

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

№1 (21) июнь 2020 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

Председатель редакционного совета:

Лисиенко Владимир Георгиевич - Вице-президент Академии инженерных наук, президент регионального Уральского отделения Академии инженерных наук, доктор технических наук, профессор ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Заместитель председателя редакционного совета:

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

Члены редакционного совета:

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

Радионов Андрей Александрович - доктор технических наук, профессор (ЮУрГУ)

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

Вдовин Константин Николаевич - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)

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

Дмитриенко Валерий Дмитриевич - доктор технических наук, профессор (НТУ «Харьковский политехнический институт»)

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

Редакция

Председатель редакционной коллегии

Парсункин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор

Главный редактор:

Андреев Сергей Михайлович – кандидат технических наук, доцент

Контакты

Главный редактор: Андреев Сергей Михайлович
Тел.: (3519) 29-85-27
Редакционная коллегия: Парсункин Борис Николаевич
Тел.: (3519) 29-84-32
E-mail: atp@magtu.ru

Адрес редакции: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.
E-mail: atp@magtu.ru
Выходит в свет 06.2020.

СОДЕРЖАНИЕ

Системы автоматизированного проектирования

А.С. Карпович

Автоматизация расчета применяемости инструментов на предприятии..... 4

Е.А. Панова, А.В. Варганова, М.С. Панарина

САПР электрических подстанций: проверка сборных шин прямоугольного сечения на электродинамическую стойкость. 7

Технические средства автоматизации

И.П. Попов

О возможности автоматизированной балансировки вибрационных механизмов 10

Математическое моделирование технологических систем и объектов управления

А.С. Прасолов, И.С. Назаров

Моделирование контура стабилизации температуры горячего дутья с использованием нечеткой логики..... 13

И.П. Попов

Попутная оптимизация производительной мощности решетчатых сортировальных машин..... 19

Автоматизированные системы управления

А.С. Прасолов, И.Г. Самарина, А.Р. Бондарева

Моделирование системы экстремального регулирования на языке LAD 22

CONTENTS

CAD/CAM/CAE systems

A.S.Karpovich

Automation of the calculation of the use of instruments 4

E.A. Panova, A.V. Varganova, M.S. Panarina

CAD of electrical substations: Checking busbars of rectangular cross section for electrodynamic stability 7

Automation equipment

I.P. Popov

On the possibility of automated balancing of vibration mechanisms 10

Mathematical simulation of control systems and objects

A.S. Prasolov, I.S. Nazarov

Fuzzy logic modeling the control loop the temperature of the hot low..... 13

I.P. Popov

Associated optimization of productive capacity of lattice sorting machines..... 19

Automatic control systems

A.S. Prasolov, I.G. Samarina, A.R. Bondareva

Modeling of the extreme control system in the LAD language 22

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 странице портала ФГБОУ ВО "МГТУ" www.mgtu.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.

Самцитирование: 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. Парсункин¹, Т.Г. Сухоносова²

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

² 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 формировать такие планы 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

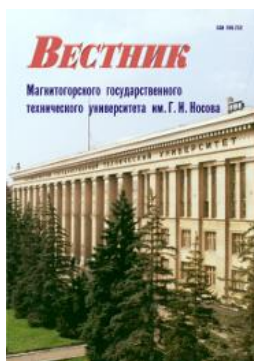
Например, кривые разгона по температуре поверхности нагреваемой заготовки в первой сварочной зоне методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК» (до реконструкции) при различных величинах расхода природного газа во второй сварочной зоне представлены на рис. 1, [2]. Динамические параметры, полученные при обработке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

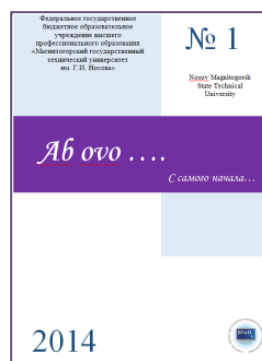
Другие рекомендуемые периодические издания



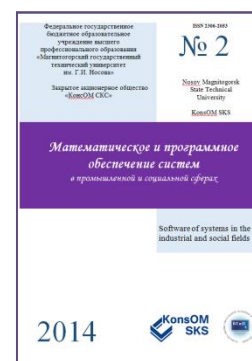
Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова



Электротехнические системы и комплексы



Журнал молодых исследователей: магистров и аспирантов



Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах

УДК 007.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА ПРИМЕНЯЕМОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

А.С. Карпович

ПАО ААК "ПРОГРЕСС" Холдинг Вертолёты России, г.Арсеньев, РФ
starik155@yandex.ru

Аннотация. Автоматизация системы анализа применяемого на предприятии инструмента позволяет производить расчёты по использованию любого инструмента в режиме реального времени, минимизировать человеческий фактор при принятии решения о приобретении или изготовления нового инструмента и сократить инструментальные расходы на 10-15%. Анализ основан на автоматизации системы регистрации всех операций с инструментом на базе программного комплекса АСУ "ПРОГРЕСС" СУБД "ORACLE".

Ключевые слова. коэффициенты технологической и фактической применяемости инструмента, технологическая и фактическая применяемость инструмента, механообрабатывающее производство, анализ применяемости инструментов, система регистрации операций с инструментом, формы отчётов.

ВВЕДЕНИЕ[©]

В связи с высокой стоимостью современного высокопроизводительного инструмента и длительными сроками их поставки возникает вопрос о его эффективном использовании. Наличие в системе инструментообеспечения любого предприятия эффективной методики глубокого анализа применяемости инструментов и средств оснащения, позволяет экономить до 10-15% средств на их приобретение и изготовление [1].

Существующие анализы применяемости инструментов, опубликованные в различных изданиях, основаны на принципах унификации применяемого инструмента, на их количественных или стоимостных показателях. Это безусловно очень важные анализы применяемости, но в них не рассматривается технологическая и фактическая применяемость инструментов и средств оснащения [2].

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРИМЕНЯЕМОСТИ

Один из способов анализа был разработан и внедрен на ПАО ААК "ПРОГРЕСС", путем разработки и внедрения программы "Производственные склады ИРКа" на базе программного комплекса АСУ "ПРОГРЕСС" СУБД "ORACLE". В основе методики анализа лежит программа, регистрирующая операции назначения инструмента технологом, выдача в работу и приём обратно в ИРКа всего применяемого инструмента в механообрабатывающем производстве. Наличие в ИРКа инструментов, которые рабочие не берут в работу, свидетельствует о том, что порядок заказа многотысячной номенклатуры инструментов и его практическое использование не согласованы между собой. Предлагаемая методика устраняет эту проблему. В программе АСУ "ПРОГРЕСС" имеются два источника данных это справочники "Инструментарий" и "Техноло-

гический блок", которые позволяют отслеживать назначение инструментов и его реальное применение в режиме реального времени. Программа АСУ "ПРОГРЕСС" автоматически регистрирует все проводимые операции с инструментом и средствами оснащения и по определённым алгоритмам формирует различную выходную информацию (отчёты), реализуемую в электронном и бумажном виде.

Анализ применяемости это один из алгоритмов основанный на автоматическом расчете коэффициентов технологической применяемости инструментов (КТПИ) и фактической применяемости инструментов (КФПИ). Операции назначения инструментов и их фактическое использование выполняются разными людьми, что создаёт конфликт интересов и повышает достоверность расчетов. Интересы технолога, назначающего инструмент согласно технологического процесса и рабочего физически выполняющего технологические операции, не всегда совпадают, особенно в условиях единичного и мелко-серийного производства, поэтому величина коэффициентов КТПИ и КФПИ могут значительно отличаться друг от друга по величине и могут быть приняты как точный показатель применяемости инструментов. Коэффициенты КТПИ и КФПИ рассчитываются по формулам (1, 2) и могут изменяться от 0 до 1. Формулы расчета коэффициентов [3]:

$$КТПИ = N_1 / N, \quad (1)$$

$$КФПИ = N_2 / N, \quad (2)$$

где КТПИ – коэффициент технологической применяемости; КФПИ – коэффициент фактической применяемости; N_1 – сумма наименований инструментов в группе, у которых $ТПИ \geq 1$; N_2 – сумма наименований инструментов в группе, у которых $ФПИ \geq 1$; N – количество наименований

инструментов в группе. Каждое наименование инструмента соответствует единице.

ТПИ – технологическая применяемость каждого инструмента. Определяется как сумма технологических операций, в которых назначался конкретный инструмент и формируется автоматически по результатам работы технологов.

ФПИ – фактическая применяемость каждого инструмента. Определяется как количество обращений рабочих в ИРКа за инструментом для физического применения в течение расчётного периода (месяц, квартал).

Показатели ТПИ и ФПИ рассчитываются автоматически и применяются с целью автоматизации расчёта КТПИ и КФПИ. Они показывают интенсивность использования каждого наименования инструмента и автоматически отражаются в справочниках "Инструментарий" и "Технологический блок". Числовое значение ТПИ и ФПИ используются технологами при назначении инструментов в технологическом процессе с целью сокращения номенклатуры применяемого инструмента, но в формулах (1,2) их числовое значение не используется.

Данная методика расчета N_1 и N_2 позволяет уравнять важность применения инструмента с высокой интенсивностью использования и инструментов с низкой интенсивностью использования, но без которого изготовление изделия невозможно.

Полученные значения КТПИ и КФПИ визуальнo сравниваются между собой. Чем выше их числовое значение и близость между ними, тем использование приобретаемого или изготавливаемого инструмента эффективнее. Опти-

мальная величина коэффициентов может изменяться в зависимости от типа производства (единичное, серийное, массовое). Изменить коэффициенты в "ручную" невозможно, поэтому их величина может характеризовать истинное использование инструментов на предприятии.

С целью визуализации динамики изменения КТПИ и КФПИ видовых групп инструментов и средств оснащения, программа первого числа каждого месяца в течение календарного года отражает их значение на автоматически формируемом графике (см. рис. 1). График изменения КТПИ и КФПИ наглядно показывает периоды и динамику изменения применяемости инструментов, а также величину коэффициентов и разницу между ними. При необходимости можно посмотреть графики за предыдущие периоды работы предприятия.

Абсолютная величина коэффициентов отражается в формируемой таблице (см. табл. 1) в режиме реального времени. Такая таблица может быть сформирована не только на видовые группы инструмента, но и на любую подгруппу, входящую в видовую группу. Чем выше числовое значение КТПИ и КФПИ и равенство их между ними, тем использование имеющегося инструмента эффективнее.

Данная методика анализа применяемости не рассчитывает количественное использование каждого наименования инструментов с целью формирования заявки на предстоящий год. Эту задачу решает другая опция программы "Производственные склады ИРКа".

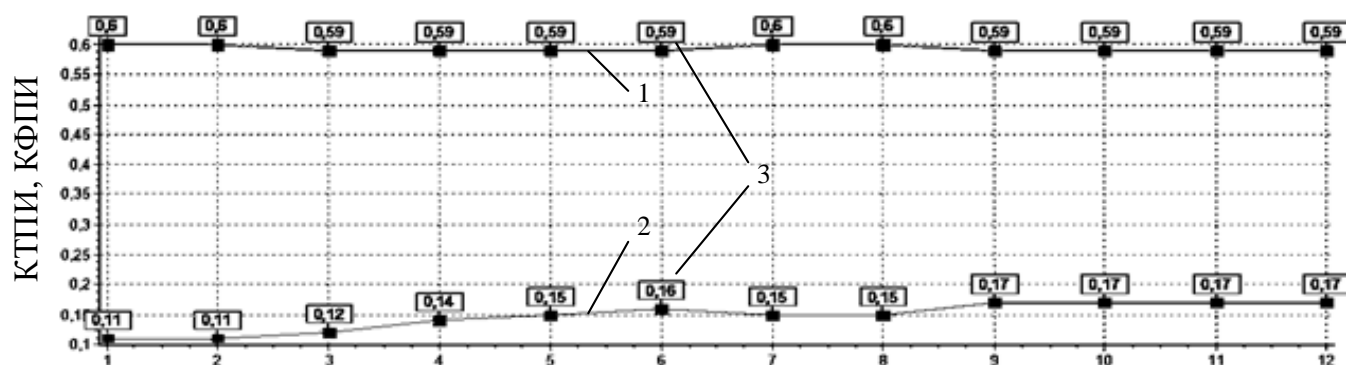


Рис. 1. Графики изменения КТПИ, КФПИ (Режущий инструмент) за 2019 год по месяцам (1 – КФПИ, 2 – КТПИ, 3 – численные значения коэффициентов по месяцам)

Таблица 1

Покупные фрезы КТПИ, КФПИ

Наименование и группы инструментов	Количество инструментов в группе, подгруппе	Коэффициент технологической применяемости	Коэффициент фактической применяемости
Покупные фрезы	209	0,72	0,41
Головки фрезерные	67	0,69	0,46
Концевые фрезы твёрдосплавные	107	0,69	0,45
Резьбонарезные фрезы	16	0,81	0,44
Фасочные фрезы	12	0,92	0
Фрезы дисковые	7	0,86	0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная методика анализа применимости инструментов позволяет в режиме реального времени анализировать - какие из имеющихся на складе инструменты и средства оснащения используется интенсивно, а какие не используется вовсе. В результате анализа появляется возможность формирования объективной заявки на приобретаемый или изготавливаемый инструмент, что в итоге позволяет снизить расходы на инструментообеспечение и повысить эффективность его использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разова М.А. Внедрение КИС Omega Production на инструментальном производстве ОАО «Заволжский моторный завод» / М.А. Разова // САПР и графика. 2006. №4. 8.
2. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент. Эксплуатация : учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. — Минск : Новое знание, 2012. — 256 с.
3. Клименков, С. С. Обработывающий инструмент в машиностроении: учебник / С.С. Клименков. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 459 с.

AUTOMATION OF THE CALCULATION OF THE USE OF INSTRUMENTS

A.S.Karpovich

Company AAC "PROGRESS" Holding Helicopters of Russia, Arsenyev,
Russian Federation

REFERENCES

1. Razova M.A. Implementation of Omega Production CIS at the instrumental production of Zavolzhsky Motor Plant OJSC [Vnedrenie KIS Omega Production na instrumental'nom proizvodstve OAO «Zavolzhskij motornyj zavod»]. SAPR i grafika [CAD system and graphics]. 2006. no.4, 8.

2. Feldstein E.E., Kornievich M.A. *Rezhushchij instrument. Ekspluatatsiya* [Cutting tool. Ex-ploitation: textbook], Minsk: New knowledge, 2012. 256 p.

3. Klimenkov S.S. *Obrabatyvayushchij instrument v mashinostroenii* [Machining Tools in Mechanical Engineering: textbook]: M. INFA-M RESEARCH; Minsk: New knowledge 2013. 459 p.

Карпович, А.С. Автоматизация расчёта применимости инструментов на предприятии / А.С. Карпович // Автоматизированные технологии и производства. 2020. №1(21). С.4-6.

Karpovich A.S. Automation of the calculation of the use of instruments. *Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2020, no.1(21), pp.4-6. (In Russian).

САПР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ: ПРОВЕРКА СБОРНЫХ ШИН ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ

Е.А. Панова, А.В. Варганова, М.С. Панарина

ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия
ea.panova@magtu.ru

Аннотация. Проектирование понизительных подстанций целесообразно выполнять средствами САПР. Одним из самых трудоемких этапов проектирования подстанции является выбор и проверка электрооборудования. В частности, при проверке шинных конструкций распределительных устройств на электродинамическую стойкость возникает необходимость использовать справочные табличные и графические данные. Для разработки алгоритма автоматизированной проверки сборных шин прямоугольного сечения на электродинамическую стойкость авторами статьи получены математические выражения, для определения коэффициента формы и динамического коэффициента, которые традиционно определяются по номограммам. Работа выполняется при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых - кандидатов наук МК-939.2019.8.

Ключевые слова: САПР, электродинамическая стойкость, сборные шины, подстанция, коэффициент формы, динамический коэффициент.

ВВЕДЕНИЕ[©]

Одним из наиболее трудоемких процессов при проектировании электроустановок, в частности понизительных подстанций, является выбор и проверка электрооборудования. Эта часть проекта связана с необходимостью выполнения большого объема однотипных расчетов. Кроме того, при проверке электрических проводников и аппаратов на термическую стойкость проектировщику необходимо использовать не только справочную, но и нормативную литературу, содержащую большое количество табличных и графических материалов. Для ускорения этого процесса целесообразно использовать САПР.

Наиболее широко применяются чертежно-графические САПР [1, 2], однако они автоматизируют только процесс создания чертежей за счет использования библиотек элементов и не дают возможность выполнить расчет электрической части проектируемого объекта. Вопросам автоматизированной проверки электрических проводников и шинных конструкций посвящено большое число работ. Так в [3] авторы рассматривают вопрос разработки САПР проверки гибкой ошиновки распределительных устройств, а работа [4] посвящена автоматизированному выбору и проверке проводов и кабелей. Также есть работы [5] направленные на оптимизацию параметров жестких шин. Однако предложенные авторами данных работ решения направлены на решение только одной задачи – выбора и проверки проводников. Другие же этапы проекта проектировщику придется либо выполнять вручную, либо использовать для этого другие программные продукты и системы. Поэтому актуальной является задача разработки САПР, позволяющей комплексно подойти к вопросу автоматизации проектирования понизительных подстанций.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАКСИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ ШИНЫ

При автоматизированном проектировании понизительных подстанций одной из проблем является необходимость при проверке электрических проводников на электродинамическую стойкость учитывать коэффициенты, которые традиционно определяются по номограммам. Так при расчете максимального механического напряжения в материале шинной конструкции необходимо определить динамический коэффициент η и коэффициент формы K_Φ . Номограммы для их определения даны в [6] и приведены на рис. 1 и 2 соответственно. На рисунках использованы следующие обозначения: f_1 – расчетная основная частота собственных колебаний шины, Гц; $f_c = 50$ Гц – частота сети. Частота собственных колебаний шинной конструкции также определяется в соответствии с [6]. Алгоритм ее автоматизированного расчета с учетом материала и профиля шины приведен в [7].

Для математического описания зависимости $\eta = f(f_1/f_c, k_y)$ номограмма на рис. 1 была разбита на 9 участков, на которых величина динамического коэффициента изменяется линейно. Для каждого участка была построена поверхность в осях $(f_1/f_c; k_y; \eta)$ и, с помощью программного пакета STATISTICA, определено регрессионное уравнение для каждой из 9 поверхностей. В качестве примера на рис. 3 приведены 6 участков данной поверхности, соответствующие разным диапазонам f_1/f_c .

Диаграмма, изображенная на рис. 2, также преобразована в поверхность, иллюстрирующую зависимость $k_\Phi = f(b/h; (a-b)/(b+h))$.

На основе данных графиков авторами получены математические выражения, позволяющие рассчитать коэффициент формы и динамический коэффициент.

Работа выполняется при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых - кандидатов наук МК-939.2019.8

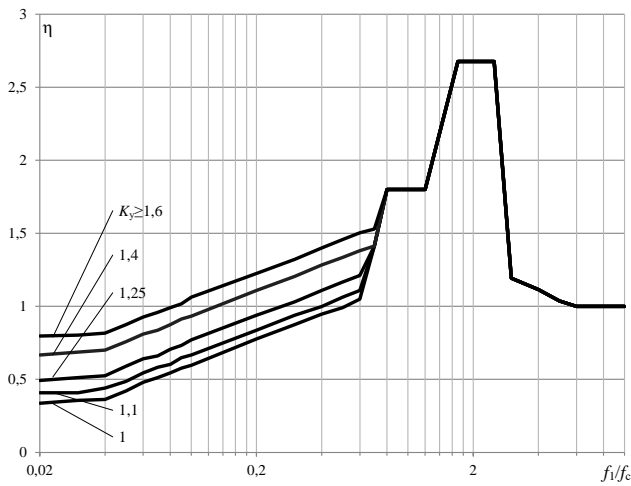


Рис. 1. Номограмма к определению динамического коэффициента (при трехфазном КЗ)

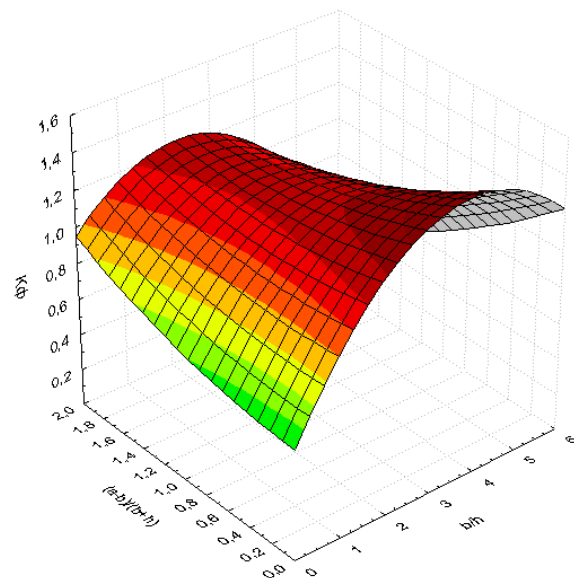


Рис. 4. Зависимость $k_{\phi} = f(b/h; (a-b)/(b+h))$

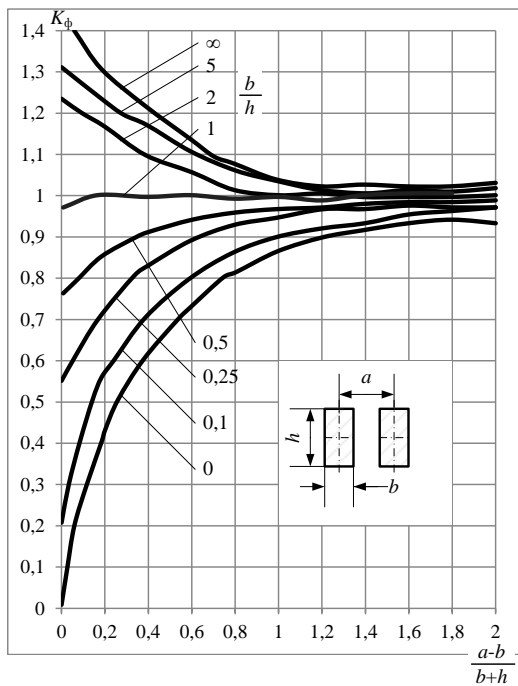


Рис. 2. Номограмма к определению коэффициента формы

Зависимость $\eta = f(f_1/f_c, k_y)$ описывается уравнением:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \eta = 1,4776 + 1,4255 \frac{f_1}{f_c} - 0,7608 k_y, & 0,02 \leq \frac{f_1}{f_c} < 0,04; \\ \eta = 1,5892 + 1,1124 \frac{f_1}{f_c} - 0,743 k_y, & 0,04 \leq \frac{f_1}{f_c} < 0,6; \\ \eta = -0,7365 + 3,3144 \frac{f_1}{f_c} + 0,1019 k_y, & 0,6 \leq \frac{f_1}{f_c} < 0,8; \\ \eta = 1,8, & 0,8 \leq \frac{f_1}{f_c} < 1,2; \\ \eta = -0,3025 + 1,7521 \frac{f_1}{f_c}, & 1,2 \leq \frac{f_1}{f_c} < 1,7; \\ \eta = 2,676, & 1,7 \leq \frac{f_1}{f_c} < 2,5; \\ \eta = 10,095 - 2,9676 \frac{f_1}{f_c}, & 2,5 \leq \frac{f_1}{f_c} < 3; \\ \eta = 1,3803 - 0,0654 \frac{f_1}{f_c}, & 3 \leq \frac{f_1}{f_c} < 6; \\ \eta = 1, & 6 \leq \frac{f_1}{f_c} \leq 10. \end{array} \right. \quad (1)$$

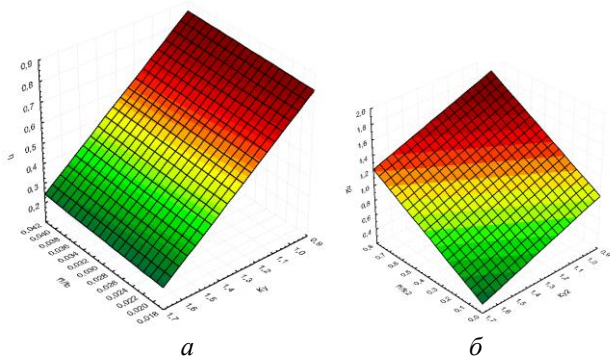


Рис. 3. Поверхность, описывающая зависимость $\eta = f(f_1/f_c, k_y)$ на участках $0,02 \leq f_1/f_c < 0,04$ (а), $0,04 \leq f_1/f_c < 0,6$ (б)

Авторами получено регрессионное уравнение, описывающее зависимость $k_{\phi} = f(b/h; (a-b)/(b+h))$:

$$\begin{aligned} k_{\phi} = & 0,6161 + 0,4663 \cdot \frac{b}{h} + \\ & + 0,196 \cdot \frac{a-b}{b+h} + 0,0607 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 + \\ & + 0,0989 \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{a-b}{b+h} + 0,0747 \cdot \left(\frac{a-b}{b+h}\right)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выражения (1) и (2) позволяют определить коэффициенты, необходимые для проверки сборных шин на элек-

тродинамическую стойкость, в соответствии с руководящими указаниями [6]. Данные выражения использованы в соответствующем алгоритме САПР, реализованном в программном продукте ЗРУ CAD [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт Autodesk Inc. <https://www.autodesk.ru/products/autocad/overview>.
2. Официальный сайт ООО «АСКОН - Системы проектирования». <https://kompas.ru/>
3. Воронин А.А. Система автоматизированного выбора гибких сборных шин распределительных устройств / А.А. Воронин, В.А. Одрузова, Т.Б. Наурзов // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Международной научно-технической конференции, 02 – 06 октября 2017, Самара. – В 3 т. – Т 1. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – С. 154-157.
4. Елисеев Д.С. Алгоритмы САПР для выбора проводов и кабелей. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2012. – 184 с.

5. Гуляева А.К. Оптимизация параметров жесткой ошиновки / А.К. Гуляева, А.П. Долин // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: двадцать четвертая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (15–16 марта 2018 г., Москва): Тез. докл. – М.: ООО «Центр полиграфических услуг „Радуга“», 2018. – С. 1033.

6. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования : нормативный документ / Рос. АО энергетики и электрификации «ЕЭС России»; [под ред. Б.Н. Неклепаева]. – Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2004. – 150 с.

7. Панова Е.А. Автоматизированная проверка однополосных шин прямоугольного сечения по условиям термической и электродинамической стойкости / Е.А. Панова, А.В. Варганова, М.С. Панарина // Электротехнические системы и комплексы. – 2020. – № 1(46). – С. 28-33. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1\(46\)-28-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1(46)-28-33)

8. ЗРУ CAD: Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ РФ. № 2019664573 / Варганова А.В., Панова Е.А., Кушмил' О.Е., Панарина М.С. Заявл. 01.11.2019. Опубл. 08.11.2019

CAD OF ELECTRICAL SUBSTATIONS: CHECKING BUSBARS OF RECTANGULAR CROSS SECTION FOR ELECTRODYNAMIC STABILITY

Evgeniya A. Panova, Aleksandra V. Varganova, Mariya S. Panarina
Nosov Magnitogorsk State Technical University

Abstract. It is advisable to design step-down substations using CAD tools. One of the most time-consuming steps in substation design is the selection and verification of electrical equipment. In particular, when checking busbar structures of switchgears for electrodynamic resistance, it becomes necessary to use reference tabular and graphic data. To develop an algorithm for automated testing of rectangular busbars for electrodynamic resistance, the authors of the article obtained mathematical expressions to determine the shape factor and the dynamic factor, which are traditionally determined by nomograms. The work is carried out with the financial support of a grant from the President of the Russian Federation for young scientists - candidates of sciences MK-939.2019.8.

Keywords: CAD, electrodynamic stability, busbars, substation, shape factor, dynamic factor.

REFERENCES

1. Autodesk Inc. <https://www.autodesk.ru/products/autocad/overview>.
2. LLC «Ascon – Project systems». <https://kompas.ru/>
3. Voronin A.A., Odruzova V.A., Naurzov T.B. *Sistema avtomatizirovannogo vybora gibkikh sbornykh shin raspredelitel'nykh ustroystv* [System of automated selection of flexible busbars of switchgears]. *Elektroenergetika glazami molodezhi* [Electricity through the eyes of youth], 2017, vol. 1, pp. 154-157.
4. Eliseev D.S. *Algoritmy SAPR dlya vybora provodov i kabeley* [CAD algorithms for selecting wires and cables], Volgograd State Agrarian University Publ, 2012, 184 p.
5. Gulyaeva A. K., Dolin A. P. *Optimizatsiya parametrov zhestkoy oshinovki* [Optimization of the busbar parameters]. *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika*

[Electronics, electrical engineering and energy], International conference, Moscow, 2018, pp. 1033. (In Russ.)

6. *Rukovodyashchie ukazaniya po raschetu tokov korotkogo zamykaniya i vyboru elektrooborudovaniya : normativnyy dokument* [Guidelines for the calculation of short circuit currents and the selection of electrical equipment: regulatory document], edited by B.N. Neklepavev, Moscow, NTs ENAS Publ., 2004, 150 p.

7. Panova E.A., Varganova A.V., Panarina M.S. Automated Check of Single-bar rectangular Busbars on The Conditions of Thermal and Electrodynamic Withstand. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2020, no. 1(46), pp. 28-33. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1\(46\)-28-33](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1(46)-28-33)

8. Varganova A.V., Panova E.A., Kushmil' O.E., Panarina M.S. ZRU CAD. Software RF, no. 2019664573.

УДК 537.311.6

О ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ БАЛАНСИРОВКИ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

И.П. Попов

Центр высоких технологий, Москва, Россия

e-mail: i.popow@yandex.ru

Аннотация. Исследуется возможность аналитического синтеза искусственной величины, имеющей размерность массы и удовлетворяющей главному уравнению механики, посредством которого определяется инертность. Синтезированная с применением электрических устройств инертность может использоваться для создания систем автоматизированной балансировки машин, массивные рабочие органы которых совершают возвратно-поступательные движения. Особую значимость эта задача приобретает для грохотов, применяемых для сепарации балласта, используемого при укладке железнодорожного полотна, поскольку массы движущихся частей непрерывно изменяются в широких пределах за счет непостоянства подачи сортируемого материала. Возникающая в таких случаях неуравновешенность машины вызывает значительную вибрацию, компенсировать которую иными средствами затруднительно. При автоматизированной балансировке грохотов в следящем режиме движущийся элемент объекта с синтезированной инертностью должен быть прикреплен к движущейся массивной части грохота, подлежащей регулированию. Посредством следящей системы фиксируется отклонение от оптимальной инертной массы и осуществляется ее коррекция.

Ключевые слова: синтезированная инертность, грохот, балласт, неуравновешенность, вибрация, магнитное поле, электрическое поле.

ВВЕДЕНИЕ[©]

Существует два вида массы, которые эквивалентны друг другу – гравитационная и инертная. Первая определяется законом всемирного тяготения, вторая – главным уравнением механики

$$f = m \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (1)$$

где f – сила, Н; m – масса, кг; x – перемещение, м; t – время, с.

Величина как гравитационной, так и инертной массы непосредственно зависит от объема и плотности материала физического тела, обладающего массой [1–3].

Величина m_c , являющаяся параметром какого-либо устройства и удовлетворяющего выражению (1) вне зависимости от объема и плотности материала, из которого оно изготовлено, может рассматриваться в качестве искусственно созданной массы. Подчинение выражению (1) означает, что устройство обладает искусственной инертностью, природа которой не связана с наличием и плотностью вещества [4].

Постановка задачи. Исследование имеет в качестве своей задачи аналитический синтез искусственной величины, имеющей размерность массы и удовлетворяющей выражению (1), другими словами, синтез искусственной инертности.

Косвенное указание на возможность такого синтеза дает изоморфизм в математическом смысле, связывающий формулы для механических и электрических процессов,

один из вариантов которого предполагает следующее дуальное соответствие

$$m \Rightarrow C. \quad (2)$$

Вместе с тем изоморфные соотношения нельзя рассматривать как непосредственные физические зависимости в силу того, что связываемые процессы или объекты физически не взаимодействуют. По этой причине рассматривать применение электрической емкости для моделирования синтезированной массы возможно лишь в такой технической системе, в которой одновременно протекают как механические, так и электрические процессы.

Актуальность, научная значимость. Синтезированная с применением электрических устройств инертность может использоваться для создания систем автоматизированной балансировки машин, массивные рабочие органы которых совершают возвратно-поступательные движения. Особую значимость эта задача приобретает для грохотов, применяемых для сепарации балласта, используемого при укладке железнодорожного полотна, поскольку массы движущихся частей непрерывно изменяются в широких пределах за счет непостоянства подачи сортируемого материала. Возникающая в таких случаях неуравновешенность машины вызывает значительную вибрацию, компенсировать которую иными средствами затруднительно.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными методами исследования в рамках настоящей работы являются методы математического моделирования и анализа. При этом исследуется не сам физический объект, а его математическая модель – "эквивалент" объекта, отражающий в математической

форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его частям, и т.д. Используемые виды моделирования являются детерминированными, динамическими и непрерывными. Основными этапами математического моделирования являются построение модели, решение математической задачи, к которой приводит модель, интерпретация полученных следствий из математической модели, проверка адекватности модели, модификация модели. Используемые методы позволяют получить достоверное описание исследуемых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Конструктивное исполнение объекта с синтезированной инертностью представлено на рис. 1. Число активных проводников – n , размер их участков, взаимодействующих с магнитным полем, – l , величина индукции – B , электрическая емкость – C . Остальные параметры обмотки, как механические, так и электрические во внимание не принимаются.

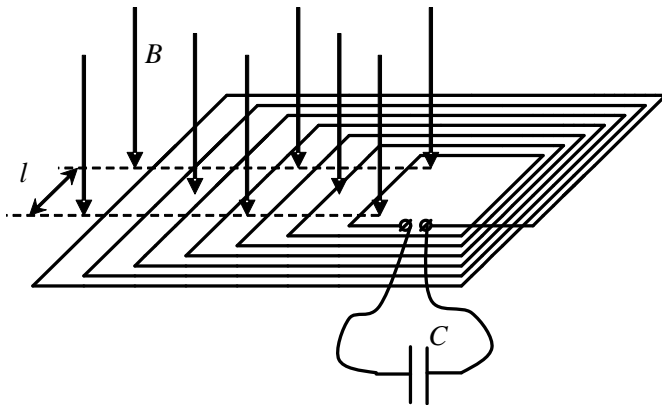


Рис. 1. Устройство, обладающее искусственной массой

Описание процессов. Электродвижущая сила, индуцируемая в обмотке, связана со скоростью движения обмотки относительно силовых линий магнитного поля

$$e_i = -Bln \frac{dx}{dt}.$$

Эта ЭДС равна напряжению на обкладках конденсатора

$$Bln \frac{dx}{dt} = \frac{1}{C} \int i dt,$$

где i – электрический ток. Дифференцирование полученной формулы по времени дает

$$Bln \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{C} i,$$

$$i = BlnC \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Подстановка выражения для тока в формулу для силы Ампера приводит к следующему:

$$F = Blni = (Bln)^2 C \frac{d^2x}{dt^2} = m_c \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Полученная формула совпадает с (1) – главным уравнением механики, которое и определяет массу. В этой формуле

$$m_c = (Bln)^2 C \quad (3)$$

– синтезированная масса. Отсюда вытекает формула для синтезированной (квазиэлектрической) емкости, величина которой определяется массой,

$$C_m = \frac{m}{(Bln)^2}.$$

Объект с емкостной инертностью (3), соединенный с упругим элементом, представляет собой колебательную систему, в которой могут возникать свободные гармонические колебания в частоте

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m_c}} = \frac{1}{Bln} \sqrt{\frac{k}{C}},$$

где k – коэффициент упругости пружины. Сопоставление этой формулы с известным соотношением

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

позволяет установить выражение для синтезированной индуктивности

$$L_k = \frac{(Bln)^2}{k}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механический km_c маятник с не меньшими основаниями может быть представлен в качестве электрической CL_k системы.

Колебания в km_c (CL_k) устройстве, осуществляемые без подвода энергии извне, сопровождаются трансформацией энергии электрического поля в потенциальную энергию упругого элемента и наоборот, т.е. происходит обмен энергиями различной физической природы.

Синтезированная инертность не сводится к изоморфизму (2), т.к. он непосредственно не позволяет использовать электрические приборы в составе механических изделий, равно как и грузы или пружины – в составе электрических устройств.

Практическая значимость. При автоматизированной балансировке грохотов в следящем режиме движущийся элемент объекта с синтезированной инертностью должен быть прикреплен к движущейся массивной части грохота, подлежащей регулированию. Посредством следящей системы фиксируется отклонение от оптимальной инертной массы и осуществляется ее коррекция. Выражение (3) показывает, что регулирующее воздействие на инертную массу производится путем усиления или ослабления магнитного или электрического полей. В результате суммарная инертность остается неизменной, что обеспечивает балансировку грохота при его неравномерной загрузке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ишметьев, Е.Н. Автоматизация процесса вычисления объема металлолома для кислородно-конвертерного процесса с использованием 3D-камеры / Е.Н. Ишметьев, Д.В. Чистяков, А.Н. Панов, Е.Э. Бодров // Автоматизированные технологии и производства. 2017. №2(16). С.4-9.
2. Толстова, Ю.С. Оптимизация параметров процесса непрерывного горячего цинкования с использованием экспериментально-статистической модели / Ю.С. Толсто-

ва, В.А. Газизова, И.Г. Самарина // Автоматизированные технологии и производства. 2019. №1(19). С.14-17.

3. Газизова, В.А. Обзор методов и средств измерения уровня металла в кристаллизаторе МНЛЗ / В.А. Газизова, Ю.С. Толстова, Е.Ю. Мухина // Автоматизированные технологии и производства. 2019. №1(19). С.21-24.

4. Попов, И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации / И.П. Попов // Автоматизированные технологии и производства. 2019. №1(19). С.18-20.

ON THE POSSIBILITY OF AUTOMATED BALANCING OF VIBRATION MECHANISMS

I.P. Popov

Center of High Technologies, Moscow, Russia

e-mail: i.popow@yandex.ru

Abstract. The possibility of analytical synthesis of an artificial quantity having a dimension of mass and satisfying the main equation of mechanics by means of which inertia is determined is investigated. Synthesized with the use of electrical devices, inertia can be used to create automated balancing systems for machines, whose massive working elements perform reciprocating movements. This task is particularly important for screens used to separate the ballast used for laying the railroad track, since the masses of the moving parts continuously vary over a wide range due to inconsistent feed of the sorted material. The imbalance of the machine arising in such cases causes a considerable vibration, which it is difficult to compensate by other means. With automated screen balancing in tracking mode, the moving element of the object with synthesized inertia should be attached to the moving massive part of the screen to be controlled. By means of the tracking system, the deviation from the optimum inert mass is fixed and its correction is carried out.

Keywords: synthesized inertia, rumble, ballast, imbalance, vibration, magnetic field, electric field.

REFERENCES

1. Ishmetyev E.N., Chistyakov D.V., Panov A.N., Bodrov E.E. automated calculation of scrap-metal's volume in oxygen converter process using 3d-camera. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automation of Technologies and Production], 2017, no.2(16), pp. 4-9.

2. Tolstova Yu.S., Gazizova V.A., Samarina I.G Optimization of parameters of process of continuous hot galvanising with use of the experimental statistical model. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2019, no.1(19), pp.14-17. (In Russian)

3. Gazizova V.A., Tolstova Yu.S., Mukhina E.Yu. The review of methods and measuring instruments of level of metal in machine continuous-casting machines crystallizer. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2019, no.1(19), pp.21-24. (In Russian)

4. Popov I.P. Spontaneous elastically inductive oscillations in technical automation means. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2019, no.1(19), pp.18-20. (In Russian)

Попов, И.П. О возможности автоматизированной балансировки вибрационных механизмов / И.П. Попов // Автоматизированные технологии и производства. 2020. №1(21). С.10-12.

Popov I.P. On the possibility of automated balancing of vibration mechanisms. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2020, no.1(21), pp.10-12. (In Russian)

УДК 62-503.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕГО ДУТЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

А.С. Прасолов, И.С. Назаров

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия

Prasolov.a@konsom.ru

Аннотация. В работе рассматривается система стабилизации температуры горячего дутья доменной печи путем дозированного смешивания его с холодным дутьем. Разработана математическая модель смешивания горячего и холодного дутья воздухоподогревателя доменной печи. Аппроксимировано изменение температуры куполов блока воздухоподогревателей доменной печи. В системе управления стабилизацией температуры дутья использован нечетко-логический регулятор. Выполнено математическое моделирование контура стабилизации и получен переходный процесс изменения температуры горячего дутья при последовательной работе блока воздухоподогревателей.

Ключевые слова: Воздухоподогреватель, доменное производство, горячее дутье, смешивание газов, нечеткая логика, стабилизация.

ВВЕДЕНИЕ[©]

Энтальпия горячего дутья является важной статьей теплового баланса доменной плавки, поэтому стабилизация температуры дутья на оптимальном для данных условий уровне дает значительный эффект

Постоянство температуры дутья при прочих равных условиях способствует ровному высокопроизводительному ходу печи, при этом меньше колеблется температура в горне и стабилизируются химический состав и температура чугуна на выпусках. Изменение задания регулятору температуры дутья является наиболее простым и удобным методом коррекции при отклонениях теплового режима от оптимального.

Колебания температуры дутья допустимы в пределах, обусловленных аккумулирующей способностью печи, однако резкое повышение температуры может вызвать резкое сокращение окислительной зоны у фурм, вследствие чего возможно подстывание гарниссажа в заплечиках и ухудшение условий схода шихтовых материалов в горне. Поэтому повышаются требования к точности стабилизации температуры дутья [1].

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ И РЕШЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ДУТЬЯ.

Наиболее распространенным методом стабилизации горячего дутья, является система основанная на использовании ПИД- или ПИ-регулятора с задатчиком и исполнительным механизмом при смешительном клапане [2]. Недостатком данной системы высокой чувствительностью к изменениям параметров объекта управления, ограниченным коэффициентом усиления в результате чего системы с П-регуляторами обладают большим статическим падением

ем скорости, а с ПИ - большим динамическим падением скорости. Кроме того системы с такими регуляторами имеют ограниченное быстродействие.

Известен метод корректирующей настройки коэффициентов ПИД-регулятора с использованием нечеткой логики [3]. Однако данная система не учитывает резкое изменение температуры горячего дутья при смене воздухоподогревателя. Также в работе [4] проводилось исследование модели прогнозирования температуры с помощью нейронной сети, что существенно улучшало динамические характеристики системы. Недостатком данного подхода является недостаточный охват модели всех факторов, влияющих на процесс, к примеру динамическое изменение мощности воздухоподогревателей. Возможен способ нечеткого управления, использующего упрощенные математические модели технологических объектов управления. Данный подход позволяет эффективно функционировать в условиях неполной информации об управляемом параметре [5].

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Следует отметить некоторые особенности объекта, которые необходимо учитывать при проектировании и наладке системы автоматической стабилизации температуры горячего дутья.

1. В системе возникают два типа существенно различных возмущающих воздействий:

а) резкое и глубокое возмущение при очередном переходе с остывшего на нагретый воздухоподогреватель, вызванное тем, что смешительный клапан в этот момент полностью закрыт, а в смешительный воздухопровод поступает дутье с максимальной температурой;

б) монотонное, плавное возмущение, которое возникает после ликвидации последствий первого. В это время

регулятор постепенно закрывает смесительный клапан, компенсируя снижение нагрева дутья по мере остывания воздухонагревателя.

2. Воздухонагреватели (ВН) отличаются по своим характеристикам, их расположение относительно места установки датчика температуры несимметрично, что несколько изменяет динамические характеристики объекта.

3. Расход холодного воздуха через смесительный клапан при низких температурах дутья, которые возможны при разогреве печи или при специальных условиях, достаточно велик, поэтому сечение смесительного клапана приходится выбирать довольно большим.

Для того чтобы предупредить недопустимое повышение температуры дутья в момент перехода с остывшего воздухонагревателя на нагретый, в современных схемах автоматического перевода ВН предусматриваются временное отключение регулятора температуры дутья и выдача сигнала на открытие смесительного клапана. Регулятор температуры дутья включается через заданное время и доводит температуру до заданного значения без перегрева дутья.

Особенности объекта управления и высокая точность стабилизации температуры дутья вызывают необходимость принимать обоснованные технические решения при проектировании систем стабилизации температуры горячего дутья для каждой доменной печи (ДП) [6].

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТУРА СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕГО ДУТЬЯ

Отличие математической модели данного контура является постоянное изменение температуры газовых потоков от времени. Динамика изменения температуры горячего дутья зависит от множества факторов, и у конкретного воздухонагревателя может существенно отличаться. В качестве температуры горячего дутья, принимается показания температуры купола во время дутьевого режима.

В качестве исходных данных были использованы данные технологического процесса нагрева дутья в блоке из четырех воздухонагревателей (ВН). Блок ВН работал в последовательном режиме, в работе находились ВН №1,2,4. Данные представлены на рис. 1.

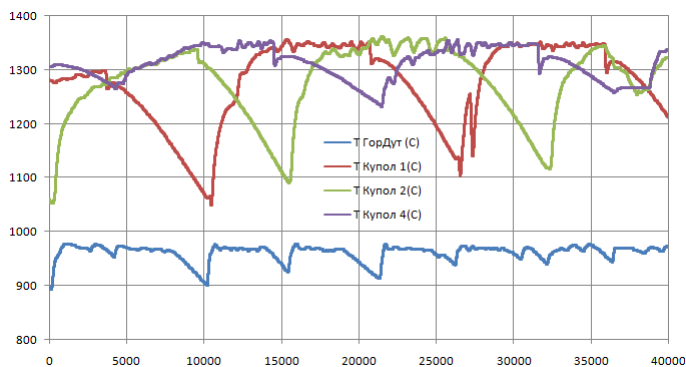


Рис. 1. Температурные параметры блока воздухонагревателей

В качестве температуры воздуха до смесительного клапана в дутьевом режиме соответствуют температура купола, так как через данную термопару продувается воздух во всех режимах работы воздухонагревателя. Поэтому

в качестве функции изменения температуры горячего дутья от времени $T_n(\tau)$ выбран полиномом второго порядка, температуры купола в дутьевой период работы (1).

$$T_n(\tau) = a_0 + a_1 \cdot \tau + a_2 \cdot \tau^2 \quad (1)$$

Расчет коэффициентов произведен методом наименьших квадратов. Уравнения изменения температуры горячего дутья от времени имеют вид:

$$T_1(\tau) = -0,00002 \tau^2 - 0,027 \tau + 1313,$$

$$T_2(\tau) = -0,00003 \tau^2 - 0,022 \tau + 1322,$$

$$T_4(\tau) = -0,00001 \tau^2 - 0,014 \tau + 1322.$$

Температуру смешанного дутья выразим через уравнение температуры смеси идеальных газов (2).

$$T_{см} = \frac{G_1 c_1 T_1 + G_2 c_2 T_2 + \dots + G_n c_n T_n}{G_1 c_1 + G_2 c_2 + \dots + G_n c_n} = \frac{\sum_1^n G_i c_i T_i}{\sum_1^n G_i c_i} \quad (2)$$

где G - массовый расход, кг/ч; c - теплоемкость воздуха, Дж/К; T - температура идеального газа, С; [7].

На блоке ВН в качестве подводящих труб горячего и холодного дутья используются трубы одинакового диаметра $D=1400$ мм, а труба смешанного дутья $D=2000$ мм. Подача воздуха, производится одной воздухоудвнной машиной, как на горячее, так и на холодное дутьё. Регулирование расхода холодного дутья в рабочих условиях происходит небольшим изменением открытия клапана порядка 0-20% от максимального открытия, поэтому изменение расхода холодного дутья через регулирующий орган принимается линейным.

Если за общий расход воздуха от воздухоудвнной машины на дутье взять 1, то расходы горячего и холодного дутья можно взять:

$$G_{г.д.} = 1 - x;$$

$$G_{х.д.} = x.$$

где x - процент открытия регулирующего клапана.

В итоге имеем следующее выражение определяющее температуру смешенного дутья (3):

$$T_{см}(\tau) = (1 - x_i)T_i(\tau) + x_i T_{х.д.} \quad (3)$$

Экспериментально получены следующие динамические характеристики объекта $T_{об}=21с$; $\tau_3=2с$; $K_{им}=0,025 \%x./^{\circ}C$

Структурная схема замкнутой системы управления с нечетким регулированием представлена на рис. 2.

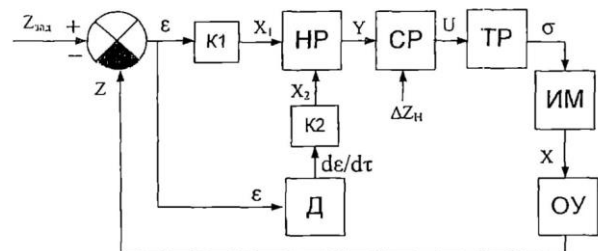


Рис.2 Структурная схема нечеткого регулятора в замкнутой системе

Для точной реализации математической модели нечеткого регулирования необходимо добиться четкого мате-

математического моделирования каждого из элементов этой системы, а именно:

- Исполнительный механизм (ИМ);
- Объект управления (ОУ);
- Нечеткий регулятор (НР);
- Сигнум-реле (СР);
- Триггер-Реверса; (ТР)

Исполнительный механизм – это двигатель постоянно тока, изменяющий свое положение вала. Изменение положения вала исполнительного механизма можно выразить следующей формулой (4)

$$Y_i = Y_{i-1} + \sigma K_{ИМ}, \quad (4)$$

где Y_i – текущее значение вала исполнительного механизма, Y_{i-1} – значение вала исполнительного механизма в предыдущий момент времени (с учетом шага дискретизации), $K_{ИМ}$ – скорость исполнительного механизма, вых. зн./% х . .

Текущее значение температуры поступает элемент сравнения, где формируется сигнал рассогласования (5):

$$\varepsilon = Z_{зад} - Z_{тек}; \quad (5)$$

где $Z_{тек}$ – текущее значение; $Z_{зад}$ – заданное;

Также формируется не только сигнал рассогласования, но и скорость изменения этого сигнала. Это необходимо для более точного регулирования переходным процессом.

Сигнал рассогласования ε поступает на блок масштабирования K_1 . Сам параметр масштабирования вычисляется по формуле (7):

$$K_1 = A K_{ИМ}; \quad (6)$$

где A – экспериментально подобранное значение параметра настройки нечеткого регулятора. Его значение зависит от необходимых критериев выходного переходного процесса, такие как переуправление, первое и второе время регулирования, $K_{ИМ}$ – скорость движения исполнительного механизма.

Сигнал скорости изменения рассогласования $\frac{d\varepsilon}{dt}$ поступает на масштабируемый блок масштабирования K_2 . Сам параметр масштабирования вычисляется по формуле (7):

$$K_2 = K_{ОВ} K_{ИМ}; \quad (7)$$

В итоге, на вход нечеткого регулятора поступает два сигнала – нормированный текущий сигнал рассогласования и скорость изменения этого сигнала рассогласования. С выхода нечеткого регулятора на сигнум-реле (СР) поступает нормированный управляющий сигнал Y , где происходит сравнение с зоной нечувствительности СР ΔZ_H . На выходе СР формируется управляющий импульс U , определяющий закономерность формирования текущего значения переключающей функции σ в соответствии с условием (8):

$$U = \begin{cases} +1, & \text{при } Y \geq \frac{\Delta Z_H}{2}, & \text{тогда } \sigma_{t+1} = \sigma_t; \\ 0, & \text{при } \frac{\Delta Z_H}{2} < Y < \frac{\Delta Z_H}{2}, & \text{тогда } \sigma_{t+1} = 0; \\ -1, & \text{при } Y \leq -\frac{\Delta Z_H}{2}, & \text{тогда } \sigma_{t+1} = -\sigma_t; \end{cases} \quad (8)$$

Управляющий импульс U поступает на вход триггер-ревверса (ТР), который формирует сигнал переключающей функции, определяющий текущее направление изменения ИМ в соответствии с условием:

При $U = 1$, тогда $\sigma_{t+1} = \sigma_t$ – выбранное направление изменения ИМ сохраняется;

При $U = 0$, тогда $\sigma_{t+1} = 0$ – остановить ИМ;

При $U = -1$, тогда $\sigma_{t+1} = -\sigma_t$ – направление изменения ИМ изменить на противоположное (совершить реверс);

В отличие от традиционных способов автоматического управления, использующих упрощенную математическую модель, системы с нечеткой логикой применяют качественную лингвистическую логическую модель. Сами нечеткие правила задаются в виде «Если <условие>, то <действие>», при этом оператор-технолог может их корректировать с помощью введения новых правил. Так как правила нечеткого управления являются логическими, то легко представить логику управления эксперта и разнообразным предпосылкам поставить в соответствие некоторое действие. При этом, если имеется несколько управляемых величин, то для каждой можно создать свои правила [8].

Так как температура горячего дутья постоянно меняется со временем целесообразно использовать это изменение в качестве одной из лингвистических переменных :

X_1 – Сигнал рассогласования; X_2 – Скорость изменения температуры горячего дутья; Y – Нормированный управляющий сигнал.

Нечеткое множество задается на непрерывной области определения (предметной области) переменной с помощью функций принадлежности, которые характеризуют степень принадлежности значения переменной этому множеству[9].

В области определения текущего нормированного сигнала рассогласования X_1 введем пять нечетких множеств, определяющих лингвистической переменной X_1 , соответствующими функциями принадлежности:

$A_1^{x_1}$ – Положительное большое;

$A_2^{x_1}$ – Положительное малое;

$A_3^{x_1}$ – Нулевое;

$A_4^{x_1}$ – Отрицательно малое;

$A_5^{x_1}$ – Отрицательно большое;

Аналогично определим те же функции принадлежности, только для X_2 :

$A_1^{x_2}$ – Положительное большое;

$A_2^{x_2}$ – Положительное малое;

$A_3^{x_2}$ – Нулевое;

$A_4^{x_2}$ – Отрицательно малое;

$A_5^{x_2}$ – Отрицательно большое;

Функции принадлежности четких переменных X_1 и X_2 нечетким множествам A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 графически представлены на рис. 3.

Нечеткие множества значений выходной лингвистической переменной Y определены функциями принадлежности:

B_1 – Положительное большое;

B_2 - Положительное малое;
 B_3 -Нулевое;
 B_4 - Отрицательно малое;
 B_5 - Отрицательно большое;
Они все определены в виде функции:

$$\mu^Y(X) = \sigma(x - b) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = b; \\ 0, & \text{если } x \neq b; \end{cases} \quad (9)$$

где значения параметра b для значения выходной лингвистической переменной представлены в виде вектора $b = [1; 0,5; 0; -0,5; -1]^T$.

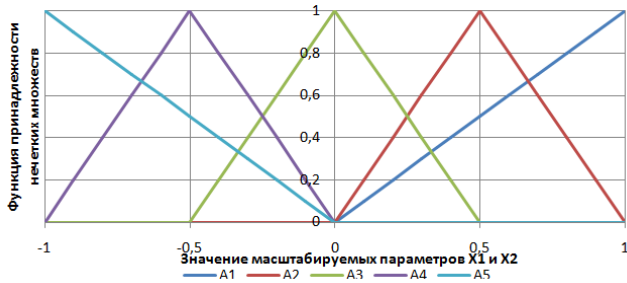


Рис. 3. Функция принадлежности $\mu(x)$ для входных переменных X_1 и X_2

Для организации режима и получения правил нечеткого управления используется основное эвристическое правило: «Если наблюдается рассогласование между текущим и заданным значениями выходной величины, тогда необходимо дать управляющий сигнал на изменение управляющего параметра в сторону подавления текущего значения рассогласования» [9-12].

Функционирование предлагаемого нечеткого регулятора определится следующей базой правил:

- $R_1: (X_1 = A_5^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) \rightarrow Y = B_5;$
- $R_2: (X_1 = A_1^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) \rightarrow Y = B_1;$
- $R_3: (X_1 = A_4^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) \rightarrow Y = B_4;$
- $R_4: (X_1 = A_2^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) \rightarrow Y = B_2;$
- $R_5: (X_1 = A_4^{X_1}) \cap (X_2 = A_4^{X_2}) \rightarrow Y = B_5;$
- $R_6: (X_1 = A_2^{X_1}) \cap (X_2 = A_2^{X_2}) \rightarrow Y = B_1;$
- $R_7: (X_1 = A_4^{X_1}) \cap (X_2 = A_2^{X_2}) \rightarrow Y = B_3;$
- $R_8: (X_1 = A_2^{X_1}) \cap (X_2 = A_4^{X_2}) \rightarrow Y = B_3;$
- $R_9: (X_1 = A_3^{X_1}) \cap (X_2 = A_4^{X_2}) \rightarrow Y = B_4;$
- $R_{10}: (X_1 = A_3^{X_1}) \cap (X_2 = A_2^{X_2}) \rightarrow Y = B_2;$
- $R_{11}: (X_1 = A_3^{X_1}) \cap (X_2 = A_3^{X_2}) \rightarrow Y = B_3;$

Управляющий сигнал определяется по формуле [11, 13]:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i^R}{\sum_{i=1}^n \mu_i^P} \quad (10)$$

На рис. 4 представлен график изменения температуры дутья, при последовательном режиме работы блока из трех моделируемых ВН. Значения задания стабилизации дутья $T_{см}=1150^\circ\text{C}$; температура холодного дутья $T_{х.д.}=20^\circ\text{C}$; зона нечувствительности регулятора $\Delta Z_{н}=8^\circ\text{C}$; $K_{06}=8$.

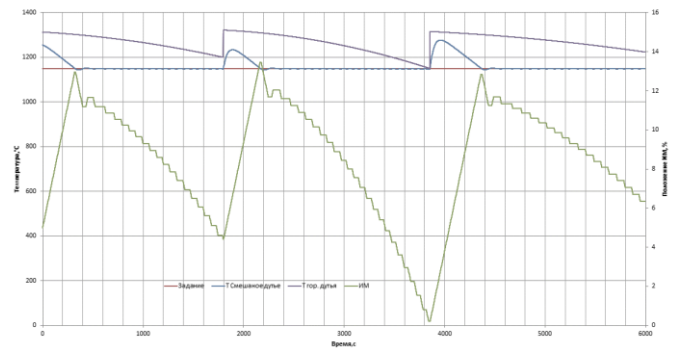
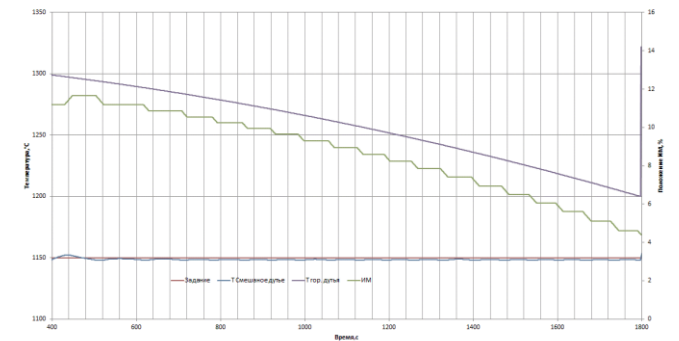
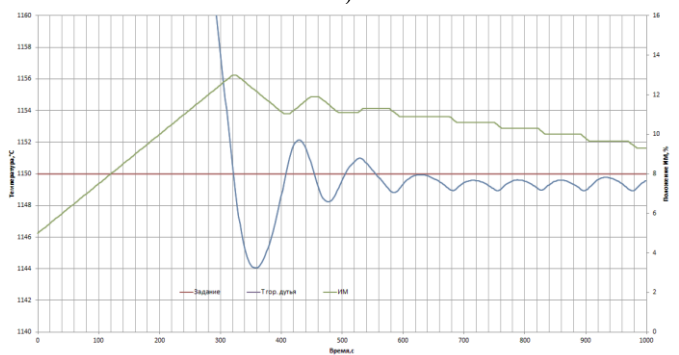


Рис. 4. График переходного процесса при постепенном переключении ВН

Как видно из графика предложенный тип регулятора прекрасно справляется с задачей стабилизации дутья при смене ВН. При переключении ВН температура быстро стабилизируется, перерегулирование составляет 5,34%, но надо учитывать, что в отличие от данной модели в реальных условиях ВН переключаются плавно, что уменьшит скорость изменения горячего дутья, а значит увеличатся показатели регулирования. Также регулятор (рис. 5, а) обеспечивает высокую точность регулирования температуры дутья по сравнению с реальным ПИД-регулятором (рис. 5,б)



а)



б)

Рис.5. График переходного процесса при стабилизации температуры дутья

Отклонение от задания, во время продувки после стабилизации, при использовании нечеткого регулятора составило 2°C , при использовании ПИД-регулятора 10°C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной математической модели используется зависимость изменения температуры двух и более одинаковых

газов при разной температуре, расход газов не меняется, изменяется только коэффициент смешивания, что приближенно к реальным условиям, когда для подачи используется одна воздушная машина.

Использование нечеткой логики в системе стабилизации температуры дутья позволяет регулятору подстраиваться под постоянное изменение входных величин, и постепенно подстраивать исполнительный механизм, в условиях постоянного дрейфа статической характеристики.

Отклонение от задания не превышает 2°C, что значит уменьшение колебаний температуры в горне. При этом происходит стабилизация химического состава и температура чугуна на выпусках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников, Е.В. Влияние параметров дутьевого режима на эффективность доменной плавки в условиях ОАО «Уральская Сталь» / Овчинников Е.В., Шаповалова А.Н. // Вестник ЮУрГУ. – 2013г. – Т. 13, №1. – стр. 61-67.
2. Крупник, А.А. Автоматизация процесса управления выработкой холодного дутья в доменном производстве - автореф. дис. канд.; ДГТУ. – Днепропетровск, 2015. – стр. 20-22.
3. Tang, Yao Liu, Xiang. Application of Fuzzy Predictive Control in Grain Drying Coal Burning Hot Air Furnace Temperature Control System. Applied Mechanics and Materials. 2014 530-531. 981-984.
4. Tang, Yao & Liu, Xiang. . Hot Blast Stove Temperature Control System Based on Neural Network Predictive Control. Applied Mechanics and Materials. 2014. 709. 281-284. 10.4028

5. Полько, П.Г. Алгоритм нечеткого управления для синтеза цифровых контуров автоматической стабилизации технологических параметров / ПГ Полько, ОС Логунова, ЕС Рябчикова и др. // Автоматизация в промышленности, – 2010 г. – №11. – стр. 32-37.

6. Каганов, В.Ю. Автоматизация металлургических печей / В.Ю. Каганов, О.М. Блинов, Г.М. Глинов, В.А. Морозов - М.: Металлургия, 1975, с.266

7. Никеров, В.А. Физика для вузов. Механика и молекулярная физика / Никеров В.А. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2011 стр. 15

8. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений /Л.Заде - М.: Мир. 1976. 166 с

9. Dadios E.P. Fuzzy Logic – Algorithms. Techniques and Implementations / publishing InTech. 2012. 294 p.

10. Syropoulos A. Theory of Fuzzy Computation / publishing Springer, 2014. 170 p.

11. Парсункин, Б.Н. Локальные стабилизирующие контура автоматического управления в АСУ ТП: монография / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, О.С. Логунова – Магнитогорск: КТ «Буки Веди», 2012. –406 с.

12. Парсункин, Б.Н. Статистическое исследование и моделирование экономических и технологических процессов металлургического производства / Б.Н. Парсункин и др. – Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2007. -315 с.

13. Парсункин, Б.Н. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье / Б.Н. Парсункин и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011, №4(36), с.69-73.

FUZZY LOGIC MODELING THE CONTROL LOOP THE TEMPERATURE OF THE HOT BLOW

A.S. Prasolov, I.S. Nazarov

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. A mathematical model for mixing hot and cold blast of a blast furnace air heater is designed. The temperature change of the domes of the blast furnace air heater block No. 10 of PJSC MMK is approximated. A fuzzy controller for stabilizing the temperature of the blast is simulated. The calculation of the transient during sequential operation of the block of air heaters.

Keywords: Air heater, blast furnace production, hot blasting, gas mixing, fuzzy logic, stabilization

REFERENCES

1. Ovchinnikov E.V. The influence of the parameters of the blast regime on the efficiency of blast furnace smelting under the conditions of OAO Ural Steel / Ovchinnikov EV, Shapovalova AN // Bulletin of SUSU. - 2013 - T. 13, No. 1. - p. 61-67.
2. Krupnik, A.A. Automation of the control process for the production of cold blast in blast furnace production - abstract dis. cand. ; DSTU. - Dneprodzerzhinsk, 2015. - pp. 20-22.
3. Tang, Yao Liu, Xiang. Application of Fuzzy Predictive Control in Grain Drying Coal Burning Hot Air Furnace Temperature Control System. Applied Mechanics and Materials. 2014 530-531. 981-984.

4. Tang, Yao & Liu, Xiang. . Hot Blast Stove Temperature Control System Based on Neural Network Predictive Control. Applied Mechanics and Materials. 2014. 709. 281-284. 10.4028

5. Polko P.G. The fuzzy control algorithm for the synthesis of digital circuits for automatic stabilization of technological parameters / PG Polko, OS Logunova, EU Ryabchikova ... - Automation in industry, - 2010 -, No. 11. - p. 32-37.

6. Kaganov V.Yu., Blinov O.M., Glinkov G.M., Morozov V.A. Automation of metallurgical furnaces. - М.: Metallurgy, 1975, p.266

7. Nikerov V.A. Physics for universities. Mechanics and Molecular Physics / Nikerov V.A. - М.: Publishing and trading corporation "Dashkov and Co", 2011 p. 15

8. Zade L. The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions. -M.: World. 1976. 166 c8.

9. Dadios E.P. Fuzzy Logic – Algorithms, Techniques and Implementations / publishing InTech. 2012. 294 p.

10. Syropoulos A. Theory of Fuzzy Computation / publishing Springer, 2014. 170 p.

11. Parsunkin B.N. Local stabilizing automatic control circuits in industrial control system/ B.N. Parsunkin, S.M. Andreev, O.S. Logunova –Magnitogorsk: СТ “Buki Vedi”, 2012. –406 p.

12. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Bushmanova M.V. Statistical research and modeling of economic and technological processes of metallurgical production. Magnitogorsk. 2007. 315 p.

13. Parsunkin B.N., Senichkin B.K., Andreev S.M., Ryabchikov M.Y. Blast furnace performance improvement by means of automatic control optimization of natural gas and technical oxygen submission in blasting. Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2011. 4(36). pp. 69-73.

Прасолов, А.С. Моделирование контура стабилизации температуры горячего дутья с использованием нечеткой логики / А.С. Прасолов, И.С. Назаров // Автоматизированные технологии и производства. 2020. №1(21). С.13-18.

Prasolov A.S., Nazarov I.S. Fuzzy logic modeling the control loop the temperature of the hot blow. *Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2020, no.1(21), pp.13-18. (In Russian).

ПОПУТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ РЕШЕТНЫХ СОРТИРОВАЛЬНЫХ МАШИН

И.П. Попов

Центр высоких технологий, Москва, Россия

e-mail: i.popow@yandex.ru

Аннотация. Показано, что смещение фаз колебаний массивных рабочих органов вибрационных сортировальных машин на девяносто градусов помимо полной самонейтрализации непроизводительной реактивной механической мощности приводит к снижению в 4,8 раза неравномерности производительной (активной) мощности при сортировке сыпучих материалов с одновременным уменьшением ее пикового значения почти на тридцать процентов.

Ключевые слова: колебания, фаза, самонейтрализация, реактивная, активная мощность.

ВВЕДЕНИЕ[©]

В существующих вибрационных сортировальных машинах [1–3] часто используют два массивных рабочих органа, колебания которых вместе с сыпучим материалом осуществляются в противофазе, что приводит к развитию существенной непроизводительной реактивной механической мощности. Смещение фаз колебаний на девяносто градусов приводит к полной самонейтрализации этой мощности. Этим положительное влияние смещения фаз колебаний не ограничивается

Цель исследования состоит в установлении влияния смещения на девяносто градусов фаз колебаний массивных рабочих органов на производительную (активную) мощность при сортировке сыпучих материалов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными методами исследования в рамках настоящей работы являются методы математического моделирования и анализа. При этом исследуется не сам физический объект, а его математическая модель – "эквивалент" объекта, отражающий в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие составляющим его частям, и т.д. [4]. Используемые виды моделирования являются детерминированными, динамическими и непрерывными. Основными этапами математического моделирования являются построение модели, решение математической задачи, к которой приводит модель, интерпретация полученных следствий из математической модели, проверка адекватности модели, модификация модели. Используемые методы позволяют получить достоверное описание исследуемых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Производительная (активная) мощность при штатных колебаниях рабочих органов (смещение фаз – π). Выражение для мощности в этом случае имеет вид:

$$p_{z\pi} = 2P_{z\max} |\cos \omega \cdot t|,$$

где $P_{z\max}$ – амплитуда активной (тепловой) мощности для одного рабочего органа. На рис. 1 представлен график этой мощности.

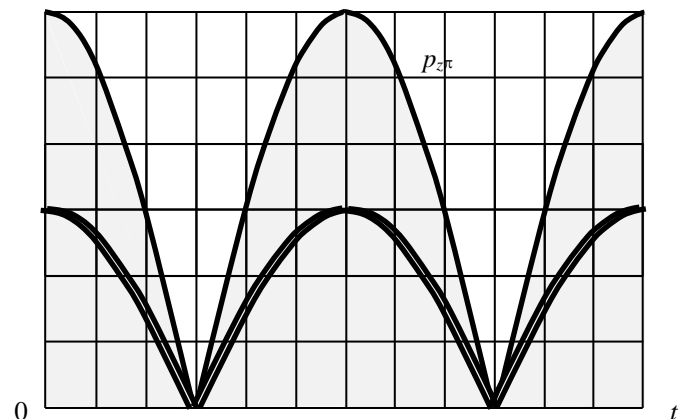


Рис. 1 – Активная мощность. Смещение фаз – π

Пиковая суммарная мощность для этого случая равна

$$P_{z\pi\max} = 2P_{z\max}.$$

Производительная (активная) мощность при смещении фаз на $\pi/2$. Выражение для мощности в этом случае имеет вид:

$$\begin{aligned} p_{z\pi/2} &= P_{z\max} (|\cos \omega \cdot t| + |\sin \omega \cdot t|) = \\ &= \sqrt{2}P_{z\max} \sin \left[\left(\omega \cdot \tau + \frac{\pi}{4} \right) + n \frac{\pi}{2} \right] = \\ &= \sqrt{2}P_{z\max} \sin \left[\omega \cdot \tau + (1 + 2n) \frac{\pi}{4} \right], \\ &\left(t = \tau + n \frac{\pi}{2}, 0 \leq \omega \cdot \tau \leq \frac{\pi}{2}, n \in \mathbb{Z} \right). \end{aligned}$$

На рис. 2 представлен график этой мощности.

Пиковая суммарная мощность для этого случая равна

$$P_{z(\pi/2)\max} = \sqrt{2}P_{z\max}.$$

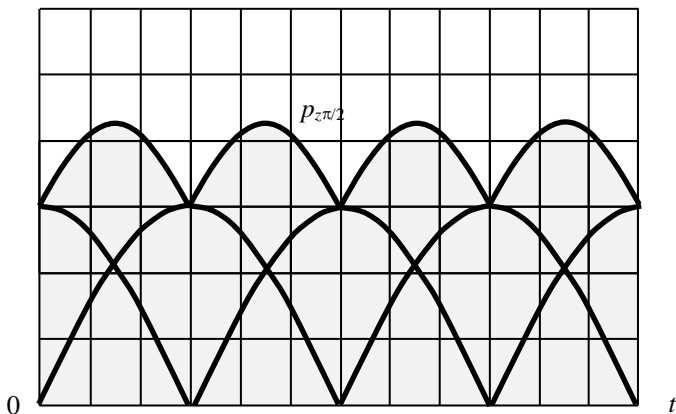


Рис. 2 – Активная мощность. Смещение фаз – $\pi/2$

Сопоставление рассмотренных вариантов. Нагрузка сортировальной вибрационной машины при штатных колебаниях рабочих органов (смещение фаз – π) по существу является импульсной. Нагрузка машины со смещением фаз колебаний рабочих органов на $\pi/2$, существенно равномернее. Пиковая суммарная мощность во втором варианте меньше в $\sqrt{2}$ (это около тридцати процентов). Для штатного варианта коэффициент неравномерности активной (тепловой) мощности определяется по известной формуле:

$$\delta_{\pi} = \frac{P_{z\pi \max} - P_{z\pi \min}}{P_{z\pi \text{mid}}} = \frac{P_{z\pi \max} - P_{z\pi \min}}{(P_{z\pi \max} + P_{z\pi \min})/2} = 2.$$

(Здесь $P_{z\pi \min} = 0$).

Для второго варианта:

$$\delta_{\pi/2} = \frac{P_{z(\pi/2) \max} - P_{z(\pi/2) \min}}{[P_{z(\pi/2) \max} + P_{z(\pi/2) \min}]/2} = \frac{\sqrt{2}-1}{(\sqrt{2}+1)/2} = \frac{(\sqrt{2}-1)(\sqrt{2}-1)}{(\sqrt{2}+1)(\sqrt{2}-1)/2} = 2(\sqrt{2}-1)^2 \approx 0,343.$$

Преимущество второго варианта следует из отношения

$$\frac{\delta_{\pi}}{\delta_{\pi/2}} = \frac{2}{0,343} \approx 5,8.$$

Строго говоря, среднее значение функции, представленной на рис. 1, не является среднеарифметическим от ее экстремумов

$$P_{z\pi \text{mid}} \neq (P_{z\pi \max} + P_{z\pi \min})/2.$$

Поэтому неравномерность мощностей можно уточнить следующим образом.

$$P_{z\pi \text{mid}} = P_{z\pi \max} \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin \varphi d\varphi = -P_{z\pi \max} \frac{1}{\pi} \cos \varphi \Big|_0^{\pi} = \frac{2}{\pi} P_{z\pi \max}.$$

$$\delta_{\pi} = \frac{\pi}{2}, \quad P_{z(\pi/2) \min} = \frac{P_{z\pi \max}}{2}.$$

$$P_{z(\pi/2) \text{mid}} = \frac{P_{z\pi \max}}{2} + \frac{2}{\pi} \left[P_{z(\pi/2) \max} - \frac{P_{z\pi \max}}{2} \right] = \frac{P_{z\pi \max}}{2} + \frac{2}{\pi} \left[\frac{P_{z\pi \max}}{\sqrt{2}} - \frac{P_{z\pi \max}}{2} \right]$$

$$P_{z\pi \max} \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\sqrt{2}\pi} - \frac{1}{\pi} \right) = P_{z\pi \max} \frac{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}\pi}.$$

$$\delta_{\pi/2} = \frac{P_{z(\pi/2) \max} - P_{z(\pi/2) \min}}{P_{z(\pi/2) \text{mid}}} = \frac{\frac{P_{z\pi \max}}{\sqrt{2}} - \frac{P_{z\pi \max}}{2}}{P_{z\pi \max} \frac{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}\pi}} = \frac{2 - \sqrt{2}}{2\sqrt{2}} \frac{2\sqrt{2}\pi}{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}} = \frac{\pi(2 - \sqrt{2})}{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}} \approx 0,328.$$

$$\frac{\delta_{\pi}}{\delta_{\pi/2}} = \frac{\pi}{2} \frac{1}{0,328} \approx 4,8.$$

Этот результат более точен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Выводы)

Смещение фаз колебаний массивных рабочих органов вибрационных сортировальных машин на девяносто градусов помимо полной самонейтрализации непроизводительной реактивной механической мощности приводит к снижению в 4,8 раза неравномерности производительной (активной) мощности при сортировке сыпучих материалов с одновременным уменьшением ее пикового значения почти на тридцать процентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботаева Е. М. Синергетический эффект модульной структуры автоматизированной системы управления дробильно-сортировочным производством / Е.М. Чеботаева, Е.Н. Фокина, С.В. Зинченко // Межотраслевой институт «Наука и образование». Ежемесячный научный журнал. 2014. № 5. С. 66-69.
2. Гаврилова Н.Г. Актуальность применения модульной структуры САУ дробильно-сортировочным производством / Н.Г. Гаврилова // Сборник трудов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов НИУ МГСУ за 2014-2015 учебный год. Москва: НИУ МГСУ, 2015. С. 259-263.
3. Гимадетдинов М.К. Определение перечня и последовательности решения задач автоматизированного дробильно-сортировочного производства / М.К. Гимадетдинов, А.В. Остроух // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. – №4. – С. 55-61.
4. Парсункин Б.Н. Методика оценки эффективности мероприятия по совершенствованию показателей производственного процесса / Б.Н. Парсункин, Т.Г. Сухоносова, Е.И. Полухина // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. – Т.14, №3. – С. 121-126.

ASSOCIATED OPTIMIZATION OF PRODUCTIVE CAPACITY OF LATTICE SORTING MACHINES

I.P. Popov

Center of High Technologies, Moscow, Russia

e-mail: i.popow@yandex.ru

Abstract. It is shown that the shift of the oscillation phases of the massive working bodies of vibratory sorting machines by ninety degrees, in addition to the complete self-neutralization of unproductive reactive mechanical power, leads to a 4.8-fold decrease in the unevenness of the productive (active) power when sorting bulk materials with a simultaneous decrease in its peak value by almost thirty percent

Keywords: oscillations, phase, self-neutralization, reactive, active power.

REFERENCES

1. Chebotaeva Ye.M., Fokina Ye.N., Zinchenko S.V. The synergistic effect of the modular structure of the automated sorting, crushing and production management systems [Sinergeticheskiy effekt modulnoy struktury avtomatizirovannoy sistemy upravleniya drobilno-sortirovochnym proizvodstvom]. Mezhotraslevoy insti-tut «Nauka i obrazovanie» [Interdisciplinary Institute «Science and Education»]. 2014, no. 5, pp. 66–69. (In Russian).
2. Gavrilova N.G. The urgency of the application of the modular structure of the ACS crushing and screening production. Proceedings of the scientific conference on the results of research works of students of the Higher MSUCE for 2014–2015 academic year [Aktualnost primeneniya modulnoy struktury SAU drobilno-sortirovochnym proizvodstvom. Sbornik trudov nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov NIU MGSU za 2014–2015 uchebnyy god]. M.: NIU MGSU [Moscow: Publishing House of the MSUCE]. 2015, pp. 259–263. (In Russian).
3. Gimadetdinov M.K., Ostroukh A.V. Definition list and sequence solving automated crushing and screening production [Opredelenie perechnya i posledovatelnosti resheniya zadach avtomatizirovannogo drobilno-sortirovochnogo proizvodstva]. Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh [Automation and Control in Technical Systems]. 2014, no. 4, pp. 55–61. (In Russian).
4. Parsunkin B.N., Sukhonosova T.G., Polukhina E.I. A method of evaluating the performance of a production process improvement action [Metodika otsenki effektivnosti meropriyatiya po sovershenstvovaniyu pokazateley proizvodstvennogo protsesssa], *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Novos Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 3, pp. 121–126. (In Russian).

Попов, И.П. Попутная оптимизация производительной мощности решетчатых сортировальных машин /И.П. Попов // Автоматизированные технологии и производства. 2020. №1(21). С.4-6.

Popov I.P. Associated optimization of productive capacity of lattice sorting machines. *Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2020, no.1(21), pp.19-21. (In Russian).

УДК 517.977.54

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ЯЗЫКЕ LAD

А.С. Прасолов, И.Г. Самарина, А.Р. Бондарева

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия

Prasolov.a@konsom.ru

Аннотация. Современное автоматизированное производство невозможно представить без программируемых логических контроллеров. Однако возникает вопрос по реализации моделей и программ управления, для технологических процессов к которым не применимы стандартные регуляторы, реализуемые в современных ПЛК. В статье рассматривается система экстремального регулирования и ее модель, реализованная с помощью языка программирования LAD, а также реализация способа регулирования данной системы с помощью автоматической оптимизации. Показана реализация работы элементов системы регулирования и объекта управления. Представлены результаты работы программы.

Ключевые слова: логический контроллер, оптимальное управление, релейные диаграммы, модель, объект управления.

ВВЕДЕНИЕ[©]

В настоящее время автоматизация большинства технологических процессов осуществляется на базе универсальных микропроцессорных контроллерных средств, базовым элементом которых является программируемых логических контроллеров (ПЛК). Всеобщее использование ПЛК вызывает необходимость изучения методов и приемов программирования на стандартных языках МЭК для логических контроллеров.

Наиболее часто используемым языком программирования ПЛК является язык релейных диаграмм LAD. В ходе своей эволюции язык LAD прошел путь от простого языка контактно-релейного диаграмм, до реализации сложных блоков ПИД-регуляторов. Однако для управления системами с экстремальными статическими характеристиками невозможно и даже опасно использование стандартных блоков регуляторов. Так как стандартные законы ПИД-регулирования не позволяют справиться с изменением динамики таких систем, а задача нахождения оптимума технологического параметра является не реализуемой [1].

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ С ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

В качестве примера для реализации объекта управления на ПЛК были использованы параметра в методической печи стана 2000, а также реализация программы управления для метода, рассмотренного в источнике [2].

Объект представлен последовательным соединением статическим и двух динамических звеньев (рис. 1). Статическая характеристика имеет экстремальный характер (рис. 2). Такой вид статической характеристики предпола-

гает проектирование системы автоматической оптимизации.

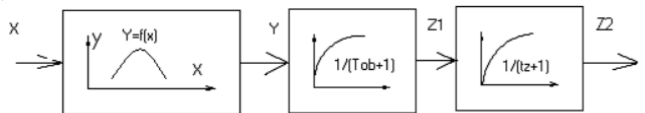


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

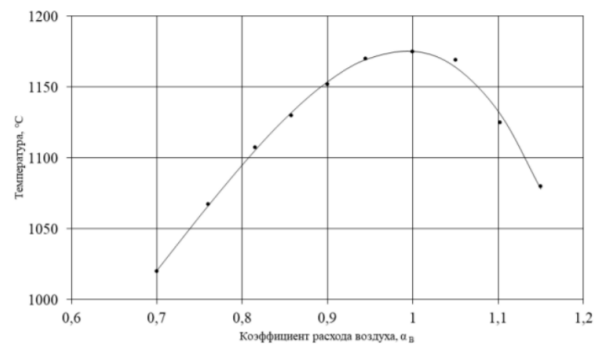


Рис. 2. Статическая характеристика объекта управления

Уравнение статической характеристики выражено полиномом 4-го порядка (1):

$$Y[X(\tau)] = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4 ; \quad (1)$$

где $Y[X(\tau)]$ – текущее установившееся значение выходного параметра в соответствии со статической характеристикой; a_i – коэффициенты полинома [3].

Для реализации полинома на языке LAD используются блоки математических функций сложения (ADD) и умножения (MUL) (рис. 3).

©Прасолов А.С., Самарина И.Г., Бондарева А.Р., 2020

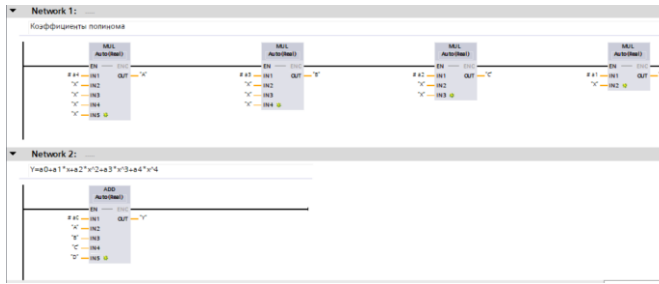


Рис. 3. Реализация статической характеристики объекта управления

Для реализации динамических звеньев необходимо предварительно выбрать время цикла организационного блока равного дискретности времени моделируемого процесса, в данном примере время цикла равняется $\Delta t = 1000 \text{ мс}$ [4, 5, 9]. Динамические характеристики объекта управления представлены инерционными звеньями 1-го порядка. Для моделирования на ПЛК удобно использовать рекуррентные выражения (2), (3) [3, 10]:

$$Z = \frac{\Delta t}{T_1} (Y(X) - Z_{i-1}) + Z_{i-1}; \quad (2)$$

$$Z1 = \frac{\Delta t}{T_2} (Z - Z1_{i-1}) + Z1_{i-1}. \quad (3)$$

где T_1, T_2 – постоянная времени, количественно характеризующая инерционность оптимизируемого процесса; $Z(\tau)$ – текущее значение величин выходного параметра первого инерционного звена; $Z_1(\tau)$ – текущее значение выходной величины объекта управления

$Z_{i-1}, Z1_{i-1}$ – значение выходных величин на предыдущем цикле работы контроллера.

Данные выражения запишем в контроллер с помощью математических блоков вычитания (SUB) деления (DIV) и сложения (ADD). Для имитации шага времени записываем текущее значение выходного параметра Z в тэг $Z-1$ с помощью блока MOVE [4]. Реализация данного выражения на языке LAD представлена на рис. 4.

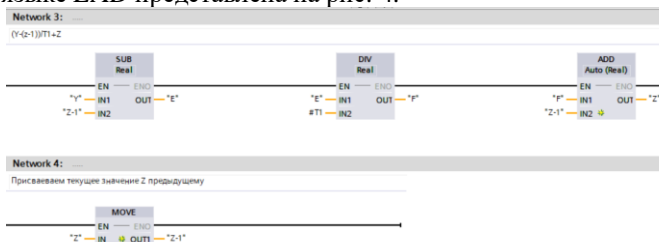


Рис. 4. Реализация динамики объекта управления

Для удобства целесообразно объединить подпрограммы в отдельный функциональный блок и вынести переменные в интерфейсы этого блока (рис. 5).

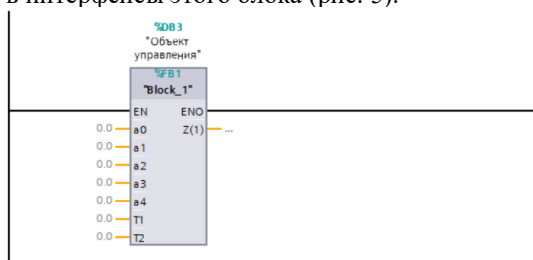


Рис. 5. Объект управления в виде функционального блока с настраиваемыми входами

СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЗАПОМИНАНИЕМ МАКСИМУМА СКОРОСТИ

Для управления данной системой подойдет система экстремального регулирования (СЭР) с запоминанием максимума скорости изменения выходного параметра.

Структурная схема СЭР с запоминанием экстремума скорости выходного параметра представлена на рис. 6. Выходная величина $Z(\tau)$ с объекта управления ОУ подается на дифференцирующее устройство (ДУ). ДУ на выходе формирует сигнал пропорциональный первой производной от входного сигнала технологического параметра оптимизируемого процесса. Сигнал с выхода ДУ $\dot{Z}(\tau)$ подается одновременно на запоминающее устройство ЗУ и элемент сравнения ЭС. Запоминающее устройство СЭР данного вида выполнено таким образом, что оно запоминает только максимальное значение сигнала.

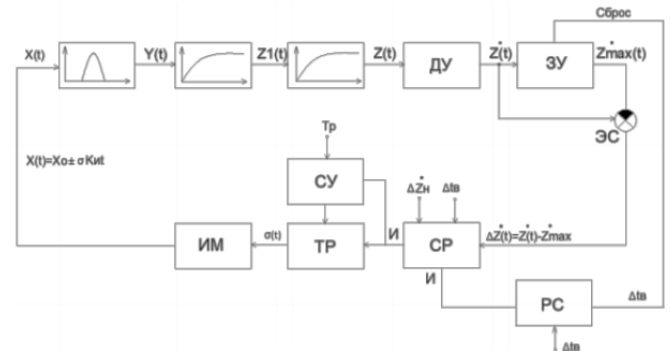


Рис. 6. Структурная схема СЭР

На элементе сравнения (ЭС) формируется сигнал пропорциональный разнице между текущим значением скорости изменения выходного сигнала $\dot{Z}(\tau)$ и максимальным значением скорости выходного сигнала \dot{Z}_{max} , запомненным в прошедший момент времени, $\Delta \dot{Z}(\tau) = \dot{Z}(\tau) - \dot{Z}_{max}$. Сигнал разности подается на вход сигнум-реле (СР) и сравнивается с величиной зоны нечувствительности сигнум-реле ΔZ_H . На выходе СР формируется управляющий импульс U , определяющая закономерность формирования текущего значения переключающей функции σ в соответствии с условием (4), (5):

$$\text{При } \frac{dZ}{dt} U = \begin{cases} +1, & \text{если } \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{п} - \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{\max} + \Delta \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{н} > 0; \\ 0, & \text{если } \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{п} - \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{\max} + \Delta \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{н} \leq 0; \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{При } \frac{dZ}{dt} < 0 \quad U = -1 \text{ если } \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{п} - \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{\max} + \Delta \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{н} < 0. \quad (5)$$

Импульс $U(\tau) = -1$ перебрасывает триггер реверса (ТР) и одновременно сбрасывает запомненное максимальное значение в ЗУ устанавливается текущее значение скорости изменения выходного параметра ОУ.

ТР формирует сигнал $\sigma(\tau)$ переключающей функции, определяющий текущее направление изменение входного параметра $X(\tau)$ в соответствии с условием:

При $U = +1 \quad \sigma_{\tau+1} \equiv \sigma_{\tau}$ – выбранное направление изменения $X(\tau)$ сохранить; \

При $U = 0 \quad \sigma_{\tau+1} \equiv 0$ – остановить исполнительный механизм;

При $U = -1 \quad \sigma_{\tau+1} \equiv -\sigma_{\tau}$ – выбранное направление изменения $X(\tau)$ изменить на противоположное (произвести реверс ИМ расхода воздуха).

В схеме предусмотрено стабилизирующее устройство СУ принудительного реверса через время T_p . Это сделано с целью повышения устойчивости СЭР при воздействии на оптимизируемый процесс различных технологических помех и возмущений. Реверс производится всегда, когда выполняется условие $\underline{U}(\tau)=-1$ независимо от состояния системы [6].

По мере приближения к экстремуму в системе возникают колебания относительно определенного оптимального значения коэффициента расхода воздуха. Это объясняется тем, что приближаясь к экстремуму, максимальная скорость изменения выходного параметра становится меньше. При уменьшении текущего значения скорости по сравнению с максимально запомненным на зону нечувствительности текущая скорость изменения выходного параметра имеет отрицательный знак $Z(\tau)$, поэтому может срабатывать лишь условие реверса ИМ [5].

РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА НА ЯЗЫКЕ LAD

Для реализации ЗУ удобно подходит блок возвращения максимума (MAX). Подавая на один вход сигнал изменение скорости выходной величины “G”, а на другой выход тег в который записывается выход из этого блока Z_{max} . И далее сравнивая этот тэг с текущим сигналом (рис. 7).

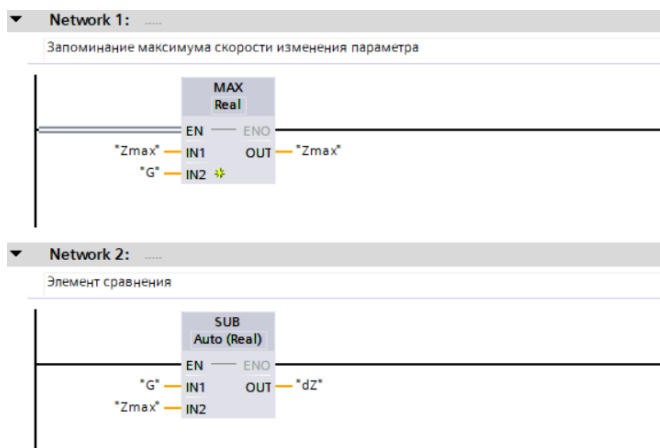


Рис. 7. Реализация ЗУ и ЭС

Для останова ИМ в заданной зоне нечувствительности значение выхода ЭС “dz” приходит на компаратор, который в свою очередь взводит бит “STOP” [6, 7]. Бит останавливает ИМ и взводит таймер задержки включения для принудительного реверса “Reverse_1” (рис. 8).

В соответствии с уравнением (5) взводится бит “Reverse”. Таким образом реализуется сигнум-реле. Производится реверс ИМ, также сбрасывается значение максимума ЗУ (рис. 9).

Тег “dX” используется для управления ИМ и может принимать значения -1 и 1 для изменения движения ИМ, 0 для останова.

ИМ моделируется с помощью данного уравнения:

$$X(\tau) = X_0 + \sigma(\tau)K_i. \quad (6)$$

где $X(\tau) = (0,7; 1,4)$ – текущее значение входного управляющего параметра; $K_i = dx/dt = const$ – постоянная скорость изменения входного управляющего параметра; $\sigma(\tau) = (-1; 0; +1)$ – переключающая сигнум-функция, определяющая текущее направление изменения входного пара-

метра; X_0 – начальное значение входного параметра при $\tau=0$.

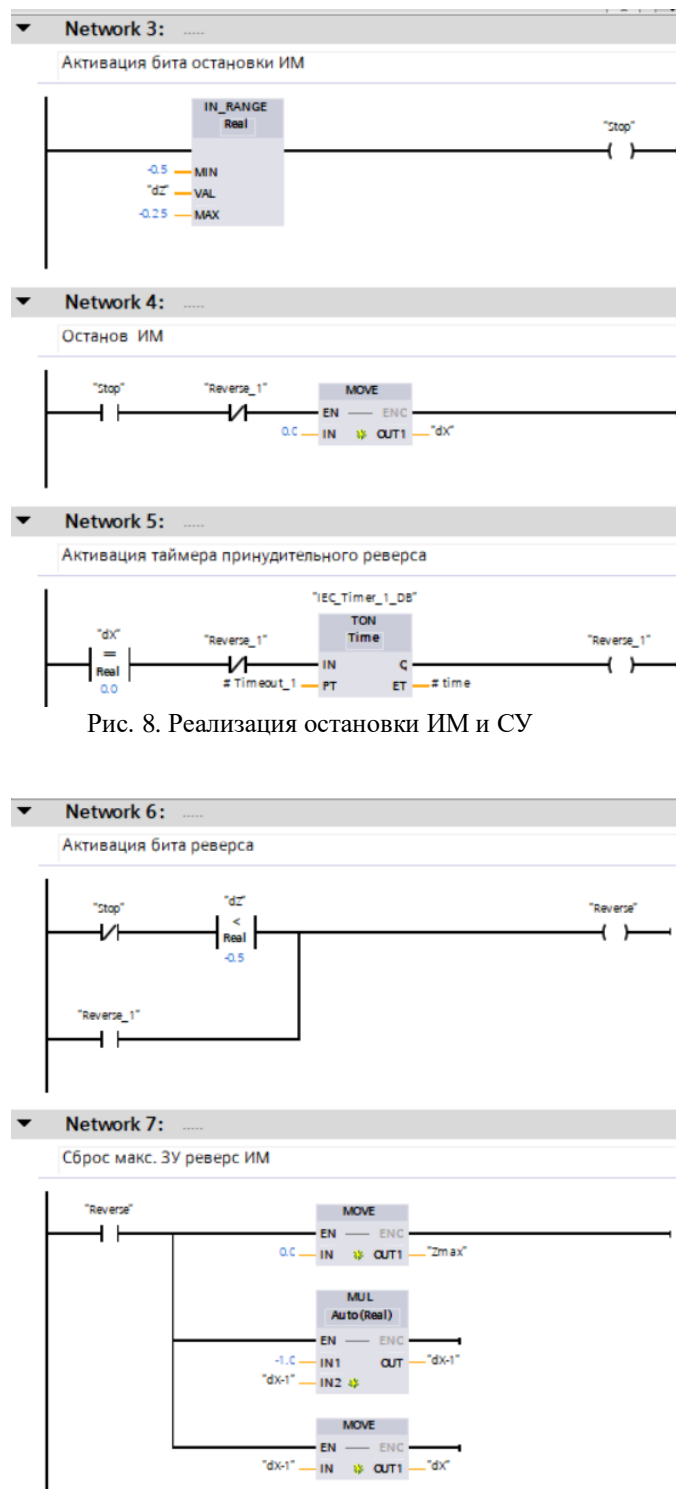


Рис. 8. Реализация останова ИМ и СУ

Рис. 9. Реализация СР и ТР

Реализация ИМ на языке LAD представлена на рис. 10.

На рис. 11 представлен результат работы программы, после СЭР подходит к оптимуму за 30 секунд после происходят колебания относительно максимальной значения, это связано с уменьшением максимальной скорости изменения выходного параметра и далее, начиная с 90 секунды, работает только условие реверса ИМ.

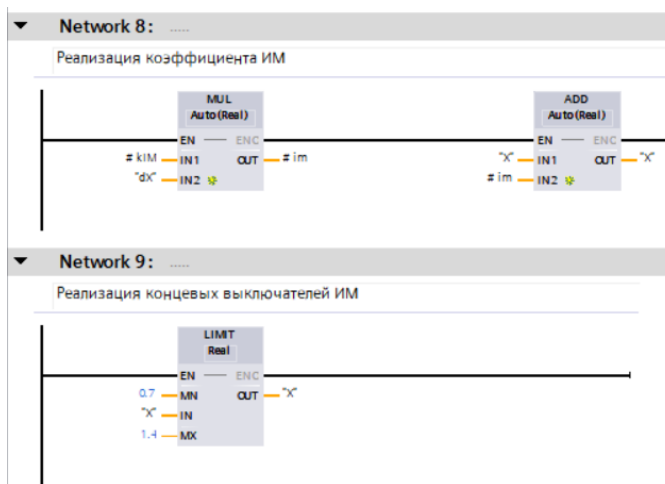


Рис. 10. Реализация ИМ и конечных выключателей

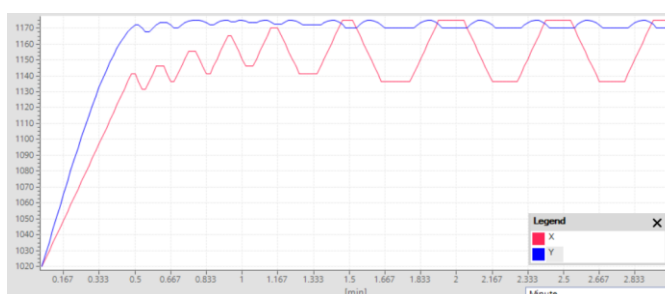


Рис. 11. График переходного процессе в СЭР

На рис. 12 представлен результат работы программы в фазовых координатах

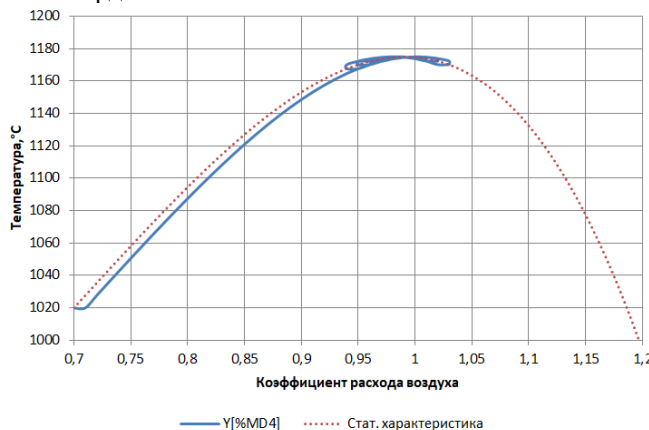


Рис. 12. График переходного процесса в контуре СЭР в фазовых координатах

Работа модели полностью соответствует теоретическим доводам [3]. Отсюда можно сделать вывод в правильной реализации СЭР на языке LAD.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современных ПЛК приводит к необходимости изучения методов программирования на языках стандарта МЭК.

Объекты с экстремальной статической характеристикой сложны в управление и требовательны в достаточном техническом оснащении для такого регулирования. Однако возможности современных ПЛК позволяют заменить собой множества электронных устройств и реле. Давая

возможность достаточно простого способа реализации СЭР.

Рассмотренный в данной статье способ программирования, возможно использовать для управления ИМ постоянной скорости, для оптимального управления технологическими параметрами.

Материалы статьи также подойдут для обучения программированию на языке LAD.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парсункин, Б.Н. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, У.Б. Ахметов. – Магнитогорск МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. – 198 с

2. Самарина И.Г., Толстова Ю.С., Газизова В.А. Система экстремального регулирования с запоминанием максимума скорости изменения выходного параметра // Автоматизированные технологии и производства. – 2019 – №2 – С. 14-18

3. Андреев, С. М. Моделирование объектов и систем управления [Электронный ресурс] : учебное пособие / МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - ISBN 978-5-9967-1028-7 <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3337.pdf&show=dcatalogues/1/1138496/3337.pdf&view=true>

Заглавие с экрана

4. Самарина, И.Г. Программирование и основы алгоритмизации [Электронный ресурс]: учебное пособие. Ч. 3 / И.Г. Самарина, А.Р. Бондарева. – Магнитогорск: МГТУ, 2015. -

<https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=1485.pdf&show=dcatalogues/1/1124014/1485.pdf&view=true> – Заглавие с экрана

5. Парсункин Б. Н., Самарина И. Г. Система автоматического энергосберегающего управления на основе математической модели газодинамического режима нагревательной методической печи // Электротехнические системы и комплексы. 2017. № 2. С. 55-60.

6. Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Способы повышения эффективности и помехоустойчивости систем автоматической оптимизации управления технологическим процессом // Автоматизированные технологии и производства. 2013. -№.5. -С.277-290.

7. М.Ю. Рябчиков. Системы экстремального регулирования на основе комбинации поисковых оптимизационных алгоритмов/ М.Ю. Рябчиков., Е.С. Рябчикова. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015 – Т.16 №5 – С. 300-306

8. Парсункин, Б.Н. Построение контуров систем автоматического регулирования на микропроцессорном контроллере Р-130 / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев. - Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2006. -242 с.

9. Андреев, С.М. Аппаратные средства и программное обеспечение контроллеров Simatic S7-300/400 / С.М. Андреев, М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, Н.А. Головкин – Магнитогорск, 2011. 197 с.

MODELING OF THE EXTREME CONTROL SYSTEM IN THE LAD LANGUAGE

A.S. Prasolov, I.G. Samarina, A.R. Bondareva

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Modern automated production is not possible without programmable logic controllers. However, the question arises of implementing models and control programs for technological processes to which it is impossible to use standard regulators implemented in modern PLCs. The article discusses the system of extreme regulation, the method of implementing its model using the LAD language, as well as the implementation of the method of regulation of this system using automatic optimization.

Keywords: logical controller, optimal control, ladder diagrams, model, control object.

REFERENCES

1. Parsunkin, B.N. Optimization of process control in metallurgy / B.N. Parsunkin, S.M. Andreev, U.B. Akhmetov. - Magnitogorsk MSTU them. G.I. Nosova, 2006. -- 198 s
2. Samarina I.G., Tolstova Yu.S., Gazizova V.A. The system of extreme regulation with storing the maximum rate of change of the output parameter // Automated technologies and production. - 2019 –№2 - S. 14-18
3. Andreev S.M. Modeling of objects and control systems [Electronic resource]: study guide / S. M. Andreev, - Magnitogorsk: MSTU, 2015. - <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=3337.pdf&show=dcatalogues/1/1138496/3337.pdf&view=true> - Screen title
4. Samarina, I.G. Programming and the basics of algorithmization [Electronic resource]: a tutorial. Part 3 / I.G. Samarina, A.R. Bondareva. - Magnitogorsk: MSTU, 2015. - <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=1485.pdf&show=dcatalogues/1/1124014/1485.pdf&view=true> - Screen title
5. Parsunkin B. N., Samarina I. G. Automatic Energy-saving Control System based on a Mathematical Model of the Gas-dynamic Mode of a Continuous Furnace. Elektrotehnicheskie sistemy i komplekxy [Electrotechnical Systems and Complexes], 2017, no. 2, pp. 55–60 (In Russian).
6. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Ways to improve the efficiency and noise immunity of systems for automatic optimization of process control // Automated technologies and production. 2013.-№.5. -C.277-290.
7. M.Yu. Ryabchikov. Extreme regulation systems based on a combination of search engine optimization algorithms / M.Yu. Ryabchikov., E.S. Ryabchikova. // Mechatronics, automation, control. - 2015 - Vol. 16 No. 5 - S. 300-306.
8. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Construction of circuits of automatic control systems on a PLC R-130. NSTU, 2006. 242 p.
9. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Construction of circuits of automatic control systems on a PLC R-130. NMSTU, 2006. 242 p.
10. Andreev S.M., Ryabchikov M.Yu., Ryabchikova E.S., Golovko N.A. Hardware and Software PLC Simatic S7-300/400. NMSTU, 2011. 197 p.

Прасолов, А.С. Моделирование системы экстремального регулирования на языке LAD / А.С. Прасолов, И.Г. Самарина, А.Р. Бондарева// Автоматизированные технологии и производства. 2020. №1(21). С.22-26.

Prasolov A.S., Samarina I.G., Bondareva A.R. Modeling of the extreme control system in the lad language. *Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2020, no.1(21), pp.22-26. (In Russian).