

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

№2 (30) декабрь 2024 г.

Международный научно-технический журнал

Учредитель: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»

## О журнале

Журнал «Автоматизированные технологии и производства» основан в 2012 году на базе сборника «Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии», который издавался кафедрой промышленной кибернетики и систем управления (с 2013 кафедра автоматизированных систем управления - АСУ) с 2004 по 2012 год. В журнале публикуются научные статьи, посвященные автоматизированным системам в промышленности, управлению технологическими процессами и производствами, практическому применению современных методов управления. Освещаются вопросы, связанные с моделированием систем управления, разработкой промышленных тренажеров и стендов для проведения научных исследований и испытаний. Приоритетным направлением журнала является освящение результатов работ в области управления процессами черной металлургии, а также решения задач энерго- и ресурсосбережения с использованием оптимизирующих алгоритмов управления. Журнал предназначен для специалистов в области автоматизации технологических процессов, для работников производственных предприятий, эксплуатирующих системы автоматизации, проектных институтов и вузов, специализирующихся в области информационных технологий.

**Основные направления журнала:** Автоматизированные системы управления; обработка данных, информационное и программное обеспечение автоматизированных систем управления; автоматизированные технологии в образовании; математическое моделирование технологических систем и объектов управления; автоматизация контроля и испытаний; математические модели процессов в металлургии.

## Редакция и редакционный совет

### Редакционный совет

Парсункин Борис Николаевич - доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

Сарваров Анвар Сабулханович - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)

Карандаев Александр Сергеевич - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)

Логунова Оксана Сергеевна - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)

Спирин Николай Александрович - доктор технических наук, профессор (УрФУ)

Ишметьев Евгений Николаевич - доктор технических наук (ЗАО «КонсОМ СКС»)

### Редакция

*Главный редактор:*  
Андреев Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент

*Ответственный редактор*  
Самарина Ирина Геннадьевна

## Контакты

**Главный редактор:** Андреев Сергей Михайлович  
Тел.: (3519) 29-85-27  
**Редакционная коллегия:** Самарина Ирина Геннадьевна  
Тел.: (3519) 29-85-58  
E-mail: [atp@magtu.ru](mailto:atp@magtu.ru)

**Адрес редакции:** 455000, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина, 38.  
E-mail: [atp@magtu.ru](mailto:atp@magtu.ru)  
Выходит в свет 12.2024.

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

### Математическое моделирование технологических систем и объектов управления

*И.С. Щеголихин, С.М. Андреев*

Постановка задач повышения эффективности склада слябов металлургического предприятия .....

3

*В.Д. Павлов*

Математическая модель приближенного метода холостого хода для определения рассеяния обмоток трансформаторов по отдельности .....

8

### Технические средства автоматизации

*И. П. Попов*

Резонанс скоростей в мехатронных системах .....

11

*И. П. Попов*

Антирезонанс скоростей в мехатронных системах .....

14

*В. Д. Павлов*

Условия автобалансировки вибрационных механизмов с постоянным приведенным моментом инерции .....

16

### Автоматизация технологических процессов

*Е.Ю. Мухина, Т.Э. Абдулин*

Система автоматического регулирования расхода природного газа на доменную печь .....

19

### Системы автоматизации и управления

*В. В. Субботин, С. М. Андреев*

Анализ методов компьютерного зрения для распознавания объектов в промышленности .....

22

*Е.Ю. Мухина, Д.Д. Чукреев*

Автоматизация машины непрерывного литья заготовок .....

27

### Mathematic and simulation of control systems and objects

*I.S. Shchegolikhin, S.M. Andreev*

Definition of Tasks to Improve the Efficiency of the Slab Warehouse of a Metallurgical Company .....

3

*V.D. Pavlov*

Mathematical Model of Approximate Idle Circuit Method for Determining the Dissipation of Transformer Windings Individually .....

8

### Automation equipment

*I.P. Popov*

Speed Resonance in Mechatronic Systems .....

11

*I.P. Popov*

Speed Anti-Resonance in Mechatronic Systems .....

14

*V.D. Pavlov*

Conditions for Auto-Balancing Vibration Mechanisms With a Constant Moment of Inertia .....

16

### Process Automation

*E.Yu. Mukhina, T.E. Abdulin*

Automatic Control System of Natural Gas Flow to the Blast Furnace .....

19

### Control System

*V. V. Subbotin, S. M. Andreev*

Analysis of Computer Vision Methods for Object Recognition in the Industry .....

22

*E.Yu. Mukhina, D.D. Chukreev*

Automation of the Continuous Casting Machine .....

27

# ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

## Оформление

**Научные статьи**, направляемые для публикации в журнал, **должны содержать**: название статьи; - сведения об авторах (Фамилия, Инициалы; место работы, город, страна; электронный адрес), количество авторов - не более 5; аннотацию в объеме от 100 до 250 слов; перечень ключевых слов или фраз в объеме не более 7; список литературы, не менее 8 ссылок. В случае представления статьи на русском языке указанные выше пункты должны быть представлены также и в англоязычном варианте. Если в оригинале статья написана на английском языке, то дополнительно эти сведения рекомендуется привести на русском языке.

**Статью следует набирать в шаблоне**, представленном на информационной станции портала ФГБОУ ВО "МГТУ" [www.magtu.ru](http://www.magtu.ru) (раздел "Автоматизированные технологии и производства").

**Рекомендуемая структура статьи**: УДК. Аффiliation (фамилии авторов и место их работы). Название статьи. Аннотация. Ключевые слова. Введение. Методы исследования. ... Результаты. Заключение. Источник финансирования (при необходимости). Список литературы. Информация на английском (аффiliation, аннотация, ключевые слова, список литературы).

**При оформлении статьи рекомендуется придерживаться следующих правил:**

Объем рукописи статьи, оформленный в соответствии с приведенными требованиями, не должен превышать: обзорной статьи более 10 страниц; статьи более 6 страниц; краткого сообщения более 2 страниц.

**Самоцитирование**: не рекомендуется более 25% от общего числа ссылок.

**Размерности величин** выбираются и обозначаются согласно ГОСТ 8.417-2002.

**В сопровождение рукописи** статьи авторами должны быть направлены на официальный адрес электронной почты редакции журнала, следующие документы: **экспертное заключение** о возможности опубликования в открытой печати (цветной скан в формате PDF). Работы, выполненные авторами в инициативном порядке, представления экспертного заключения не требуют; **сведения об авторах** (Фамилия Имя и Отчество полностью, ученая степень и ученое звание, место работы, город, страна, электронный адрес) с указанием одного из авторов, который будет взаимодействовать с редакцией.

## Пример оформления

УДК 681.5.015.32

### ДОСТОВЕРНОЕ И ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Б.Н. Парсункин<sup>1</sup>, Т.Г. Сухоногова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

<sup>2</sup> [tgobuhova@gmail.com](mailto:tgobuhova@gmail.com)

**Аннотация.** В работе рассмотрена математическая модель программной реализации достоверного и оперативного метода определения значений динамических параметров управляемого технологического процесса для определения динамических параметров настройки микропроцессорных контуров управления в условиях интенсивного негативного воздействия технологических и организационных возмущений, характерных для реального производства. Эффективное решение поставленной задачи обеспечивается использованием уникальных свойств ортогональных функций Уолша, позволяющих формирование таких планов тестирующих воздействий, которые полностью компенсируют негативное влияние возмущающих воздействий на интегральную оценку отклика (реакцию) управляемого параметра на тестирующее входное воздействие. Использование предлагаемого метода особенно целесообразно при решении многих практических задач, когда необходимо получать достоверные результаты в условиях действия различных возмущающих факторов влияющих на точность определяемого параметра.

**Ключевые слова:** динамические параметры объекта управления, определение параметров объекта, функция Уолша, компенсация возмущений, тестирующие воздействия, интегральная оценка.

#### Введение

При адаптации современного микропроцессорного регулирующего комплекса (МРК) к управляемому технологическому процессу приоритетной задачей является оперативное и достоверное определение динамических параметров объектов управления: коэффициента передачи объекта  $K_{об}$ , постоянной

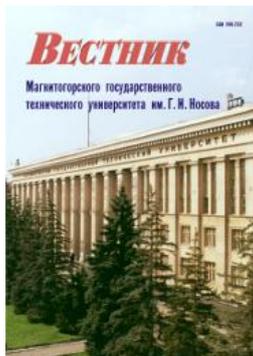
Например, кривые разгона по температуре поверхности нагреваемой заготовки в первой сварочной зоне методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК» (до реконструкции) при различных величинах расхода природного газа во второй сварочной зоне представлены на рис. 1. [2]. Динамические параметры, полученные при обработке экспериментальных кривых разгона на рис. 1 представлены в табл. 1. В зависимости от условий работы

## Предоставление материалов

Для опубликования статьи в журнале необходимо представить в электронном виде по e-mail: [atp@magtu.ru](mailto:atp@magtu.ru) текст статьи, сведения об авторах и экспертное заключение о возможности опубликования.

За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор. Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции. При перепечатке ссылка на «Автоматизированные технологии и производства» обязательна.

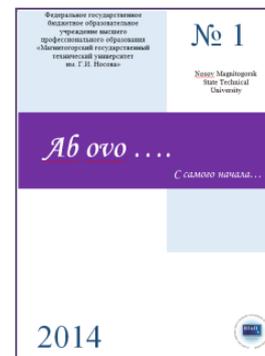
## Другие рекомендуемые периодические издания



Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова



Электротехнические системы и комплексы



Журнал молодых исследователей: магистров и аспирантов



Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах

УДК 65.011.56

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКЛАДА СЛЯБОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

И.С. Щеголихин, С.М. Андреев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск, Россия

**Аннотация.** Склад слябов является неотъемлемой частью металлургических предприятий, имеющих в своем распоряжении машину непрерывного литья заготовок и прокатный стан. В таком случае, склад слябов служит связующим звеном для двух технологических процессов: непрерывного литья и горячей прокатки. В процессе складирования слябы помещаются в штабеля на склад слябов, после чего извлекаются в заданной последовательности для отправки к прокатному стану. Операции над слябами совершаются при помощи мостовых кранов. Эффективность склада слябов во многом зависит от количества и типа операций, совершаемых мостовыми кранами. Авторами предложена модель процессов IDEF-0 процесса складирования слябов, на основе которой выделяются основные задачи, возникающие при складировании слябов. На основе полученной информации формулируются задачи, чье решение приведет к повышению эффективности склада слябов.

**Ключевые слова:** складирование, сляб, непрерывнолитая заготовка, эффективность

### ВВЕДЕНИЕ

Металлургические предприятия, специализирующиеся на производстве непрерывнолитой стали, могут также иметь прокатный стан. В таком случае, слябы, произведенные при помощи машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), должны быть помещены на специализированный склад. На этом складе при помощи мостовых кранов непрерывнолитые заготовки укладываются в штабеля. Штабеля представляют собой места хранения FIFO (First-In-First-Out). Затем из штабелей слябы извлекаются и направляются на горячую прокатку. Как правило, один сляб будет прокатан в один рулон стали. Для металлургического предприятия этот рулон может быть либо готовой продукцией, либо ресурсом для следующего технологического процесса.

Последовательность поступления слябов на склад известна заранее и не подлежит изменению в ходе складирования и задается графиком непрерывного литья. Аналогично, последовательность извлечения слябов задается графиком прокатки и в процессе складирования не изменяется. Мостовые краны должны выполнить операции, достаточные для помещения слябов на склад слябов в соответствии с графиком непрерывного литья и для извлечения слябов со склада в соответствии с графиком прокатки [1]. Время выполнения операций над одним слябом может исчисляться десятками минут, т.к. в среднем: скорость перемещения крана 2 м/м; скорость каретки 1 м/м; скорость подъема груза 0.5 м/м - а размер зоны складирования может превышать в длину сотни метров.

Расположение слябов на складе может быть произвольным. Зачастую оно выбирается на основе опыта про-

фессиональных кадров. Однако от этого расположение зависит тип и количество операций, выполняемых мостовыми кранами. Особенно затратными являются операции перекалывания слябов, возникающие в том случае, если на прокатку требуется доставить сляб, находящийся не на вершине штабеля. Вообще, если на прокатку требуется отправить сляб, над которым лежит  $k$  слябов, то требуется как минимум  $k$  операций перекалываний.

### ОБЗОР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На данный момент процесс складирования непрерывнолитых заготовок, с научной точки зрения, слабо освещен. Имеется небольшое число исследователей, постоянно развивающих эту область, преимущественно из Китая. Такое положение дел обусловлено высоким уровнем развитием металлургии в этой стране, а также повсеместной цифровизации производства, делающей возможной автоматизацию тяжелой промышленности. Однако интерес к этой области в научных кругах увеличивается.

Одна из первых научных работ [2] в области складирования непрерывнолитых заготовок посвящена оптимизации задачи выбора слябов для графика горячей прокатки. Tang и др. приводят математическую модель рассматриваемой задачи, затем ставят целью минимизировать число перекалываний слябов при их извлечении. Для достижения поставленной цели авторами разработан эвристический алгоритм локального поиска.

Развитием предыдущей научной работы является работа [3] тех же авторов. Они исследуют ту же задачу: выбора слябов для графика горячей прокатки. Авторы используют ранее полученную математическую модель, однако минимизация целевой функции достигается за счет генетического алгоритма.

Все те же авторы также исследовали задачу минимизации излишка слябов [4]. Авторы решают задачу выбора

слябов для графика горячей прокатки с целью минимизировать стоимость излишка слябов на складе. Поставленная цель достигается за счет использования точного метода оптимизации «ветвей и цены», который может быть применен для задачи среднего размера.

Ren H. Z. Tang L. X. развивая решение задачи выбора слябов для графика горячей прокатки рассматривают дополнительные ограничения на предел загрузки мостовых кранов на каждом участке склада [5] предлагают модель целочисленного программирования рассматриваемой задачи, при помощи которой производится минимизация числа перекладываний слябов.

Tang L. в своей работе [6] решает задачу выбора слябов для элементов графика горячей прокатки с целью минимизировать число перекладываний. Автор сводит задачу к линейному целочисленному программированию. Также одновременно с ранее упомянутой задачей решается задача составления расписания кранов для графика горячей прокатки. Это одна из первых попыток получить интегрированное решение этих двух задач.

Cheng и Tang в своей последующей работе [7] усложняют задачу выбора слябов для графика горячей прокатки и рассматривают два связанных склада слябов, находящихся в непосредственной близости друг к другу. Авторами ставится задача минимизации числа перекладывания слябов и балансировки нагрузки на мостовые краны этих двух складов. Для решения поставленной задачи используется эвристический алгоритм локального поиска «Поиск с запретами».

Zhao, Liu, Tang и др. в своем исследовании [8] исследуют задачу составления расписания кранов для непрерывного литья и горячей прокатки для мостовых кранов, способных за один раз поднимать два и более слябов. Задачи решаются с целью минимизировать число перекладываний слябов. Для достижения поставленной цели ими применяется дифференциальный генетический алгоритм в совокупности с динамическим программированием. Получаемые решения являются приближенными к оптимальным.

Вклад Tang и его соавторов в данной области велик. На основе его математической модели для задачи выбора слябов для графика горячей прокатки предложен параллельный генетический алгоритм [9] для минимизации числа перекладываний слябов.

Задача распределения мест хранения в работе [10] с целью минимизировать нижнюю границу числа перекладываний слябов при их последующем извлечении. Автором предложена модель целочисленного программирования для этой задачи.

В работах [11-12] произведено исследование интегрированной задачи составления расписания кранов для графика непрерывного литья с задачей распределения мест хранения на складе. Рассмотрена многокритериальная оптимизация с двумя целевыми функциями. Эвристическое решение получается за счет использования модифицированного генетического алгоритма многокритериальной оптимизации NSGA-II.

#### ПРОЦЕСС СКЛАДИРОВАНИЯ СЛЯБОВ

В качестве исходных данных для организации процесса складирования непрерывнолитых заготовок необходи-

мо предоставить текущее расположение слябов на складе, график непрерывного литья и график горячей прокатки. Результатом данного процесса является расписания кранов для графиков непрерывного литья и горячей прокатки. В нотации IDEF0 на 0 уровне процесс складирования непрерывнолитых заготовок представлен на Рис. 1.

Процесс складирования может быть представлен как совокупность следующих задач: назначение мест хранения поступающим слябам с участка непрерывной разливки в соответствии с графиками непрерывного литья; составление расписания кранов для графика непрерывного литья; выбор слябов со склада для элементов графика горячей прокатки; составление расписания кранов для графика горячей прокатки.

Первый уровень декомпозиции процесса складирования непрерывнолитых заготовок показан на Рис. 2.

Места хранения поступающим с МНЛЗ слябам назначаются заранее (до того, как они поступят на рольганг). Места хранения представляют собой номер штабеля и уровень в этом штабеле. Сляб, который находится на складе, однозначно определяется его местом хранения.

Расписание кранов для графика непрерывного литья ставит в соответствии поступающему слябу один из доступных мостовых кранов. Также для выбранного крана назначается время, когда должна быть совершена операция перемещения сляба на место хранения.

Для каждого элемента графика горячей прокатки существует множество доступных слябов (как минимум 1) на складе. Выбор сляба для каждого элемента графика прокатки задает последовательность извлечения слябов со склада.

Составление расписания кранов для графика прокатки идентично расписания кранов для графика разливки с тем отличием, что определяющим элементом является выбранные слябы при решении предыдущей задачи.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СКЛАДИРОВАНИЯ СЛЯБОВ

Четырьмя основными задачами, возникающими на складе, являются: распределение мест хранения; составление расписания кранов для графика непрерывного литья; выбор слябов для графика горячей прокатки; составление расписания кранов для графика горячей прокатки.

Так как слябы укладываются в штабеля, то извлечение сляба, не лежащего на вершине штабеля требует перекладываний слябов, расположенных над ним, в другие штабеля. Решение каждой из этих задач определяет сколько перекладываний слябов будет совершено мостовыми кранами и сколько времени на это потребуется. Операции перекладывания являются затратными с точки зрения времени и износа оборудования, поэтому их требуется минимизировать. На большинстве складов непрерывнолитых заготовок сформулированные задачи решаются работниками склада на основе их профессионального опыта, что, очевидно, не может носить оптимальный характер.

При распределении мест хранения для заданного графика горячего литья необходимо однозначно определить для каждого поступающего на склад сляба штабель и уровень в этом штабеле. Также требуется определить точное время начала назначенной операции для конкретного крана. Между кранами должно быть безопасное расстояние

(выраженное в штабелях или метрически). Доказано, что данная задача относится к классу NP-полных, что обу-

славливает сложность получения точного решения



Рис. 1. Диаграмма верхнего уровня процесса складирования слябов

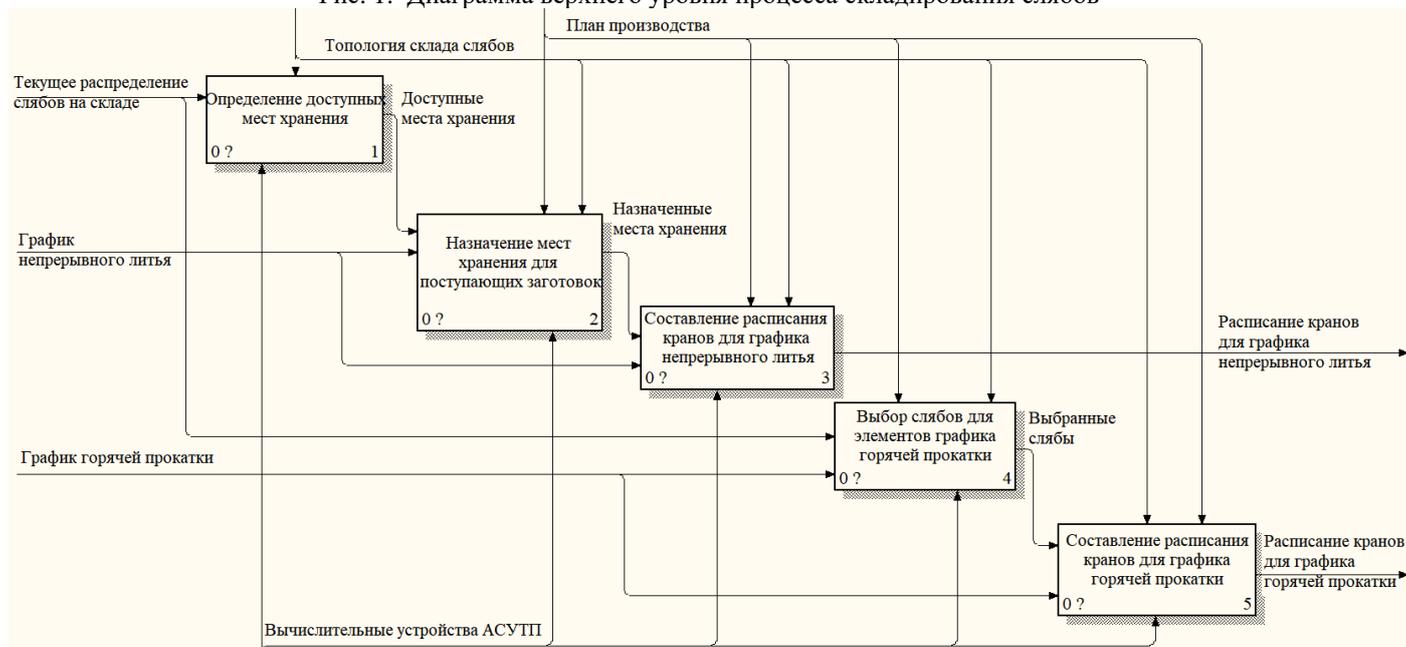


Рис. 2. Декомпозиции диаграммы верхнего уровня процесса складирования слябов

за приемлемое время. Существующие работы, посвященные данной проблеме, в основном относятся к складу паллет или складу трансатлантических контейнеров, а число научных исследований, посвященных решению данной задачи применительно именно к складу слябов невелико. Склад непрерывнолитых заготовок обладает своими особенностями и разительно отличается от склада паллет, т.к. операции складирования, выполняемые мостовыми кранами, могут потребовать несколько манипуляций над слябами и кранам не требуется выстраивать специальным образом свой маршрут через вертикальный и горизонтальный проходы к слябам, что нивелирует значимость планировки склада. Рассматриваемый склад также отличен от склада трансатлантических контейнеров, например, высотой штабеля и топологией самого склада.

Задача составления расписания кранов для графиков литья и прокатки заключается в том, чтобы каждому слябу (поступающему на склад или извлекаемому со склада) поставить в соответствие один из допустимых мостовых кранов и определить точное время, когда операции над этими слябами должны быть выполнены. Кроме того, если в одном блоке склада могут находиться несколько мостовых кранов, то необходимо учитывать минимальное допустимое безопасное расстояние между ними. Данные задачи также являются NP-полными. Как и в случае с задачей распределения мест хранения, для задач составления расписания кранов для графиков непрерывного литья и горячей прокатки имеется небольшое количество научных трудов, число которых на русском языке, на данный момент, практически равно нулю. В каких-то из имеющихся исследований рассматривается только составление распи-

сания кранов для графика непрерывного литья, в каких-то только для графика горячей прокатки и лишь в нескольких эти две задачи рассмотрены комплексно. Также практически не исследованными остаются задачи с мостовыми кранами, способными переносить более одного сляба за раз. Можно с уверенностью сказать, что эти две задачи требуют подробного изучения в их взаимосвязи с остальными двумя задачами.

Задача выбора слябов для графика горячей прокатки заключается в назначении каждому элементу графика горячей прокатки определенного сляба из множества доступных, что задает последовательность извлечения непрерывнолитых заготовок со склада. В соответствие с известной классификацией [13] такие задачи бывают, в общем случае, следующих типов: сортированные заказы (последовательность извлечения слябов важна) и несортированные заказы (последовательность извлечения слябов не важна); заказы могут быть однопериодные (элементы заказов могут обрабатываться в любое время) и многопериодные (элементы заказов должны обрабатываться в строго заданные временные интервалы (часы/дни/недели и т.д.)); с множеством слябов на основе типологии (на основе физических/химических характеристик). Для таких множеств верно, что они попарно не пересекаются, т.е. сляб принадлежит лишь одному «типологическому множеству»; Классификация на основе заказа означает, что порядок извлечения слябов задается на основе производственных заказов; с перекладываниями с позиционированием требуют возврата переложенных на другие штабели сляба (возврат может осуществляться или после извлечения всех слябов из целевого штабеля или сразу после одного/нескольких извлечений); с перекладываниями без позиционирования не требуют возврата сляба в целевой штабель после перекладывания; однопролетный и многопролетный склад; Склад, со ограниченными штабелями и без ограниченных штабелей. Если хранение слябов на штабелях определяется рядом условий, то такие штабели ограничены; задачи с временным ограничением на слябы. Такие задачи требуют, чтобы заданный сляб был извлечен не позже заданного временного интервала; Задачи с общим ограничением по времени. Такие задачи требуют лишь срока выполнения всего заказа. Из всех четырех задач, именно задача выбора слябов является наиболее изученной, однако общее число научных трудов также не велико, а на русском языке их практически нет. Имеет место быть то же замечание что и для задач составления расписания кранов: требуются системные исследования сформулированной задачи в своей связи с тремя остальными.

Таким образом, для повышения эффективности работы склада слябов металлургического предприятия необходимо решить следующие задачи: разработка эвристического алгоритма оптимального распределения мест хранения; создание математической модели для процесса складирования слябов; создание эвристического алгоритма составления расписания кранов для графиков горячей прокатки и непрерывного литья.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами рассмотрен склад слябов металлургического предприятия. Произведен обзор наиболее значимой научной литературы, посвященной повышению эффективности склада слябов.

Рассмотрен процесс складирования слябов. Для данного процесса составлена диаграмма верхнего уровня в нотации IDEF-0, которая была декомпозирована в диаграмму второго уровня в нотации IDEF-0.

На основе проделанной аналитической работы авторами выделены основные виды задач, возникающий в процессе складирования слябов, и сформулированы задачи, решение которых приводит к повышению эффективности склада слябов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Щеголихин И. С., Андреев С.М. Математическая модель расписания кранов для графика горячей прокатки непрерывнолитых заготовок на складе слябов // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1(29). С. 13-16.
2. Tang L. и др. An effective heuristic algorithm to minimize stack shuffles in selecting steel slabs from the slab yard for heating and rolling // J. Oper. Res. Soc. 2001. Т. 52. № 10. С. 1091–1097.
3. Tang L. и др. Modelling and a genetic algorithm solution for the slab stack shuffling problem when implementing steel rolling schedules // Int. J. Prod. Res. 2002. Т. 40. № 7. С. 1583–1595.
4. Zheng Y., Tang L. A branch-and-price algorithm for the dynamic inventory slab allocation problem in the steel industry // Proceedings of the 2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, CSO 2009. , 2009. С. 867–870.
5. Ren H. Z., Tang L. X. Study on modelling and optimization method for the slab stack shuffling problem considering area crane capacity // Zidonghua Xuebao/ Acta Autom. Sin. 2010. Т. 36. № 4.
6. Ren H., Tang L. Modeling and an ILP-based algorithm framework for the slab stack shuffling problem considering crane scheduling // 2010 International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering, CCIE 2010. , 2010. С. 3–6.
7. Cheng X., Tang L. A scatter search algorithm for the slab stack shuffling problem // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). , 2010. С. 382–389.
8. Zhao G. и др. Model and Heuristic Solutions for the Multiple Double-Load Crane Scheduling Problem in Slab Yards // IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. 2020. Т. 17. № 3. С. 1307–1319.
9. Singh K. A., Srinivas, Tiwari M. K. Modelling the slab stack shuffling problem in developing steel rolling schedules and its solution using improved Parallel Genetic Algorithms // Int. J. Prod. Econ. 2004. Т. 91. № 2. С. 135–147.
10. Lu C., Zhang R., Liu S. A 0-1 integer programming model and solving strategies for the slab storage problem // Int. J. Prod. Res. 2016. Т. 54. № 8. С. 2366–2376.
11. Liang Y. и др. Unmanned Cranes Scheduling and System Implementation of a CPS-based Steel Slab Yard //

---

---

Proceedings of the 2021 IEEE 24th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2021. , 2021. С. 997–1002.

12. Peng G. и др. Integrated optimization of storage location assignment and crane scheduling in an unmanned slab yard // *Comput. Ind. Eng.* 2021. Т. 161.

13. Bruno G. и др. A unifying framework and a mathematical model for the Slab Stack Shuffling Problem // *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 2023. Т. 14. № 1. С. 17–32.

## DEFINITION OF TASKS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE SLAB WAREHOUSE OF A METALLURGICAL COMPANY

I.S. Shchegolikhin, S.M. Andreev

G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract.** Slab warehouse is essential for steel companies that have a continuous casting machine and a rolling mill. In this case, the slab warehouse acts as a link for two technological processes: continuous casting and hot rolling. During the storage process, slabs are stacked in the slab warehouse and then retrieved in a defined sequence for transportation to the rolling mill. The slabs are moved by bridge cranes. The efficiency of slab warehouse largely depends on the quantity and type of operations performed by bridge cranes. The authors have proposed the IDEF-0 process model of the slab warehousing process, which is used to identify the main tasks arising in slab warehousing. On the basis of the obtained information, problems are formulated, whose solution will result in increasing the efficiency of slab warehousing.

**Keywords:** warehousing, slab, continuous cast billet, efficiency

### REFERENCES

1. Shchegolikhin I. S., Andreev S. M. Matematicheskaya model' raspisaniya kranov dlya grafika goryachej prokatki nepreryvnykh zagotovok na sklade slyabov [Mathematical model of crane scheduling for the schedule of hot rolling of continuous cast billets in the slab warehouse]. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automated technology and industries]. 2024. no. 1(29). pp. 13-16.

2. Tang L., Liu J., Rong A., Yang Z. An effective heuristic algorithm to minimise stack shuffles in selecting steel slabs from the slab yard for heating and rolling // *J. Oper. Res. Soc.* 2001. vol. 52. no. 10. pp. 1091–1097.

3. Tang L., Liu J., Rong A., Yang Z. Modelling and a genetic algorithm solution for the slab stack shuffling problem when implementing steel rolling schedules // *Int. J. Prod. Res.* 2002. vol. 40. no. 7. pp. 1583–1595.

4. Zheng Y., Tang L. A branch-and-price algorithm for the dynamic inventory slab allocation problem in the steel industry // *Proceedings of the 2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, CSO 2009.* , 2009. pp. 867–870.

5. Ren H. Z., Tang L. X. Study on modelling and optimization method for the slab stack shuffling problem considering area crane capacity // *Zidonghua Xuebao/ Acta Autom. Sin.* 2010. vol. 36. no. 4.

6. Ren H., Tang L. Modeling and an ILP-based algorithm framework for the slab stack shuffling problem considering crane scheduling // *2010 International Conference on Compu-*

*ting, Control and Industrial Engineering, CCIE 2010.* , 2010. pp. 3–6.

7. Cheng X., Tang L. A scatter search algorithm for the slab stack shuffling problem // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics).* , 2010. pp. 382–389.

8. Zhao G., Liu J., Tang L., Zhao R., Dong Y. Model and Heuristic Solutions for the Multiple Double-Load Crane Scheduling Problem in Slab Yards // *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 2020. vol. 17. no. 3. pp. 1307–1319.

9. Singh K. A., Srinivas, Tiwari M. K. Modelling the slab stack shuffling problem in developing steel rolling schedules and its solution using improved Parallel Genetic Algorithms // *Int. J. Prod. Econ.* 2004. vol. 91. no. 2. pp. 135–147.

10. Lu C., Zhang R., Liu S. A 0-1 integer programming model and solving strategies for the slab storage problem // *Int. J. Prod. Res.* 2016. vol. 54. no. 8. pp. 2366–2376.

11. Liang Y., Peng G., Wu Y., Yang G. Unmanned Cranes Scheduling and System Implementation of a CPS-based Steel Slab Yard // *Proceedings of the 2021 IEEE 24th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2021.* , 2021. pp. 997–1002.

12. Peng G., Wu Y., Zhang C., Shen W. Integrated optimization of storage location assignment and crane scheduling in an unmanned slab yard // *Comput. Ind. Eng.* 2021. vol. 161.

13. Bruno G., Cavola M., Diglio A., Piccolo C. A unifying framework and a mathematical model for the Slab Stack Shuffling Problem // *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 2023. vol. 14. no. 1. pp. 17–32.

---

Щеголихин, И.С. Постановка задач повышения эффективности склада слябов металлургического предприятия / И.С. Щеголихин, С.М. Андреев // *Автоматизированные технологии и производства.* 2024. №2(30). С.3-7.

I.S. Shchegolikhin, S.M. Andreev Definition of Tasks to Improve the Efficiency of the Slab Warehouse of a Metallurgical Company. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automated technologies and production], 2024. no.2(30), pp.3-7. (In Russian).

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДА ХОЛОСТОГО ХОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССЕЯНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ОТДЕЛЬНОСТИ

В.Д. Павлов

Владимирский электромеханический завод, Владимир, Россия

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

**Аннотация.** Исследование имеет своей целью обоснование экспериментального метода определения реактивных сопротивлений рассеяния для каждой обмотки в отдельности. Актуальность работы обусловлена повсеместным распространением трансформаторов. Метод заключается в том, что у двух идентичных трансформаторов последовательно соединяются первичные обмотки. Величины  $r_1$ ,  $r'_2$ ,  $x_k = x_1 + x'_2$  определяются известными экспериментальными методами. Измеряют и «приводят» величины:  $I_{01}$ ,  $U'_{bd}$ ,  $r_1$ ,  $r'_2$ ,  $x_k$ . Определяют  $z_1$ . Определяют  $x_1$ . Определяют  $x'_2$ . Недостатком приближенного метода холостого хода при последовательном соединении по сравнению с высокоточными методами является необходимость наличия двух идентичных трансформаторов, а его сравнительным достоинством – простота экспериментов. Установлено, что сопротивления рассеяния обмоток трансформатора по отдельности измерить можно, причем, несколькими способами. Предложенный (четвертый) способ характеризуется простотой и удовлетворительной точностью результатов.

**Ключевые слова:** сопротивление, активное, реактивное, полное, измерение, напряжение, ток.

В работах [1-3] представлены три способа экспериментального определения реактивных сопротивлений рассеяния трансформатора для каждой обмотки по отдельности.

До этого считалось, что такая операция невозможна, и поэтому измерялось суммарное сопротивление обеих обмоток, а результат делился пополам и приписывался каждой обмотке. Это приводило к существенным ошибкам, поскольку почти в любом случае эти сопротивления различаются. При этом цилиндрические концентрические обмотки даже имеют противоположный характер реактивности. На рис. 1 представлено распределение поля рассеяния в радиальном направлении (магнитной индукции  $B$  ( $B^2$ )) для этого случая.

Отрицательное (емкостное) сопротивление характерно для внутренней цилиндрической обмотки. Оно обусловлено тем, что для нее собственный поток рассеяния меньше потока поглощения от внешней обмотки (разница отрицательная). Отрицательным (емкостным) сопротивлением могут обладать не только конденсаторы [4-8].

Для других видов обмоток, например, отдельных (расположенных на разных стержнях), сопротивление рассеяния носит индуктивный характер для обеих обмоток.

Исследование имеет своей целью обоснование четвертого экспериментального метода определения реактивных сопротивлений рассеяния для каждой обмотки в отдельности.

Актуальность работы обусловлена повсеместным распространением трансформаторов.

**Приближенный метод холостого хода при последовательном соединении.** У двух идентичных трансформаторов последовательно соединяются

первичные обмотки. В результате схема принимает вид, представленный на рис. 2.

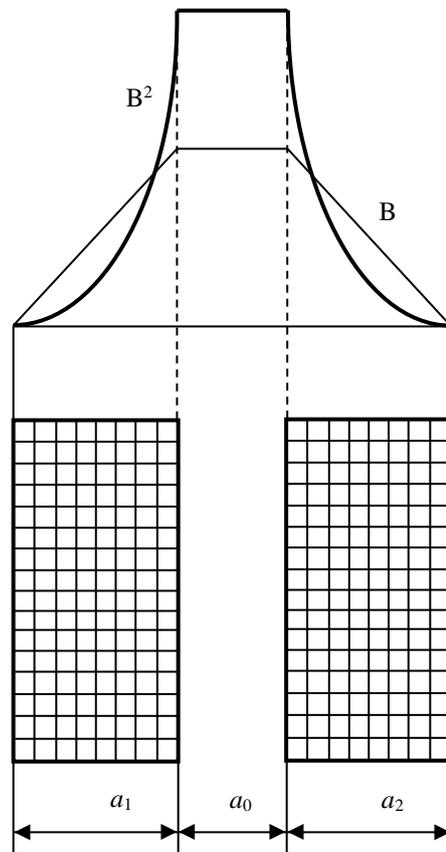


Рис. 1. Распределение поля рассеяния в радиальном направлении

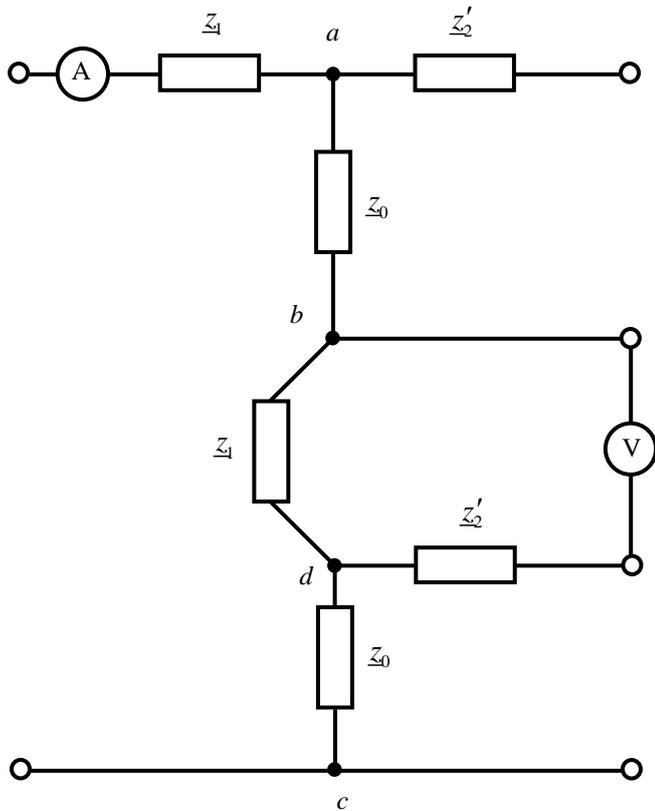


Рис. 2. Схема замещения для последовательного соединения (XX)

Из схемы замещения непосредственно следует, что

$$z_1 = \frac{U'_{bd}}{I_{01}}. \quad (1)$$

Величины  $r_1$ ,  $r_2'$ ,  $x_k = x_1 + x_2'$  определяются известными экспериментальными методами.

$$\begin{aligned} x_1 &= \sqrt{z_1^2 - r_1^2}, \\ x_2' &= x_k - x_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Способ экспериментального (приближенного) определения параметров трансформатора (XX)

1. Два идентичных трансформатора соединяют по схеме в соответствии с рис. 2.

2. Измеряют и «приводят» величины:  $I_{01}$ ,  $U'_{bd}$ ,  $r_1$ ,  $r_2'$ ,  $x_k$ .

3. В соответствии с (1) определяют  $z_1$ .

3. Определяют  $x_1$ .

4. В соответствии с (2) определяют  $x_2'$ .

*Пример.* Два идентичных трансформатора ОСМ-1,00 соединены по схеме в соответствии с рис. 2. Измеренные величины:  $I_{01} = 0,4$  А;  $U'_{bd} = 0,441$  В;  $r_1 = 1,1$  Ом;  $r_2' = 0,2$  Ом;  $x_k = 0,52$  Ом.

$$z_1 = \frac{U'_{bd}}{I_{01}} = \frac{0,441}{0,4} = 1,103 \text{ (Ом)},$$

$$x_1 = \sqrt{z_1^2 - r_1^2} = \sqrt{1,103^2 - 1,1^2} = -0,08 \text{ (Ом)},$$

$$x_2' = x_k - x_1 = 0,52 - (-0,08) = 0,6 \text{ (Ом)}.$$

Эти значения хорошо соответствуют результатам других экспериментальных методов

$$x_1 = -0,081; -0,080; -0,07 \text{ (Ом)},$$

$$x_2' = 0,562; 0,559; 0,59 \text{ (Ом)} \quad [1-3].$$

Недостатком приближенного метода холостого хода при последовательном соединении по сравнению с высокоточными методами является необходимость наличия двух идентичных трансформаторов, а его сравнительным достоинством – простота экспериментов.

**Оценка достоверности значений сопротивлений рассеяния.** В соответствии с [1-3]

$$\frac{x_2'}{x_1} = -\frac{a_1/2 + a_0 + a_2/3}{a_1/6},$$

где  $a_1, a_0, a_2$  – величины, указанные на рис. 1. Пусть, например,  $a_1 = 3a_0 = a_2 = a$ . При этом

$$\frac{x_2'}{x_1} = -\frac{a/2 + a/3 + a/3}{a/6} = -7.$$

Для величин из приведенного примера

$$\frac{x_2'}{x_1} = -\frac{0,6 \text{ Ом}}{0,08 \text{ Ом}} = -7,5.$$

Таким образом, полученные значения сопротивлений рассеяния представляются достоверными.

Сопротивления рассеяния обмоток трансформатора по отдельности измерить можно, причем, несколькими способами.

Предложенный (четвертый) способ характеризуется простотой и удовлетворительной точностью результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов В.Д. Математическая модель высокоточного метода холостого хода определения рассеяния обмоток трансформатора по отдельности // Автоматизированные технологии и производства. 2021. № 2 (24). С. 11–13.
2. Павлов В.Д. Математическая модель высокоточного метода короткого замыкания для определения рассеяния обмоток трансформатора по отдельности // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 1 (25). С. 14–16.
3. Павлов В.Д. Математическая модель метода короткого замыкания двух последовательно соединенных трансформаторов для определения рассеяния обмоток по отдельности // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 2 (26). С. 4–6.
4. Попов И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации // Автоматизированные технологии и производства. 2019. № 1 (19). С. 18-20.
5. Попов И.П. Учет амплитудно-частотных особенностей режимов нагрузки синхронной электрической машины в составе автоматизированного привода // Автоматизированные технологии и производства. 2021. № 1 (23). С. 12–15.
6. Попов И.П. Инертно-индуктивные колебания в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 1 (25). С. 23–25.
7. Попов И.П. Автоматическое секвестирование реактивной мощности в сети // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 2 (26). С. 16–18.

## MATHEMATICAL MODEL OF APPROXIMATE IDLE CIRCUIT METHOD FOR DETERMINING THE DISSIPATION OF TRANSFORMER WINDINGS INDIVIDUALLY

V.D. Pavlov

Vladimir Electromechanical Plant, Vladimir, Russia

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

**Abstract.** The study aims to substantiate the experimental method for determining the leakage reactance for each winding separately. The relevance of the work is due to the widespread use of transformers. The method consists in connecting the primary windings of two identical transformers in series. The quantities  $r_1$ ,  $r_2'$ ,  $x_k = x_1 + x_2'$  are determined by known experimental methods. The quantities are measured and “given”  $I_{01}$ ,  $U'_{bd}$ ,  $r_1$ ,  $r_2'$ ,  $x_k$ . Define  $z_1$ . Define  $x_1$ . Define  $x_2'$ . The disadvantage of the approximate no-load method with a series connection compared to high-precision methods is the need for two identical transformers, and its comparative advantage is the simplicity of experiments. It has been established that the leakage resistance of the transformer windings can be measured individually in several ways. The proposed (fourth) method is characterized by simplicity and satisfactory accuracy of the results.

**Keywords:** resistance, active, reactive, total, measurement, voltage, current.

### REFERENCES

1. Pavlov V.D. Mathematical model of a high-precision no-load method for determining the dissipation of transformer windings individually [Matematicheskaya model' vysokotochnogo metoda kholostogo khoda opredeleniya rasseyaniya obmotok transformatora po otdel'nosti]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2021, no. 2 (24), pp. 11–13. (In Russian).
2. Pavlov V.D. Mathematical model of a high-precision short-circuit method for determining the dissipation of transformer windings individually [Matematicheskaya model' vysokotochnogo metoda korotkogo zamykaniya dlya opredeleniya rasseyaniya obmotok transformatora po otdel'nosti]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 1 (25), pp. 14–16. (In Russian).
3. Pavlov V.D. Mathematical model of the method of short circuiting two series-connected transformers to determine the dissipation of the windings separately [Matematicheskaya model' metoda korotkogo zamykaniya dvukh posledovatel'no soyedinennykh transformatorov dlya opredeleniya rasseyaniya obmotok po otdel'nosti]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 2 (26), pp. 4–6. (In Russian).
4. Popov I.P. Spontaneous elastic-inductive vibrations in technical automation equipment [Spontannyye uprugoinduktivnyye kolebaniya v tekhnicheskikh sredstvakh avtomatizatsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Au-*

*tomated technologies and production]*, 2019, no. 1 (19), pp. 18–20. (In Russian).

5. Popov I.P. Taking into account the amplitude-frequency characteristics of the load modes of a synchronous electric machine as part of an automated drive [Uchet amplitudno-chastotnykh osobennostey rezhimov nagruzki sinkhronnoy elektricheskoy mashiny v sostave avtomatizirovannogo privoda]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2021, no. 1 (23), pp. 12–15. (In Russian).

6. Popov I.P. Inertial-inductive oscillations in mechatronic systems [Inertno-induktivnyye kolebaniya v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 1 (25), pp. 23–25. (In Russian).

7. Popov I.P. Automatic sequestration of reactive power in the network [Avtomaticheskoye sekvestirovaniye reaktivnoy moshchnosti v seti]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 2 (26), pp. 16–18. (In Russian).

8. Popov I.P. Taking into account the instantaneous torque values of a synchronous electric machine under a reactive load for the purposes of CAD of an automated drive [Uchet mgnovennykh znacheniy momenta sinkhronnoy elektricheskoy mashiny pri reaktivnoy nagruzke dlya tseley SAPR avtomatizirovannogo privoda]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2023, no. 1 (27), pp. 11–13. (In Russian).

Павлов, В.Д. Математическая модель приближенного метода холостого хода для определения рассеяния обмоток трансформаторов по отдельности // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.8-10.

V.D. Pavlov Mathematical Model of Approximate Idle Circuit Method for Determining the Dissipation of Transformer Windings Individually. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no.2(30), pp.8-10. (In Russian).

УДК 531.391

РЕЗОНАНС СКОРОСТЕЙ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ

И.П. Попов

Курганский государственный университет, Курган, Россия

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

**Аннотация.** В установившемся режиме при гармонических воздействиях удобно использовать комплексное представление величин. Рассматривается последовательное соединение потребителей механической мощности и источник скорости. Показано, что амплитуда импульса  $P$  имеет максимум на частоте  $\omega_m$  ( $\omega_m < \omega_0$ ), амплитуда силы  $F$  – на частоте  $\omega_0$ , амплитуда производной силы  $B$  – на частоте  $\omega_k$  ( $\omega_k > \omega_0$ ). Амплитуда скорости инертного элемента  $V_m$  имеет максимум на частоте  $\omega_m$ , амплитуда скорости изменения длины упругого элемента  $V_k$  – на частоте  $\omega_k$ . На частоте  $\omega_0$  имеет место резонанс скоростей, при котором (реактивные) скорости  $V_m$  и  $V_k$  равны и противоположны, а их сумма, соответственно, равна нулю. Величина адмитанса механической системы, характеризующего ее свойство не оказывать сопротивление приводу, понуждающему ее совершать колебания, на частоте  $\omega_0$  имеет минимальное значение.

**Ключевые слова:** последовательное соединение, источник скорости, резонанс скорости инертного элемента, резонанс скорости изменения длины упругого элемента, скорости изменения длины резистивного элемента.

В установившемся режиме при гармонических воздействиях удобно использовать комплексное представление величин [1].

Далее рассматривается последовательное соединение потребителей механической мощности и источник скорости (рис. 1).

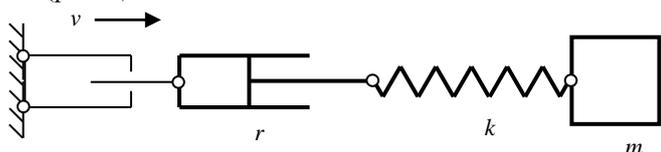


Рис. 1. Последовательное соединение потребителей механической мощности и источник скорости

Комплексная амплитуда силы [1] равна

$$\dot{F} = \frac{\dot{V}}{y} = \frac{V}{y} e^{-i\varphi} = F e^{-i\varphi}. \quad (1)$$

Комплексная амплитуда скорости инертного элемента

$$\dot{V}_m = \underline{b}_m \dot{F} = b_m F e^{-i(\pi/2+\varphi)} = V_m e^{-i(\pi/2+\varphi)}. \quad (2)$$

Комплексная амплитуда скорости изменения длины упругого элемента –

$$\dot{V}_k = \underline{b}_k \dot{F} = b_k F e^{i(\pi/2-\varphi)} = V_k e^{i(\pi/2-\varphi)}. \quad (3)$$

Комплексная амплитуда скорости изменения длины резистивного элемента –

$$\dot{V}_r = \underline{g} \dot{F} = g F e^{-i\varphi} = V_r e^{-i\varphi}. \quad (4)$$

Разумеется,

$$\dot{V}_m + \dot{V}_k + \dot{V}_r = \dot{V}. \quad (5)$$

Из (2) следует выражение для комплексной амплитуды импульса –

$$\begin{aligned} \dot{P} &= m \dot{V}_m = m b_m F e^{-i(\pi/2+\varphi)} = m \frac{1}{\omega m} F e^{-i(\pi/2+\varphi)} = \\ &= \frac{F}{\omega} e^{-i(\pi/2+\varphi)} = P e^{-i(\pi/2+\varphi)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Из (3) следует выражение для комплексной амплитуды производной силы –

$$\begin{aligned} \dot{B} &= k \dot{V}_k = k b_k F e^{i(\pi/2-\varphi)} = k \frac{\omega}{k} F e^{i(\pi/2-\varphi)} = \\ &= \omega F e^{i(\pi/2-\varphi)} = B e^{i(\pi/2-\varphi)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Это соответствует преобразованию

$$kv = k \frac{dx}{dt} = \frac{d(kx)}{dt} = \frac{dF}{dt} = B. \quad (8)$$

Разумеется,

$$B = \omega F = \omega^2 P. \quad (9)$$

Из (37)–(43) и (7), (8), (10) следуют амплитудно-частотные характеристики

$$V_m(\omega) = \frac{V}{\omega m \sqrt{1/r^2 + [\omega/k - 1/(\omega m)]^2}}, \quad (10-1)$$

$$P(\omega) = \frac{V}{\omega \sqrt{1/r^2 + [\omega/k - 1/(\omega m)]^2}}, \quad (10-2)$$

$$V_r(\omega) = \frac{gV}{\sqrt{1/r^2 + [\omega/k - 1/(\omega m)]^2}}, \quad (11-1)$$

$$F(\omega) = \frac{V}{\sqrt{1/r^2 + [\omega/k - 1/(\omega m)]^2}}, \quad (11-2)$$

$$V_k(\omega) = \frac{\omega V}{k \sqrt{1/r^2 + [\omega/k - 1/(\omega m)]^2}}, \quad (12-1)$$

$$B(\omega) = \frac{\omega V}{\sqrt{1/r^2 + [\omega/k - 1/(\omega m)]^2}}. \quad (12-2)$$

Разумеется,

$$V = \sqrt{V_r^2 + (V_k - V_m)^2} \quad (13)$$

Графики функций  $P(\omega)$ ,  $F(\omega)$ ,  $B(\omega)$  ведут себя качественно также как, соответственно,  $V_m(\omega)$ ,  $V_r(\omega)$ ,  $V_k(\omega)$ .

Частота  $\omega_m$ , на которой функции  $P(\omega)$  и  $V_m(\omega)$  имеют максимум, определяется из условия

$$\frac{d}{d\omega} \left\{ \omega^{-1} \left[ (k^{-1}\omega - m^{-1}\omega^{-1})^2 + r^{-2} \right]^{-1/2} \right\} = 0.$$

Решение этого уравнения:

$$\begin{aligned} \omega_m &= \sqrt{\frac{k}{m}} \sqrt{1 - mk/(2r^2)} = \\ &= \omega_0 \sqrt{1 - x_w^2/(2r^2)} = \omega_0 \sqrt{1 - Q^2/2}. \end{aligned} \quad (14)$$

$$V_{m\max} = V_m(\omega_m) = \frac{d}{\sqrt{1 - Q^2/4}} V, \quad (15-1)$$

$$P_{m\max} = P_m(\omega_m) = \frac{d}{\sqrt{1 - Q^2/4}} Vm = \frac{d}{\sqrt{1 - Q^2/4}} P_0, \quad (15-2)$$

где  $P_0 = P(0) = Vm$  – постоянный импульс (при нулевой частоте).

Частота  $\omega_r$ , на которой функции  $F(\omega)$  и  $V_r(\omega)$  имеют максимум, очевидным образом равна

$$\omega_r = \sqrt{\frac{k}{m}} = \omega_0.$$

$$V_{r\max} = V_r(\omega_0) = V, \quad F_{\max} = F(\omega_0) = \frac{V}{g}. \quad (16)$$

Частота  $\omega_k$ , на которой функции  $B(\omega)$  и  $V_k(\omega)$  имеют максимум, определяется из условия

$$\frac{d}{d\omega} \left\{ \omega \left[ (k^{-1}\omega - m^{-1}\omega^{-1})^2 + r^{-2} \right]^{-1/2} \right\} = 0.$$

Решение этого уравнения:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{k}{m}} \frac{1}{\sqrt{1 - km/(2r^2)}} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - Q^2/2}}. \quad (17)$$

$$V_{k\max} = V_k(\omega_k) = \frac{d}{\sqrt{1 - Q^2/4}} V, \quad (18-1)$$

$$B_{\max} = B(\omega_k) = \frac{d}{\sqrt{1 - Q^2/4}} Vk = \frac{d}{\sqrt{1 - Q^2/4}} B_0, \quad (18-2)$$

где  $B_0 = B(0) = Vk$  – постоянная производная силы (при нулевой частоте).

При  $Q^2/2 > 1$  функции  $P(\omega)$ ,  $B(\omega)$ ,  $V_m(\omega)$ ,  $V_k(\omega)$  не имеют максимумов в вещественном диапазоне частот.

Примечательно, что

$$\omega_k \omega_m = \omega_0^2, \quad (19)$$

$$V_{k\max} = V_{m\max}, \quad (20)$$

$$B_{\max} = \omega_0^2 P_{\max}, \quad (21)$$

$$\frac{B_{\max}}{\omega_k} = \omega_m P_{\max} = \frac{F_{\max}}{\sqrt{1 - Q^2/4}}. \quad (22)$$

Другие характерные точки:

$$V_m(\omega_k) = \frac{d - Q/2}{\sqrt{1 - Q^2/4}} V, \quad P(\omega_k) = \frac{d - Q/2}{\sqrt{1 - Q^2/4}} P_0, \quad (23)$$

$$V_k(\omega_m) = \frac{d - Q/2}{\sqrt{1 - Q^2/4}} V, \quad B(\omega_m) = \frac{d - Q/2}{\sqrt{1 - Q^2/4}} B_0, \quad (24)$$

$$V_m(\omega_0) = d \cdot V, \quad P(\omega_0) = d \cdot P_0, \quad (25-1)$$

$$V_k(\omega_0) = d \cdot V, \quad B(\omega_0) = d \cdot B_0, \quad (25-2)$$

$$V_r(\omega_k) = V_r(\omega_m) = \frac{\sqrt{1 - Q^2/2}}{\sqrt{1 - Q^2/4}} V, \quad (26-1)$$

$$F(\omega_k) = F(\omega_m) = \frac{\sqrt{1 - Q^2/2}}{\sqrt{1 - Q^2/4}} \frac{V}{g} = \frac{\sqrt{1 - Q^2/2}}{\sqrt{1 - Q^2/4}} F(\omega_0). \quad (26-2)$$

Характерные отношения:

$$\begin{aligned} \frac{V_k(\omega_k)}{V_m(\omega_k)} &= \frac{V_m(\omega_m)}{V_k(\omega_m)} = \frac{V_k(\omega_k)}{V_k(\omega_m)} = \\ &= \frac{V_m(\omega_m)}{V_m(\omega_k)} = \frac{P(\omega_m)}{P(\omega_k)} = \frac{B(\omega_k)}{B(\omega_m)} = \frac{1}{1 - d^2/2}, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\frac{V_k(\omega_k)}{V_r(\omega_k)} = \frac{V_m(\omega_m)}{V_r(\omega_m)} = \frac{d}{\sqrt{1 - Q^2/2}}, \quad (28)$$

$$\frac{V_k(\omega_m)}{V_r(\omega_m)} = \frac{V_m(\omega_k)}{V_r(\omega_k)} = d \sqrt{1 - Q^2/2}. \quad (29)$$

Амплитуда импульса  $P$  имеет максимум на частоте  $\omega_m$  ( $\omega_m < \omega_0$ ), амплитуда силы  $F$  – на частоте  $\omega_0$ , амплитуда производной силы  $B$  – на частоте  $\omega_k$  ( $\omega_k > \omega_0$ ).

Амплитуда скорости инертного элемента  $V_m$  имеет максимум на частоте  $\omega_m$ , амплитуда скорости изменения длины упругого элемента  $V_k$  – на частоте  $\omega_k$ .

На частоте  $\omega_0$  имеет место *резонанс скоростей*, при котором (реактивные) скорости  $V_m$  и  $V_k$  равны и противоположны, а их сумма, соответственно, равна нулю.

Величина адмитанса механической системы  $Y = \sqrt{g^2 + (b_k - b_m)^2}$ , характеризующего ее свойство не оказывать сопротивление приводу, понуждающему ее совершать колебания, на частоте  $\omega_0$  имеет минимальное значение. Другими словами, именно на частоте  $\omega_0$  система оказывает приводу максимальное сопротивление.

Таким образом, резонансной частотой является исключительно  $\omega_0$ .

На рис. 2 представлены *подлинные* резонансные кривые для системы с параметрами:  $V = 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $m = 10 \text{ кг}$ ,  $k = 40 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}$ ,  $r = 80 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Помимо  $\omega_0$ , имея в виду рисунок, можно вести речь о двух резонансных частотах:  $\omega_m$ ,  $\omega_k$ . На первой имеет место *резонанс скорости инертного элемента*, на второй – *резонанс скорости изменения длины упругого элемента*. На частоте  $\omega_0$  происходит *резонанс скорости изменения длины резистивного элемента*.

В основе использованного метода лежит механический аналог закона Ома в комплексном представлении (1) и понятие о механических сассептансе [1], кондактансе [2, 3] и адмитансе [4].

С помощью этого метода получены новые результаты, в т. ч., (5)–(29).

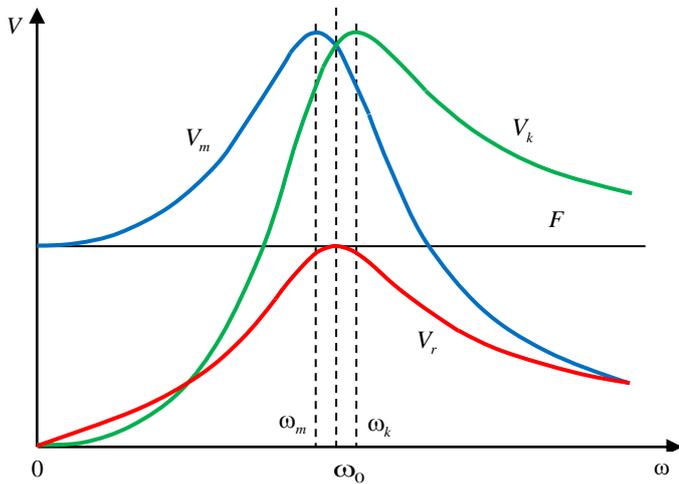


Рис. 2. Резонанс скоростей

1. Попов И.П. Реактансы и сасептансы механических систем // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2021. № 70. С. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6

2. Суслов И.М. Распределение контактансов в одномерных системах: зависимость от уровня ферми и идеальных контактов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2019. Т. 156. № 5 (11). С. 950-971. DOI: 10.1134/S0044451019110129

3. Ковалев В.М., Чаплик А.В. Кондактанс квантового кольца со спин-орбитальным взаимодействием в присутствии примеси // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2006. Т. 130. № 5. С. 902-911.

4. Бровченко С.П. Адмитанс Y-негатрона на невзаимном активном элементе с цепью внешней обратной связи // Известия ТРТУ. 2002. № 1 (24). С. 36-37.

## SPEED RESONANCE IN MECHATRONIC SYSTEMS

I.P. Popov

Kurgan State University, Kurgan, Russia

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

**Abstract.** In a steady state under harmonic influences, it is convenient to use a complex representation of quantities. A series connection of mechanical power consumers and a speed source is considered. It is shown that the amplitude of the pulse  $P$  has a maximum at frequency  $\omega_m$  ( $\omega_m < \omega_0$ ), the amplitude of force  $F$  – at frequency  $\omega_0$ , the amplitude of the derivative of force  $B$  – at frequency  $\omega_k$  ( $\omega_k > \omega_0$ ). The amplitude of the velocity of the inertial element  $V_m$  has a maximum at frequency  $\omega_m$ , the amplitude of the rate of change in the length of the elastic element  $V_k$  – at frequency  $\omega_k$ . At frequency  $\omega_0$  there is a velocity resonance, at which the (reactive) velocities  $V_m$  and  $V_k$  are equal and opposite, and their sum, respectively, is zero. The amount of admittance of a mechanical system, which characterizes its property of not resisting the drive that forces it to oscillate, has a minimum value at frequency  $\omega_0$ .

**Keywords:** parallel series connection, speed source, speed resonance of an inert element, resonance of the speed of change in the length of an elastic element, speed of change in the length of a resistive element.

### REFERENCES

1. Popov I.P. Reactances and susceptances of mechanical systems [Reaktansy i sasseptansy mekhanicheskikh sistem]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika* [Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics], 2021, no. 70, pp. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6 (In Russian)

2. Suslov I.M. Distribution of conductances in one-dimensional systems: dependence on the Fermi level and ideal contacts [Распределение контактансов в одномерных системах: зависимость от уровня ферми и идеальных контактов]. *Zhurnal eksperimental'noy i teoreticheskoy fiziki* [Journal of Experimental and Theoretical Physics], 2019, vol. 156, no. 5

(11). pp. 950-971. DOI: 10.1134/S0044451019110129 (In Russian)

3. Kovalev V.M., Chaplik A.V. Conductance of a quantum ring with spin-orbit interaction in the presence of an impurity [Кондактанс квантового кольца со спин-орбитальным взаимодействием в присутствии примеси]. *Zhurnal eksperimental'noy i teoreticheskoy fiziki* [Journal of Experimental and Theoretical Physics], 2006, vol. 130, no. 5, pp. 902-911. (In Russian)

4. Brovchenko S.P. Admittance of a Y-negatron on a non-reciprocal active element with an external feedback circuit [Адмитанс Y-негатрона на невзаимном активном элементе с тсеп'ю vneshey obratnoy svyazi]. *Izvestiya TRTU* [News of TRTU], 2002, no. 1 (24), pp. 36-37. (In Russian)

Попов, И.П. Резонанс скоростей в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.11-13.

I.P. Popov Speed Resonance in Mechatronic Systems. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automated technologies and production], 2024. no.2(30), pp.11-13. (In Russian).

И.П. Попов

Курганский государственный университет, Курган, Россия

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

**Аннотация.** Антирезонанс скоростей возникает при использовании источника силы и последовательном соединении потребителей механической мощности. Применяется комплексное представление механических величин. При  $\omega \rightarrow 0$  и  $\omega \rightarrow \infty$  кривая  $V(\omega)$  устремляется в бесконечность. При сверхмалых частотах развивается чрезмерный импульс, сопровождаемый, соответственно, чрезмерной скоростью инертного элемента. При сверхвысоких частотах развивается чрезмерная производная силы и чрезмерная скорость изменения длины упругого элемента. При  $\omega_0$  график проходит через *минимум*. Имеет место антирезонанс скоростей, при котором (реактивные) скорости  $V_m$  и  $V_k$  равны и противоположны, а их сумма, соответственно, равна нулю. Резонансы возникают при сочетаниях параллельного соединения элементов и источника силы, либо последовательного соединения и источника скорости. Антирезонансы возникают при сочетаниях параллельного соединения и источника скорости, либо последовательного соединения и источника силы.

**Ключевые слова:** последовательное соединение, источник силы, антирезонанс скорости, сассептанс, кондактанс, адмитанс.

Антирезонанс скоростей возникает при использовании источника силы и последовательном соединении потребителей механической мощности (рис. 1).

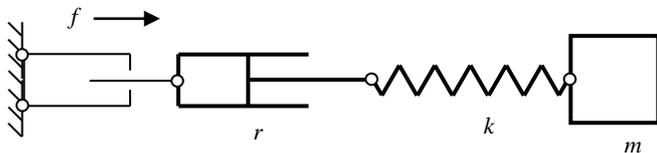


Рис. 1. Последовательное соединение потребителей механической мощности и источник силы

Далее применяется комплексное представление механических величин [1].

Комплексная амплитуда скорости инертного элемента равна

$$\dot{V}_m = \underline{b}_m \dot{F} = b_m F e^{-i\pi/2} = V_m e^{-i\pi/2}.$$

Комплексная амплитуда скорости изменения длины упругого элемента равна

$$\dot{V}_k = \underline{b}_k \dot{F} = b_k F e^{i\pi/2} = V_k e^{i\pi/2}.$$

Комплексная амплитуда скорости изменения длины резистивного элемента равна

$$\dot{V}_r = \underline{g} \dot{F} = g F e^{i0} = V_r e^{i0}.$$

Разумеется,

$$\dot{V}_m + \dot{V}_k + \dot{V}_r = \dot{V}.$$

Комплексная амплитуда импульса равна

$$\begin{aligned} \dot{P} &= m \dot{V}_m = m b_m F e^{-i\pi/2} = \\ &= m \frac{1}{\omega m} F e^{-i\pi/2} = \frac{F}{\omega} e^{-i\pi/2} = P e^{-i\pi/2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Комплексная амплитуда производной силы равна

$$\begin{aligned} \dot{B} &= k \dot{V}_k = k b_k F e^{i\pi/2} = \\ &= k \frac{\omega}{k} F e^{i\pi/2} = \omega F e^{i\pi/2} = B e^{i\pi/2} \end{aligned} \quad (2)$$

Комплексная амплитуда скорости равна

$$\dot{V} = \dot{F} \underline{y} = F y e^{i\varphi} = V e^{i\varphi}.$$

Амплитудно-частотная характеристика определяется выражением

$$V(\omega) = F \sqrt{g^2 + (\omega/k - 1/(\omega m))^2}.$$

При  $\omega \rightarrow 0$  и  $\omega \rightarrow \infty$  кривая  $V(\omega)$  устремляется в бесконечность. При сверхмалых частотах развивается чрезмерный импульс (1), сопровождаемый, соответственно, чрезмерной скоростью инертного элемента. При сверхвысоких частотах развивается чрезмерная производная силы (2) и чрезмерная скорость изменения длины упругого элемента. При  $\omega_0$  график проходит через *минимум*

$$V_{\min} = V(\omega_0) = Fg = V_r.$$

Имеет место *антирезонанс скоростей*, при котором (реактивные) скорости  $V_m$  и  $V_k$  равны и противоположны, а их сумма, соответственно, равна нулю.

На рис. 2 представлена *подлинная* антирезонансная кривая для системы с параметрами:  $F = 100$  Н,  $m = 10$  кг,  $k = 40$  кг·с<sup>-2</sup>,  $r = 80$  кг·с<sup>-1</sup>.

Использование символического (комплексного) метода существенно упрощает исследование резонансных и околорезонансных явлений, в частности, позволяет глубоко унифицировать и формализовать рассмотрение различных механических систем. Громоздкие и трудоемкие операции, связанные с составлением и решением дифференциальных уравнений, заменены простыми алгебраическими преобразованиями.

В основе метода лежит механический аналог закона Ома в комплексном представлении (1) и понятие о механических сассептансе [1], кондактансе [2, 3] и адмитансе [4].

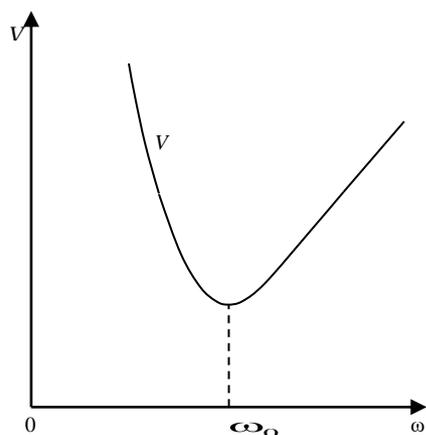


Рис. 2. Антирезонанс

Резонансы возникают при сочетаниях параллельного соединения элементов и источника силы, либо последовательного соединения и источника скорости. Антирезонансы возникают при сочетаниях параллельного соединения

и источника скорости, либо последовательного соединения и источника силы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.П. Реактансы и сасептансы механических систем // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2021. № 70. С. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6

2. Суслов И.М. Распределение кондактансов в одномерных системах: зависимость от уровня ферми и идеальных контактов // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2019. Т. 156. № 5 (11). С. 950-971. DOI: 10.1134/S0044451019110129

3. Ковалев В.М., Чаплик А.В. Кондактанс квантового кольца со спин-орбитальным взаимодействием в присутствии примеси // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2006. Т. 130. № 5. С. 902-911.

4. Бровченко С.П. Адмитанс Y-негатрона на невзаимном активном элементе с цепью внешней обратной связи // Известия ТРТУ. 2002. № 1 (24). С. 36-37.

## SPEED ANTI-RESONANCE IN MECHATRONIC SYSTEMS

I.P. Popov

Kurgan State University, Kurgan, Russia

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

**Abstract.** Anti-resonance of speeds occurs when using a force source and connecting mechanical power consumers in series. A complex representation of mechanical quantities is used. At  $\omega \rightarrow 0$  and  $\omega \rightarrow \infty$  the curve  $V(\omega)$  goes to infinity. At ultra-low frequencies, an excessive impulse develops, accompanied, accordingly, by an excessive speed of the inert element. At ultrahigh frequencies, an excessive derivative of the force and an excessive rate of change in the length of the elastic element develop. When  $\omega_0$  the graph passes through the minimum. There is an anti-resonance of speeds, in which the (reactive) speeds  $V_m$  and  $V_k$  are both equal and opposite, and their sum, respectively, is zero. Resonances arise from combinations of a parallel connection of elements and a force source, or a series connection and a speed source. Antiresonances occur when combining a parallel connection and a speed source, or a series connection and a force source.

**Keywords:** serial connection, power source, speed anti-resonance, susceptance, conductance, admittance.

#### REFERENCES

1. Popov I.P. Reactances and susceptances of mechanical systems [Reaktansy i sasseptansy mekhanicheskikh sistem]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika* [Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics], 2021, no. 70, pp. 64–75. DOI 10.17223/19988621/70/6 (In Russian)

2. Suslov I.M. Distribution of conductances in one-dimensional systems: dependence on the Fermi level and ideal contacts [Raspredeleniye kondaktansov v odnomernykh sistemakh: zavisimost' ot urovnya fermi i ideal'nykh kontaktov]. *Zhurnal eksperimental'noy i teoreticheskoy fiziki* [Journal of Experimental and Theoretical Physics], 2019, vol. 156, no. 5

(11). pp. 950-971. DOI: 10.1134/S0044451019110129 (In Russian)

3. Kovalev V.M., Chaplik A.V. Conductance of a quantum ring with spin-orbit interaction in the presence of an impurity [Kondaktans kvantovogo kol'tsa so spin-orbital'nyim vzaimodeystviyem v prisutstvii primesi]. *Zhurnal eksperimental'noy i teoreticheskoy fiziki* [Journal of Experimental and Theoretical Physics], 2006, vol. 130, no. 5, pp. 902-911. (In Russian)

4. Brovchenko S.P. Admittance of a Y-negatron on a non-reciprocal active element with an external feedback circuit [Admittans Y-negatrona na nevzaimnom aktivnom elemente s tsep'yu vneshney obratnoy svyazi]. *Izvestiya TRTU* [News of TRTU], 2002, no. 1 (24), pp. 36-37. (In Russian)

Попов, И.П. Антирезонанс скоростей в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.14-15.

I.P. Popov Speed Anti-Resonance in Mechatronic Systems. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva* [Automated technologies and production], 2024. no.2(30), pp.14-15. (In Russian).

## УСЛОВИЯ АВТОБАЛАНСИРОВКИ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ С ПОСТОЯННЫМ ПРИВЕДЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ

В.Д. Павлов

Владимирский электромеханический завод, Владимир, Россия

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

**Аннотация.** В механизмах с постоянным приведенным моментом инерции осуществляется самонейтрализация инерционной мощности за счет смещения фаз колебаний рабочих органов, количество которых может быть любым. Для механизма с двумя рабочими органами смещение фаз составляет  $\pi/2$ , а с тремя –  $2\pi/3$ . Практическое использование механизма с двумя массивными рабочими органами затруднено из-за его несбалансированности. Актуальность исследования обусловлена необходимостью определения минимально возможного числа рабочих органов, при котором выполняется автобалансировка механизма с постоянным приведенным моментом инерции. Установлено, что «звезды», образованные кривошипами механизмов с постоянным приведенным моментом инерции с числом рабочих органов более двух, обладают центральной симметрией. Такие механизмы сбалансированы. Минимальное число рабочих органов, совершающих линейные колебания, в сбалансированном механизме с постоянным приведенным моментом инерции равно трем.

**Ключевые слова:** колебания, фаза, инерционная мощность, автобалансировка, центральная симметрия.

### ВВЕДЕНИЕ

Существуют механизмы, например, сортировальные, рабочие органы которых совершают линейные колебания с высокой для их массы частотой [1, 2], что приводит к развитию значительной непроизводительной механической реактивной инерционной мощности, которая может на порядок превосходить производительную (полезную) диссипативную мощность. Поэтому нейтрализация инерционной мощности приводит к существенному повышению энергоэффективности механизмов.

Самонейтрализация инерционной мощности осуществляется в механизмах с постоянным приведенным моментом инерции за счет смещения фаз колебаний рабочих органов, количество которых может быть любым. Например, для механизма с двумя рабочими органами смещение фаз составляет  $\pi/2$  [3], а с тремя –  $2\pi/3$  [4]. На рисунке 1 приведен пример такого механизма.

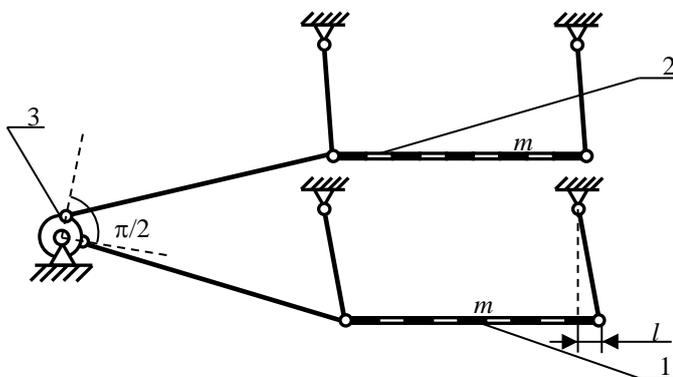


Рис. 1. Кинематическая схема сортировальной машины с постоянным приведенным моментом инерции  
1, 2 – решетчатые станы; 3 – эксцентрики

Энергообмен происходит следующим образом. В некоторый момент времени решетчатый стан 1 находится в крайнем правом положении, его кинетическая энергия равна нулю. В этот момент решетчатый стан 2 находится в среднем положении и движется влево с максимальной кинетической энергией. За счет инерции он принуждает решетчатый стан 1 ускоряться влево, отдавая ему часть своей энергии. К моменту, когда решетчатый стан 2 достигнет крайнего левого положения, он передаст всю свою энергию решетчатому стану 1, который в среднем положении с максимальной скоростью будет двигаться влево. Теперь решетчатые станы меняются ролями. За счет инерции решетчатый стан 1 принуждает решетчатый стан 2 ускоряться вправо, отдавая ему часть своей энергии. Когда решетчатый стан 1 достигнет крайнего левого положения, он передаст всю свою энергию решетчатому стану 2, который в среднем положении с максимальной скоростью будет двигаться вправо. Аналогичным образом будут происходить дальнейшие колебания.

Вместе с тем, динамика механизма с постоянным приведенным моментом инерции с двумя массивными рабочими органами имеет преимущественно теоретическую ценность, поскольку его практическое использование затруднено из-за несбалансированности механизма.

На рисунке 2 показаны силы инерции, действующие на кривошипы или эксцентрики в механизме с постоянным приведенным моментом инерции с двумя массивными рабочими органами.

При этом

$$F_1 = F_m \cos \varphi_1 = F_m \cos \varphi,$$

$$F_2 = F_m \cos \varphi_2 = F_m \cos(\varphi + \pi/2) = -F_m \sin \varphi.$$

$$F = F_1 + F_2 = F_m \cos \varphi - F_m \sin \varphi \neq 0.$$

Таким образом, механизм не сбалансирован. Суммарная сила передается на опоры приводного вала и на корпус машины, вызывая значительную вибрацию.

Совершенно очевидно, что степень сбалансированности (или несбалансированности) механизма непосредственно связана со «степенью» центральной симметрии фигуры (звезды), образованной кривошипами.

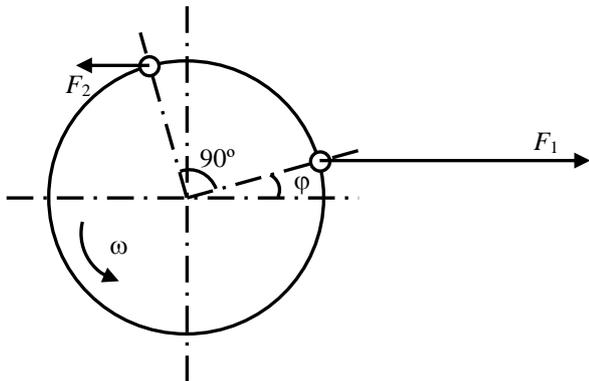


Рис. 2. Силы инерции, действующие на кривошипы в механизме с двумя рабочими органами

Двухлучевая «звезда» на рисунке 2 несимметрична.

«Звезды» в механизмах с постоянным приведенным моментом инерции с числом рабочих органов более двух необходимо обладают центральной симметрией.

Целью работы является установление условий автобалансировки механизмов с постоянным приведенным моментом инерции с четырьмя и тремя рабочими органами.

Задачи исследования состоят в определении сил, действующих на корпус механизма.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью определения минимально возможного числа рабочих органов, при котором выполняется автобалансировка механизма с постоянным приведенным моментом инерции.

#### АВТОБАЛАНСИРОВКА МЕХАНИЗМА С ПОСТОЯННЫМ ПРИВЕДЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ С ЧЕТЫРЬМЯ МАССИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Примечательным примером такого механизма является сортировальная машина с четырьмя решетными станами. Ее достоинством является возможность модернизации таким образом, чтобы приведенный момент инерции стал постоянным. Для этого нет необходимости в трудоемком изготовлении эксцентриковых валов со смещением эксцентриков на  $\pi/2$ . Кинематическая схема машины (рис. 3) позволяет, не изменяя конструкцию эксцентриковых валов 3, обеспечить смещение фазы колебаний любой пары решетных станов 1 на  $\pi/2$  за счет относительного разворота эксцентриковых валов 3 на 90 градусов.

Это выполняется при размыкании цепной передачи 4. При этом оба решетных стана верхней пары и оба решетных стана нижней пары продолжают работать в противофазе, что обеспечивает динамическую уравновешенность машины.

На рисунке 4 показаны силы инерции, действующие на кривошипы (эксцентрики) в механизме с постоянным приведенным моментом инерции с четырьмя рабочими органами.

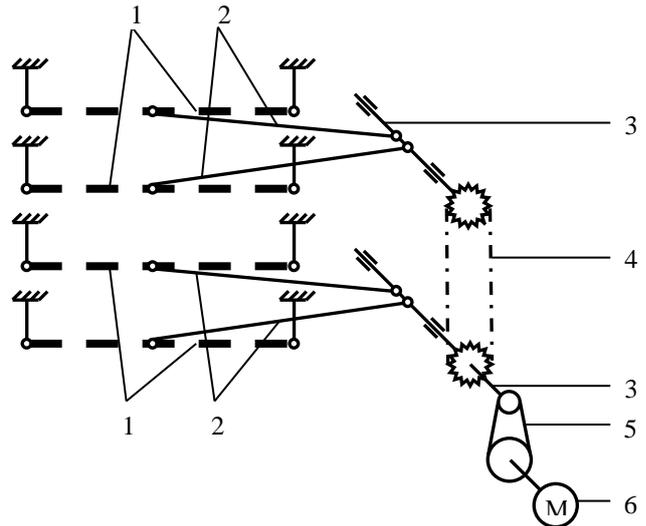


Рис. 3. Кинематическая схема сортировальной машины с четырьмя решетными станами  
1 – решетные станы; 2 – шатуны; 3 – эксцентриковые валы;

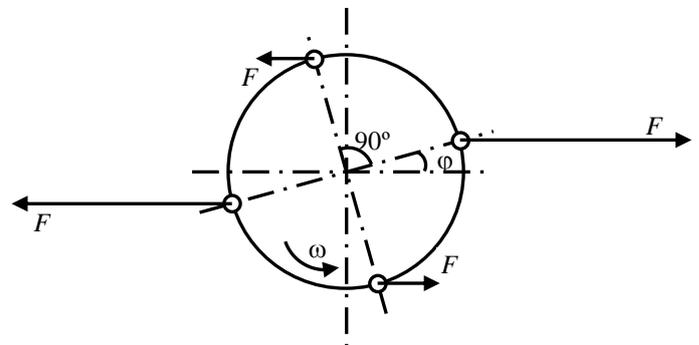


Рис. 4. Силы инерции, действующие на кривошипы в механизме с четырьмя рабочими органами

«Звезда», образованная кривошипами, обладает центральной симметрией.

При этом

$$\begin{aligned} F_1 &= F_m \cos \varphi_1 = F_m \cos \varphi, \\ F_2 &= F_m \cos \varphi_2 = F_m \cos(\varphi + \pi/2) = -F_m \sin \varphi, \\ F_3 &= F_m \cos \varphi_3 = F_m \cos(\varphi + \pi) = -F_m \cos \varphi, \\ F_4 &= F_m \cos \varphi_4 = F_m \cos(\varphi + 3\pi/2) = F_m \sin \varphi. \\ F &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = \\ &= F_m \cos \varphi - F_m \sin \varphi - F_m \cos \varphi + F_m \sin \varphi = 0. \end{aligned}$$

Таким образом, механизм сбалансирован.

#### АВТОБАЛАНСИРОВКА МЕХАНИЗМА С ПОСТОЯННЫМ ПРИВЕДЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ С ТРЕМЯ МАССИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

На рисунке 5 показаны силы инерции, действующие на кривошипы в механизме с постоянным приведенным моментом инерции с тремя рабочими органами.

«Звезда», образованная кривошипами, обладает центральной симметрией.

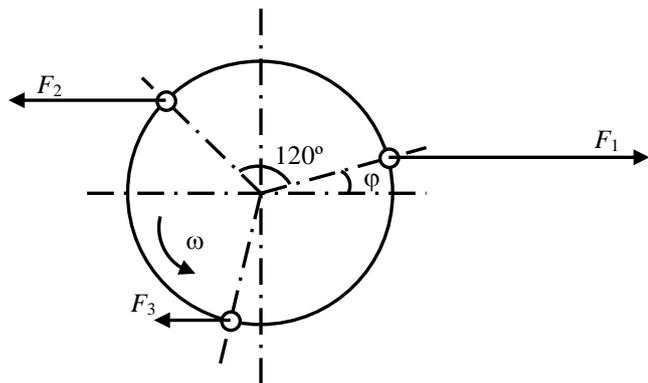


Рис. 5. Силы инерции, действующие на кривошипы механизма с тремя рабочими органами

При этом

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_m \cos \varphi_1 = F_m \cos \varphi, \\
 F_2 &= F_m \cos \varphi_2 = F_m \cos(\varphi + 2\pi/3), \\
 F_3 &= F_m \cos \varphi_3 = F_m \cos(\varphi + 4\pi/3). \\
 F &= F_1 + F_2 + F_3 = \\
 &= F_m \cos \varphi_1 + F_m \cos \varphi_2 + F_m \cos \varphi_3 = \\
 &= F_m \cos \varphi_1 + F_m 2 \cos \frac{\varphi_2 + \varphi_3}{2} \cos \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{2} =
 \end{aligned}$$

$$= F_m \cos \varphi + F_m 2 \cos(\varphi + \pi) \cos(-\pi/3) = 0.$$

Таким образом, механизм сбалансирован.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Звезды», образованные кривошипами механизмов с постоянным приведенным моментом инерции с числом рабочих органов более двух, обладают центральной симметрией. Такие механизмы сбалансированы.

Минимальное число рабочих органов, совершающих линейные колебания, в сбалансированном механизме с постоянным приведенным моментом инерции равно трем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.П. Попутная оптимизация производительной мощности решетных сортировальных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 19-21.
2. Попов И.П. Минимизация экологического ущерба от вибрационных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 2 (22). С. 32-34.
3. Павлов В.Д. Вибратор для автоматизированных комплексов // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 20-22.
4. Popov I.P. Free Sinusoidal Oscillations Based on the Mutual Exchange of Kinetic Energy between Three Loads // Technical Physics. 2024. Vol. 69. No. 1. P. 108–111. DOI: 10.1134/S1063784224700385

## CONDITIONS FOR AUTO-BALANCING VIBRATION MECHANISMS WITH A CONSTANT MOMENT OF INERTIA

V.D. Pavlov

Vladimir Electromechanical Plant, Vladimir, Russia

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

**Abstract.** In mechanisms with a constant reduced moment of inertia, self-neutralization of inertial power is carried out due to the displacement of the oscillation phases of the working bodies, the number of which can be any. For a mechanism with two working bodies, the phase displacement is  $\pi/2$ , and with three –  $2\pi/3$ . The practical use of a mechanism with two massive working bodies is difficult due to its unbalance. The relevance of the study is due to the need to determine the minimum possible number of working bodies at which auto-balancing of a mechanism with a constant reduced moment of inertia is performed. It has been established that the “stars” formed by the cranks of mechanisms with a constant reduced moment of inertia with the number of working bodies of more than two have central symmetry. Such mechanisms are balanced. The minimum number of working bodies performing linear oscillations in a balanced mechanism with a constant reduced moment of inertia is three.

**Keywords:** oscillations, phase, inertial power, auto-balance, central symmetry.

#### REFERENCES

1. Popov I.P. Incidental optimization of the productive capacity of sieve sorting machines [Poputnaya optimizatsiya proizvoditel'noy moshchnosti reshetnykh sortiroval'nykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 19-21. (In Russian).
2. Popov I.P. Minimizing environmental damage from vibration machines [Minimizatsiya ekologicheskogo ushcherba ot vibratsionnykh mashin]. *Avtomatizirovannyye*

*tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 2 (22), pp. 32-34. (In Russian).

3. Pavlov V.D. Vibrator for automated systems [Vibrator dlya avtomatizirovannykh kompleksov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 20-22. (In Russian).

4. Popov I.P. Free Sinusoidal Oscillations Based on the Mutual Exchange of Kinetic Energy between Three Loads. *Technical Physics*, 2024, vol. 69, no. 1, pp. 108–111. DOI: 10.1134/S1063784224700385

УДК 62-533.6-681.5.08

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

Е.Ю. Мухина, Т.Э. Абдулин

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск, Россия

mukhinaeu@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен локальный контур регулирования расхода природного газа на доменную печь. Рассмотрены процессы контроля и регулирование расхода природного газа в общем трубопроводе и на фурмы доменной печи. Предложена функциональная схема автоматизации контура регулирования расхода природного газа на доменную печь с её описанием

**Ключевые слова:** доменная печь, трубопровод, фурмы, расход природного газа, контроль, регулирование, контроллер.

ВВЕДЕНИЕ

Доменное производство – производство чугуна восстановительной плавкой железных руд и окискованных железорудных концентратов в доменных печах [1].

Доменная плавка является вторым после агломерационного производства звеном производственного цикла в черной металлургии [1].

Доменная печь относится к основному оборудованию доменного цеха. От её работы в значительной степени зависят объем, качество и экономичность производства чугуна [2].

Контроль и регулирование расхода природного газа на доменную печь является одним из наиболее эффективных способов управления доменным процессом с целью получения заданных показателей качества как процесса управления, так и производственных [5].

Расход природного газа устанавливается, исходя из необходимости обеспечить плавный сход шихты, высокую производительную и экономичную работу доменной печи, и поддерживается постоянным. Выше этого расхода наблюдается «передув», связанный с образованием в столбе шихты так называемых «каналов». Канальный ход печи сопровождается подстоями, обрывами шихты с возможным её подвисанием [3].

Перед разработкой или модернизацией функциональной схемы автоматизации следует изучить технологию производства и процессы, происходящие при производстве чугуна. Это необходимо для того, чтобы понять, как физические и химические величины влияют на качество и стоимость производимой продукции).

СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ  
Функциональная схема автоматизации контура регулирования расхода природного газа на доменную печь рис. 1.

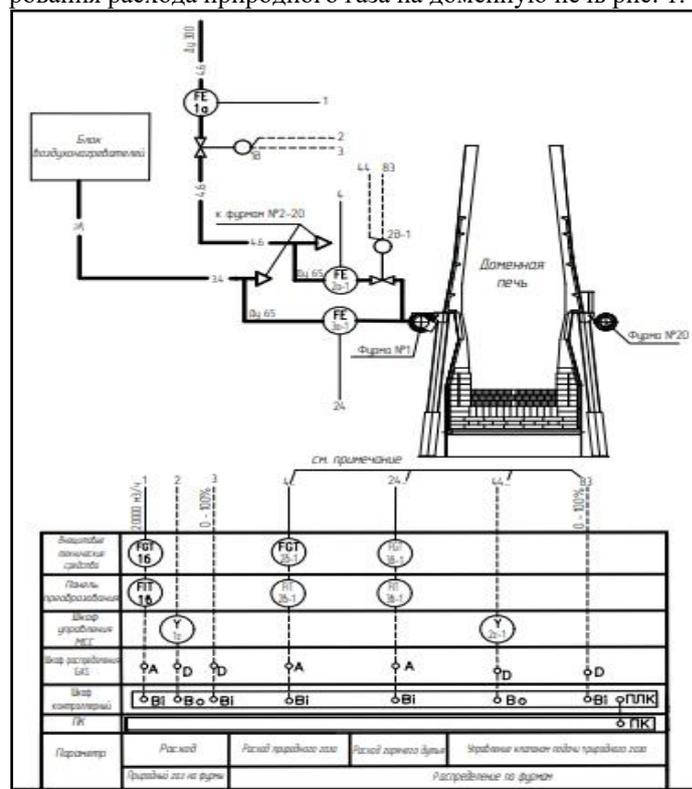


Рис.1. Функциональная схема автоматизации контура регулирования расхода природного газа на доменную печь

Спецификация оборудования контура регулирования расхода природного газа на доменную печь рис. 2.

| Поз        | Наименование                                      | Кол | Примечание |
|------------|---|-----|------------|
| 1а         | Диафрагма, ДБС-06-400                             | 1   |            |
| 2а-1.2а-20 | Диафрагма, ДБС-06-70                              | 40  |            |
| 3а-1.3а-20 |   |     |            |
| 1б         | Датчик разности давлений, Метран-100-ДД-400       | 1   |            |
| 2б-1.2б-20 | Датчик разности давлений, Метран-100-ДД-70        | 40  |            |
| 3б-1.3б-20 |   |     |            |
| 1в         | Преобразователь измерительный, ИПМ 0399/М3/RS485  | 1   |            |
| 2в-1.2в-20 | Блок питания и преобразования сигналов, БРИС-М    | 40  |            |
| 3в-1.3в-20 |   |     |            |
| 1г         | Электронный реверсивный пускатель, ELR W3-24DC    | 21  |            |
| 2г-1.2г-20 |   |     |            |
| 1д         | Механизм исполнительный, МЭО-630/25-0,25У-99К-У2  | 1   |            |
| 2д-1.2д-20 | Механизм исполнительный, МЭО-100/63-0,63У-99К-ЦА2 | 20  |            |
| ПЛК        | Микропроцессорный контроллер, Simatic S7-400      | 1   |            |
| ПК         | Промышленный компьютер, Simatic RACK PC T7400     | 1   |            |

Рис.2. Спецификация оборудования контура регулирования расхода природного газа на доменную печь

Процессы регулирования, контроля и сигнализации выполняет микропроцессорный контроллер Simatic S7 – 400, поз. ПЛК [4]. Данные о состоянии контролируемых величин с контроллера поступают на промышленный компьютер Simatic RACK PC T7400 поз. ПК, который выполняет функции визуализации доменного процесса, переключения режима управления (дистанционный, автоматический), а также с помощью него осуществляется управление в дистанционном режиме.

Измерение расхода природного газа в трубопроводе осуществляется с использованием диафрагмы ДБС-06-400, поз. 1а, и измерительного преобразователя Метран-100-ДД-400, поз. 1б, с мгновенным преобразованием измеренного значения в унифицированный аналоговый выходной сигнал [4]. Далее данный сигнал поступает на контроллер Simatic S7 – 400, поз. ПЛК.

Измерение расхода природного газа на фурму осуществляется с помощью датчиков ДБС-06-70, поз. 2а-1...2а-20, и Метран-100-ДД-70, поз. 2б-1...2б-20, сигналы также поступают на контроллер.

Непосредственное управление расходом дутья по фурмам доменной печи осуществляется за счёт исполнительных механизмов МЭО-100/63-0,63У-99К-ЦА2, поз. 2д-1...2д-20, расположенных в коленах фурм.

Значение регулируемой величины задается оператором с помощью промышленного компьютера Simatic RACK PC T7400, сигналы задания поступают с автоматизированного рабочего места на контроллер, далее сигналы идут на электронные реверсивные пускатели ELR W3-24DC поз. 2г-1...2г-20, которые управляют приводами исполнительных механизмов МЭО-100/63-0,63У-99К-ЦА2. Исполнительный механизм открывает или закрывает поворотную заслонку, в зависимости от полученных сведений. Сигнал с исполнительного механизма обратно поступает на контроллер для фиксации положения заслонки.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулирование расхода природного газа в доменной печи очень важно в процессе её использования. От данного параметра зависит не только качество готовой продукции, но и износостойкость агрегата, количества топлива, используемого им.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Основы металлургического производства. Производство чугуна: учеб. пособие / И.В. Макарова, М.В. Потапова, М.Г. Потапов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016, 130 с.
2. Устройство и проектирование доменных печей: учебное пособие / Л. И. Каплун, А. В. Мальгин, О.П. Онорин, А.В. Пархачев. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – 219, [1] с. ISBN 978-5-321-02486-7
3. Парсункин, Б.Н. Автоматизация технологических процессов и производств в металлургии: учебное пособие / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Е.С. Рябчикова; Магнитогорский гос. технический ун-т им Г.И.Носова. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2011. – 151 с.
4. Самарина, И. Г. Метрология и технические измерения : практикум / И. Г. Самарина, Е. Ю. Мухина, А. Р. Бондарева. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – 57с. – ISBN 978-5-9967-2154-2.
5. Парсункин, Б. Н. Адаптивное поисково-динамическое управление подачей природного газа в дутье доменной печи / Б. Н. Парсункин, С. М. Андреев, Т. Г. Сухоносова // Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – № 2(55). – С. 40-46.

## AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF NATURAL GAS FLOW TO THE BLAST FURNACE

E.Yu. Mukhina, T.E. Abdulin

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

mukhinaeu@mail.ru

**Abstract.** In this article, the local circuit for regulating the flow of natural gas to a blast furnace is considered. The processes of control and regulation of natural gas flow in the common pipeline and on the tuyeres of the blast furnace are considered. A functional scheme of automation of the natural gas flow control circuit for a blast furnace with its description is proposed.

**Keywords:** blast furnace, pipeline, tuyeres, natural gas consumption, control, regulation, controller.

#### REFERENCES

1. Makarova I.V., Potapova M.V., Potapov M.G. Konspekt lektsiy po distsipline «Osnovy metallurgicheskogo proizvodstva». Proizvodstvo chuguna: uchebnoye posobiye / Magnitogorsk: Publishing house Magnitogorsk. state tech. University named after G.I. Nosova, 2016, 130 p.

2. Kaplun L.I., Malygin A.V., Onorin O.P., Parkha-chev A.V. Ustroystvo i proektirovanie domennykh pechey: uchebnoye posobiye. - Yekaterineburg: UrFU, 2016. – 219, p. ISBN 978-5-321-02486-7

3. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Ryabchikova E.S. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv v metallurgii: uchebnoye posobiye/ Parsunkin B.N., Andreev

S.M., Ryabchikova E.S; Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov. Magnitogorsk : Magnitogorsk Publishing House.State Technical University Unita,2011. 151 p.

4. Samarina I.G., Mukhina E.Yu., Bondareva A.R. Metrologiya i tekhnicheskie izmereniya : praktikum, Magnitogorsk, Magnitogorskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. G.I. Nosova, 2021, 57 p. – ISBN 978-5-9967-2154-2

5. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Sukhonosova T.G. Adaptive search-dynamic control of natural gas supply to blast furnace blast [Adaptivnoe poiskovo-dinamicheskoe upravlenie podachej prirodnogo gaza v dut'e domennoj pechi]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i kompleksy [Electrotechnical Systems and Complexes]*, 2022, no. 2 (55), pp. 40-46. (In Russian).

Мухина, Е.Ю. Система автоматического регулирования расхода природного газа на доменную печь / Е.Ю. Мухина, Т.Э. Абдулин // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.19-21.

E.Yu. Mukhina, T.E. Abdulin Automatic Control System of Natural Gas Flow to the Blast Furnace. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024. no.2(30), pp.19-21. (In Russian).

УДК 621.873.1:004.896

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В. В. Субботин, С. М. Андреев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск,  
Россия

e-mail: SubbotinVladislav2712@yandex.ru

**Аннотация.** В данной работе проведен анализ методов компьютерного зрения для распознавания объектов на изображении в различных областях и сферах деятельности человека. В настоящее время практически во всех сферах достигнута точность распознавания порядка 99%, но остается еще перспектива развития систем распознавания в тяжелой промышленности, где выявление дефектов, определения форм объектов и подсчет элементов единиц продукции посредством компьютерного зрения, является важным аспектом в технологическом процессе производства, влияющая на итоговое качество продукции и конечную стоимость. Приведены основные виды и функции программного обеспечения с описанием работы с базами данных, предназначенных для приема и хранения информации.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, машинное обучение, нейронные сети, классификация объектов на изображении, распознавание объектов.

### ВВЕДЕНИЕ

Применение машинного обучения и компьютерного зрения с использованием специализированных технических средств сейчас стало неотъемлемой частью современных систем распознавания объектов на изображении. Для решения задач подобного рода создаются автоматизированные системы, которые представляет собой программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий формирование, передачу, хранение, обработку и просмотр видеоданных.

Компьютерное зрение наиболее эффективным находит свое применение в идентификации человека, детектирование лица, распознавание знаков и номеров машин, а также постепенно внедряется в различные области промышленности. Так в работе [1] авторами рассматриваются актуальные вопросы распознавания лиц с использованием компьютерного зрения, где отмечена высокая значимость вопросов цифровизации безопасности систем контроля и доступа).

### МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К РАСПОЗНАВАНИЮ ОБЪЕКТОВ

Для корректной работы системы определения объектов необходимо применять определенные методы распознавания. Одним из основных методов является Метод Виолы - Джонса [2], который предназначен для распознавания объектов на изображении. Технология идентификации изображения и найденных объектов включает в себя классификацию с запуском алгоритма классификатора. Рассмотренный в работе метод «контурный анализ», подразумевает набор методов, служащих, как правило, для выделения, описания, хранения, сравнения, распознавания и поиска

объектов по их контурам. Методы «поиск шаблона» и «поставление по ключевым точкам», являются методами обработки изображения и предназначены для выделения участка изображения и ключевых особенностей. Еще один пример распознавания, рассмотренный авторами «сверточные нейронные сети», который позволяет достигнуть в какой-то степени стабильности ко всякого рода искажений с возможностью выделения слоев на «простой» и «сложный» подслои, служащие для вычисления характерных признаков объекта и выполняющие функции обобщения полученных признаков [2].

Для сфер, где используются системы распознавания, а именно социальная сфера (применение компьютерного зрения в медицине, в системах документооборота), промышленность (определение дефектов продукции в сочетании с управлением производственным процессом), безопасность жизнедеятельности (идентификация личности, распознавание отпечатков пальцев, обнаружение нестандартного поведения человека), транспортная индустрия (разработка автопилота, детекция повреждений на дороге, обнаружение пешеходов, выявление нарушений), классификация транспортных средств по высоте), военное дело (применяется в разведывательных миссиях с использованием фотографий с БПЛА) выделяют два основных метода решения задач классификации объектов на изображении [3]:

1. Классический метод, который включает в себя достаточно стандартный алгоритм, с небольшими расхождениями, связанными со спецификой отдельной задачи, и предполагает следующие этапы: загрузка и преобразование

изображения, применение фильтров и качественные преобразования, сегментация, извлечение характеристик (признаков), применение классификатора, получение или сохранение результатов;

2. Нейросетевые методы, включает в себя работу искусственной нейронной сети (ИНС) в различных интерпретациях.

ИНС — это компьютерная модель, которая имитирует работу биологических нейронных сетей и используется для обработки информации и решения задач на уровне сопоставимым с человеческим интеллектом.

Алгоритм работы ИНС состоит из этапов:

- постановка задачи классификации, должен быть определен перечень классов;
- набор данных, на котором будет обучаться ИНС;
- определить структуру ИНС;
- подготовка данных (необходимо учесть размера изображений в соответствии с разработанной структурой ИНС);
- определяются гиперпараметры для обучения модели;
- инициализации весов происходит начальное присвоение случайных значений весам нейронов в сети;
- оценка производительности, обученной ИНС (проводится на тестовом наборе данных).

Развитие технологий в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения авторы подчеркивают в автоматизации процессов контроля качества на производстве для обнаружения дефектов [4]. Применение компьютерного зрения включает в себя широкий спектр методов захвата, обработки и анализа изображений. Как указано в данной работе методы компьютерного зрения охватывают процессы от базового преобразования изображений до сложных аналитических задач, таких как распознавание объектов, сегментации изображений и обнаружений аномалий используя следующие технологии [4]:

– захват изображения: это процесс начинается с захвата визуальных данных с помощью технических средств, таких как камеры или сканеры.

– предварительная обработка изображений: изображение после захвата подвергается предварительной обработке, включая коррекцию освещения, устранение шума, улучшения контраста и масштабирование.

– извлечение признаков: в этой фазе алгоритмы компьютерного зрения анализируют изображения для выделения признаков, таких как края, текстуры, цвета и формы

– классификация и распознавание: в данном случае используя алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети, система классифицирует объекты на изображении или идентифицирует определенные образцы.

– обнаружение аномалий: алгоритмы глубокого обучения, в том числе основанные на нейронных сетях, обучаются распознавать от нормы, такие как дефекты, искажения или несоответствия.

В следующей работе исследователи обращают внимание, что все существующие системы распознавания подразделяются на растровый, структурный или признаковый методы распознавания. К растровому подходу относят эталоны, которые являются непосредственно изображениями. Признаковый подход эталоны строят непосредственно, используя на изображении признаки, то есть любые характе-

ристики изображенного объекта распознавания. Структурный подход определяет эталонные описания, составленные на терминах структурных частей объектов распознавания и пространственных отношений между ними [5].

Подходы к выделению границ, которые подразделяются на две категории: методы, основанные на поиске нулей методы, и методы, основанные на поиске максимумов. Методы, основанные на поиске нулей, производят поиск пересечения оси абсцисс выражения второй производной, обычно нули Лапласиана или нули нелинейного дифференциального выражения. Непосредственно предобработкой к выделению границ чаще всего применяется сглаживание изображения фильтром Гаусса или Лапласиана. Большинство методов для определения границ основаны на вычислении градиента изображения, они различаются типами фильтров, используемых для вычислений градиентов в  $x$ - и  $y$ -направлении. В результате сравнения с точки зрения распознавания изображений наиболее информативными считаются определение краев объектов, то есть их граница. Непосредственным носителем информации является не яркость, а граница объектов на изображении [5].

#### ФУНКЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ

При создании систем распознавания объектов для решения задач связанных на прямую с базами данными необходимо работать с системами управления базами данных (СУБД).

СУБД необходима для работы с базами данных (БД) Серверов, для добавления новых записей, удаления записей, изменения содержимого полей, структуры таблиц, сортировки таблиц и получения данных по запросам. СУБД позволяет осуществлять хранение, поиск и анализ больших объемов структурированной информации.

В условиях импортозамещения российскими компаниями все чаще используется объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL основанная на POSTGRES.

PostgreSQL— СУБД с открытым исходным кодом. Она поддерживает большую часть стандарта SQL и предлагает множество современных функций (сложные запросы, внешние ключи, триггеры, изменяемые представления, транзакционная целостность, многоверсионность).

Также возможно использование СУБД Microsoft SQL Server (MS SQL)

MS SQL – это реляционная система управления базами данных, которую применяют для работы с данными веб-приложений. Данная СУБД использует свой диалект SQL – Transact-SQL.

MS SQL поддерживает интеграцию с каталогом облачных служб Microsoft Azure. Также Microsoft SQL Server используется в Microsoft Azure SQL – облачной платформе для хранения данных, которая предоставляется по модели PaaS (платформа как услуга). ПРИ

В разработке систем распознавания важно не только организация ресурсов по приему, хранению данных, но также важно настроить обработку изображения. Для этого необходимо применение определенных библиотек для обработки изображений, таких как OpenCV, Scikit-Изображение, Python Pillow.

В составе программного обеспечения библиотеки

OpenCV с открытым исходным кодом, разработанная компанией Intel в 2000 году, есть встроенные алгоритмы компьютерного зрения на основе машинного обучения в виде отдельных модулей с разной функциональностью. Вот некоторые из них:

- Core Functionality (основная функциональность) — определяет основные структуры данных и функции библиотеки, которые используются в других модулях;

- Image Processing (обработка изображений) — позволяет работать со статичными изображениями: простыми картинками в форматах PNG, JPG и других;

- Video Analysis (анализ видео) — используется для отслеживания движений объектов и работы с фоном;

- Camera Calibration and 3D Reconstruction (калибровка камеры и 3D-реконструкция) — работает с геометрией объектов, позволяя создавать их 3D-модели на основе нескольких изображений или видео;

- 2D Features Framework (фреймворк двумерных особенностей) — определяет фрагменты изображения, которые отличаются от других, запоминая их контуры, и может находить похожие среди них;

- Object Detection (обнаружение объектов) — находит объекты, например, лица, автомобили, птиц и другое;

- High-level GUI (высокоуровневый графический интерфейс) — позволяет рисовать графические интерфейсы для выполнения простых операций;

- Video I/O (ввод и вывод видео) — позволяет считывать и обрабатывать видеофайлы.

В работе [6] описано применение библиотек алгоритмов OpenCV для распознавания объектов при помощи компьютерного зрения на основе таких языков программирования, как языков C/C++, Python, Java, Ruby, Matlab. OpenCV предусматривает работу с изображением в графическом редакторе, с переводом изображения в черно-белый или серый цвет. Также авторами отмечено, что OpenCV находит широкое применение по определению объектов на изображении в различных сферах таких, как промышленность, транспорт, робототехника, медицина. На приведенном примере по распознаванию мотоцикла на участке дороги, в данной работе авторы показывают, что для начала работы в среде разработки PyCharm необходимо установить библиотеку компьютерного зрения OpenCV и пакет math. В качестве предобработки необходимо удалить шум на фотографии и отфильтровать все мелкие элементы.

По сравнению с библиотекой Scikit-Изображение, где основные возможности — это фильтрация и применение для сегментации моделей активного контура, извлечение признаков для обработки изображений и библиотекой Python Pillow, где присутствуют базовые манипуляции с изображениями (чтение, изменение масштаба, сохранение в различных форматах) библиотека OpenCV имеет наибольшее количество функций (фильтрация, преобразования, обнаружение границ, обнаружение объектов) и является универсальным инструментом в машинном обучении для детектирования объектов, которая подходит для решения многих задач видеоаналитики.

Подготовка данных для машинного обучения является неотъемлемой частью работы моделей распознавания и построения нейронных сетей, что в свою очередь оказывает значительное влияние на работу автоматизированных си-

стем распознавания объектов. В работе [7] описывают методику подготовки данных для использования в нейронной сети с применением инструментов для нанесения разметки на изображение используя библиотеку COCO Annotator. Для наиболее эффективного набора датасета, необходимо проведение аннотации изображения несколькими экспертами. В целях обучения в нейронной сети выделяется необходимая область, как правило в прямоугольной форме, которая содержит один из объектов изучения, и определённый набор его ключевых точек.

При реализации системы распознавания объектов, сегментации изображений и детектировании объектов на изображении, необходимо применение следующих инструментов цифровой платформы видеоаналитики в части ML, VA, DWH, ETL, DevOPS:

ML (машинное обучение) - подотрасль искусственного интеллекта (ИИ), которая включает в себя методы обучения моделей с помощью данных и статистических алгоритмов для предсказания или принятия решения без явного программирования.

VA (Video Analytics) — это технология анализа фото и видео, которая используется для обнаружения паттернов и событий на изображениях, а также в видео- или записях с камер. В контексте компьютерного зрения (CV) VA относится конкретно для задач, таких как обнаружение объекта, отслеживание движущихся объектов, распознавание лиц, определение трафика, выявление несанкционированного доступа и нарушений и других.

CV (Computer Vision) — это область компьютерных наук, связанная с разработкой алгоритмов и методов для автоматической обработки, и анализа изображений и видео. Включает распознавание объектов, определение границ, структурные анализы и многое другое.

DWH (Data Warehouse) — это централизованная база данных, используемая для хранения, интегрирования и обслуживания информации, полученной из нескольких источников. Обычно используется для поддержки управленческих решений и бизнес-интеллектуальных приложений.

ETL (Extract, Transform, Load) — это процесс интеграции данных из разных источников в единую структуру для анализа и использования. Этот процесс включает три основных этапа: извлечение (Extract) данных из разных систем; преобразование (Transform) данных для стандартизации и оптимизации их структуры; загрузка (Load) данных в центральную базу данных или DWH.

Нейронные сети формируются путем загрузки размеченных датасетов, а программа проводит параллели и анализирует алгоритмы и закономерности. На выходе такая модель имеет базу, на основе которой может давать ответы на поставленные задачи, делать выборку данных или сопоставлять их. В ML реализовано непрерывное обучение, так как количество действий с базовой информацией напрямую влияет на точность анализа.

Продолжая обзор современных систем, идентификация человека по распознаванию лиц в работе отмечена актуальность представленной тематики, а также важность для современного мира и различных сфер применения технологий распознавания лиц человека в таких как, правительственные учреждения (поиск преступников), банковские учреждения (идентификации клиентов), а также в сфере бизнеса для упрощения работы с клиентами [8]. Приведен

ряд компаний, которые представили свои разработки для распознавания лиц, к таким относятся Российская компания NtechLab и ее разработанная технология FindFace. Данная технология позволяет распознавать лица людей с точностью до 99% меньше чем за секунду, при этом база данных составляет свыше полтора миллиарда лиц. Данная система занимает лидирующее место среди своих конкурентов, время поиска у которой составляет 0,59 миллисекунды с базой данных в 300000 лиц по сравнению с прямыми конкурентами системами YITU (китайская технология) и 3Divi (российская разработка), где скорость поиска лиц составляет 2,5 и 4 миллисекунды соответственно. Разработанная система Findface хорошо подходит для правительственных задач, таких как поиск определенного человека на улицах города, или, например, распознавания лица злоумышленника, который попал на камеру видеонаблюдения во время преступления. Система от компании Yitu хорошо подходит для многих задач и наиболее востребована в бизнесе, где нужны проекты, которые могут отвечать гибким требованиям заказчика. Система 3Divi так же является российской разработкой, где алгоритмы выполнены для распознавания лиц людей любой сложности, а также технологии распознавания жестов и объектов. За счет большого набора решений для разработчиков 3Divi хорошо подходит для создания различных систем под разные цели, которые ориентированы на рядового пользователя.

При построение сложных систем распознавания необходимо составить схему комплекса технических средств (КТС). На схеме КТС необходимо отобразить технические средства для решения задач по определению объектов и определить взаимосвязь между ними. Система должна быть основана на принципе цифровой передачи видеоданных, по медной витой паре, оптическому кабелю или посредством технологии беспроводной сети, получаемых с IP-камер оснащенные прожекторами на оборудование, предназначенное для просмотра, хранения и обработки этих данных.

Применение компьютерного зрения рассмотрено на нефтегазовом производстве для мониторинга объектов на территории предприятия на основе решения задач компьютерного зрения таких как: детектирование и классификация. В работе отмечено, что наиболее популярнее методы машинного обучения, это те где присутствуют различные виды нейронных сетей, например, полносвязные и сверточные. Название сверточные нейронные сети получено из-за наличия в своей структуре сверточных слоев, выполняющих математическую операцию свертки. Использование таких слоев позволяет значительно снизить количество тренируемых параметров в нейронной сети. В проводимой работе специалистами для детектирования выбрана наиболее высоко производительная, гибкая и с комфортным кодом архитектура YOLOv, а для классификации объектов применялся классификатор с архитектурой MobileNetv2. Кроме того, авторы отмечают, что для оптимизации работы нейросетей исполосовывали два метода это Filter Pruning, и Квантование, которые не изменили параметры точности распознавания, но повысили производительность нейросети примерно на 15% и 10% соответственно [9].

Реализация систем распознавания объектов приобретает все большую популярность в промышленности, так, к

примеру авторы в работе [10] рассматривают вопросы автоматического распознавания гранулометрического состава железорудных окатышей и проводят сравнение с традиционными способами определения гранулометрического состава. Выполнение требований по качеству имеет важную роль в любом технологическом процессе и оказывает влияние на последующие этапы в производственном цикле. В работе приведены методы машинного обучения для повышения точности и эффективности результатов распознавания с применением архитектуры модели YOLO. Для последующего создания датасета и обучения модели после аугментации было получено более 1900 тренировочных изображений. Приведенный метод определения железорудных окатышей состоит из следующих основных этапов, таких как получения изображения, выявление окатышей на изображении, определение гранулометрического состава распознанных окатышей.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведя анализ рассмотренных методов, можно сделать вывод, что компьютерное зрение приобрело масштабное развитие в многих сферах с использованием двух основных методов распознавания объектов. Применение технологий машинного обучения и компьютерного зрения в промышленности имеет важное значение для производственного процесса и соблюдения и повышения качественных показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Левин, С. М. Разработка системы распознавания лиц с использованием компьютерного зрения / С. М. Левин, И. С. Федорцов // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2024. – № 1-3. – С. 190 - 193.
2. Ситников, В. В. Обзор методов распознавания объектов, используемых в системах машинного зрения / В. В. Ситников., В. В. Люминарский, А. В. Коробейников // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2018. – Т. 21. – № 4. – С. 222 - 229.
3. Либерман, А. И. Решение задачи классификации объектов на изображении методами компьютерного зрения в различных сферах человеческой деятельности / А. И. Либерман // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2024. – № 3. – С. 74 - 91.
4. Приходько, Н. А. Использование компьютерного зрения для автоматического контроля качества в промышленности / Н. А. Приходько, В. А. Сивченков // Моя профессиональная карьера. – 2023. – Т. 3. – № 55. – С. 88 - 91.
5. Бакланова, О. Е. Визуальный контроль качества технологических изделий с использованием методов компьютерного зрения / О. Е. Бакланова, Е. В. Рыжкова // Вестник восточно-казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. – 2019. – № 2. – С. 83 - 89.
6. Холодилов, А. А. Использование алгоритма компьютерного зрения OpenCV для распознавания объектов на видеофрагменте / А. А. Холодилов, А. В. Холодилова, С. А. Ланец // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2023. – Т. 2. – С. 323 - 326.
7. Павлов, М. П. Подготовка данных для машинного обучения распознавания объектов и их ключевых точек / М.П. Павлов // Studarctic Forum. – 2023. – Т. 8. – № 1. – С. 9 - 14.

8. Барашко, Е. Н. Современные решения идентификации человека. Распознавание лиц / Е.Н. Барашко, С. О. Мазуренко, А. А. Шадрин // The Scientific Heritage. – 2019. – № 42. – С. 40-42.

9. Евсиков, А. А. Использование нейронных сетей для мониторинга технологических объектов / А. А. Евсиков // 76-я Международная молодежная научная конференция «нефть и газ -2022»: Тезисы докладов 76-ой международ-

ной молодежной научной конференции, Москва, 25 - 29 апреля 2022 года. - РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2022. – С. 198 - 199.

10. Мозалев, К. А. Метод определения гранулометрического состава железорудных окатышей / К. А. Мозалев // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы «ИИС – 2024». – 2024. – Т. 10. – С. 169 - 172.

## ANALYSIS OF COMPUTER VISION METHODS FOR OBJECT RECOGNITION IN THE INDUSTRY

V. V. Subbotin, S. M. Andreev

Magnitogorsk State Technical University named after. G.I. Nosova, Magnitogorsk, Russia

**Abstract.** This paper analyzes computer vision methods for recognizing objects in images in various fields and areas of human activity. Currently, recognition accuracy of about 99% has been achieved in almost all areas, but there is still a prospect for the development of recognition systems in heavy industry, where the detection of defects, determining the shapes of objects and counting elements of product units using computer vision is an important aspect in the production process, affecting the final product quality and final cost. The main types and functions of software are given with a description of working with databases designed for receiving and storing information.

**Keywords:** computer vision, machine learning, neural networks, classification of objects in an image, object recognition.

### REFERENCES

1. Levin S.M. Development of a face recognition system using computer vision [Razrabotka sistemy raspoznavaniya lits s ispolzovaniem kompyuternogo zreniya], *Sbornik izbrannykh statey nauchnoy sessii TUSUR [Collection of selected articles from the TUSUR scientific session]*, 2024, no.1-3, pp. 190-193.

2. Sitnikov V.V., Lyuminarskiy V.V., Korobeynikov A. V. Overview of object recognition methods used in machine vision systems [Obzor metodov raspoznavaniya obektov, ispolzuemykh v sistemakh mashinnogo zreniya], *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova [Bulletin of IzhSTU named after M. T. Kalashnikov]*, 2018, vol. 21, no.4, pp. 222-229.

3. Liberman A.I. Solving the problem of object classification in an image using computer vision methods in various areas of human activity [Reshenie zadachi klassifikatsii obektov na izobrazhenii metodami kompyuternogo zreniya v razlichnykh sferakh che-lovecheskoy deyatelnosti], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: sistemy analiz i informatsionnye tekhnologii [Bulletin of Voronezh State University. Series: systems analysis and information technology]*, 2024, no.3, pp. 74-91.

4. Prikhodko N.A., Sivchenkov V.A. Using computer vision for automatic quality control in industry [Ispolzovanie kompyuternogo zreniya dlya avtomaticheskogo kontrolya kachestva v promyshlennosti], *Zhurnal "Moya professionalnaya karyera" [Magazine "My Professional Career"]*, 2018, vol. 3, no.55, pp. 88-91.

5. Baklanova O.E., Ryzhkova E.V. Visual quality control of technological products using computer vision methods [Vizualnyy kontrol kachestva tekhnologicheskikh izdeliy s ispolzovaniem metodov kompyuternogo zreniya], *Vestnik vostochno-kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva [Bulletin of the East*

*Kazakhstan State Technical University named after. D. Serikbaeva.]*, 2019, no.2, pp. 83-89.

6. Kholodilov A.A., Kholodilova A.V., Lanets S.A. Using the opencv computer vision algorithm for object recognition in a video fragment [Ispolzovanie algoritma kompyuternogo zreniya OpenCV dlya raspoznavaniya obektov na videofragmente], *Zhurnal "Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke" [Magazine "Scientific, technical and economic cooperation of Asia-Pacific countries in the 21st century"]*, 2023, vol. 2, pp. 323-326.

7. Pavlov M.P. Preparing data for machine learning object and key points recognition [Podgotovka dannykh dlya mashinnogo obucheniya raspoznavaniya obektov i ikh klyuchevykh toчек], *Zhurnal "Studarcic Forum" [Magazine "Studarcic Forum"]*, 2023, vol. 8, no.1, pp. 9-14.

8. Barashko E. N, Mazurenko S.O., Shadrin A.F., Modern solutions of human identification. Face recognition [Sovremennye resheniya identifikatsii cheloveka. Raspoznavanie lits], *Zhurnal "The Scientific Heritage" [Magazine "The Scientific Heritage"]*, 2019, no.42, pp. 40-42.

9. Evsikov A.A. Using neural networks to monitor technological objects [Ispolzovanie neyronnykh setey dlya monitoringa tekhnologicheskikh obektov], *Tezisy dokladov 76-oy mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii, Moskva, 25 - 29 aprelya 2022 goda. - RGU nefi i gaza (NIU) imeni I.M. Gubkina*, 2022, pp. 198-199.

10. Mozalev K.A. Method for determining the granulometric composition of iron ore pellets [Metod opredeleniya granulometricheskogo sostava zhelezorudnykh okatyshey], *Intellektualnye informatsionnye sistemy: tendentsii, problemy, perspektivy «IIS – 2024» [Intelligent information systems: trends, problems, prospects "IIS – 2024"]*, Kursk, "University Book", 2024, vol.10, pp. 169-172.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Е.Ю. Мухина, Д.Д. Чукреев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,  
г. Магнитогорск, Россия

mukhinaeu@mail.ru

**Аннотация.** Автоматизация машин непрерывного литья заготовок является важнейшим направлением в металлургии. Это связано с тем, что непрерывное литье позволяет получать заготовки высокого качества с минимальными дефектами. В статье рассматриваются основные направления автоматизации машин непрерывного литья заготовок, включая управление технологическими процессами и безопасность производства.

**Ключевые слова:** автоматизация, управление, контур регулирования, расход.

### ВВЕДЕНИЕ

Машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является ключевым элементом современного металлургического производства. Этот агрегат позволяет производить металлические заготовки непрерывным способом, что значительно повышает эффективность производства по сравнению с традиционными методами литья. Однако, несмотря на свои преимущества, МНЛЗ требует точного контроля и управления процессом, особенно в зоне вторичного охлаждения, где происходит окончательное формирование структуры и свойств заготовок.

Автоматизация процесса управления расходом воды в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ представляет собой значительный шаг вперед в оптимизации производства и повышении качества выпускаемой продукции [1]

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МНЛЗ

МНЛЗ состоит из нескольких зон, каждая из которых выполняет определенную функцию в процессе формирования заготовки. После первичного охлаждения в кристаллизаторе, слиток проходит через зону вторичного охлаждения, где происходит окончательное формирование его размеров и структуры. В этой зоне вода используется для охлаждения слитка, что позволяет получить заготовку с необходимыми свойствами [2].

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ВОДЫ В ЗОНЕ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Автоматизация имеет ряд существенных преимуществ [3]:

1. Улучшение качества заготовок. Автоматизированная система регулирует расход воды в зависимости от скорости вытягивания слитка, температуры заготовки и свойств металла. Это обеспечивает равномерное охлаждение слитка по всей длине, предотвращая деформации и трещины.

2. Повышение производительности. Автоматизация позволяет оптимизировать процесс охлаждения,

увеличивая эффективность производства и снижая зависимость от человеческого фактора.

3. Экономия ресурсов. Система оптимизирует расход воды и энергии, что приводит к значительной экономии. Например, энергосберегающий эффект при замене теплоносителя в кристаллизаторе МНЛЗ составляет 2,87 кг условного топлива на тонну стали. Для конвертерного производства доля экономии составляет 1,47%, а для электросталеплавильного производства - 2,23%.

4. Повышение безопасности. Автоматизированная система контролирует состояние воды, режим охлаждения, уровень воды в резервуаре и температуру воды, что позволяет предотвратить нештатные ситуации и обеспечить стабильную работу оборудования.

5. Улучшение эргономики рабочего места. Автоматизация упрощает рабочий процесс, снижая нагрузку на оператора и риск ошибок. Оператор может быть уверен, что все параметры системы контролируются и поддерживаются на надлежащем уровне.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ включает в себя следующие компоненты:

1. Датчики. Система использует различные типы датчиков для контроля параметров процесса.

2. Элементы управления. Центральным элементом управления обычно выступает компьютер, с которого подается управляющий сигнал. Это позволяет регулировать сразу несколько параметров с одного устройства.

3. Модули преобразования сигналов. Эти устройства принимают сигнал управления, преобразуют его и направляют к соответствующему объекту управления.

4. Исполнительные механизмы. Эти устройства непосредственно воздействуют на объекты управления, например, регулируют подачу воды.

5. Система водяного охлаждения МНЛЗ включает несколько зон, каждая из которых имеет свои особенности:

6. Первичная зона охлаждения. Расположена вблизи кристаллизатора и отвечает за первоначальное быстрое охлаждение заготовки. Здесь используется максимальный

расход воды и необходимое давление для удаления избыточного тепла.

7. Вторичная зона охлаждения. В этой зоне заготовка охлаждается медленнее. Расход воды и давление регулируются для поддержания постоянной скорости охлаждения. Эта зона является ключевой для формирования структуры и свойств заготовки.

8. Третичная зона охлаждения. Находится ближе к концу процесса охлаждения. Здесь регулируется температура заготовки, приближая ее к температуре окружающей среды. Используется уменьшенный расход воды и давление для предотвращения переохлаждения.

9. Финальная зона охлаждения. Последняя стадия охлаждения, где заготовка доводится до своей конечной температуры. Здесь используется минимальный расход воды и давление для предотвращения дальнейшего охлаждения [4,5].

Система автоматизации позволяет точно регулировать расход воды в зависимости от различных параметров:

1. Скорость вытягивания слитка. При увеличении скорости вытягивания требуется увеличение расхода воды для обеспечения достаточного охлаждения.

2. Температура заготовки. Система постоянно контролирует температуру заготовки и корректирует расход воды для поддержания оптимального температурного режима.

3. Свойства металла. Разные марки стали требуют различных режимов охлаждения, что учитывается системой при регулировании расхода воды [6-8].

Структурная схема математической модели контура регулирования расхода охлаждающей воды в ЗВО МНЛЗ представлена на рис.1.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка систем автоматизированного управления технологических агрегатов является важнейшим направлением в металлургии. Автоматизация технологических процессов и производств позволяет улучшить качество продукции, уменьшить количество дефектов и улучшить безопасность производства.

## AUTOMATION OF THE CONTINUOUS CASTING MACHINE

E.YU. Mukhina, D.D. Chukreev

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract.** Automation of continuous casting machines is the most important direction in metallurgy. This is due to the fact that continuous casting allows you to obtain high-quality workpieces with minimal defects. The article discusses the main directions of automation of continuous casting machines, including process control and production safety.

**Keywords:** automation, control, control circuit, consumption.

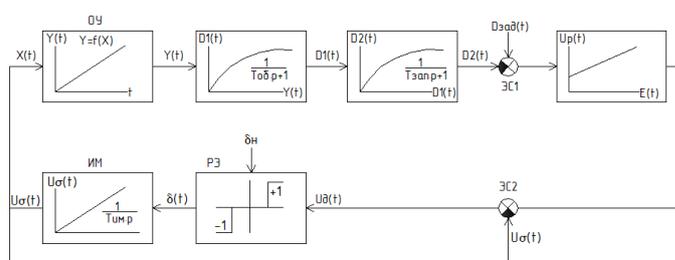


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.И., Петров П.П. Автоматизация машин непрерывного литья заготовок. // Научные труды МГТУ, 2019. – Т. 12, № 1. – С. 12-18.
2. Смирнов А.А. Управление технологическими процессами в металлургии. // Металлургические исследования, 2020. – Т. 33, № 4. – С. 99-105.
3. Федоров И.И. Инновации в области автоматизации металлургического производства. // Журнал «Промышленная автоматизация», 2021. – Т. 10, № 2. – С. 15-22.
4. Смирнов А.А. Управление технологическими процессами в металлургии. // Металлургические исследования, 2020. – Т. 33, № 4. – С. 99-105.
5. Иванов И.И., Петров П.П. Автоматизация машин непрерывного литья заготовок. // Научные труды МГТУ, 2019. – Т. 12, № 1. – С. 12-18.
6. Федоров И.И. Инновации в области автоматизации металлургического производства. // Журнал «Промышленная автоматизация», 2021. – Т. 10, № 2. – С. 15-22.
7. Самарина, И. Г. Метрология и технические измерения : практикум / И. Г. Самарина, Е. Ю. Мухина, А. Р. Бондарева. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – 57с. – ISBN 978-5-9967-2154-2).
8. Динамическое управление температурным состоянием заготовок МНЛЗ / А. Е. Батраева, Е. Н. Ишметьев, С. М. Андреев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2007. – № 11. – С. 20-25. – EDN ICDDDF.

---

---

REFERENCES

1. Ivanov I.I., Petrov P.P. Automation of continuous casting machines. // Scientific works of MSTU, 2019. – Vol. 12, No. 1. – pp. 12-18.
2. Smirnov A.A. Management of technological processes in metallurgy. // Metallurgical Research, 2020. – vol. 33, No. 4. – pp. 99-105.
3. Fedorov I.I. Innovations in the field of automation of metallurgical production. // Journal "Industrial Automation", 2021. – Vol. 10, No. 2. – pp. 15-22.
4. Ivanov I.I., Petrov P.P. Automation of continuous casting machines. // Scientific works of MSTU, 2019. – Vol. 12, No. 1. – pp. 12-18.
5. Smirnov A.A. Management of technological processes in metallurgy. // Metallurgical Research, 2020. – vol. 33, No. 4. – pp. 99-105.
6. Fedorov I.I. Innovations in the field of automation of metallurgical production. // Journal "Industrial Automation", 2021. – Vol. 10, No. 2. – pp. 15-22.
7. Samarina I.G., Mukhina E.Yu., Bondareva A.R. Metrologiya i tekhnicheskie izmereniya : praktikum, Magnitogorsk, Magnitogorskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. G.I. Nosova, 2021, 57 p. – ISBN 978-5-9967-2154-2.
8. Dynamic control of the billet temperature in continuous-casting machines / A. E. Batraeva, E. N. Ishmet'ev, S. M. Andreev [et al.] // Steel in Translation. – 2007. – Vol. 37, No. 11. – P. 908-913. – DOI 10.3103/S0967091207110034. – EDN WRWBHF.

---

Мухина, Е.Ю. Автоматизация машины непрерывного литья заготовок / Е.Ю. Мухина, Д.Д. Чукреев // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.27-29.

E.Yu. Mukhina, D.D. Chukreev Automation of the Continuous Casting Machine. Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production], 2024. no.2(30), pp.27-29. (In Russian).

---

---

## Краткие сообщения

---

---

### ПРИГЛАШАЕМ ВАС ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В УНИВЕРСИАДЕ «ПУТЬ К УСПЕХУ»

#### СЕКЦИЯ «МЕТРОЛОГИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ» (профиль: системы и средства автоматизации технологических процессов)

**Кто может участвовать:** обучающиеся или закончившие обучение в образовательных организациях высшего образования в России и за рубежом по образовательным программам бакалавриата или специалитета.

**Условия участия:** участие бесплатное. Необходимо пройти регистрацию на портале Универсиады <http://univer.magtu.ru/> и выбрать Секции > Универсиада > 2025 год > Управление в технических системах (Метрология и средства измерения) или ссылке <https://univer.magtu.ru/course/view.php?id=289>

**Календарь проведения:**

- с 20.12.2024 по 20.02.2025 г. – регистрация участников на <http://univer.magtu.ru/>;
- с 10.01.2025 по 20.02.2025 г. – отборочный этап в заочной форме, включающий прохождение тестирования на портале Универсиады;
- с 09.03.2025 по 15.03.2025 г. – заключительный этап проводится в очной форме письменно в один из указанных дней. Информация о конкретной дате, месте и времени проведения заключительного этапа будет размещена дополнительно на интернет-странице кафедры АСУ [https://vk.ru/magtu\\_asu](https://vk.ru/magtu_asu) и портале Универсиады.

**Место проведения:** 455000 Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина 38, корпус 1, ауд.448, 450

**Призы и награды:** Всем участникам бесплатно выдаются электронные сертификаты участия, которые украсят ваше портфолио. Победителям будут предоставлены дополнительные баллы при поступлении в магистратуру ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», а также возможность поучаствовать в конкурсе на получение грантов; диплом участника, победителя (призёра).

Подробная информация о регламенте проведения Универсиады, сроках, составе участников, победителях и призерах размещается на официальном портале Универсиады <http://univer.magtu.ru/> и интернет-странице кафедры АСУ <https://www.magtu.ru/sveden/struct/instituty-fakultety-kafedry/institut-energetiki-i-avtomatizirovannykh-sistem/kafedry-instituta/napravlenie-avtomatizirovannye-sistemy/kafedra-avtomatizirovannykh-sistem-upravleniya.html>

По всем вопросам обращаться к координатору Универсиады: Сухоносой Татьяне Геннадьевне, г. Магнитогорск, пр. Ленина 38, корпус 1, ауд. 447, e-mail: [tgobuhova@gmail.com](mailto:tgobuhova@gmail.com) , [t.suhonosova@magtu.ru](mailto:t.suhonosova@magtu.ru)

