q_p)(f - \omega_z)l_p}, \quad (11)$$

где ω_z – коэффициент сопротивления движению грузеной ветви конвейера; ω_x – коэффициент сопротивления движению холостой ветви конвейера; f – коэффициент трения резина – металл.

Степень живучести стaва определим как отношение числа допустимого количества работающих роlikоопор к их общему количеству [8]:

$$\beta_1 = \frac{n - n_1}{n}.$$

Подставляя в последнее равенство n_1 из (11), выразим степень живучести β_1 через параметры ленточного конвейера. Из последнего равенства также следует, что допустимое количество неработающих роlikоопор в стaве конвейера определяется по формуле

$$n_1 = (1 - \beta_1)n.$$

Из (9) следует, что вероятность того, что количество неработающих роliков на стaве конвейера меньше или равно n_1 (или живучесть стaва) равна

$$P\{k \leq n_1\} = 1 - \alpha.$$

Представим равенство (7) в виде:

$$P\{k \leq n_1\} + P\{k > n_1\} = 1,$$

где $P\{k \leq n_1\} = \sum_{k=0}^{n_1} P_k$; $P\{k > n_1\} = \sum_{k=n_1+1}^n P_k$.

Из последнего равенства имеем

$$P\{k \leq n_1\} = 1 - P\{k > n_1\}$$

или, с учетом (9), получим

$$\sum_{k=0}^{n_1} P_k = 1 - \alpha. \quad (12)$$

Подставив (8) в (12), после суммирования получим

$$\frac{1 - \theta^{n_1+1}}{1 - \theta^{n+1}} = 1 - \alpha. \quad (13)$$

Для мощных ленточных конвейеров количество роlikоопор $n \gg 1$, поэтому, переходя в левой части равенства (13) к пределу $n \rightarrow \infty$, получим

$$1 - \theta^{n_1+1} = 1 - \alpha. \quad (14)$$

Из последнего равенства (14) определим θ и в результате получим

$$\theta = \alpha^{\frac{1}{n_1+1}}. \quad (15)$$

Подставив значение $\theta = \lambda_p / \mu_p$ в (15) и определив из него α , после преобразования получим уровень надежности става ленточного конвейера в виде

$$\alpha = \left(\frac{\lambda_p}{\mu_p} \right)^{n_1+1}, \quad (16)$$

где μ_p – интенсивность восстановления роlikоопор, 1/ч; λ_p – интенсивность отказов роlikов роlikоопор, 1/ч.

Так как количество роlikоопор на ленточном конвейере больше ста ($n > 100$), то и роlikов больше трехсот. В этом случае, согласно [10], поток отказов большого количества независимых элементов является простейшим [4, 11], и вероятность безотказной работы одной роlikоопоры P_r распределена по экспоненциальному закону, т.е.

$$P_r = e^{-\lambda_p t}, \quad (17)$$

где λ_p – интенсивность отказов одной роlikоопоры (опасность отказа) 1/ч; t – текущее время, ч.

При этом λ_p определяется по формуле

$$\lambda_p = \lambda_c + 2\lambda_\phi$$

где λ_c – интенсивность отказов среднего ролика 1/ч; λ_ϕ – интенсивность отказов бокового ролика, 1/ч.

Интенсивность отказов среднего и бокового роликов λ_c и λ_ϕ определяется по формулам

$$\lambda_c = \frac{1}{t_{cp}}, \quad \lambda_\phi = \frac{1}{t'_{cp}}, \quad (18)$$

где t_{cp} – средний ресурс среднего ролика, ч; t'_{cp} – средний ресурс бокового ролика, ч.

Интенсивность восстановлений роlikоопор определяется по формуле

$$\mu_p = \frac{1}{t_\phi}, \quad (19)$$

где t_ϕ – среднее время восстановления роlikоопоры, ч.

Следовательно, по заданным интенсивности отказов λ_p и восстановлений μ_p роlikоопор и допустимому количеству неработающих роlikоопор n_1 или степени живучести β по формуле (16) можно определить уровень надежности става ленточного конвейера α . Из формулы (16) следует, что чем больше интенсивность отказов роlikоопор λ_p , тем больше уровень надежности става ленточного конвейера α и меньше его живучесть, а чем больше интенсивность восстановлений роlikов μ_p , тем уровень надежности α меньше.

Согласно [5], среднее число постоянно неработающих роlikоопор на стае равно:

$$n_c = \sum_{k=0}^{\infty} k P_k. \quad (20)$$

Подставляя в (20) P_k из (8), после суммирования получим:

$$n_c = \frac{\theta}{1 - \theta}. \quad (21)$$

Из равенства (16) по заданному λ_p определим интенсивность восстановлений μ_p :

$$\mu_p = \frac{\lambda_p}{\alpha^{1/(n_1+1)}}. \quad (22)$$

Следовательно, по заданному λ_p , допустимому количеству неработающих роlikоопор n_1 , степени живучести β и уровню надежности става α по формуле (22) можно определить интенсивность восстановлений роlikоопоры μ_p .

Из (22) видно, что чем больше интенсивность отказов роlikоопор λ_p и меньше допустимое количество неработающих роlikоопор n_1 , тем больше интенсивность восстановлений роlikоопоры μ_p , а следовательно, больше затраты на эксплуатацию става.

Необходимое количество замен роlikов роlikоопор на ставе конвейера в час n_p определим по формуле

$$n_p = \mu_p n,$$

где n – общее количество роlikоопор на линейной части става.

Среднее количество замен роlikов в роlikоопорах в смену определим по формуле

$$n_{с.м} = 8n_p$$

или

$$n_{с.м} = 8\mu_p n. \quad (23)$$

Из последнего равенства (23) определим μ_p , полученное выражение подставим в формулу (16) и в результате получим:

$$\alpha = \left(\frac{8n\lambda_p}{n_{с.м}} \right)^{n_1+1}. \quad (24)$$

Из формулы (24) следует, что с увеличением количества замен роlikов в смену вероятность отказа става ленточного конвейера уменьшается.

На рисунке 1 показаны графики зависимости уровня надежности става α от среднего числа замен роlikов в смену (т.е. интенсивности восстановлений) для жестких (кривая 1), подвесных на канатном ставе (кривая 2), амортизированных (кривая 3) и подвесных на канатном ставе с амортизированными подвесами (подвесных амортизированных) (кривая 4) роlikоопор. При этом параметры конвейера, става и характеристики грузопотока принимали следующие значения: $L_k = 1000$ м; $\omega_z = \omega_x = 0,03$; $f = 0,5$; $q_z = 1700$ Н/м; $q_{л} = 200$ Н/м; $q_p = 200$ Н/м; $l_p = 1$ м; $v_{л} = 2$ м/с; натяжение ленты конвейера $S_{л} = 20000$ Н; натяжение опорного каната става $S_k = 30000$ Н; линейная жесткость амортизаторов $c = 15000$ Н/м². Средний ресурс

среднего t_{cp} и бокового t'_{cp} роликов определялись для различных типов роlikоопор согласно работе [12].

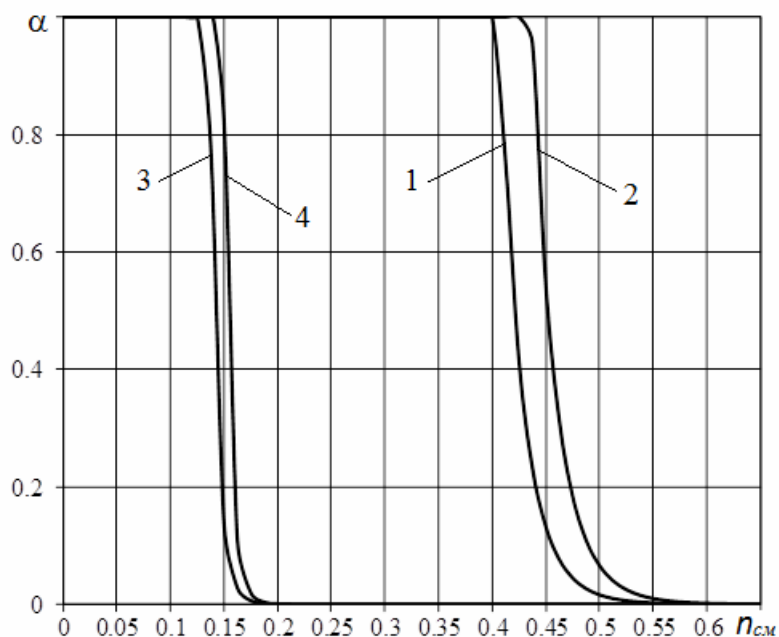


Рисунок 1 – Графики зависимости уровня надежности става α от среднего числа замен роликов в смену $n_{см}$

Из рисунка 1 видно, что для жестких роlikоопор (кривая 1) при увеличении среднего числа замен роликов в смену $n_{см}$ от 0 до 0,4, т.е. до числа роликов, вышедших из строя на ставе ленточного конвейера, α принимает постоянное значение, равное 1. Это означает, что в этом диапазоне $n_{см}$ став ленточного конвейера ненадежен, т.е. количество нерабочих роликов при такой интенсивности их замен будет превышать допустимое значение n_1 .

При значениях $n_{см}$ от 0,4 до 0,56 α резко уменьшается до 0 и при значениях $n_{см} > 0,56$ принимает значение 0. Это означает, что при $n_{см} > 0,56$ став надежен, т.е. при таких значениях $n_{см}$ количество нерабочих роликов n_1 всегда будет меньше допустимого ($n_1 = 20$).

Для подвесных роlikоопор (кривая 2) став надежен при $n_{см} > 0,6$, а зона ненадежности става находится в диапазоне $0 < n_{см} < 0,45$.

Для подвесных амортизированных роlikоопор (кривая 4) став надежен при $n_{см} > 0,2$, а ненадежен при $0 < n_{см} < 0,14$.

Самое низкое значение порога надежности $n_{см}$ (т.е. минимального значение $n_{см}$, при котором став надежен) у амортизированных роlikоопор (кривая 3) – $n_{см} > 0,17$.

Соответственно для данных опор при $0 < n_{см} < 0,12$ став ненадежен.

На основании результатов исследований можно сделать следующие **выводы**.

1. На основании теории марковских процессов гибели и размножения определены показатели надежности става ленточного конвейера, характеризующие его живучесть, то есть уровень надежности става и среднее число замен роlikов става в смену. При этом если интенсивность отказов больше либо равна интенсивности восстановлений роlikоопор, то уровень надежности става равен единице, т.е. став конвейера ненадежен и находится в нерабочем состоянии.

2. Установлено, что с увеличением среднего числа замен роlikов уровень надежности става ленточного конвейера уменьшается от единицы до нуля в узком диапазоне значений числа замен роlikов: от 0,4 до 0,6 шт./смену для жестких и подвесных роlikоопор и от 0,12 до 0,2 шт./смену – для амортизированных и подвесных амортизированных роlikоопор.

3. С увеличением длины конвейера, начиная со 100 метров, среднее число замен роlikов в смену увеличивается линейно. При этом с увеличением среднего срока службы ролика среднее число замен роlikов в смену уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко А. В. Надежность и живучесть конвейерного става / А. В. Шевченко, Р. В. Кирия // Совершенствование горных машин. – Киев: Наукова думка, 1987. – С. 24–27.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978 – 400 с.
3. Флейшман Б. С. О живучести сложных систем / Б. С. Флейшман // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1966. – №5. – С. 14–23.
4. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: КНОРУС, 2010. – 480 с.
6. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т. Л. Саати. – М.: Советское радио, 1971. – 520 с.
7. Смирнов А. Н. Оценка надежности става ленточного конвейера и необходимого уровня его обслуживания / А. Н. Смирнов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 1998. – Вып. 6. – С. 125–132.
8. Зенков Р.П. Машины непрерывного транспорта / Р.П. Зенков, И.Н. Ивашков, П.И. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
9. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
10. J. Endrenyi. Reliability modeling in electric power system / John Wiley and Sons Ltd, New York, 1979. – 333 p.
11. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.
12. Монастырский В.Ф. Определение срока службы роликов ленточных конвейеров для различных типов роlikоопор / В. Ф. Монастырский, Р. В. Кирия, А. Н. Смирнов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 115. – С. 147–155.

А.И. Михалев, А.П. Алпатов, А.И. Гуда, Р.А. Сухомлин
**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ИСПЫТАНИЙ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА СТОЙКОСТЬ К
АКУСТИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ ИСПЫТАНИЯМИ
ШИРОКОПОЛОСНОЙ ВИБРАЦИЕЙ**

Аннотация. Статья посвящена исследованию возможности замены стенда акустического воздействия, который испытывает прочность космического аппарата, на вибрационный стенд. В статье приведен краткий обзор доступной литературы по стендозамещению, а также создан лабораторный стенд акустических и вибрационных воздействий. На основе анализа литературных источников и проведенных испытаний на лабораторном стенде сделан вывод о возможности замены акустических воздействий на вибрационные для конкретных технических условий проведения испытаний.

Ключевые слова: космический аппарат, акустические испытания, вибрационные испытания, многоточечная вибрация, лабораторный стенд.

Основные источники воздействий на космический аппарат

Одним из основных источников акустической и вибрационной нагрузки является двигатель ракеты, к которой присоединен к космическому аппарату (КА). Второй источник нагрузки – обтекание КА воздушным потоком. В результате обтекания происходит отрыв турбулентного пограничного слоя, который сопровождается вихреобразованием. При распаде крупных вихрей на мелкие возникают пульсации давления, а в соответствии с теорией Лайтхилла и Керта турбулентные пульсации давления порождают акустический шум и как следствие – широкополосную вибрацию.

КА подвергается максимальному воздействию нагрузок, когда находится в двух состояниях: при взлете ракеты и при полете через плотные слои атмосферы. Взлет ракеты приводит к возбуждению практически всех собственных мод (резонансных частот) изгибных колебаний конструктивных элементов КА. Вибрации возникают из-за:

1. Двигатель генерирует вибрационную нагрузку, которая возникает вследствие его работы. Она частично уменьшается за счет перепада акустических импедансов на границах между элементами конструкции, а также за счет применения упругих виброизоляторов, на которых подвешен КА к ракете.

2. Двигатель генерирует и акустическую нагрузку, которая возникает при истечении струи газа из турбины.

3. Вибрация возникает также при отрыве турбулентного слоя от обтекателя.

Исследование и анализ различных типов нагрузок на КА

В результате динамических воздействий аэроакустического типа возбуждаются изгибные колебания корпуса обтекателя в широком диапазоне частот, причем вибрационная энергия распределена преимущественно между структурными модами собственных изгибных колебаний обтекателя. Вибросмещение в суммарном вибрационном поле, которое возбуждается в корпусе обтекателя, вычисляется путем линейной суперпозиции вибросмещений, создаваемых отдельными источниками широкополосной вибрации (структурными модами изгибных колебаний).

Относительно минимальная нагрузка на КА получается в результате вибрации на резонансных частотах конструкции, вызванной работой двигателя ракеты.

Акустическое воздействие, а именно вызываемая данным воздействием широкополосная вибрация (на резонансных частотах конструкции) оказывает среднюю по силе нагрузку на КА. Уровень акустического воздействия находится в пределах 140-160 дБ, причем при старте 150-160 дБ, а при полете в плотных слоях атмосферы 140-150 дБ.

Максимальная нагрузка возникает вследствие «связанных» резонансных колебаний (вибраций). Как уже было сказано, такие вибрации возникают при совпадении собственных резонансов колебаний корпуса (широкополосная вибрация) и собственных резонансов акустического поля. Данные колебания всегда возникают из-за акустического воздействия. Бывают двух типов: возникающие в результате внешнего акустического воздействия и возникшие в результате акустического воздействия находящегося внутри корпуса.

Диапазон частот акустического и вибрационного воздействия 5-5000 Гц, который обычно условно делится на низкий, средний и высокий поддиапазоны [3]. В некоторых статьях берут правую границу диапазона меньше 5 кГц.

Анализ воздействия нагрузки на приборную платформу КА

Наибольшие перегрузки в приборной платформе происходят не во всех точках резонанса, а только в определенных: в легких приборах весом до 0,1 кг и в свободных узлах панели. При старте ракеты перегрузка данных участков превышает 20 g, при полете в плотных слоях атмосферы в три раза меньше (больше 7 g). У более тяжелых приборов перегрузка меньше, при старте – меньше 10 g, при пролете в плотных слоях атмосферы – меньше 3 g [3].

Возможности замены акустических стендов на вибрационные

Основное назначение стендов – воспроизведение уровней и спектрального состава ускорений, которые наблюдаются при реальной эксплуатации КА. Необходимо реализовать модель реальных воздействий и акустических и вибрационных.

Основной недостаток вибрационных стендов – в некоторых местах КА будет недогрузка из-за сложной амплитудо-частотной характеристики реального воздействия [4].

Цель стендовых испытаний – это проверка:

- конструкции КА;
- качества материала;
- технологии изготовления;
- замененного оборудования.

Этапы исследования конструкции КА на прочность

1. Определение акустического воздействия с помощью расчетных моделей и результатов экспериментов.

2. Определение вибрационного воздействия с помощью расчетных моделей.

3. Из результатов исследований определение параметров эквивалентного стендового воздействия.

4. Уровень воздействия – ниже уровня квалификации конструкции (чтобы не вызвать ее повреждение), но выше уровня реальной эксплуатации [4].

5. В случае воздействия на отдельные части КА (т.е. если их отсоединить от КА и отдельно тестировать) «связанные» резонансы

могут не появляться. Для устранения данного явления в стандарте NASA-std-7001 [2] предложено использовать параметр «фактор заполняемости» (fill factor).

6. Проверка воздействия стендового испытания - сравнение выходного сигнала до испытания и после, если не отличается, то испытание не нарушило конструкцию, выходной сигнал при этом дополнительно обрабатывают.

Многоточечная вибрация

Основные трудности методов, которые основаны на возбуждении вибрации конструкции в одной точке, связаны с наличием в получаемой вибрации составляющих от нерезонансных тонов колебаний. Эти трудности присущи всем методам данного типа.

Применение многоточечного возбуждения позволяет путем специального подбора возбуждающих сил выделить поочередно «чистые» собственные формы колебаний и определить соответствующие этим формам повреждения конструкции как для системы с одной степенью свободы.

Принципиальная возможность получения «чистых» собственных форм колебаний конструкции с помощью многоточечного возбуждения вытекает из общей теории вынужденных колебаний линейных систем. Задача состоит в том, чтобы найти такое распределение сил, при котором возбуждается «чистая» собственная форма колебаний.

Будем исходить из общего уравнения вынужденных колебаний системы с конечным числом степеней свободы:

$$A\ddot{q} + B\dot{q} + Cq = Q, \quad (1)$$

можно отметить, что, если система колеблется по r -й собственной форме при некоторой частоте (необязательно собственной), то

$$q = A_r \eta^{(r)} \cos(\omega t + \varepsilon_r), \quad (2)$$

где A_r – амплитуды r - колебания.

Подставляя (2) в исходное уравнение, получаем следующее выражение для распределения сил:

$$Q = A_r [(C - \omega^2 A) \eta^{(r)} \cos(\omega t + \varepsilon_r) - \omega B \eta^{(r)} \sin(\omega t + \varepsilon_r)]. \quad (3)$$

Первое слагаемое представляет собой силу, необходимую для противодействия упругим и инерционным силам. Эта сила в фазе с перемещениями. Второе слагаемое – это сила, необходимая для компенсации диссипативных сил. Она имеет сдвиг фаз относительно пе-

ремещений, равный $\pi / 2$. Распределение у которых все силы по отношению друг к другу находятся в фазе или сдвинуты по фазе на 180 градусов, будем называть монофазными.

С помощью монофазных распределений сил можно возбудить «чистые» собственные формы колебаний системы в следующих случаях:

- если диссипативные силы в системе отсутствуют;
- если диссипативные силы не связывают главные координаты;
- если возбуждение производится на собственной частоте.

Методы многоточечного возбуждения позволяют получать с высокой степенью точности «чистые» собственные формы колебаний для самых сложных конструкций, однако они требуют сложных вибрационных установок.

О возможности замены акустического стендового испытания на вибрационное

Обоснованием такой замены служит то, что основным воздействием на КА является инерционная сила, возникающая в результате колебаний конструкции, вызванная акустикой и вибрацией. Если удастся заменить акустическую составляющую, вызывающую инерционную силу на широкополосную вибрационную, то можно заменить стенд испытания КА на прочность к акустическим нагрузкам на вибрационный стенд. Полностью заменить не получится, только частично: для конкретных зон КА и определенных технических условиях проведения испытания. Эквивалентного вибрационного воздействия сложно добиться из-за того, что акустика воздействует по площади и может возбуждать все структурные резонансы конструкции, а вибрация воздействует по точкам и может возбудить только часть структурных резонансов [1]. Вибрационную нагрузку обычно проводят в областях резонансов конструкции только на критических точках конструкции и узлах подвески проборов и агрегатов [3].

Для адекватной замены акустического стенда на стенд с вибрационной нагрузкой изначально определяют воздействие акустики и показывают, что с помощью широкополосной вибрации можно воспроизвести аналогичную нагрузку. При этом вибрационная нагрузка должна превышать акустическую [3].

Лабораторный стенд и стендовые испытания

Для оценки возможности замены акустического стендового испытания вибрационным был спроектирован и изготовлен лабораторный стенд (рис. 1). Созданный стенд предназначен для воздействия акустической и вибрационной нагрузки на пластинку текстолита, с последующим измерением (полученной в результате такого воздействия) вибрации пластинки. Вибрация измерялась с помощью датчика Холла (рис. 3).

С помощью акустического активатора на пластину осуществлялось воздействие звуком запуска двигателя ракеты NASA – SLS (сигнал взят с сайта <https://soundcloud.com/nasa>), белым шумом и синусоидой.

Воздействие вибрацией осуществлялось с помощью электромотора оптического привода компьютера для CD (электромотор управляющий выдвижением лотка с диском). На двигателе постепенно повышалось напряжение, что позволило получить несколько вибрационных воздействий с различной частотой.

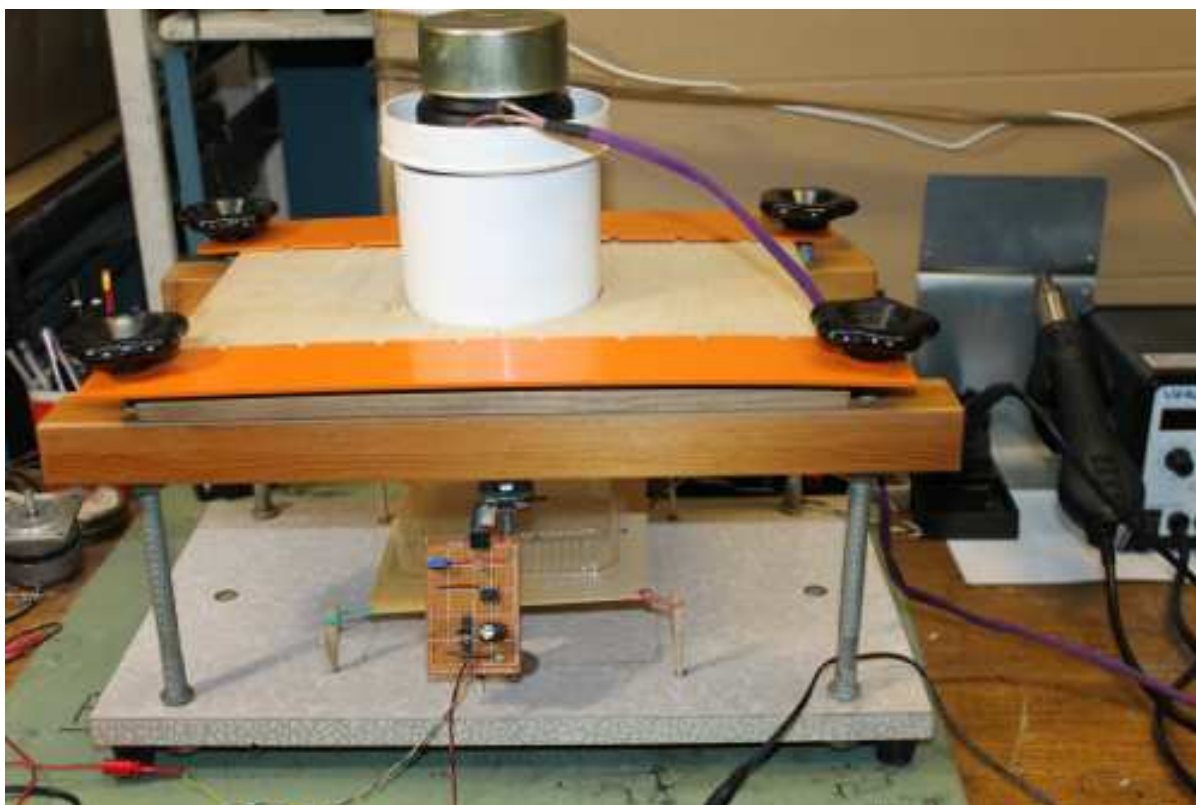


Рисунок 1 – Лабораторный стенд с акустическим активатором сверху

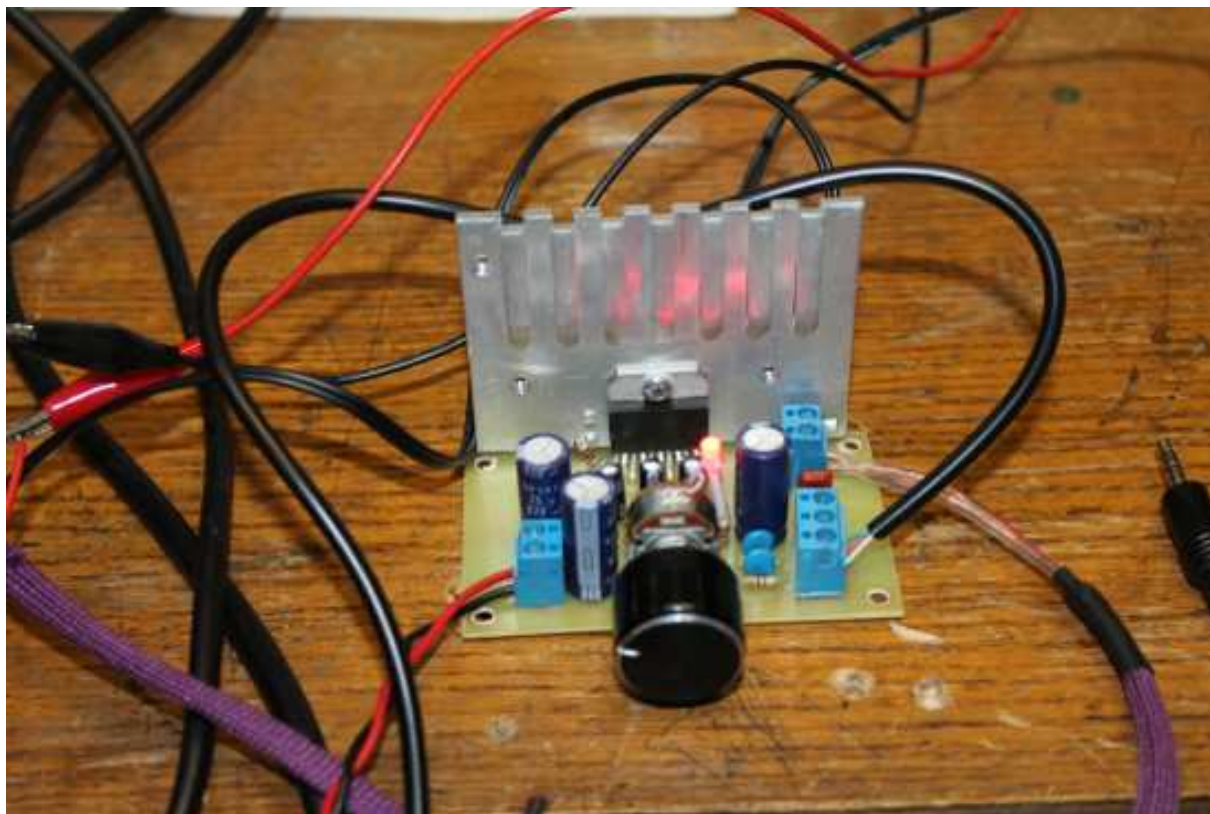


Рисунок 2 – Усилитель мощности звуковой частоты

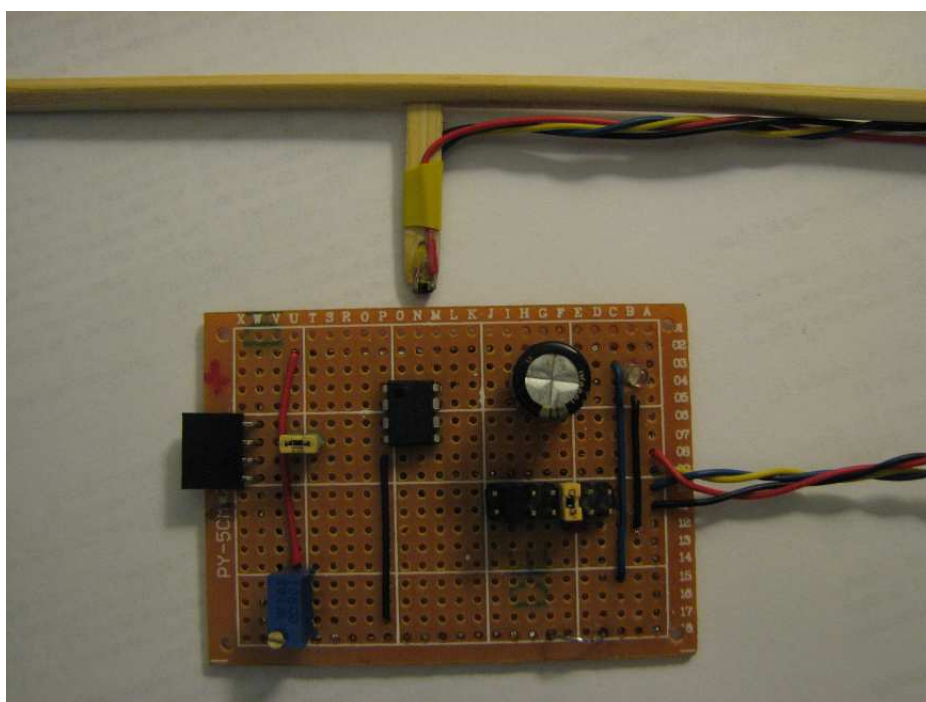


Рисунок 3 – Инструментальный усилитель для датчика Холла
(вверху)

Усилитель мощности звуковой частоты (рисунок 2) с выходной мощностью 30 Ватт – используется для акустической части стенда. Выполнен на микросхеме TDA2005 в мостовом режиме, коэффициент нелинейных искажений данной микросхемы в таком режиме составляет 0.2% на мощностях до 20 Ватт и 1% на больших, что для решаемой задачи вполне приемлемо.

Плата инструментального усилителя (рис. 3) нужна для того, чтобы усилить слабый сигнал с датчика Холла. С датчика Холла идет аналоговый сигнал в 20-50 мВ, который нужно усилить до 500 мВ - 1 В, для дальнейшей обработки на осциллографе. Кроме того плата инструментального усилителя содержит в себе фильтр низкой частоты (НЧ), с частотой среза ~2 КГц.

Акустические лабораторные стендовые испытания

В результате стендового испытания акустикой было получено несколько наборов данных (напряжение на датчике Холла), изменялся вид сигнала, поступающий из колонки. Из-за наличия широкополосного шума пришлось использовать фильтрацию: осциллограф переключен в режим «AC coupling», включен в нем предварительный НЧ фильтр, включен цифровой НЧ фильтр, усиление доведено до 50 mV/step. В таблице ниже приведены описания сигналов, полученных в результате воздействия акустики.

Таблица 1

Обозначение сигнала	Описание сигнала
d_00	Ракета NASA – SLS
d_02	Синусоида
d_05	Белый шум

Вибрационные лабораторные стендовые испытания

В результате стендового испытания вибрацией было получено несколько наборов данных (напряжение на датчике Холла), изменялось напряжение на приводе. В таблице ниже приведены описания сигналов, полученных в результате воздействия вибрации.

Таблица 2

Обозначение сигнала	Напряжение на приводе
d_08	6V
d_11	11V

Для сравнения сигналов акустического воздействия и вибрационного воспользуемся способом, приведенным в [3]. Вычислим спек-

тральную плотность мощности (СПМ) всех сигналов, затем определим огибающие СПМ. После чего поместив огибающую СПМ вибрации и акустики на один график, можно будет сделать вывод, насколько сигнал вибрации покрывает акустический и оценить их схожесть.

Изначально планировалось сравнивать огибающие СПМ без использования логарифмической шкалы, но амплитуда сигнала, полученного в результате действия вибрации, намного превышает амплитуду сигнала, полученного в результате акустики. На рисунках ниже в легенде указано, какая кривая, к какому типу сигнала относится: **v** – соответствует сигналу вибрации, **a** – акустики.

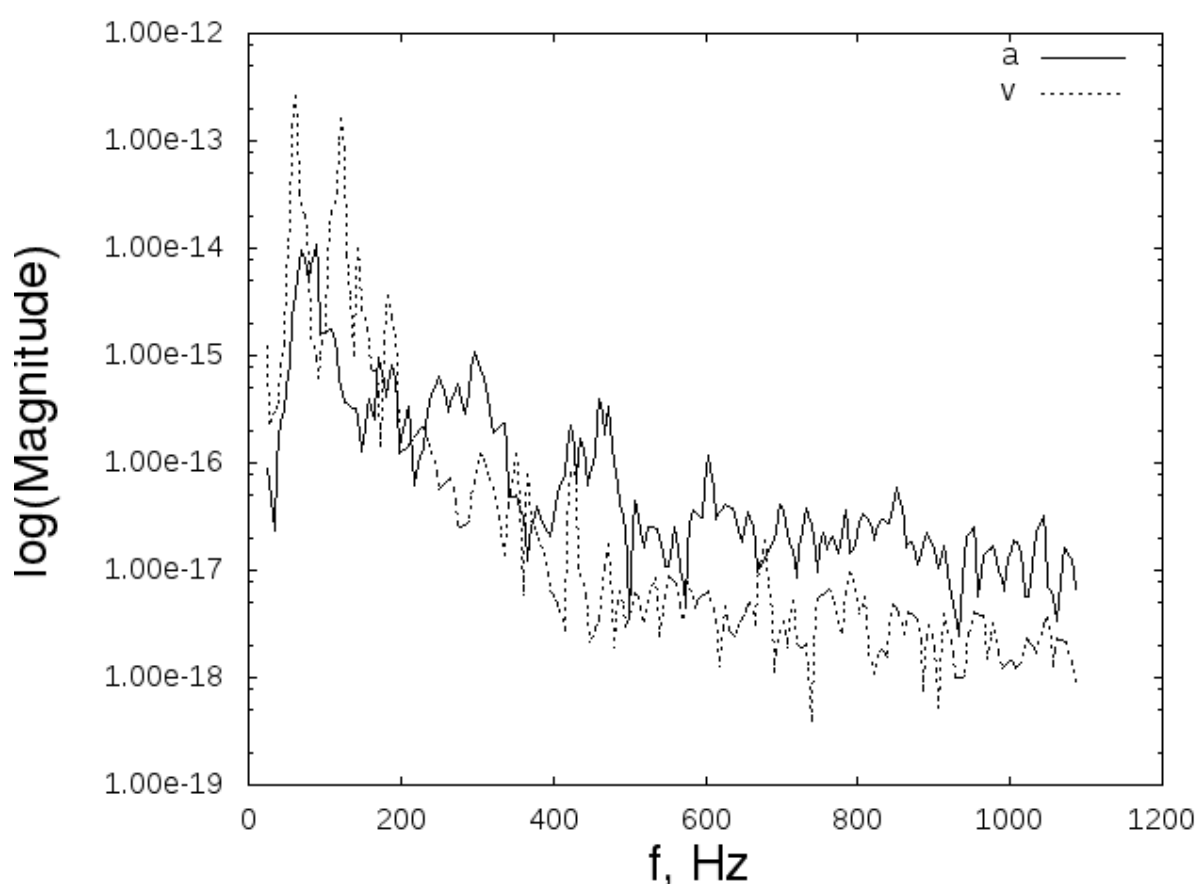
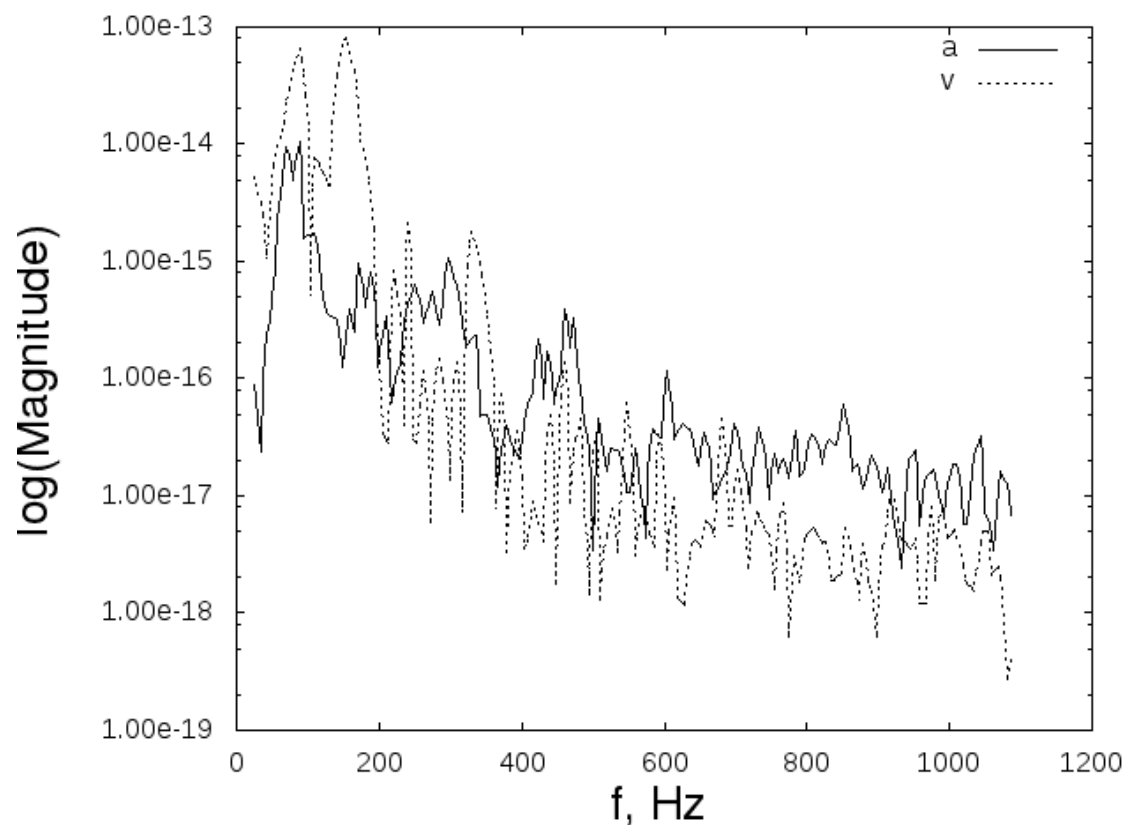
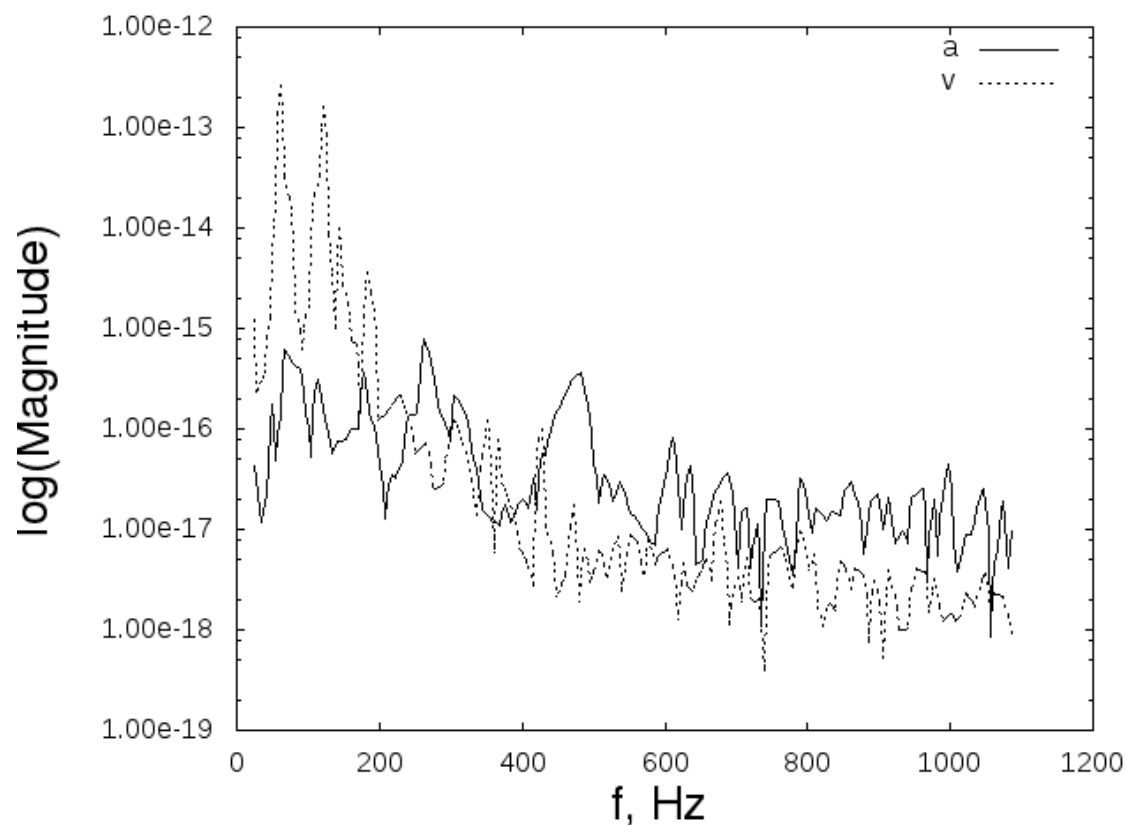


Рисунок 4 – СПМ сигнала d_00 (a) и сигнала d_08 (v)

Рисунок 5 – СПМ сигнала d_{00} (a) и сигнала d_{11} (v)Рисунок 6 – СПМ сигнала d_{02} (a) и сигнала d_{08} (v)

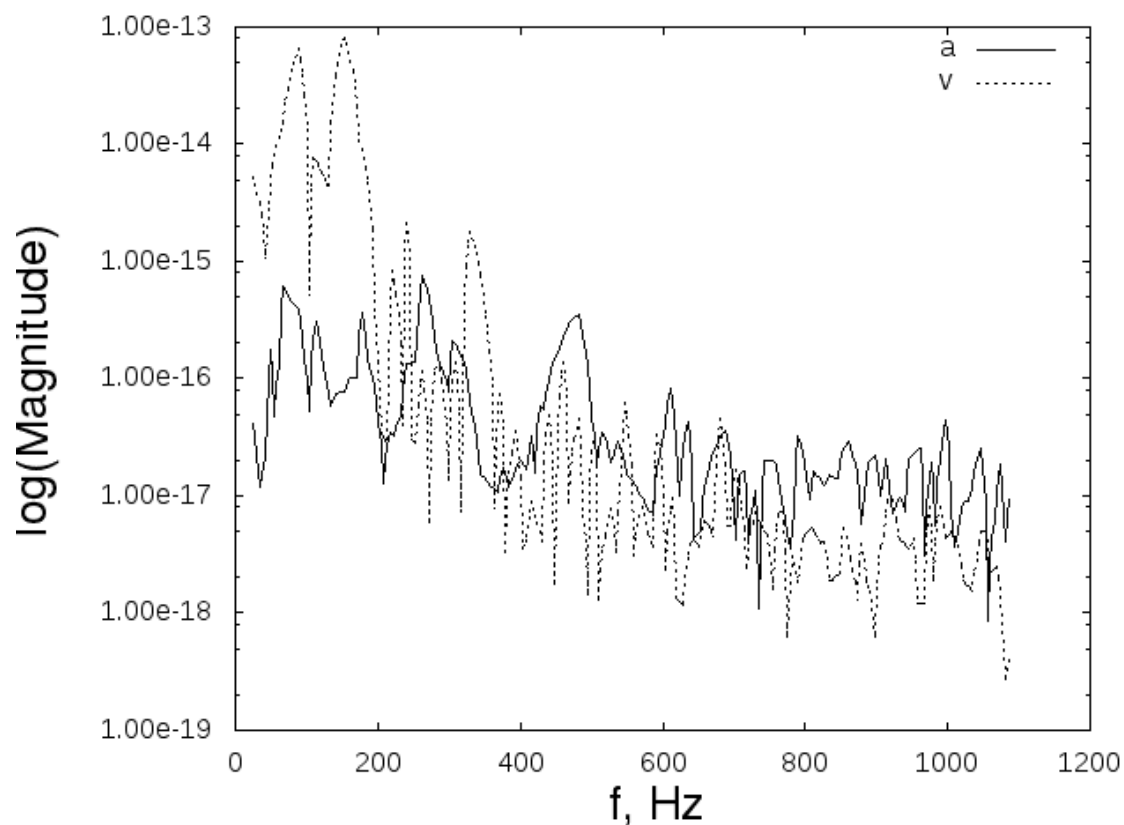


Рисунок 7 – СПМ сигнала d_02 (a) и сигнала d_11 (v)

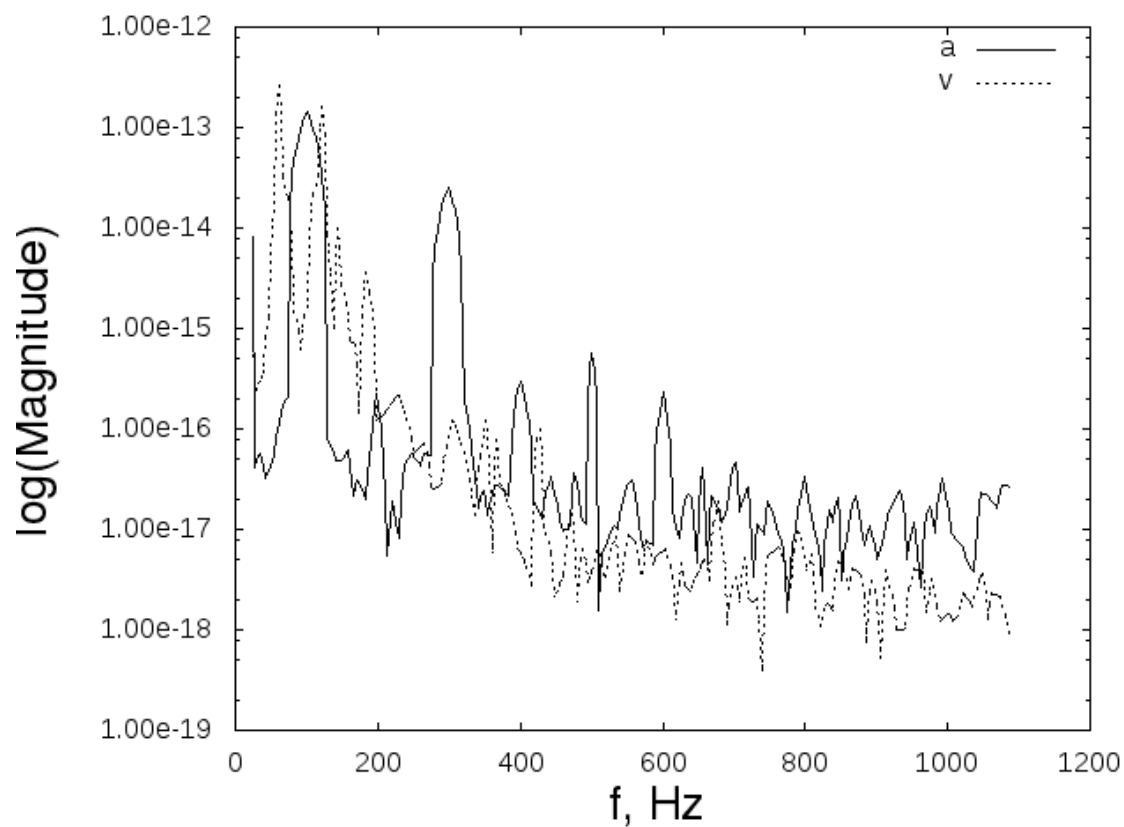


Рисунок 8 – СПМ сигнала d_05 (a) и сигнала d_08 (v)

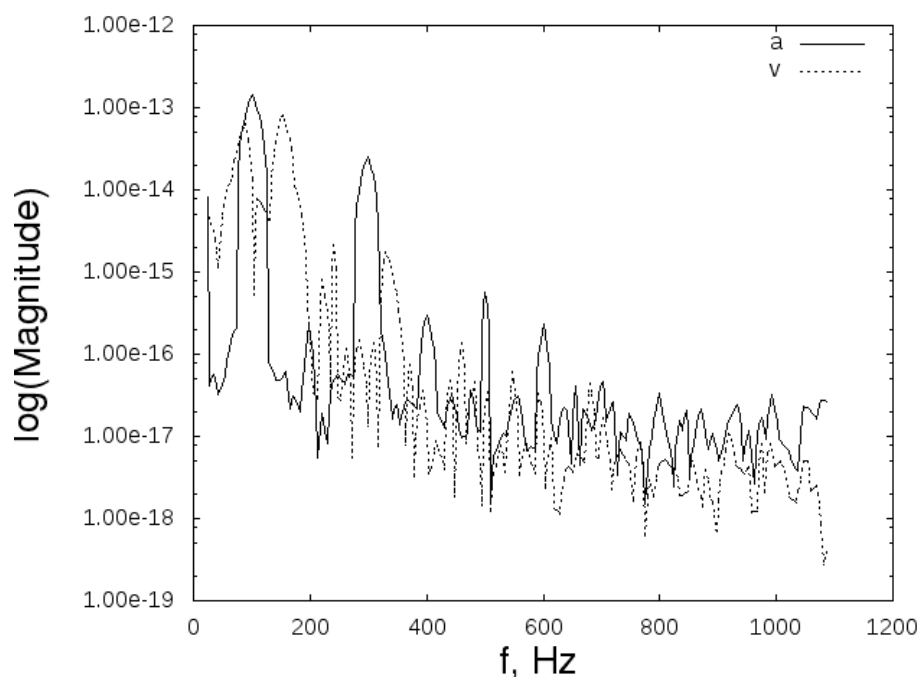


Рисунок 9 – СПМ сигнала d_05 (a) и сигнала d_11 (v)

Проанализировав приведенные графики, которые соответствуют наложению сигнала вибрации на сигнал акустического воздействия реального двигателя, можно заметить, что вибрационное воздействие практически полностью покрывает акустическое и имеет схожую структуру на промежутке частот 0-300 Гц. За границей 300 Гц перекрытия не происходит, но это можно объяснить тем, что вибрация вызывалась в одной точке с постоянной частотой воздействия примерно 100-200 Гц, следовательно, в этой области сформировалась широкополосная вибрация, которая теоретически может быть продлена за счет добавления второй точки вибрации с частотой воздействия выше 300 Гц. Если не брать во внимание большую разницу амплитуд вибрации и акустики, то в целом, можно сказать о том, что в результате нагрузки широкополосной вибрацией возникает похожее на акустику воздействие. Отсюда следует, что акустическая нагрузка теоретически может быть заменена вибрационной.

Выводы. Анализ публикаций показывает, что при использовании многоточечной вибрации можно добиться хорошей имитации акустической нагрузки. Но необходимо обеспечить воздействие всех резонансов (вибрации, акустики и «связанных» резонансов). Для возбуждения резонанса точка вибрации должна находиться поблизости от пучности колебаний, соответствующей этому резонансу. Результа-

ты лабораторных исследований, приведенные в литературе, показали полное перекрытие акустической нагрузки вибрационной на графике спектральной плотности мощности, причем структура обеих воздействий схожа.

Исследования, проведенные на созданном лабораторном стенде акустических и вибрационных воздействий, показали перекрытие акустической нагрузки вибрационной по спектральной плотности мощности. Но перекрытие одного сигнала другим наблюдается только на промежутке 0-300 Гц, из исследуемого 0-1000 Гц, что связано с наличием только одной точки вибрации с частотой воздействия, расположенной в промежутке перекрытия. Анализ работы стенда показал, что вибрационная нагрузка за счет нелинейных эффектов тоже может вызывать широкоспектральный отклик, но только в определенных условиях, которые зависят от изучаемого объекта.

В целом можно сказать, что замена акустического стенда вибрационным теоретически возможна, но насколько эта замена будет адекватной зависит от количества точек, в которых возбуждается вибрация и от точности модели акустического воздействия. Для того, чтобы подтвердить с большей достоверностью возможность такой замены необходимо провести испытания с воздействием многоточечной вибрации на конструкцию КА. Для этой цели необходимо перейти от лабораторного к испытательному стенду вибрационного воздействия и провести дополнительные измерения на конкретной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либерман М.Ю. О моделировании процессов формирования пусковых нагрузок, оказывающих динамическое воздействие на космический аппарат // ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» // Методы испытаний изделий и оборудования. – 2013. – стр. 19-30.
2. NASA-STD-7001 A. Payload Vibroacoustic Test Criteria. Approved: 20.01.11.
3. Носатенко П.Я. Экспериментальное определение акустических нагрузок при пусках РН «Стрела» и расчетное определение режимов экспериментальной отработки выводимых космических аппаратов / П. Я. Носатенко, А. В. Бобров, М. Л. Баранов [и др.] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. – № 2. – С. 112-123.
4. Халиманович В.И. Выявление дефектов космических аппаратов в процессе испытаний на вибрационные и акустические воздействия в испытательной лаборатории. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева № 3, 2005. – С. 174-178.

**РОЗРОБКА ФАЗЗИ-МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ
ФАКТОРІВ ПРОЦЕСУ НА ВЛАСТИВОСТІ
САМОВІДНОВЛЕНИХ ОКАТИШІВ**

Анотація. Робота присвячена дослідженню та розробці фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів.

В результаті розробки та дослідження фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів є можливість зробити висновок, що процес нечіткого моделювання передбачає аналіз результатів нечіткого виводу при різних значеннях вхідних змінних з метою встановлення адекватності розробленої нечіткої моделі.

Ключові слова: Розробка, алгоритм, функція приналежності, фаззифікація, дефаззифікація, нечіткий висновок.

Основна частина

Металургійне виробництво є важливою частиною індустріального комплексу будь-якого промислово розвиненої держави.

Технологічне оформлення металургійних процесів надзвичайно різноманітне і вимагає впровадження автоматизованих систем управління.

Процеси металургійного виробництва є, як правило, складними, що безпосередньо впливає на якість побудови моделей даних процесів.

Технологічні процеси металургійного виробництва характеризуються великим числом входів-виходів і елементів, зв'язку між елементами носять різнотипний, нелінійний характер. Частина інформації про систему представлена в якісному вигляді. Функціонування системи відбувається в умовах нечіткості і невизначеності, яку вносить людський фактор. У цьому випадку, як правило, отримання закону розподілу параметрів, які впливають на систему, стає важкою, часто нерозв'язною за обмежений час завданням. Застосування точних кількісних методів і підходів не дозволяють будувати моделі таких систем в умовах обмеженості тимчасових, матеріальних і трудо-

вих ресурсів (возможностний підхід до аналізу інформації виявляється більш зручним і природним за своєю природою, ніж імовірнісний). Спектр таких завдань постійно розширяється: це управління виробничими системами, розпізнавання сигналів і образів, класифікація та багато інших.

Тому в останні роки спостерігається підвищення наукового і практичного інтересу до методів інтелектуальної обробки інформації. До них відносяться: штучні нейронні мережі, гібридні нейронні мережі, моделі на основі нечіткої логіки.

Останнім часом для моделювання технологічних процесів металургійного виробництва (сталеплавильне, агломераційне, феросплавну виробництво), які є складними для вивчення, широко поширений нечіткий підхід.

Нечітке моделювання не є альтернативою різним підходам до моделювання складних систем і процесів, а перш за все являє ефективні методи і засоби для їх вивчення в наступних основних сферах застосування.

Вперше виробництво вуглецевмісних самовідновлених окатишів було здійснено на дослідній фабриці огрудкування Центрального гірничо-збагачувального комбінату. Вироблені окатиші були використані для виплавки чавуну на Костянтинівському металургійному заводі.

Самовідновлені окатиші характеризуються наступними показниками якості: основність 0,26-0,32; зміст $Pe_{об}$ 62,5-63,3%; FeO - 28,8-31,3%; $Fe_{мет}$ - 2,3%; зміст дрібниці - 3,0%; індекс на удар 73,1 - 80,04%; на стирання 10,8%; вміст залишкового вуглецю - 1,1% [1].

Для вироблених в даний час окислених окатишів характерний цілий ряд недоліків, які роблять їх неконкурентно здатними з агломератом: низька основність, сегрегація при завантаженні в доменну піч, порівняно низькі властивості при відновленні в нижній частині доменної печі, пов'язані з усадкою і низьку газопроникність шару.

Всі розроблені до теперішнього часу технології отримання вуглець матеріалів включали випал рудовугільних брикетів або окатишів в нейтральній або відновлювальній атмосфері. Стосовно до типових конвеєрним випалювальних машин це пов'язано з втратою продуктивності. Жодна з них не набула поширення. Пошук шляхів поліпшення якості залізородних окатишів привів до технічного рішен-

ня виробництва в промислових умовах самовідновлюються матеріалів, використання яких в доменній плавці знижує витрату коксу і підвищує продуктивність доменної печі [1-2].

Об'єктом роботи є впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів.

Предметом роботи є фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів.

Метою роботи є дослідження та розробка фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів.

Розробка фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів

Для реалізації системи вводу-виводу в нечіткому контролері використано алгоритм Мамдані [3].

При реалізації систем нечіткого виводу використані методи:

- метод мінімального значення логічної кон'юнкції;
- метод максимального значення логічної диз'юнкції в умовах нечітких правил;
- метод мінімального значення укладення в кожному з нечітких правил;
- метод максимального значення для агрегування значень функції приналежності кожної з вихідних змінних для укладення нечітких правил;
- метод центру тяжіння для дискретної множини значень функцій приналежності для виконання дефаззифікації вихідних змінних в системі нечіткого виведення типу Мамдані.

Як терм-множин вхідних лінгвістичних змінних (LZ_i) використовуються множини: $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$.

LZ_1 : T_1 для вхідної змінної «Температура, $^{\circ}C$ » має вигляд $T_1 = \{\text{low; medium; high}\}$. Проводиться оцінка по 1100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 500 відповідає мала оцінка температури, а значенням 1100 - велика оцінка;

LZ_2 : T_2 для вхідної змінної « $Fe_{\text{общ}}$, %» має вигляд $T_2 = \{\text{low; medium; high}\}$. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

ЛЗ₃: Т₃ для вхідної змінної «FeO, %» має вигляд Т₃ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

ЛЗ₄: Т₄ для вхідної змінної «Fe₂O, %» має вигляд Т₄ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

ЛЗ₅: Т₅ для вхідної змінної «CaO: SiO₂, %» має вигляд Т₅ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

ЛЗ₆: Т₆ для вхідної змінної «MgO, %» має вигляд Т₆ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 1 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 1 - велика оцінка;

ЛЗ₇: Т₇ для вхідної змінної «C, %» має вигляд Т₇ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 10 бальній порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значення 10 - велика оцінка.

Як терм-множин вихідних лінгвістичних змінних (ЛЗ_i) використовуються множини: Р₁, Р₂, Р₃, Р₄, Р₅.

ЛЗ₁: Р₁ для вхідної змінної «Ступінь відновлення - Recovery rate, %» має вигляд Р₁ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

ЛЗ₂: Р₂ для вхідної змінної «Міцність СВО - Toughness, кг/ок» має вигляд Р₂ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

ЛЗ₃: Р₃ для вхідної змінної «Розмір гранули - Granule size, мм» має вигляд Р₃ = {low (5-10); medium_low (10-20); medium_high (15-20); high (20-40)}.

ЛЗ₄: Р₄ для вхідної змінної «Стираність - Abrosion, %» має вигляд Р₄ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

ЛЗ₅: Р₅ для вхідної змінної «Ступінь металізації - The degree of metallization, %» має вигляд Р₅ = {low; medium; high}. Проводиться оцінка по 100 бальною порядковою шкалою, при якій значення 0 відповідає мала оцінка, а значенням 100 - велика оцінка;

Для отримання вихідного сигналу використані:

- Метод центру тяжіння – «Centroid»;

$$\int_{Min}^u \mu(x)dx = \int_u^{Max} \mu(x)dx. \quad (1)$$

- Метод найбільшого (правого) модального значення – «Lom»;

$$y = \max\{x_m\}. \quad (2)$$

- Метод найбільшого (лівого) модального значення – «Som»;

$$y = \min\{x_m\}. \quad (3)$$

Метод середнього максимуму, як середнє арифметичне лівого та правого модальних значень – «Mom» [4].

Графічний інтерфейс програми перегляду правил зображений на рисунках 1- 3.

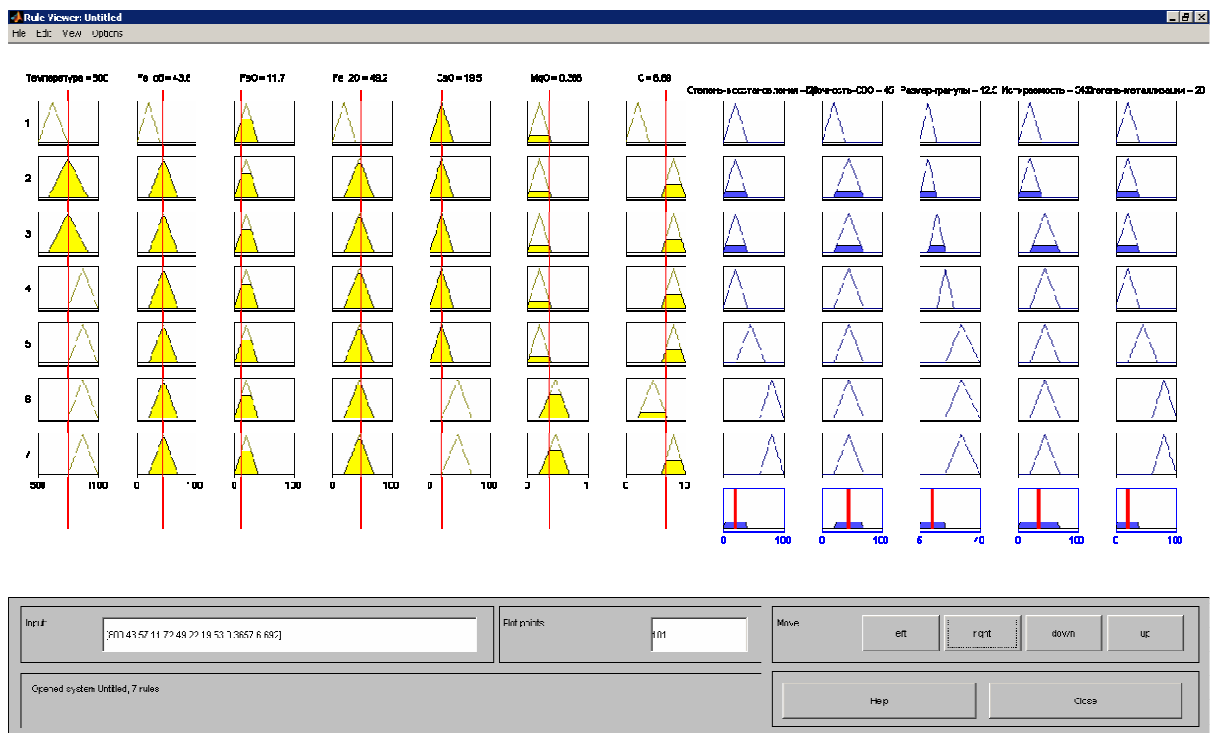


Рисунок 1 – Вид перегляду програми правил нечіткого виводу.

Метод дефазифікації – «Centroid»

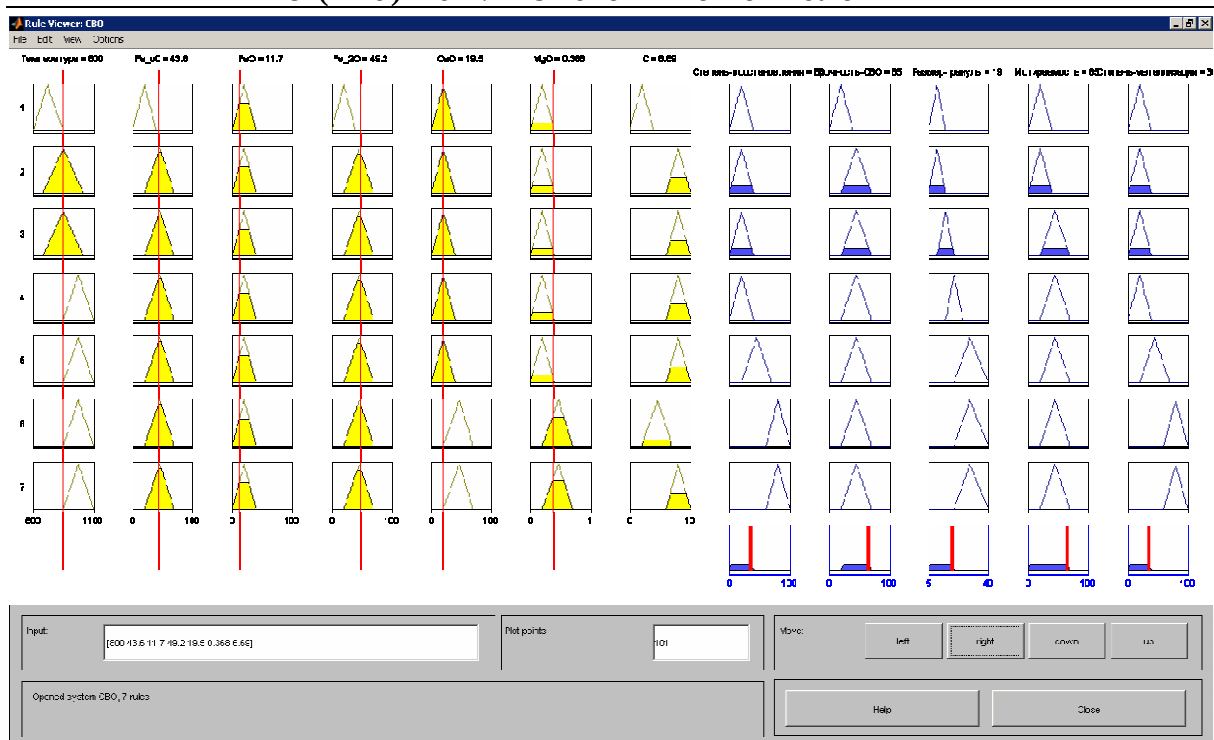


Рисунок 2 - Вид перегляду програми правил нечіткого виводу.

Метод дефазифікації – «Lom»

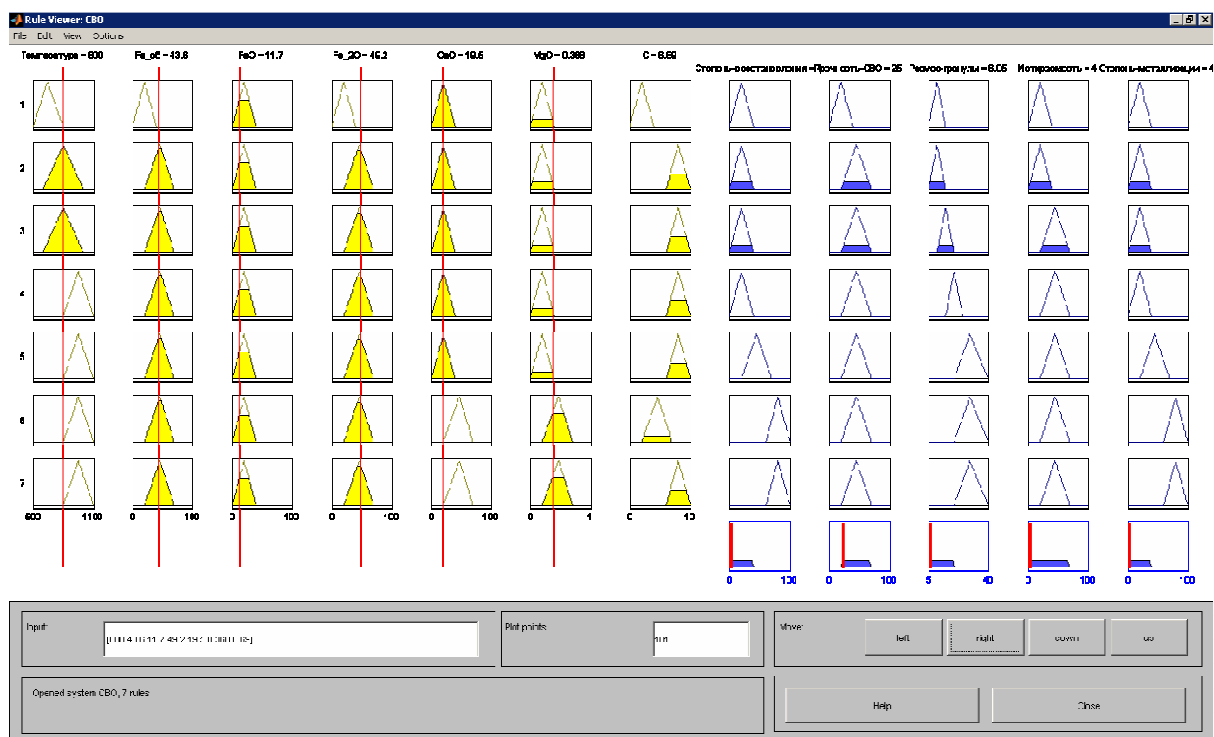


Рисунок 3 - Вид перегляду програми правил нечіткого виводу.

Метод дефазифікації – «Som»

В таблиці 1 представлені порівняльні результати роботи нечіткого моделювання логічного висновку Mamdani [4, 5], за методами:

- Метод центру тяжіння – «Centroid»;
- Метод найбільшого (правого) модального значення – «Lom»;
- Метод найбільшого (лівого) модального значення – «Som»;
- Метод середнього максимуму, як середнє арифметичне лівого та правого модальних значень – «Mom».

Таблиця 1

Порівняльна таблиця результатів нечіткого моделювання

Вхідні та вихідні параметри нечіткої моделі	Нечіткий логічний висновок Mamdani			
	«Centroid»	«Lom»	«Som»	«Mom»
Температура, %	800	800	800	800
Fe _{об} , %	43.6	43.6	43.6	43.6
FeO, %	11.7	11.7	11.7	11.7
Fe ₂ O, %	49.2	49.2	49.2	49.2
CaO, %	19.5	19.5	19.5	19.5
MgO, %	0.368	0.368	0.368	0.368
C, %	6.69	6.69	6.69	6.69
Ступінь відновлення, %	20	38	4	21
Міцність СВО, кг/ок	45	65	25	45
Розмір гранули, мм	12.5	19	6.05	10
Стиранність, %	34	65	4	34.5
Ступінь металізації, %	20	36	4	20

На рисунку 4 представлено гістограму залежності вихідних параметрів отриманих в результаті нечіткого моделювання методами «Centroid», «Lom», «Som», «Mom» та результатів промислового експерименту, який був проведений на Північному гірничо-збагачувальному комбінаті на обпалювальній машині ОК-278, згідно ГОСТ 19575-84 та ГОСТ 21707-76 при температурі 650-900 0С, Fe_{об} 43.1%, FeO 10%, Fe₂O 50.5%, CaO 17,3%, MgO 0,58%, C 8.7%, Ступінь відновлення склала 30-35%, Міцність СВО 55 кг/ок, Розмір гранули 10-20 мм, Стиранність 10-13%, Ступінь металізації 19-35%.

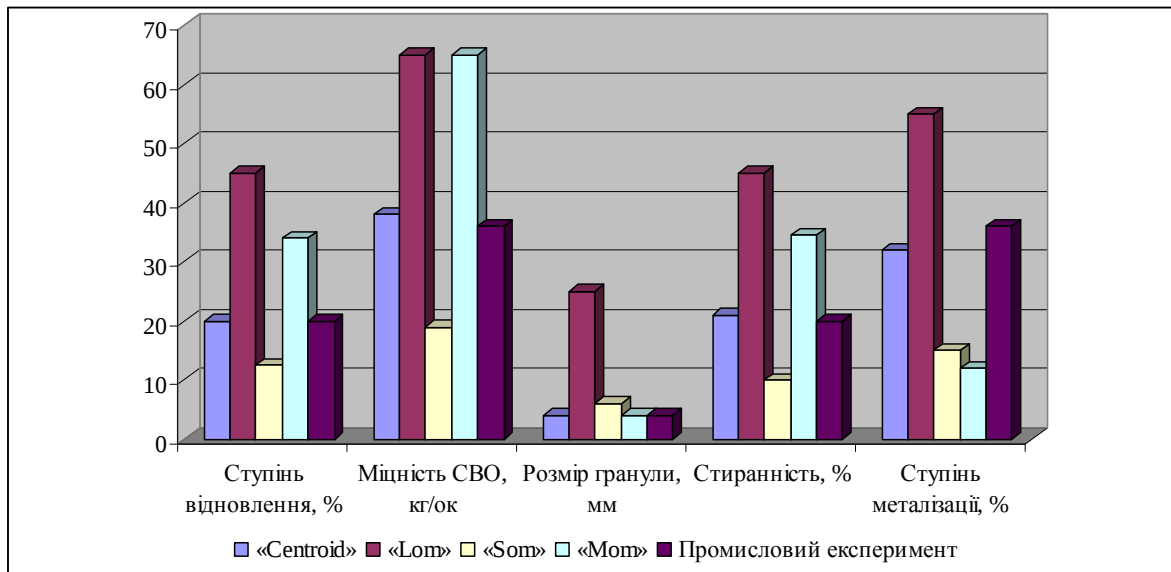


Рисунок 4 - Гістограма залежності вихідних параметрів отриманих в результаті нечіткого моделювання методами «Centroid», «Lom», «Som», «Mom» та результатів промислового експерименту

Висновки

В результаті нечіткого моделювання методами «Centroid», «Lom», «Som», «Mom» алгоритма Мамдані та результатів промислового експерименту, який був проведений на Північному гірничо-збагачувальному комбінаті на обпалювальній машині ОК-278, згідно ГОСТ 19575-84 та ГОСТ 21707-76 при температурі 650-900 °С, Feоб 43.1%, FeO 10%, Fe₂O 50.5%, CaO 17,3%, MgO 0,58%, С 8.7%, Ступінь відновлення склала 30-35%, Міцність СВО 55 кг/ок, Розмір гранули 10-20 мм, Стиранність 10-13%, Ступінь металізації 19-35%, що підтверджує адекватність розробленої фаззи-моделі.

В результаті розробки та дослідження фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів є можливість зробити висновок, що процес нечіткого моделювання передбачає аналіз результатів нечіткого виводу при різних значеннях вхідних змінних з метою встановлення адекватності розробленої нечіткої моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Д.А. Ковалев, Н.Д. Ванюкова Разработка новой технологии получения самовосстанавливающихся окатышей. - Тезисы докладов. - ЛИТЪЕ-2011.
2. Некрасов З.И., Нижегородов Б.А., Маймур Б.К. Исследование процессов восстановления железорудных брикетов горячего прессования комбинированным восстановлением // Физикохимия прямого получения железа / Под ред. С.Т. Ростовцева. – М.: Наука, 1977. – С. 37–41.
3. Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
4. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. – БХВ: Санкт - Петербург, 2003. – 716 с.
5. Новікова К.Ю. Математичне моделювання процесів металургійного виробництва з використанням методів нечіткого виводу: Дис. ... канд. технол. наук. Дніпропетровськ. 2008. - 142 с.

М.О. Соловей, Т.В. Селівьорстова

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА
ЗАСОБАМИ COMSOL MULTIPHYSICS**

Анотація. Описаний процес створення моделі асинхронного двигуна за допомогою пакету COMSOL Multiphysics. Показані розподіли магнітного поля та напруженості магнітного поля, що надало можливість оцінити технічні характеристики асинхронного двигуна.

Ключові слова. Асинхронний двигун, магнітне поле, напруженість магнітного поля, COMSOL Multiphysics.

Як відомо, з числа різних видів сучасних електричних машин найпоширенішою в наші дні є асинхронна безколекторна машина, вживана зазвичай в якості двигуна. Причини виключно широкого поширення асинхронного двигуна - його простота і дешевизна, яка визначається його конструктивними особливостями. Загальний недолік асинхронних машин - це відносна складність і неекономічність регулювання їх режимів роботи, в зв'язку з цим побудова і реалізація математичних моделей асинхронного двигуна є актуальною практичною задачею.

Метою роботи є побудова імітаційної моделі асинхронного двигуна у COMSOL Multiphysics, з метою дослідження його фізичних властивостей.

В процесі побудови імітаційних математичних моделей обов'язкове виконання низки етапів [1 – 8]. На початку моделювання проводиться збір попередньої інформації про об'єкт моделювання (таблиця 1). На рисунку 1 наведено принципову схему асинхронного двигуна змінного струму, частота обертання ротора якого не дорівнює частоті обертання магнітного поля, створюваного струмом обмотки статора.

Таблица даних

Швидкість	Момент	Напруга	Втрати ротору	Втрати Статору
0	3.825857	0.637157	1455.644	17.40541
200	6.505013	0.845368	1179.541	16.98615
400	-3.89264	1.477981	120.0092	1.383889
600	-5.75939	0.76 I 76	1314.613	17.87566
800	-3.59076	0.617891	1548.24	16.88702
1000	-2.70051	0.575699	1710.686	14.32059
1200	-2.24996	0.556196	1878.926	12.01166

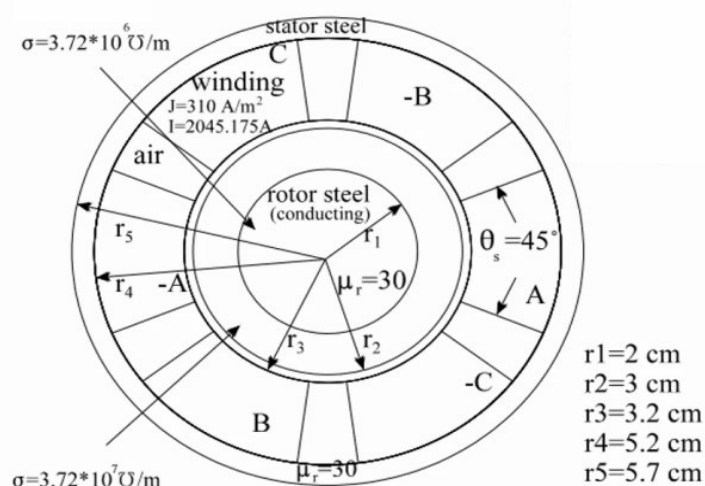


Рисунок 1 - Асинхронний двигун

Наступним кроком побудували геометричну модель (рисунок 2), згідно рисунку 1, в результаті чого отримали загальний вигляд асинхронного двигуна.

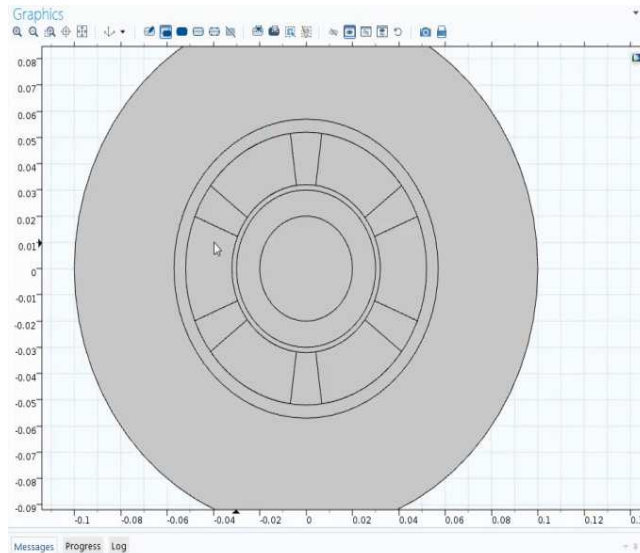


Рисунок 2 - Модель асинхронного двигуна, побудована у COMSOL Multiphysics

Наступним важливим етапом є завдання властивостей матеріалів. На вкладці Material (COMSOL Multiphysics) задали електропровідність повітря 0, відносні магнітні проникності ϵ і μ - по 1. Для магнітопроводу ротора: електропровідність 1.6 [MS / m], ϵ 1, магнітна проникність 30. Використовуючи duplicate призначили параметри магнітопроводу статора, так як він шихтований магнітопровідність не враховується 0, ϵ 1, магнітна проникність 30. Задали ще один матеріал - алюміній. Для нього електропровідність 37.2 [MS / m], відносні магнітні проникності ϵ і μ - по 1.

Використали граничну умову Magnetic Insulation, яка позначає що силові лінії магнітного поля не виходять за ці границі, а замикаються всередині об'єкта моделювання.

Джерела магнітного поля задано на основі Multi - Turn - Coil. Струм для фази А описується виразом $J_{coil} \cdot \text{intop}(1) \cdot \text{sqrt}(2)$. Для фаз В та С струм буде зміщуватись на 120 градусів. Шар нескінченних елементів доданий в домені Infinite element.

На снові геометрії та налагоджень параметрів математичних рівнянь отримані результати математичного моделювання магнітного поля для швидкості 1200 [rad/s] (рисунок 3), 330 [rad/s] (рисунок 4) та напруженості магнітного поля (рисунок 5).

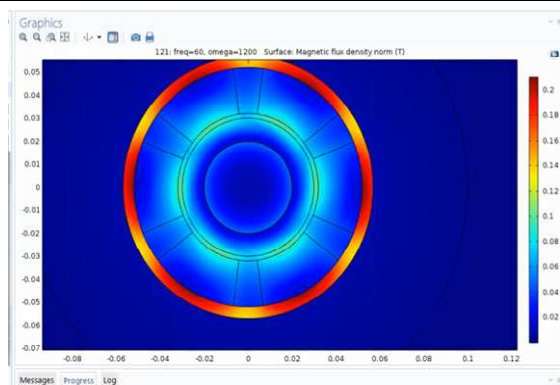


Рисунок 3

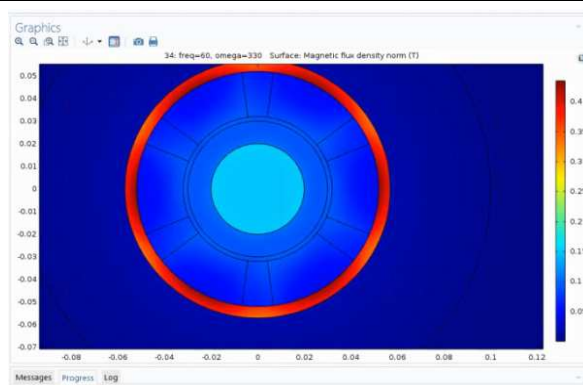


Рисунок 4

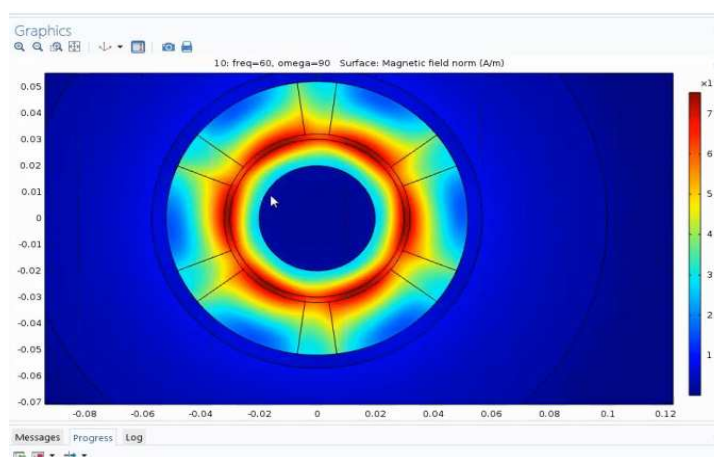


Рисунок 5 - Напруженість магнітного поля

Інструментарій COMSOL Multiphysics надає можливість порівняння результатів отриманих шляхом чисельного розрахунку з аналітичним рішенням (таблиця 1), які були імпортовані до робочої області та представлені на рисунку 6.

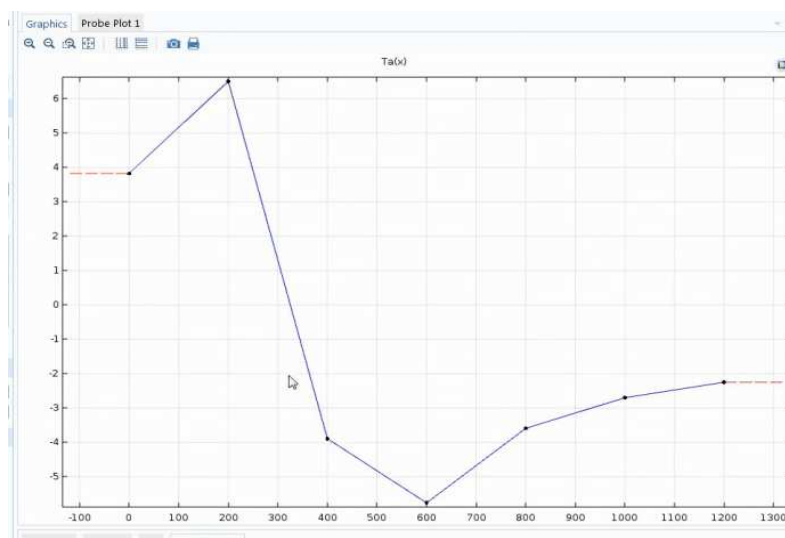


Рисунок 6

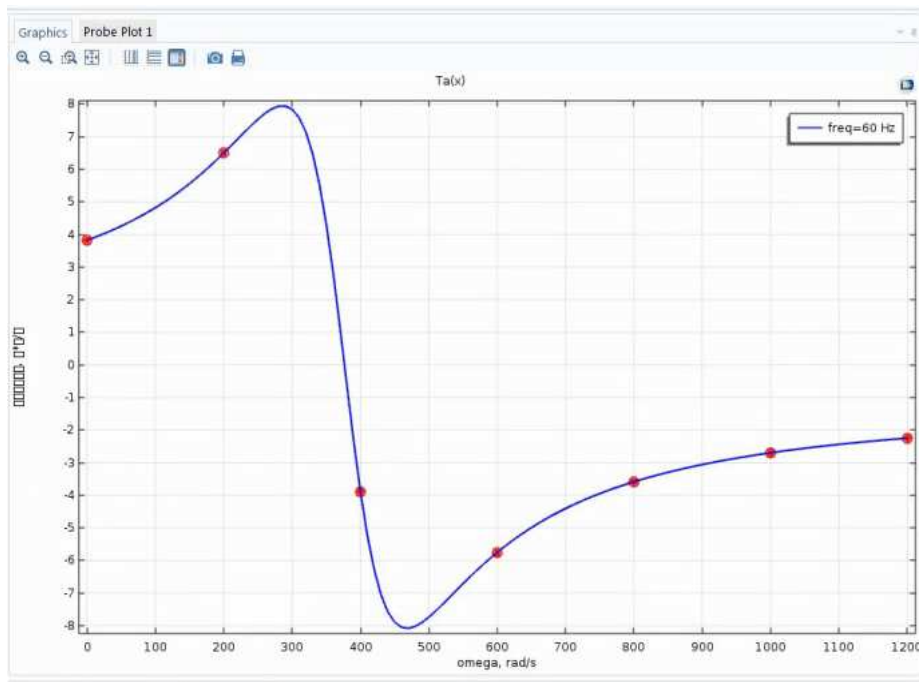


Рисунок 7

Для коректного порівняння результатів потрібно аналітичні значення накласти на модельні. Результат суміщення чисельного та аналітичного розрахунку наведений на рисунку 6, з якого випливає гарне співставлення числових значень.

Висновки

В процесі створення моделі асинхронного двигуна за допомогою пакету COMSOL Multiphysics були отримані розподіли магнітного поля та напруженості магнітного поля, що надало можливість оцінити технічні характеристики асинхронного двигуна.

Проведено співставлення результатів, отриманих за допомогою аналітичного рішення та результатів, знайдених за допомогою COMSOL Multiphysics, яке показало їхню збіжність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Офіційний сайт програмного продукту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics#toc>, вільний. – Заголовок з екрану.
2. Офіційний сайт програмного продукту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.comsol.ru/products>, вільний. – Заголовок з екрану.
3. Муса S.M. Чисельні методи кінцевих елементів, в області нанотехнологій. CRC Press, 2012.

4. Красніков Г.Є. Моделювання фізичних процесів з використанням пакета COMSOL Multiphysics. / Красніков Г.Є., Нагорнов О.В., Старостін Н.В. М.: НІЯУ МІФІ, 2012.
5. Pryor R.W. Мультифізичне моделювання за допомогою COMSOL. Jones & Bartlett Publishers, Inc., 2011.
6. Трухан С.Н. , Деревщіков В.С. Комп'ютерне моделювання процесів і явищ. Навчально-методичний комплекс. - Новосибірськ : Новосибірський національний дослідницький державний університет , 2012.
7. Огородніков А.С. Моделювання в середовищі COMSOL 3.5a . Частина 1. Навчальний посібник. - Томськ : Изд - во Томського політехнічного університету , 2012.
8. Вознесенський А.С. Комп'ютерне моделювання в COMSOL. Частина 2. Підручник для вузов - М .: МДГУ , 2010. - 107с.

В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац, Ю.В. Кавац
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИДУ СТРУКТУРНОГО
ЕЛЕМЕНТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗПІЗНАВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ ЗАБУДОВИ НА АЕРОКОСМІЧНИХ
ЗОБРАЖЕННЯХ**

Анотація. В роботі проведено порівняльний аналіз ефективності застосування різних видів структурного елементу при розпізнаванні будівель на багатоканальних аерокосмічних зображеннях високої просторової здатності на основі морфологічних індексів. Результати досліджень свідчать про те, що застосування структурного елементу LINE надає найкращий результат, ефективно визначаючи границі та контури будівель складної форми.

Ключові слова: багатоканальне зображення, просторова здатність, розпізнавання, морфологічний індекс, структурний елемент.

Постановка проблеми

Останні десятиліття позначилися стрімким розвитком нових технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Важливою сферою застосування даних ДЗЗ є формування і використання геоінформаційної продукції. Космічна діяльність в області ДЗЗ сприйнятлива до інновацій, вимагає впровадження високих наукоємних технологій та використання найсучасніших наукових досягнень. Аерокосмічні зображення є джерелом отримання різноманітної інформації та широко використовуються у різних сферах людства. За такими даними можна проводити оперативний моніторинг будівництва та реконструкції об'єктів; планування і контроль розвитку інфраструктури; моніторинг транспортної мережі міста та вирішувати багато інших задач. Особливе місце серед існуючих задач займає change detection. Цей клас задач потребує оперативного визначення змін на різночасових сценах. Через надвеликий обсяг аерокосмічних даних, автоматизація цього процесу набуває актуальності.

Аналіз останніх досліджень

Більшість пропонуваніх рішень засновані на геометричних і яскравісних перетвореннях цифрових знімків, до яких відносяться методи побудови контурів зображення, градієнтні методи і методи кластеризації, що застосовуються для сегментації супутникових зображень на тематичні однорідні області, які характеризуються недостатньою точністю і високими затратами часу на обробку багатоканальних даних. В роботах [1-4] запропоновано підхід до розпізнавання будівель на багатоканальних фотограмметричних зображеннях високої просторової здатності на основі морфологічних індексів. В рамках зазначеного підходу на етапі визначення морфологічного індексу вкрай важливим є вибір оптимального виду структурного елементу. Але питання відповідного вибору і впливу виду структурного елементу на якість подальшого розпізнавання об'єктів забудови на даний час не вирішено.

Формулювання цілей статті

Виникає необхідність у дослідженні впливу виду структурного елементу на точність розпізнавання будівель на багатоканальних аерокосмічних зображеннях високої просторової здатності. Необхідно визначити, використання якого структурного елементу буде забезпечувати кращі результати розпізнавання об'єктів забудови.

Основна частина

Інформаційна технологія, запропонована авторами в роботі [3], базується на використанні чотирьох основних чинників: яскравість каналу, локальний контраст, розмір, геометрична форма. Загальна схема алгоритму розпізнавання об'єктів забудови наведено на рисунку 1. Для програмної реалізації запропонованої інформаційної технології було прийнято рішення про використання мови C++ з бібліотекою OpenCV версії 3.1.0. Тестування алгоритму проводилося на багатоканальному супутниковому зображенні WorldView-3. (просторовою роздільною здатністю 0,4 м).

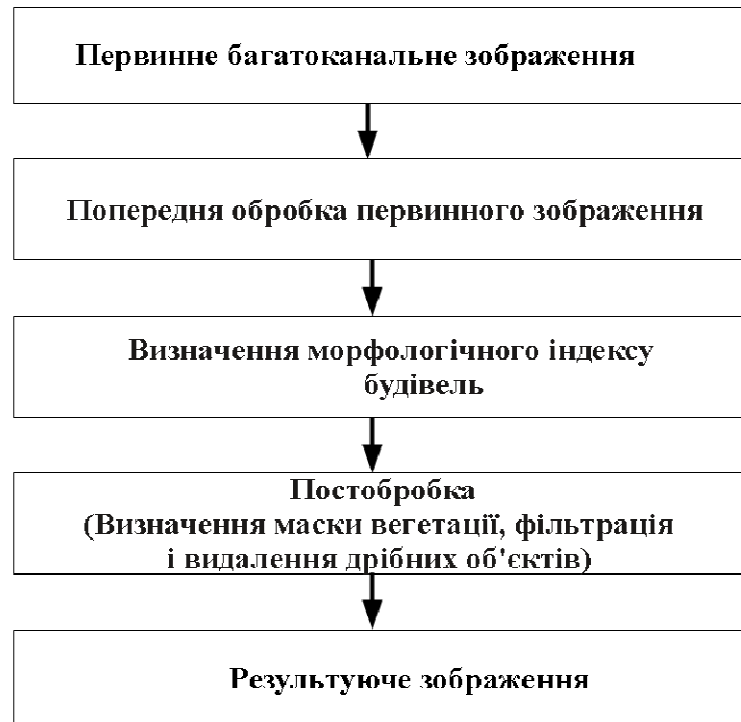


Рисунок 1 - Загальна схема інформаційної технології

Основними етапами інформаційної технології розпізнавання будівель є:

1. Етап попередньої обробки первинного багатоспектрального супутникового зображення — передбачає використання операцій підвищення інформативності та нормалізації.

2. Етап визначення морфологічного індексу будівель — заснований на обчисленні диференціальних морфологічних профілів (МБІ) дахів будівель і споруд, для обчислення яких виконується ряд морфологічних і арифметичних операцій.

Будівлі та споруди в більшості випадків мають великі значення МБІ і певну геометричну форму. В основному наявність даних властивостей обумовлено локальним контрастом і ізотропністю будівель (схожість, подібність). З цього випливає, що структури з великими значеннями індексу МБІ з великою ймовірністю будуть будівлями.

3. Етап постобробки — включає в себе віднімання з отриманого результату маски вегетації, фільтрацію і видалення дрібних об'єктів з результуючого зображення.

Для визначення впливу виду структурного елементу на точність розпізнавання будівель на багатоканальних аерокосмічних зо-

браженнях високої просторової здатності у роботі проводилися дослідження за основними формами структурних елементів (рисунок 2):

- LINE – лінія заданого розміру;
- CROSS – дві перпендикулярно пересічні заданого розміру;
- DISK - диск заданого розміру;
- RING - кільце заданого розміру.

На рисунку 3 наведено первинне багатоканальне зображення та результат роботи інформаційної технології розпізнавання будівель на багатоканальних фотограмметричних зображеннях з використанням різних структурних елементів.

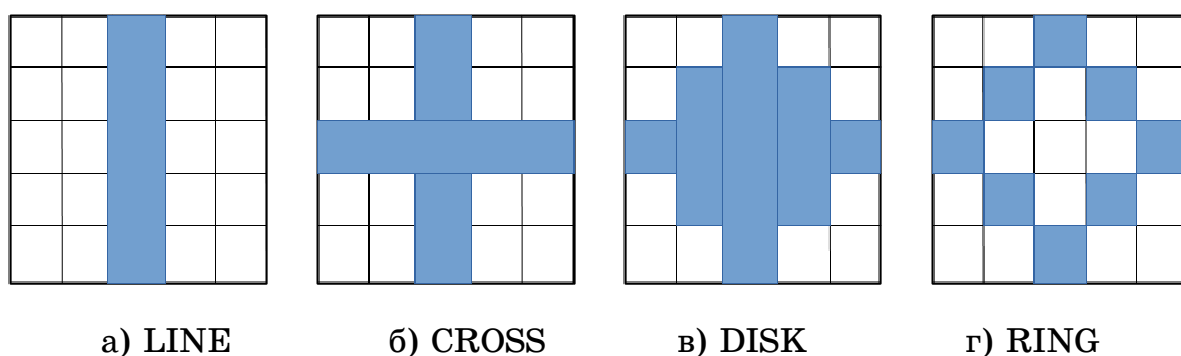


Рисунок 2 - Основні форми структурних елементів

У таблиці 1 наведено значення похибки розпізнавання будівель та споруд на багатоканальних фотограмметричних зображеннях відносно еталонної маски первинного зображення.

Таблиця 1

Значення похибки розпізнавання будівель та споруд на багатоканальних фотограмметричних зображеннях

№	Структурний елемент	Похибка розпізнавання, %
1.	CROSS	34
2.	DISK	35
3.	RING	35
4.	LINE	32

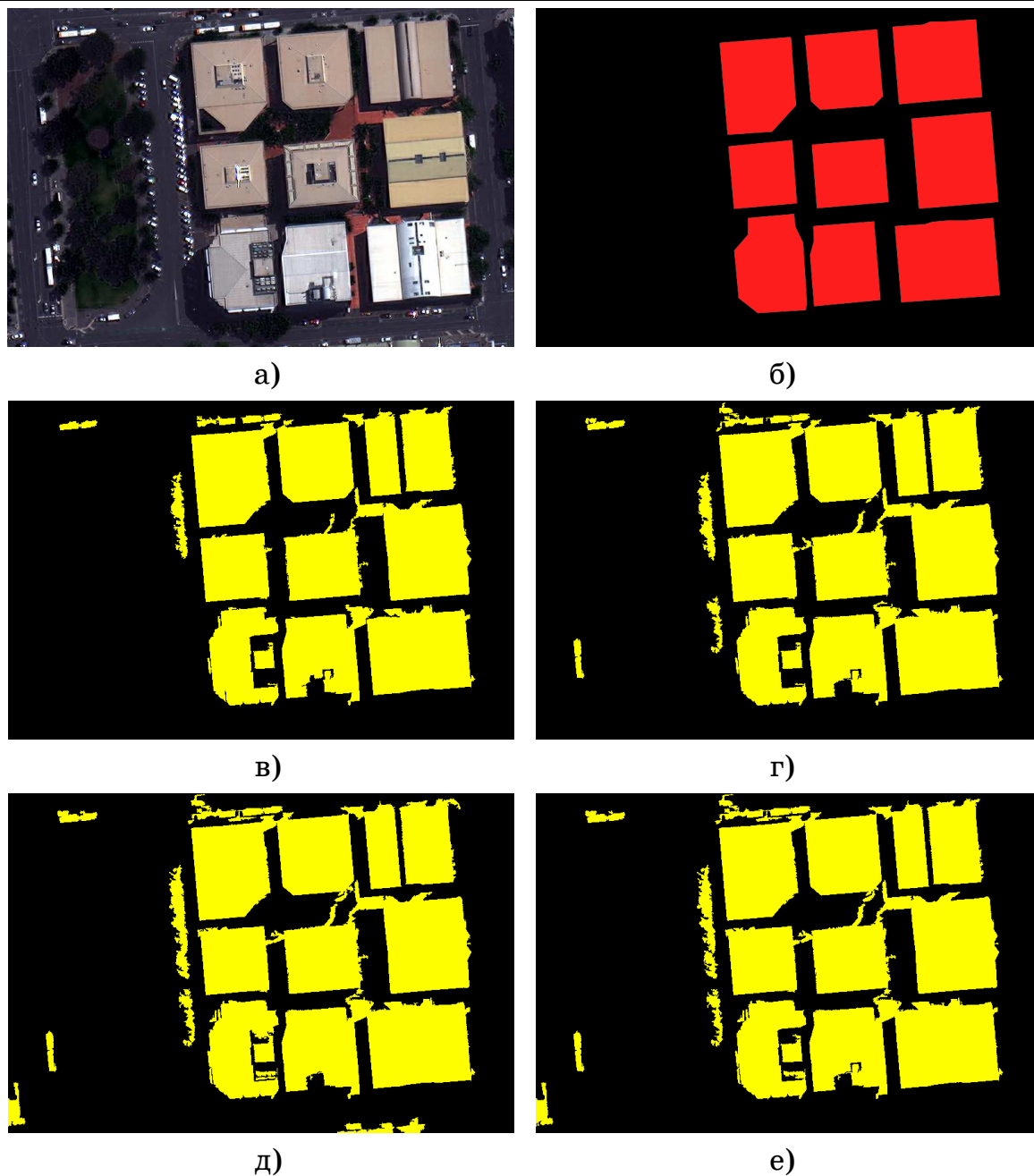


Рисунок 3 - Первинне зображення та результати роботи інформаційної технології:

а) первинне зображення; б) еталонна маска; в) маска, отримана при використанні структурного елемента LINE; г) маска, отримана при використанні структурного елемента CROSS; д) маска, отримана при використанні структурного елемента DISK; е) маска, отримана при використанні структурного елемента RING

Висновки

В роботі проведено порівняльний аналіз ефективності застосування різних видів структурного елементу при розпізнаванні будівель на багатоканальних аерокосмічних зображеннях високої просторової здатності на основі морфологічних індексів. Результати досліджень свідчать про те, що застосування структурного елементу LINE надає найкращий результат, ефективно визначаючи границі та контури будівель складної форми. Запропонована інформаційна технологія продемонструвала високі результати розпізнавання будівель на тестовому зображенні, про що свідчить отримана точність понад 68%.

ЛІТЕРАТУРА

1. P. Soille, Morphological Image Analysis: Principle and Applications, 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003.
2. Huang X. Building Change Detection From Multitemporal High-Resolution Remotely Sensed Images Based on a Morphological Building /Xin Huang, Liangpei Zhang, Tingting Zhu// IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing. No 7(1):105-115. - January 2014. DOI: 10.1109/JSTARS.2013.2252423.
3. Гнатушенко В.В. Інформаційна технологія розпізнавання будівель на багатоканальних фотограмметричних зображеннях високої просторової здатності на основі морфологічних індексів /В.В. Гнатушенко, О.О. Кавац, Ю.В. Кавац, Е.Б. Гальченко // Вісник ХНТУ. – Херсон, 2016. – № 3 (58). – С. 195-198.
4. Huang X. Morphological building/shadow index for building extraction from high-resolution imagery over urban areas /X. Huang, L. Zhang// IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Obs. Remote Sens., - Feb. 2012, - Vol. 5, No. 1, P. 161–172.

СОДЕРЖАНИЕ

Баюл К.В., Худяков А.Ю., Ващенко С.В., Солодка Н.А. Разработка метода оценки влияния конфигурации формующих элементов валковых прессов на упругое последствие в брикетах3	
Бойченко Б.М., Низяев К.Г., Стоянов А.Н., Молчанов Л.С., Синегин Е.В. Параметризация процесса выплавки стали в кислородном конверторе 10	10
Поляков М.А. Теоретико-множественные модели функциональных структур систем когнитивного управления..... 16	16
Velikonskaya N.M., Nikolenko N.V., Khrutskaya Yu.D., Velichko V.V. Physical and chemical study of leaching process of germanium from ASH waste..... 24	24
Клименко Л.П., Гожий А.П., Андреев В.И., Прищепов О.Ф., Случак А.Ю., Шугай В.В. Усовершенствование технологии литья заготовок гильз цилиндров ДВС с повышенной износостойкостью 33	33
Лю Джи Чанг, Лю Тяньи, Величко А.Г. Эффективная технология при использовании новой кислородно - конвертерной фурмы 40	40
Федорович А.И. Классификация многопараметрических объектов по экспериментальным данным..... 45	45
Харламов Ю.Е., Лю Ли, Овчарук А.Н., Таран А.Ю., Замковой О.В., Харламов В.Ю. Инновационно-инвестиционные направления развития и совершенствования технологических схем производства рафинированных марганцевых ферросплавов..... 52	52
Балакин В.Ф., Пилипенко С.В. Развитие метода расчета величины площади контакта металла трубы с ручьем калибра в мгновенном очаге деформации станов ХПТ 60	60
Гвоздева И.М., Демиров В.В. Анализ температурных режимов судовых дизель-генераторных установок в длительной эксплуатации..... 66	66
Кирия Р.В., Смирнов А.Н. Определение показателей надежности става ленточного конвейера .. 73	73

Михалев А.И., Алпатов А.П., Гуда А.И., Сухомлин Р.А. Оценка возможности замены испытаний космического аппарата на стойкость к акустическим нагрузкам испытаниями широкополосной вибрацией	84
Островська К.Ю. Розробка фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів	97
Соловей М.О., Селівьорстова Т.В. Дослідження фізичних властивостей асинхронного двигуна засобами COMSOL Multiphysics	106
Гнатушенко В.В., Кавац О.О., Кавац Ю.В. Дослідження впливу виду структурного елемента на ефективність розпізнавання об'єктів забудови на аерокосмічних зображеннях....	112

РЕФЕРАТЫ

УДК 622.788.32: 621.777.06.083.133

Баюл К. В., Худяков О.Ю., Ващенко С.В., Солодка Н.О. **Розробка методу оцінки впливу конфігурації формуючих елементів валкових пресів на пружну післядію в брикетах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.3 - 9.

Описано експериментально-аналітичний метод визначення та оцінки впливу конфігурації формуючих елементів на пружну післядію в брикетах з урахуванням фізико-механічних властивостей шихти що брикетується та параметрів ущільнення. Запропонований метод використовується для прогнозування пружної післядії в брикетах для створення раціональних формуючих елементів валкових пресів.

Бібл. 2.

УДК 669.4

Бойченко Б.М., Нізяєв К.Г., Стоянов О.М., Молчанов Л.С., Синегін Є.В. **Параметризація процесу виплавки сталі в кисневому конвертері** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.10 - 15.

Стаття присвячена актуальній проблемі аналізу особливостей математичного опису процесу виплавки сталі в кисневих конвертерах. У ній представлено концепцію дворівневого алгоритму процесу виплавки сталі в кисневому конвертері. Проведена параметризація основних технологічних операцій по виплавці сталі відповідно до запропонованої моделі алгоритму.

Бібл. 12, іл. 1, табл. 1.

УДК 621.314

Поляков М.О. **Теоретико-множинні моделі функціональних структур систем когнітивного управління** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.16 - 23.

Запропоновано моделі функціональних структур систем когнітивного управління у вигляді двох взаємодіючих пірамід - знання і діяльності. Залежно від використовуваного в системі рівня взаємодії визначені структури систем безпосереднього, сигнального, обчислювального, інформаційного, когнітивного, концептуального і цільового управління. Сформульовано принцип однорідності знань що зберігаються в системі і наслідок з нього про можливість управління формами діяльності і знань нижчестоящих керуючих пристроїв.

Бібл. 7, іл. 4.

УДК 622.7:543.79

Великонська Н.М., Ніколенко М.В., Хруцька Ю.Д., Величко В.В. **Фізико-хімічне дослідження вилуговування германію із зола-шлакових відходів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.24 - 32.

Виконано аналіз зола-шлакових відходів, що утворюються при спаленні енергетичного вугілля на вміст в них Ge. За допомогою програм для термодинамічного моделювання визначені рН і Е існування іонних форм германію при різних температурах вилуговування соляною та сірчаною кислотами. Вдосконалена методика спектрофотометричного визначення германію фенолфлуороном. Вивчено вплив поверхнево-активних речовин на спектрофотометричні характеристики фенолфлуоронатів германію.

Бібл. 9, іл. 4, табл. 2.

УДК 621.74.042:621.746.6

Клименко Л.П., Гожий А.П., Андреев В.И, Прищепов О.Ф., Случак А.Ю., Шугай В.В. **Вдосконалення технології відливки заготовок гильз циліндрів ДВЗ з підвищеною зносостійкістю** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.33 - 39.

У статті розглядаються питання удосконалення технологічного процесу відцентрового лиття гильз циліндрів з підвищеною зносостійкістю. Для цього моделюються і розраховуються параметри кокиля із змінними термічними характеристиками. Це дозволить управляти тепловим режимом системи "виливки - форма" і регулювати процес кристалізації гильзи. Розроблено удосконалення технологічний процес лиття гильз циліндрів з підвищеною зносостійкістю і робоча діаграма режимів охолодження заготовки.

Бібл. 6, іл. 3.

УДК 669.184

Лю Джи Чанг, Лю Тяньи, Величко А.Г. **Эффективная технология при использовании новой кислородно - конвертерной фурмы** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.40 - 44.

В условиях работы кислородных конвертеров завода Chengde Steel (КНР) проблемы с наведением шлака ограничивали возможности получения качественной стали. Для решения задачи предложено заменить штатную 5 сопловую кислородно-конвертерную фурму с центральным подводом кислорода на сопловую с центральным подводом воды.

Библ. 0.

УДК 620.179

Федорович А.И. **Класифікація многопараметрических об'єктів за експериментальними даними** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.45 - 51.

Розглянуто задачу класифікації багатовимірних об'єктів за експериментальними даними. Шляхом проведення обчислювальних експериментів досліджені імовірнісні характеристики виявлення зміни окремих параметрів кожного об'єкта. Використовуючи ентропійних перетворення досліджена можливість перетворення багатовимірних вимірів в одномірні, і подальше застосування для одновимірних вимірювань комплексного критерію непараметричної статистики Буша-Вінда.

Библ.2, іл.1.

УДК 669.053.2:669.74.1/782.001.76

Харламов Ю.Е., Лю Ли, Овчарук А.Н., Таран А.Ю., Замковой О.В., Харламов В.Ю. **Инновационно-инвестиционные направления развития и совершенствования технологических схем производства рафинированных марганцевых ферросплавов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.52 - 59.

Выполнен анализ современного производства рафинированных марганцевых ферросплавов и основных направлений его совершенствования. Показано, что основная тенденция развития данного направления базируется на внедрении технологических схем рафинирования расплавов продувкой в конвертерах или традиционными методами их смешивания с оксидными расплавами и их интенсификации путем увеличения площади контакта реагирующих компонентов за счет интенсивного их перемешивания либо продувки инертными газами. Приведена технологическая схема, оборудование и его характеристик (поставщик – компания Sinosteel JEMECO (КНР) для завода по производству металлического марганца силикотермическим способом.

Библ.6.

УДК 621.774

Пилипенко С.В. **Метод розрахунку тепловиділень від пластичної деформації при холодній пільгерної прокатці труб** / Пилипенко С.В., Балакин В.Ф. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.60 - 65.

У статті розглянуто основні існуючі на даний момент залежності, що дозволяють правильно розрахувати тепловиділення від пластичної деформації при даному виді ОМД. Також розглянуто залежності, що дозволяють врахувати теплові втрати від конвекції і теплопередачі. На основі наявних залежностей запропонований свій метод розрахунку тепловиділень, що дозволяє більш точно враховувати особливості процесу ХПТ. Результати

розрахунків перевірені в ході практики холодної пільгерної валкової прокатки і доводять дієвість методу.

Библ.15.

УДК 681.518.5

Гвоздева І.М., Деміров В.В. **Аналіз температурних режимів суднових дизель-генераторних установок в тривалій експлуатації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.66 - 72.

У статті розглянутий трендовий аналіз часових рядів параметрів, що характеризують температурні режими суднових дизель-генераторних установок в процесі їх тривалої експлуатації. Аналіз вибірки на статистичну однорідність виконаний по критерію Колмогорова-Смирнова. Отримані розподіли коефіцієнтів взаємної кореляції температури і струму навантаження по вибірці для кожного з циліндрів дизель-генераторної установки, що аналізується. Побудована статистична модель залежності номінальної середньої температури від навантаження дизель-генераторної установки. При побудові признакового простору у якості його елементів прийняті відхилення температури від статистичної моделі.

Бібл. 10, іл. 5.

УДК 622.647.2: 681.5

Кирія Р.В. **Визначення показників надійності става стрічкового конвеєра**/ Р.В. Кирія, А.М. Смірнов // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.73 - 83.

В роботі вирішена задача визначення живучості та інтенсивності відновлення конвеєрного ставу як системи паралельно з'єднаних елементів (роликоопор). При цьому розглядався став з роликоопорами чотирьох різних типів. В результаті одержана залежність показників надійності ставу стрічкового конвеєра, зокрема, рівня надійності від середньої кількості замін роликів в змін для розглянутих типів роликоопор.

Бібл. 12, іл. 1.

УДК 004.67:004.9

Михальов О.І., Алпатов А.П., Гуда А.І., Сухомлин Р.О. **Оцінка можливості заміни випробувань космічного апарату на стійкість до акустичних навантажень випробуваннями широкосмуговою вібрацією** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.84 - 96.

Проведено аналіз існуючих публікацій по темі заміни акустичного стенду випробування міцності космічних апаратів на вібраційний. Розроблено лабораторний стенд акустичного і вібраційного впливу. В результаті порівняння реакції на ці два види навантаження зроблено висновок про можливість заміни акустичного стенду на вібраційний.

Бібл. 4, іл. 9., табл. 2

УДК 681.3.068

Островська К.Ю. **Розробка фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.97 - 105.

В результаті розробки та дослідження фаззи-моделі для оцінки впливу факторів процесу на властивості самовідновлених окатишів є можливість зробити висновок, що процес нечіткого моделювання передбачає аналіз результатів нечіткого виводу при різних значеннях вхідних змінних з метою встановлення адекватності розробленої нечіткої моделі.

Бібл. 5.

УДК 004.942

Соловей М.А., Селивёрстова Т.В. **Исследование физических свойств асинхронного двигателя средствами COMSOL Multiphysics** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.106 - 111.

Описан процесс создания модели асинхронного двигателя с помощью пакета COMSOL Multiphysics. Показаны распределения магнитного поля и напряженности магнитного поля, что позволило оценить технические характеристики асинхронного двигателя.

Библ. 8.

УДК 004.931

Гнатушенко В.В. **Исследование влияния вида структурного элемента на эффективность распознавания объектов застройки на аэрокосмических изображениях** / В.В. Гнатушенко, А.А. Кавац, Ю.В.Кавац // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (110). - Днепр, 2017. - С.112 - 117.

В работе проведен сравнительный анализ эффективности применения различных видов структурного элемента при распознавании зданий на многоканальных аэрокосмических изображениях высокого пространственного разрешения на основе морфологических индексов. Результаты исследований свидетельствуют о том, что применение структурного элемента LINE предоставляет наилучший результат, эффективно определяя границы и контуры зданий сложной формы.

Библ. 4, ил. 3.

UDC 622.788.32: 621.777.06.083.133

Baiul K.V., Khudyakov A.Yu., Vashchenko S.V., Solodkaya N.A. **Development of method of impact assessment of configuration form element roller presses on an elastic effect in briquettes** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.3 - 9.

Experimental and analytical method for identifying and assessing the impact of configuration of forming elements on elastic aftereffect in briquettes, taking into account the physical and mechanical properties of briquetted charge and compacting parameters described. The proposed method used to predict elastic aftereffect in briquettes and to create rational forming elements of roller presses.

Bibl.2.

UDC 669.184

Bojchenko B.M., Nizjaev K.G., Stoyanov A.N., Molchanov L.S., Sinegin E.V. **Parametrization of the steelmaking process in basic oxygen furnace** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.10 - 15.

The article is devoted to the actual problem of analyzing the features of the mathematical description of the process of steel smelting in BOF. It presents the concept of a two-level algorithm for the process of steelmaking in BOF. Parametrization of the main technological operations for steel smelting according to the proposed algorithm model was carried out.

Ref. 12, fig. 1. tab. 1

UDC 621.314

Poliakov M.A. **Set-theoretical models of functional structures of systems of cognitive control** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.16 - 23.

The proposed model of the functional structures of systems of cognitive control in the form of two interacting pyramids - knowledge and activity. Depending on the system level interaction between the structure of systems direct, signal, computational, informational, cognitive, conceptual and task management. Formulated the principle of uniformity of knowledge stored in the system and the effect of it on the ability to manage activities and knowledge downstream control devices.

Bibl. 7, ill. 4.

UDC 622.7:543.79

Velikonskaya N.M., Nikolenko N.V., Khrutskaya Yu.D., Velichko V.V. **Physical and chemical study of leaching process of germanium from ash waste** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.24 - 32.

Analysed the content of Ge in ash and slag waste that produced by power coal burning. Using thermodynamic simulation programs were determined the values of pH and E of the existence of ionic forms of germanium at different temperatures of leaching with hydrochloric and sulfuric acids. Improved the method of spectrophotometric determination of germanium

by phenylfluorone. Studied the effect of surfactants on the spectrophotometric characteristics of phenylfluorone germanium.

Ref. 9, Fig. 4, Table. 2.

UDC 621.74.042:621.746.6

Klimenko L.P., Gozhyj A.P., Andreev V.I., Prishchepov O.F., Sluchak A.Y., Shugai V.V. **Improving the technology of casting blanks for cylinder liners of engines with increased wear resistance** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.33 - 39.

The article deals with the improvement of the technological process of centrifugal casting of cylinder liners with increased wear resistance. To do this, the parameters of the mold with variable thermal characteristics are modeled and calculated. This will allow controlling the thermal regime of the casting-mold system and regulating the process of crystallization of the sleeve. An advanced technological process for casting cylinder liners with increased wear resistance and a working diagram of cooling conditions for blanks have been developed.

Bibl.6, Fig.3.

UDC 669.184

Liu Ji Chang, Liu Tianyi, Velichko A.G. **Efficient technology using a new oxygen-converter lance** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.40 - 44.

Under the conditions of operation of the oxygen converters of the Chengde Steel plant (China), problems with slag guidance have limited the opportunities for obtaining high-quality steel. To solve the problem, it is proposed to replace the regular 5-nozzle oxygen-converter fu-mu with a central oxygen supply to the nozzle with a central supply of water.

Bibl.0.

UDC 620.179

Fedorovich A.I. **Multiparameter classification of objects from the experimental data** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.45 - 51.

The problem of classification of multidimensional objects from the experimental data. By carrying out computational experiments investigated the probabilistic characteristics of detecting a change in the individual parameters of each object. Using entropy transformation investigated the possibility of conversion into a one-dimensional multi-dimensional measurement, and further application for dimensional measurement of complex test of nonparametric statistics, Wind Bush.

Bibl. 2, ill. 1.

UDC 669.053.2: 669.74.1 / 782.001.76

Kharlamov Yu.E., Liu Li, Ovcharuk AN, Taran A.Yu., Zamkova OV, Kharlamov V.Yu. **Innovative and investment directions for the development and improvement of technological schemes for the production of refined manganese ferroalloys** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.52 - 59.

The analysis of modern production of refined manganese ferroalloys and the basic directions of its perfection is carried out. It is shown that the main trend of development of this direction is based on the introduction of technological schemes for refining melts by purging in converters or by traditional methods of mixing them with oxide melts and their intensification by increasing the area of contact of reacting components due to their intensive mixing or purging with inert gases. The technological scheme, the equipment of its characteristics (the supplier - the company Sinosteel JEMECO (China)), for the plant for the production of metallic manganese by the silicothermic method is given.

Bibl. 6.

UDC 621.774

Pilipenko S.V. **Calculation method for heat emission during plastic shaping in cold pilger rolling of pipes** /S.V. Pilipenko// System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.60 - 65.

The article gives the detailed analysis of the main existing relations, which permits to calculate properly the amount of heat emitted in plastic shaping process under OMD. The relations which allow to take into account heat losses caused by convection and heat transmission, have been analysed as well. The new calculation method is based on these relations. The method proposed permits to reckon more precisely peculiarities of cold pilger rolling process. The calculations results have been checked in practice process of cold pilger rolling and prove the method efficiency.

Bibl. 15.

UDC 681.518.5

Hvozdeva I.M., Demirov V.V. **An analysis of temperature conditions of ship diesel-generator plants in the long-term operation** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.66 - 72.

In the paper we considered the trend analysis of time series of parameters, characterizing the temperature conditions of ship diesel-generator plants in their long-term operating. The analysis of sample statistical homogeneity is fulfilled by Kolmogorov-Smirnov criterion. The sample distributios of cross-correlation coefficients of temperature and load current are obtained for each cylinders of the analysed diesel-generator plant. The statistical model of dependence of nominal mean temperature from the diesel-generator plant loading is developed. At the sign space constructing the temperature deviations from statistical model are accepted as its elements.

Bibl. 10, ill. 5.

UDK 622.647.2: 681.5

Kiriya R. **Determination of reliability indices for the belt conveyer's framework** / R.Kiriya, A. Smirnov // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.73 - 83.

The paper solves the problem of determination of durability and intensity of recover of conveyer framework as a system of the parallel connected elements (rollersupports). It was thus examined framework from four different rollersupport types. As a result dependences of reliability indexes of framework of belt conveyer were determined, in particular, level of reliability in the change from average amount of replacements of rollers for the current rollersupport types.

Refs. 12, ill. 1.

UDK 004.67:004.9

Mikhalyov A.I., Alpatov A.P., Guda A.I., Sukhomlin R.A. **Estimation of spacecraft replacing testing for resistance to acoustic loads of wideband vibration test** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.84 - 96.

We conducted an analysis of existing publications on the topic of replacing the acoustic test bench for testing the strength of spacecraft on a vibration test. We developed a laboratory test bench for acoustic and vibration effects. As a result of the comparison of the reaction of these two types of load, it is concluded that it is possible to replace the acoustic bench with a vibrating one.

Bibl. 4. Il. 9 Tabl. 2

UDC 681.3.068

Ostrovskaya K.Yu. **Development of a fuzzy model for assessing the influence of process factors on the properties of self-made pellets** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.97 - 105.

As a result of the development and study of the Fuzzy model for assessing the influence of process factors on the properties of self-produced pellets, it is possible to conclude that the fuzzy simulation process involves analyzing the results of fuzzy inference at different values of the input variables in order to establish the adequacy of the fuzzy model developed.

Bibl. 5.

UDK 004.942

Solovey M.A., Selivyorstova T.V. **Research of physical properties of the asynchronous engine means of COMSOL Multiphysics** // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.106 - 111.

Process of creation of model of the asynchronous engine by means of COMSOL Multiphysics packet is described. Distributions of a magnetic field and magnetic field strength are shown that allowed to evaluate technical characteristics of the asynchronous engine.

Bibl. 8.

UDC 004.931

Hnatushenko V.V. **Research of the influence of the structural element type on the efficiency of building recognition on aerospace images** / V.V. Hnatushenko, O.O. Kavats, Y.V. Kavats // System technologies. N 3(110) - Dnipro, 2017.- P.112 - 117.

The paper compares the effectiveness of the application of various types of structural elements in the building recognition on multichannel aerospace images of high spatial resolution based on morphological indices. The research results show that the use of the structural element LINE provides the best result, effectively determining the boundaries and contours of complex shape buildings.

Bibl. 4, ill. 3.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Баюл Константин Васильевич – к.т.н., Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, старший научный сотрудник отдела технологического оборудования и систем управления.

Худяков Александр Юрьевич – к.т.н., Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, старший научный сотрудник отдела технологического оборудования и систем управления.

Ващенко Сергей Владимирович – к.т.н., Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, старший научный сотрудник отдела технологического оборудования и систем управления.

Солодка Наталья Александровна – к.т.н., доцент, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет».

Мусунов Денис Александрович - аспирант, кафедра металлургии стали НМетАУ.

Синегин Евгений Владимирович – к.т.н, ст. преподаватель, кафедра металлургии стали НМетАУ.

Герасименко Виктор Григорьевич – к.т.н., доцент, кафедра металлургии стали НМетАУ.

Молчанов Лавр Сергеевич – к.т.н., доцент, кафедра металлургии стали НМетАУ.

Журавлёва Светлана Валерьевна – к.т.н., доцент, кафедра металлургии стали НМетАУ.

Поляков Михаил Алексеевич - к.т.н., доцент кафедры электрических и электронных аппаратов Запорожского национального технического университета.

Великонская Н.М. – ст. преподаватель каф. ТМП и Х, НМетАУ, г.Днепр.

Николенко Н.В. – д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой Аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, УДХТУ, г. Днепр.

Хруцкая Ю.Д. – к.т.н., доцент каф. ТМП и Х, НМетАУ, г. Днепр.

Величко В.В. – к.хим.н., доцент каф. ТМП и Х, НМетАУ, г. Днепр.

Клименко Леонид Павлович - доктор технических наук, професор, ректор Черноморского национального университета им. П.Могила.

Гожий Александр Петрович - доктор технических наук, доцент, професор кафедры компьютерной инженерии Черноморского национального университета им. П.Могила.

Андреев Вячеслав Иванович - кандидат технических наук, доцент, Черноморского национального университета им. П.Могила.

Прищепов Олег Федорович - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Черноморского национального университета им. П.Могила.

Случак Александр Юрьевич - аспирант Черноморского национального университета им. П.Могила.

Шугай Владимир Васильевич - аспирант Черноморского национального университета им. П.Могилы.

Федорович Анна Ігорівна - Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри Радіоелектронної автоматики, фізико-технічного факультету.

Замковой Олег Владимирович – аспирант каф. Электromеталлургии, НМетАУ.

Овчарук Анатолий Николаевич – д.т.н., проф. каф. Электromеталлургии, НМетАУ.

Харламов Юрий Евгеньевич – аспирант каф. Электromеталлургии, НМетАУ.

Лю Ли – зам. Начальника ВЭД SinosteelJEMECO (КНР).

Николенко Анатолий Васильевич – к.т.н., доц., каф. Электротехники и электропривода, НМетАУ.

Таран Александр Юрьевич – аспирант каф. Электromеталлургии, НМетАУ.

Харламов Вадим Юрьевич – студент НМетАУ.

Балакин Валерий Федорович - доктор техн. наук, профессор, зав. кафедры технологического проектирования НМетАУ.

Пилипенко Станислав Владимирович – к.т.н., докторант кафедры УП НМетАУ.

Гвоздева Ирина Маратовна – д.т.н., профессор, профессор кафедры электрооборудования и автоматики судов Национального университета “Одесская морская академия”.

Демиров Владислав Викторович – аспирант Национального университета “Одесская морская академия”.

Кирия Руслан Виссарионович - к.т.н., ст. научн. сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Смирнов Андрей Николаевич - к.т.н., Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., професор, заведующий кафедрой информационных технологий и систем НМетАУ.

Алпатов Анатолий Петрович – д.т.н., зав.отделом системного анализа и проблем управления Института технической механики НАНУ и НКАУ.

Гуда Антон Игоревич – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем НМетАУ.

Сухомлин Роман Александрович – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем НМетАУ.

Островська Катерина Юріївна - к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та систем НМетАУ.

Соловей М.О. - магістр кафедри інформаційних технологій та систем НМетАУ.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна - к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та систем НМетАУ.

Гнатушенко Володимир Володимирович - д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Кавац Олена Олександрівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем Національної металургійної академії України.

Кавац Юрій Віталійович – аспірант кафедри інформаційних технологій та систем Національної металургійної академії України.