

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

№2 (20) декабрь 2019 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 освещение 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 12.2019.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Автоматизированные информационные системы

<i>А.С. Кириллов, К.А. Кунурбаев, Е.А. Бичурин</i> Исследование способов сортировки значений данных.....	4
--	---

Технические средства автоматизации

<i>Е.Э. Бодров, Н.И. Киртянов</i> Бесконтактная акустическая диагностика технического состояния электродвигателя	9
--	---

Автоматизированные системы управления

<i>И.Г. Самарина, Ю.С. Толстова, В.А. Газизова</i> Система экстремального регулирования с запоминанием максимума скорости изменения выходного параметра.....	14
<i>А.С. Прасолов, Ю.С. Толстова, В.А. Газизова</i> Регулирования температуры купола воздухонагревателя доменной печи	19

Automated Information Systems

<i>A.S. Kirilov, K.A. Kunurbaev, E.A. Bichurin</i> Research methods for sorting data values	4
--	---

Automation equipment

<i>E.E. Bodrov, N.I. Kirtyanov</i> Non-contact acoustic diagnostics of technical condition of electric motor	9
--	---

Automatic control systems

<i>I.G. Samarina, Yu.S. Tolstova, V.A. Gazizova</i> Extreme control system with remember of the maximum speed of change of the output parameter	14
<i>A.S. Prasolov, Yu.S. Tolstova, V.A. Gazizova</i> Temperature control of hot-blast stoves of blast furnaces	19

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Оформление

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

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

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

При оформлении статьи рекомендуется придерживаться следующих правил:

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

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

Размерности величин выбираются и обозначаются согласно ГОСТ 8.417-2002.

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

Пример оформления

Предоставление материалов

УДК 681.5.015.32

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

Б.Н. Парсунки¹, Т.Г. Суханосова²

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

² t2gobuhova@gmail.com

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

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

Введение

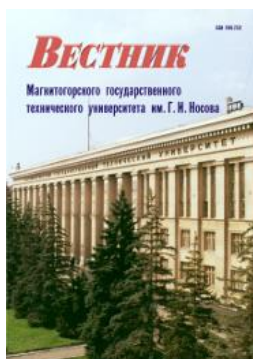
При адаптации современного микропроцессорного регулирующего комплекса (МРК) к управляемому технологическому процессу приоритетной задачей является оперативное и достоверное определение динамических параметров объектов управления: коэффициента передачи объекта $K_{об}$, постоянной

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

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

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

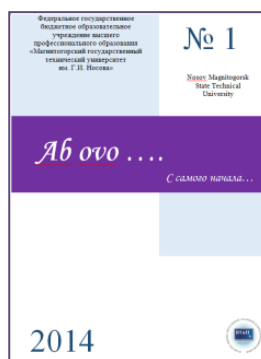
Другие рекомендуемые периодические издания



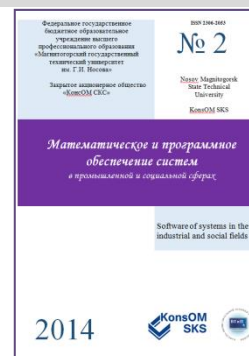
Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова



Электротехнические системы и комплексы



Журнал молодых исследователей: магистров и аспирантов



Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах

УДК 004.421.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СОРТИРОВКИ ЗНАЧЕНИЙ ДАННЫХ

А.С. Кириллов, К.А. Кунурбаев, Е.А. Бичурин

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

Аннотация. Выбор алгоритма сортировки как правило определяется сложностью его реализации и временем, затрачиваемым на сортировку. Для систем реального времени время сортировки имеет первостепенное значение, однако возможности технических средств, особенно ограниченные в объемах оперативного запоминающего устройства микроконтроллеры, не всегда позволяют реализовывать сложные алгоритмы. В работе рассматриваются несколько алгоритмов сортировки данных, которые принадлежат разным классам методов сортировки. Показана сложность реализации различных алгоритмов, приведен программный код на языке Си. При проведении вычислительного эксперимента определено время сортировки для различных наборов данных. Показано, что алгоритм быстрой сортировки оказался наиболее эффективным для сортировки больших массивов данных.

Ключевые слова: алгоритмы сортировки, скорость сортировки, программные циклы, алгоритм быстрой сортировки.

ВВЕДЕНИЕ

В системах управления достаточно часто решается задача выполнения сортировки значений, получаемых от датчиков процесса в реальном времени. К таким задачам относятся задачи стохастического управления [6,7], экстремального регулирования [1,3], оптимального управления [2,4,5]. Время сортировки блока значений должно производиться в темпе с процессом управления и не должно вызывать задержку в формировании управляющего сигнала. Кроме того, технические средства, которые обеспечивают предварительную обработку данных, формирования блоков данных и сортировку, зачастую не обладают значительной вычислительной мощностью. Это затрудняет решение задачи выбора и реализации алгоритма сортировки.

Существует множество разнообразных сортировок, каждая из которых относится к своему классу:

Алгоритмы устойчивой сортировки:

– сортировка пузырьком (англ. Bubble sort) – для каждой пары индексов производится обмен, если элементы расположены не по порядку;

– сортировка перемешиванием (англ. Cocktail sort);

– сортировка вставками (англ. Insertion sort) – определяем, где текущий элемент должен находиться в упорядоченном списке, и вставляем его туда;

– гномья сортировка (англ. Gnome sort; первоначально опубликована под названием «глупая сортировка» [stupid sort] за простоту реализации) – сходна с сортировкой вставками;

– сортировка слиянием (англ. merge sort) – выстраиваем первую и вторую половину списка отдельно, а затем объединяем упорядоченные списки;

– сортировка с помощью двоичного дерева (англ. tree sort);

– сортировка timsort – комбинированный алгоритм (используется сортировка вставками и сортировка слиянием);

Алгоритмы неустойчивой сортировки:

– сортировка выбором (англ. selection sort) – поиск наименьшего или наибольшего элемента и помещение его в начало или конец упорядоченного списка;

– сортировка расчёской (англ. comb sort);

– сортировка шелла (англ. shell sort) – улучшение сортировки вставками. сложность алгоритма меняется в зависимости от выбора последовательности длин промежутков; при определённом выборе;

– пирамидальная сортировка (сортировка кучи, Heapsort);

– плавная сортировка (англ. smooth sort);

– быстрая сортировка (англ. quicksort), в варианте с минимальными затратами памяти – широко известен как самый быстрый из известных для упорядочения больших случайных списков; с разбиением исходного набора данных на две половины так, что любой элемент первой половины упорядочен относительно любого элемента второй половины; затем алгоритм применяется рекурсивно к каждой половине;

– интроспективная сортировка (англ. introsort) – сочетание быстрой и пирамидальной сортировки. пирамидальная сортировка применяется в случае, если глубина рекурсии;

– терпеливая сортировка (англ. patience sorting) – наихудший случай, требует дополнительно памяти, также находит самую длинную увеличивающуюся подпоследовательность;

Непрактичные алгоритмы сортировки:

– bogosort (также глупая сортировка, stupid sort) – произвольно перемешать массив, проверить порядок;
 – сортировка перестановкой – для каждой пары осуществляется проверка верного порядка и генерируются всевозможные перестановки исходного массива;

– бисерная сортировка (англ. bead sort) – требуется специализированное аппаратное обеспечение;
 – блинная сортировка (англ. pancake sorting) – требуется специализированное аппаратное обеспечение;

Алгоритмы, не основанные на сравнениях:

– блочная сортировка (корзинная сортировка, англ. bucket sort) – требуется дополнительная память и знание о природе сортируемых данных, выходящее за рамки функций «переставить» и «сравнить»;

– поразрядная сортировка (она же цифровая сортировка, англ. radix sort);

– сортировка подсчётом (англ. counting sort) [8].

МЕТОДЫ

Мы рассмотрим несколько методов сортировки и узнаем какой из них самый выгодный в производстве.

Метод сортировка вставками.

Он используется если есть небольшое количество элементов в сортировки или элементы в исходной области уже почти отсортированы [11].

Элементы просматриваются по одному, и каждый новый элемент вставляется в подходящее место среди ранее упорядоченных элементов. Простейший метод сортировки посредством вставок можно считать наиболее очевидным. Пусть $1 < j \leq N$ и записи R_1, \dots, R_{j-1} уже размещены так, что $K_1 \leq K_2 \leq \dots \leq K_{j-1}$. Будем сравнивать по очереди K_j с K_{j-1}, K_{j-2}, \dots до тех пор пока не обнаружим, что запись R_j следует вставить между R_i и R_{i+1} ; тогда подвинем записи R_{i+1}, \dots, R_{j-1} на одну позицию вверх и поместим новую запись в позицию $i + 1$ [9].

Пример алгоритма сортировки вставками:

Шаг 1. – for $j <- 2$ to $length[A]$

Шаг 2. – do $key <- A[j]$

Шаг 3. – Insert $A[j]$ into the sorted sequence $A[1..j-1]$.

Шаг 4. – $i <- j - 1$

Шаг 5. – while $i > 0$ and $A[i] > key$

Шаг 6. – do $A[i+1] <- A[i]$

Шаг 7. – $i <- i - 1$

Шаг 8. – $A[i+1] <- key$

Быстрая сортировка состоит из двух шагов. Первый шаг предполагает нахождение в массиве опорного значения. Второй шаг разделяет этот массив на две части, создавая левый подмассив, который содержит элементы, меньшие или равные опорному числу, и правый подмассив, который содержит элементы, большие или равные опорному. Каждый из этих подмассивов затем рекурсивно сортируется [10].

Пример алгоритма быстрой сортировки:

Шаг 1. – quickSort (массив a , верхняя граница N)

Шаг 2. – { Выбрать опорный элемент p - середину массива

Шаг 3. – Разделить массив по этому элементу

Шаг 4. – Если подмассив слева от p содержит более одного элемента,

Шаг 5. – вызвать quickSort для него.

Шаг 6. – Если подмассив справа от p содержит более одного элемента,

Шаг 7. – вызвать quickSort для него. }

```
int main()
{
  setlocale(LC_ALL, "rus");
  int a[100000];
  rand();
  for (int i = 0; i < 100000; i++)
    a[i] = rand() % 90000 - 10000;
  for (int i = 0; i < 100; i++)
    cout << a[i] << "\t";
  int swap = 0, j;
  for (int i = 1; i < 100000; i++)
  {
    swap = a[i];
    for (j = i - 1; j >= 0 && a[j] > swap; j--)
      a[j + 1] = a[j];
    a[j + 1] = swap;
  }
}
```

Время сортировки методом вставки: 9 секунд

```
void qsortRecursive(int* mas,
  int size) {
  int i = 0;
  int j = size - 1;
  int mid = mas[size / 2];
  do {
    while (mas[i] < mid) {
      i++;
    }
    while (mas[j] > mid) {
      j--;
    }
    if (i <= j) {
      int tmp = mas[i];
      mas[i] = mas[j];
      mas[j] = tmp;
      i++;
      j--;
    } while (i <= j);
    if (j > 0) {
      qsortRecursive(mas, j + 1);
    }
    if (i < size) {
      qsortRecursive(&mas[i], size - i);
    }
  }
}

int main()
{
  setlocale(LC_ALL, "Rus");
  int n = 10;
  int* mas = new int[n];
  for (int i = 0; i < n; i++)
    mas[i] = i + 1;
  int size = n;
  qsortRecursive(mas, size);
  delete[] mas;
}
```

Время быстрой сортировки: 157 миллисекунд

Метод сортировки пузырьком

Метод пузырька, пожалуй, наиболее очевидный способ обменной сортировки — сравнить K_1 с K_2 , меняя местами R_1 и R_2 , если их ключи расположены не в нужном порядке, и затем проделать то же самое с и т. д. При выполнении этой последовательности операций записи с большими ключами будут продвигаться вправо; и действительно, все это закончится тем, что запись с наибольшим ключом займет положение R_N . При многократном выполнении данного процесса соответствующие записи попадут в позиции R_{N-1}, R_{N-2} и т. д., так что, в конце концов, все записи будут упорядочены [9].

Пример алгоритма сортировки пузырьком:

- Шаг 1. – Вход: массив A, состоящий из N элементов, с нумерацией от A[1] до A[N]
- Шаг 2. – Цикл для J=1 до N-1 шаг 1
- Шаг 3. – F=0
- Шаг 4. – Цикл для I=1 до N-J шаг 1
- Шаг 5. – Если A[I] > A[I+1] то обмен A[I], A[I+1]:F=1
- Шаг 6. – Следующее I
- Шаг 7. – Если F=0 то выход из цикла
- Шаг 8. Следующее J

```
int main()
{
    setlocale(LC_ALL, "rus");
    int a[100000];
    srand(time(NULL));
    for (int i = 0; i < 100000; i++)
        a[i] = rand() % 90000 - 10000;
    for (int i = 0; i < 100000; i++)
    {
        for (int j = 0; j < 99999; j++)
        {
            if (a[j] > a[j + 1]) {
                int b = a[j];
                a[j] = a[j + 1];
                a[j + 1] = b;
            }
        }
    }
}
```

Время сортировки методом пузырька: 49 секунд

Метод сортировки выбором

Записи R_1, \dots, R_N перекомпоновываются в пределах того же фрагмента памяти. После завершения сортировки их ключи будут упорядочены: $K_1 \leq \dots \leq K_N$. Сортировка базируется на описанном выше методе, если не считать того, что более удобно, оказывается, сначала выбирать наибольший элемент, затем – второй по величине и т. д [2].

Пример алгоритма сортировки выбором:

- Шаг 1. – Установка MIN в начальное место
- Шаг 2. – Поиск минимального элемента в списке
- Шаг 3. – Обмен значениями с начальной позицией MIN
- Шаг 4. – Сдвиг MIN, чтобы указать на следующий элемент
- Шаг 5. – Повторять, пока список не будет отсортирован.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для каждого алгоритма выбранного нами, мы провели проверку времени сортировки, используя 3 разных массива. Чтобы понять какой из алгоритмов сортировки наиболее эффективен и может в дальнейшем активно использоваться в каких-либо задачах.

В первом случае мы будем использовать упорядоченный массив, он состоит из чисел от 1 до N.

Во втором случае возьмем массив обратного порядка, он немного похож на прошлый массив, но имеет другую последовательность от N до 1.

В третьем случае будем использовать массив случайных чисел, используя диапазон от - 10000 до 90000.

```
int main()
{
    setlocale(LC_ALL, "rus");
    int a[100000];
    srand(time(NULL));
    for (int i = 0; i < 100000; i++)
        a[i] = rand() % 90000 - 10000;
    int min = 0;
    int swap = 0;
    for (int i = 0; i < 100000; i++)
    {
        min = i;
        for (int j = i + 1; j < 100000; j++)
            min = (a[j] < a[min]) ? j : min;
        if (i != min)
        {
            swap = a[i];
            a[i] = a[min];
            a[min] = swap;
        }
    }
}
```

Время сортировки методом выбора: 18 секунд

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сортировка, mks	Массив случайных чисел				
	N = 10	N = 100	N = 1000	N = 10000	N = 100000
Вставками	1	24	2006	225328	20386504
Быстрая	3	13	145	1650	17510
Пузырьковая	1	50	5450	532233	49745539
Выбором	1	25	2032	191761	18142693

Сортировка, mks	Упорядоченный массив				
	N = 10	N = 100	N = 1000	N = 10000	N = 100000
Вставками	1	2	7	57	565
Быстрая	2	6	55	620	6515
Пузырьковая	1	25	2360	268605	26155767
Выбором	1	20	2063	194394	18309881

Сортировка, mks	Массив обратного порядка				
	N = 10	N = 100	N = 1000	N = 10000	N = 100000
Вставками	2	51	4249	423179	39086758
Быстрая	2	7	58	671	7215
Пузырьковая	1	54	4391	449480	41610018
Выбором	1	25	2185	221639	20502621

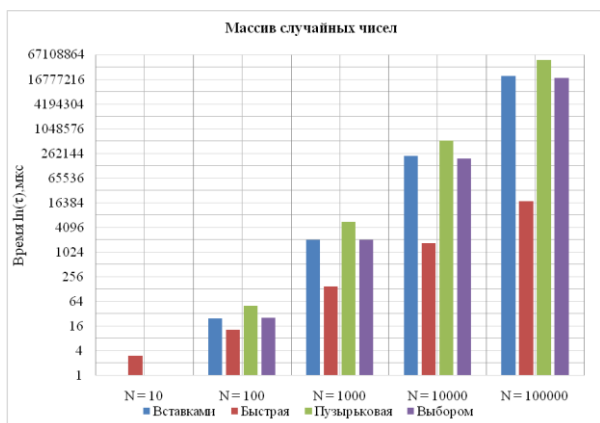


Рис. 1. Сравнение значений затраченного времени на сортировку для массива данных, составленных из случайных значений

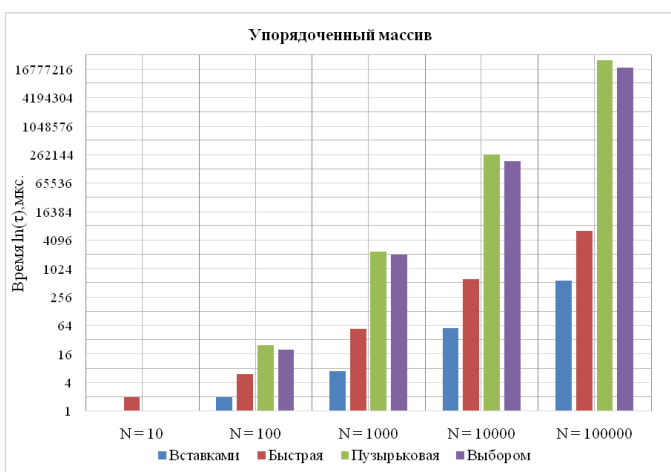


Рис. 2. Сравнение значений затраченного времени на сортировку для массива данных, составленных последовательно возрастающих значений

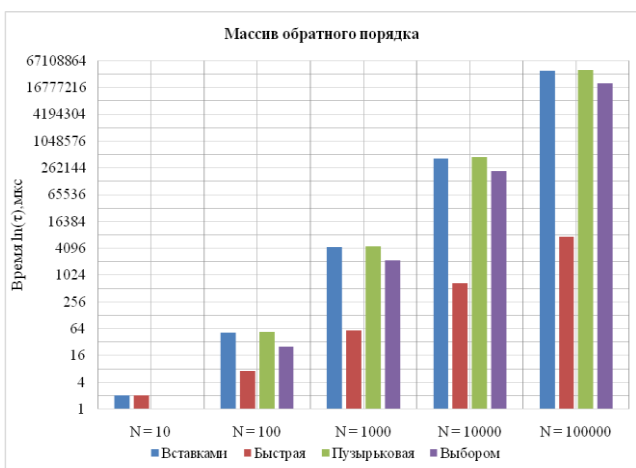


Рис. 3. Сравнение значений затраченного времени на сортировку для массива данных, составленных последовательно уменьшающихся значений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

В данной статье было рассмотрено 4 разных алгоритма сортировки и замерили время работы каждого из них. При сортировке 10 элементов упорядоченного массива, самым

не производительным оказался метод быстрой сортировки. Так же при сортировке упорядоченного массива самым эффективным является метод вставок. Но в массиве обратного порядка и случайных чисел, мы получаем совсем другую картину. Исходя из графиков выше самым эффективным оказался метод быстрой сортировки. Мы не стали рассматривать массивы с более 100 тыс. элементов, так как 3 из 4 рассматриваемых нами являются мало эффективными на таких больших объемах, и они не могут справиться с такой сортировкой. А метод быстрой сортировки наоборот оказался наиболее эффективным для массивов крупного порядка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Ишметьев Е.Н., Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Салихов З.Г., Усачев М.В., Рябчиков М.Ю. Оптимизация энергетического режима работы электродуговой печи // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2007. №5. С.23-27.
- Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Прогнозирование продолжительности нагрева непрерывнолитой заготовки в методической печи с шагающими балками // Сталь. 2003. -№1. -С.71-74.
- 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.
- Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Экспериментальное исследование эффективности энергосберегающих оптимальных режимов нагрева металла // Автоматизированные технологии и производства. 2014. -№6. -С. 134-143.
- Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Система оптимального управления тепловым режимом промышленных печей // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. – №2. – С.18-29.
- Парсункин Б.Н. Андреев С.М., Обухова Т.Г., Галдин М.С., Ахметов Т.У. Адаптивные статистические модели, синтезированные на основе ИНС // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. -№4. -С. 68 - 71.
- Головкин Н.А., Логунова О.С., Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Адаптивная система автоматического управления стохастическими нелинейными процессами // Научное обозрение. 2013. – № 1. – С.168-173.
- Алгоритм сортировки [Электронный ресурс] – https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_сортировки#Список_алгоритмов_сортировки
- Кнут Д.Э. Искусство Программирования. Том 3 Сортировка и Поиск.: руководство по программированию./ Д.Э. Кнут – М.: Вильямс,- 2017. – 832с.
- Thomas H. Cormen. (Eds).Algorithms unlocked. Publisher: MIT Press, - 2013. - 240 p..
- George T. Heineman, Gary Pollice, Stanley Selkow. (Eds). Algorithms in a Nutshell. Publisher: O'Reilly,- 2016.- 367 p.

RESEARCH METHODS FOR SORTING DATA VALUES

A.S. Kirilov, K.A. Kunurbaev, E.A. Bichurin

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. The choice of a sorting algorithm is usually determined by the complexity of its implementation and the time spent on sorting. For real-time systems, sorting time is of paramount importance, but the capabilities of hardware, especially limited in the amount of random-access memory, microcontrollers, do not always allow the implementation of complex algorithms. The paper considers several data sorting algorithms that belong to different classes of sorting methods. The complexity of the implementation of various algorithms is shown, the program code in C is given. When conducting a computational experiment, the sorting time for various data sets was determined. It is shown that the quick sort algorithm proved to be the most effective for sorting large data arrays.

Keywords: sorting algorithms, sorting speed, program cycles, fast sorting algorithm.

REFERENCES

1. Ishmetiev E.N., Andreev S.M., Parsunkin B.N. Optimization of a power mode of behaviour of the electric arc oven// *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2007. №5. pp.23-27.
2. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Predicting the heating time of continuous-cast billet in a stepping-beam continuous furnace. *Steel in Translation*. 2003. T. 33. № 1. C. 47-52.
3. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Ways to improve the efficiency and noise immunity of automatic process control optimization systems. *Automation of technologies and production*. 2013, no.5, pp.277 – 290.
4. Andreev S.M., Parsunkin B.N. An experimental study of the efficiency of energy-saving optimal modes of metal heating. *Automation of technologies and production*. 2014, no.6, pp.134 – 143.
5. Andreev S.M., Parsunkin B.N. Optimal Control System of Industrial Furnace Thermal Rate. *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2013, no. 2, pp. 18-29.
6. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Obukhova T.G., Galdin M.S., Ahmetov T.U. The adaptive statistical models, synthesized on the basis of the neural networks. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2012. no. 4pp. 68 - 71.
7. Golovko N.A., Logunova O.S., Parsunkin B.N., Andreev S.M. Adaptive system of automatic control of stochastic non-linear processes. *Scientific Review*. 2013, no.1, pp. 168-173.
8. Sorting algorithm – https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_сортировки#Список_алгоритмов_сортировки
9. Knuth D. *The Art of Computer Programming*, vol.3. *Sorting and Searching*, 2-ed.
10. Thomas H. Cormen. (Eds). *Algorithms unlocked*. Publisher: MIT Press, - 2013. - 240 p.
11. George T. Heineman, Gary Pollice, Stanley Selkow. (Eds). *Algorithms in a Nutshell*. Publisher: O'Reilly,- 2016.- 367 p.

Кириллов А.С., Кунурбаев К.А., Бичурин Е.А. Исследование способов сортировки значений данных. // *Автоматизированные технологии и производства*. 2019. №2(20). С.4-8.

Kirilov A.S., Kunurbaev K.A., Bichurin E.A. Research methods for sorting data values. *Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva [Automation of technologies and production]*, 2019, no.2(20), pp.4-8. (In Russian)

УДК 681.527

БЕСКОНТАКТНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Е.Э. Бодров, Н.И. Киртянов

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия
fortheartist@mail.ru

Аннотация. Разработка автоматизированных систем диагностирования электродвигателей сегодня является актуальной задачей в силу очень широкого распространения электродвигателей в промышленности и в быту. Одним из часто применяемых методов диагностирования является диагностика по акустической вибрации электродвигателя. Обычно для измерения вибрации применяют акселерометры. Однако, не всегда это является возможным. Поэтому целью данной работы является проверка возможности получения такой же полной диагностической информации при помощи промышленного направленного микрофона по сравнению с акселерометрами. Для проверки был использован шумомер. Для реализации поставленной цели были выполнены: анализ существующих автоматизированных систем диагностирования электродвигателей; расчет характерных частот дефектов экспериментальной установки; экспериментальное определение спектра акустической вибрации электропривода с помощью акселерометров и с помощью шумомера; сравнение спектров. В результате исследования показано, что направленный микрофон может предоставлять даже больше диагностической информации, чем акселерометр. Результаты исследования могут быть использованы при разработке стационарных и переносных систем диагностики электродвигателей.

Ключевые слова: диагностика, акустическая вибрация, подшипник, электрический двигатель, направленный микрофон, шумомер, спектральный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Любое оборудование в процессе его эксплуатации излучает акустическую вибрацию. Измерить эту вибрацию можно различными способами – например, с помощью акселерометров. Применение акселерометров для измерения вибрации при диагностике промышленного оборудования является стандартом в промышленности уже на протяжении многих лет.

Однако иногда монтаж акселерометров на оборудовании сопряжен с некоторыми трудностями, связанными, например, с необходимостью высверливать отверстия в корпусе, что неприемлемо, если оборудование находится на гарантии. Кроме того, могут возникнуть проблемы со сваркой, если датчик необходимо приварить к чугунному корпусу.

В технической литературе вопросы стационарных систем диагностики промышленного оборудования, включающего электродвигатели постоянного и переменного тока, подшипника качения и скольжения всесторонне и глубоко изучено. В [1] рассмотрены вопросы диагностирования технического состояния электрооборудования машин непрерывного литья заготовок, листопркатного стана, трансформаторов дуговых сталеплавильных печей. В [2-5] описаны системы диагностики электрических двигателей. В [6-7] рассмотрены системы диагностики редукторов. В [8-10] приведены диагностические признаки основных дефектов подшипников и редукторов. В [11] при-

ведены результаты эксплуатации систем виброконтроля и вибродиагностики оборудования металлургической промышленности за несколько лет. В [12] описана система диагностики однофазного асинхронного двигателя, использующая данные о его акустической вибрации.

В связи с описанными выше недостатками применения акселерометров в данной работе предлагается использовать направленный микрофон промышленного исполнения для измерения акустической вибрации электродвигателя и последующего расчета ее спектра.

Целью данной работы является проверка возможности использования направленного микрофона для измерения вибрации электродвигателя и последующего вычисления ее спектра для разработки стационарной системы диагностики технического состояния электродвигателя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: получение спектра вибрации электродвигателя с помощью акселерометров и с помощью направленного микрофона; сравнение полученных спектров между собой.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Для проверки концепции бесконтактной системы диагностирования состояния электродвигателя по его акустической вибрации была использована экспериментальная установка, состоящая из однофазного асинхронного электродвигателя и редуктора. На одном из подшипников

электродвигателя стационарно установлены акселерометры VSA001 производства ifm electronics.

Дефекты, характерные для оборудования экспериментальной установки, рассчитываются по следующим зависимостям [9-10].

Частота вращения сепаратора относительно наружного кольца определяется выражением

$$f_c = \frac{1}{2} \cdot f_{BP} \left(1 - \frac{d_{TK}}{d_c} \cdot \cos(\alpha) \right) \quad (1)$$

где f_{BP} – частота вращения подвижного кольца относительно неподвижного; d_{TK} – диаметр тела качения; $d_c = (d_H + d_B)/2$ – диаметр сепаратора; d_H – диаметр наружного кольца; d_B – диаметр внутреннего кольца; α – угол контакта тел и дорожек качения.

Частота перекачивания тел качения по наружному кольцу определяется выражением

$$f_H = \frac{1}{2} \cdot f_{BP} \left(1 - \frac{d_{TK}}{d_c} \cdot \cos(\alpha) \right) \cdot Z = f_c \cdot Z \quad (2)$$

где Z – число тел качения.

Частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу определяется выражением

$$f_B = \frac{1}{2} \cdot f_{BP} \left(1 + \frac{d_{TK}}{d_c} \cdot \cos(\alpha) \right) \cdot Z = (f_{BP} - f_c) \cdot Z \quad (3)$$

Частота вращения тела качения относительно поверхности колец определяется выражением

$$f_{TK} = \frac{1}{2} \cdot f_{BP} \cdot \frac{d_c}{d_{TK}} \left(1 - \frac{d_{TK}^2}{d_c^2} \cdot \cos^2(\alpha) \right) \quad (4)$$

Для редуктора характерные частоты дефектов вычисляются по следующему выражению

$$f_{RED} = f_{BX} \cdot Z_{BX} = f_{ВЫХ} \cdot Z_{ВЫХ} \quad (5)$$

где f_{BX} – частота вращения входного вала; $f_{ВЫХ}$ – частота вращения выходного вала; Z_{BX} – число зубьев входного вала; $Z_{ВЫХ}$ – число зубьев выходного вала.

Частота вращения вала электродвигателя при проведении эксперимента составляла 2100 оборотов в минуту, или 35 Гц. Отношение количества зубьев редуктора равно 19/51. Дефекты статора и ротора асинхронного электродвигателя были найдены из ГОСТ ИСО 20958-2015 [13].

Дефекты подшипников качения и редуктора экспериментальной установки, рассчитанные по выражениям (1-5) сведены в табл. 1.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗМЕРЕНИЮ СПЕКТРА АКУСТИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Для того чтобы заменить в автоматизированной системе диагностирования состояния электродвигателя акселерометры на направленные микрофоны, необходимо измерить вибрацию на экспериментальной установке с помощью такого микрофона и вычислить ее спектр. Промышленный направленный микрофон, имеющий соответствующую высокую степень защиты от пыли, грязи и воды для применения его в условия промышленного производства, имеет достаточно большую стоимость. Поэтому было решено вместо него использовать при эксперименте

недорогой шумомер USB Noise Meter компании Spl-Lab [14-15]. Внешний вид шумомера приведен на рис. 1.

Таблица 1

Расчет характерных частот дефектов экспериментальной установки

№ п/п	Наименование дефекта	Расчет частоты дефекта		
		Частотный фактор	Частота вращения вала, Гц	Частота дефекта, Гц
1	Дефект наружного кольца подшипника f_H	8,3	35	290,5
2	Дефект внутреннего кольца подшипника f_B	10,7	35	374,5
3	Дефект тел качения подшипника f_{TK}	2,4	35	84
4	Дефект сепаратора подшипника f_c	0,437	35	15,3
5	Дефект зубозацепления редуктора f_{RED}	19	35	665
6	Ослабление прессовки пакета стали статора, обрыв или замыкание в обмотке статора	-	-	100
7	Эксцентриситет внешней поверхности ротора относительно оси его вращения	-	-	50

Шумомер Spl-Lab USB Noise Meter предназначен для измерения уровня акустического шума, уровня звукового давления и получения амплитудно-частотной характеристики на слышимом звуковом диапазоне от 10 Гц до 20 кГц.

Измеряемый шумомером Spl-Lab USB Noise Meter сигнал оцифровывается внутри микрофона и передается через USB-порт на персональный компьютер в цифровом виде. Прикладное программное обеспечение Measuring Center для чтения данных с шумомера выполняет вычисление спектра акустического сигнала.

В ходе эксперимента шумомер Spl-Lab USB Noise Meter был направлен на подшипник экспериментального асинхронного электродвигателя, на котором установлен акселерометр VSA001. Измерения с микрофона и акселерометра производились одновременно. На рис. 2 показаны полученные спектры.

Сравнение обоих спектров показало, шумомер, также как и акселерометры зарегистрировал вибрацию на на характерных частотах дефектов экспериментальной установки. И шумомер, и акселерометр отчетливо зарегистрировали дефект зубозацепления редуктора. Таким образом в спектре шумомера, а, следовательно, и направленного микрофона, больше диагностической информации, чем у акселерометра.

В спектре акселерометра различимы две характерные частоты дефектов – дефект внутреннего кольца подшипника и дефект зубозацепления редуктора. А в спектре шумомера различимы четыре вероятных дефекта – дефект внутреннего кольца подшипника; дефект зубозацепления редуктора; дефект статора асинхронного двигателя и эксцентриситет ротора электродвигателя.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что направленные микрофоны возможно применять при разработке автоматизированной системы диагностирования электродвигателя.



Рис. 1. Шумомер Spl-Lab USB Noise Meter

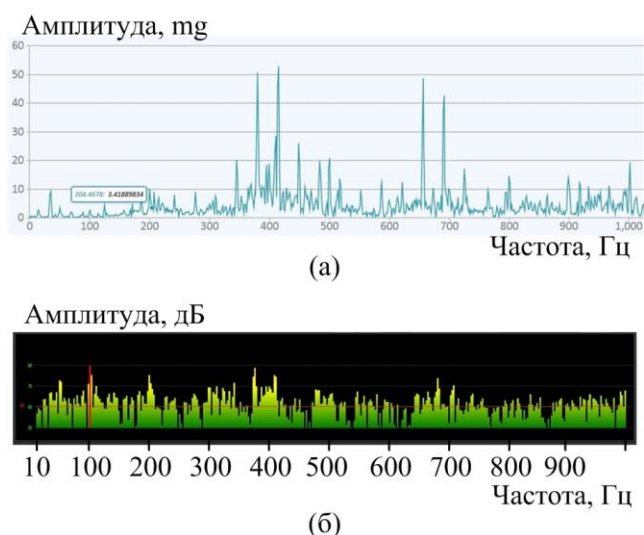


Рис. 2. Сравнение спектров акселерометра VSA001 (а) и шумомера Spl-Lab USB Noise Meter (б)

Автоматизированная система диагностирования электродвигателя на основе направленного микрофона может быть построена следующим образом.

Необходимо рассчитать частоты дефектов электродвигателя по уравнениям (1-5) для подшипников качения и редуктора и из ГОСТа ИСО 20958-2015 [13] для дефектов асинхронного электродвигателя. Частоты вероятных дефектов электродвигателя зависят от используемых в нем подшипников, а для редуктора – от числа зубьев входной и выходной шестерен.

После расчета частот всех дефектов, система диагностики сравнивает амплитуду вибрации на данной частоте с пороговым значением. Величины пороговых значений определяются эмпирическим путем в зависимости от мощности установки и данных об уровнях вибрации для аналогичного оборудования [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Выводы)

В работе произведена экспериментальная проверка предложенного способа использования направленного микрофона в качестве чувствительного элемента в системе диагностики электродвигателя вместо акселерометров. Для проверки была использована экспериментальная установка, состоящая из однофазного асинхронного электродвигателя и редуктора. Были рассчитаны частоты возможных дефектов установки, включающие дефекты опорных подшипников качения, редуктора и асинхронного двигателя.

Для эксперимента вместо направленного микрофона был использован шумомер, уступающий ему в разрешающей способности и степени защиты, но имеющий значительно меньшую стоимость. Однако для целей эксперимента разрешающей способности шумомера было достаточно.

Анализ экспериментальных данных показал, что направленный микрофон может быть использован при построении системы диагностирования электродвигателя вместо акселерометров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянов С.И. Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования / С.И. Лукьянов, А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, А.С. Сарваров, М.Ю. Петушков, В.Р. Храмшин // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2018. Т.16. №4. С. 129-136.
2. Степанов П.И. Комплексная токовая и вибродиагностика электромеханических систем / П.И. Степанов, С.В. Лагуткин, Ю.Р. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. № 2(22). С. 160-165.
3. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration: From Analysis to Troubleshooting. 2nd edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010. 476 p.
4. Salman Abdi. Experimental analysis of noise and vibration for large brushless doubly fed machines / Salman Abdi, Danilo Llano, Ehsan Abdi, Paul Malliband, Richard McMahon. // The Journal of Engineering, 2017. no.13. pp. 724-728.
5. Čereška A. Vibrodiagnostics and Monitoring of the Mechanical-Dynamic Elements of Mechatronic Systems // Solid State Phenomena, 2015. no. 220-221. pp. 153-160.
6. Xiaowang Chen, Time-Frequency Analysis of Torsional Vibration Signals in Resonance Region for Planetary Gearbox Fault Diagnosis Under Variable Speed Conditions / Xiaowang Chen, Zhipeng Feng. // IEEE Access, 2017. no. 5 pp. 21918-21926.
7. Dybała J. Vibrodiagnostics of gearboxes using NBV-based classifiers: A pattern recognition approach // Mechanical Systems and Signal Processing, 2013. no. 38(1). pp. 5-22.
8. Dong Wang Prognostics and Health Management: A Review of Vibration Based Bearing and Gear Health Indicators/ Dong Wang, Kwok-Leung Tsui, Qiang Miao. // IEEE Access. 2018. no. 6. pp. 665-676.
9. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учеб. пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: СПбГМТУ, 2004. 156 с.
10. Клюев В.В. Неразрушающий контроль: справочник в 7-ми томах, том 7, книга 2. –М.: Машиностроение, 2005. 829 с.
11. Ishmetyev E.N. Stationary automatic vibration control and analysis systems: application experience / E.N. Ishmetyev, O.S. Logunova, A.N. Panov, D.V. Cistyakov, E.E. Bodrov // Journal of Computational and Engineering Mathematics, 2017, Vol.4, no.1, pp. 3-15.
12. Glowacz A. Early fault diagnosis of bearing and stator faults of the single-phase induction motor using acoustic signals / A. Glowacz, W. Glowacz, Z. Glowacz, J. Kozik // Measurement, 2018. no.113. pp. 1-9.

13. ГОСТ ИСО 20958-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя. М.: Стандартинформ, 2016. 22 с.

14. USB Noise Meter (Pro Edition) - конденсаторный микрофон для замера АЧХ и уровня - URL: <http://spl-lab.ru/ru/products/microphones/usb-noise-meter-pro-edition.html> (Дата обращения 13.11.2019).

15. Ишметьев Е.Н. Системы виброзащиты, виброконтроля и вибродиагностики промышленного оборудования / Е.Н. Ишметьев, Д.В. Чистяков, А.Н. Панов, Е.Э. Бодров, М. Вrabел // Электротехнические системы и комплексы. 2019. №1(42). С. 67-73.

16. Панов А.Н. Применение направленного микрофона для диагностики технического состояния электропривода по его акустической вибрации / А.Н. Панов, Е.Э. Бодров, А.А. Лысенко, Д.А. Кривошеев, Н.И. Киртянов // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 4(45). С. 58-63.

NON-CONTACT ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTRIC MOTOR

E.E. Bodrov, N.I. Kirtyanov

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. The development of automated systems for diagnosing electric motors today is of current interest due to the very wide distribution of electric motors in industry and in everyday life. One of the commonly used diagnostic methods is the diagnosis of acoustic vibration of an electric motor. Usually, accelerometers are used to measure vibration. However, this is not always possible. Therefore, the aim of this work is to verify the possibility of obtaining the same complete diagnostic information using an industrial directional microphone in comparison with accelerometers. To check the sound level meter was used. To achieve this goal, the following was accomplished: analysis of existing automated systems for diagnosing electric motors; calculation of characteristic frequencies of defects of the experimental setup; experimental determination of the spectrum of acoustic vibration of an electric drive using accelerometers and using a sound level meter; comparison of spectra. The study showed that a directional microphone can provide even more diagnostic information than an accelerometer. The research results can be used in the development of stationary and portable systems for diagnosing electric motors.

Keywords: diagnostics, acoustic vibration, bearing, electric motor, directional microphone, sound level meter, spectral analysis.

REFERENCES

1. Lukyanov S.I., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Sarvarov A.S., Petushkov M.Yu., Khramshin V.R. Development and implementation of intelligent systems for diagnosing the technical condition of electrical equipment [Razrabotka i vnedrenie intellektu-al'nykh sistem diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya elektricheskogo oborudovaniya], *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*. [Bulletin of MSTU. G.I. Nosova.] 2018.V. 16. Number 4. pp. 129-136.

2. Stepanov P.I., Lagutkin S.V., Nikitin Yu.R. Integrated current and vibration diagnostics of electromechanical systems [Kompleksnaya tokovaya i vibrodiagnostika elektromekhanicheskikh sistem] *Intellektualnye sistemy v proizvodstve [Intelligent systems in production]* 2013. No. 2 (22). pp. 160-165.

3. Adams M.L. Rotating Machinery Vibration: From Analysis to Troubleshooting, 2nd edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010. 476 p.

4. Salman Abdi, Danilo Llano, Ehsan Abdi, Paul Malliband, Richard McMahon. Experimental analysis of noise and vibration for large brushless doubly fed machines/ *The Journal of Engineering*, 2017. no.13. pp. 724-728.

5. Čereška A. Vibrodiagnostics and Monitoring of the Mechanical-Dynamic Elements of Mechatronic Systems / *Solid State Phenomena*, 2015. no. 220-221. pp. 153-160.

6. Xiaowang Chen, Zhipeng Feng. Time-Frequency Analysis of Torsional Vibration Signals in Resonance Region for Planetary Gearbox Fault Diagnosis Under Variable Speed Conditions/ *IEEE Access*, 2017. no. 5 pp. 21918-21926.

7. Dybała J. Vibrodiagnostics of gearboxes using NBV-based classifiers: A pattern recognition approach / *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2013. no. 38(1). pp. 5-22.

8. Dong Wang, Kwok-Leung Tsui, Qiang Miao. Prognostics and Health Management: A Review of Vibration Based Bearing and Gear Health Indicators / *IEEE Access*. 2018. no. 6. pp. 665 – 676.

9. Barkov A.V., Barkova N.A. *Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Analiz vibratsii: ucheb. posobie*. [Vibration diagnostics of machinery and equipment. Vibration analysis: textbook. allowance] , SPb. : SPbGMTU, 2004.156 p.

10. Klyuev V.V. *Nerazrushayushchiy kontrol': spravochnik v 7-mi tomakh* [Non-Destructive Testing: A Handbook in 7 Volumes,] Volume 7, Book 2. M.: Mechanical Engineering, 2005. 829 p.

11. Ishmetyev E.N., Logunova O.S., Panov A.N., Cistyakov D.V., Bodrov E.E. Stationary automatic vibration control and analysis systems: application experience/ *Journal of Computational and Engineering Mathematics*, 2017, Vol.4, no. 1, pp. 3-15.

12. Glowacz A., Glowacz W., Glowacz Z., Kozik J. Early fault diagnosis of bearing and stator faults of the single-phase induction motor using acoustic signals / Measurement, 2018. no. 113. pp. 1-9.

13. GOST ISO 20958-2015. *Kontrol sostoyaniya i diagnostika mashin. Signaturnyy analiz elektricheskikh signalov trekhfaznogo asinkhronnogo dvigatelya*. [Condition monitoring and machine diagnostics. Signature analysis of electrical signals of a three-phase induction motor.] М.: Standartinform, 2016. 22 p.

14. *Kondensatornyy mikrofon dlya zamera AChKh i urovnya* [USB Noise Meter (Pro Edition) - condenser microphone for measuring the frequency response and level] - Available at: <http://spl-lab.ru/ru/products/microphones/usb-noise-meter-pro-edition.html> (Accessed 13.11.2019).

15. Ishmetyev E.N., Chistyakov D.V., Panov A.N., Bodrov E.E., Vrabel M. Systems of vibration protection, vibration

monitoring and vibration diagnostics of industrial equipment [Sistemy vibrozashchity, vibrokontrolya i vibrodiagnostiki promyshlennogo oborudovaniya] *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrical systems and complexes]. 2019.No 1 (42). pp. 67-73.

16. Panov A.N., Bodrov E.E., Lysenko A.A., Krivosheev D.A., Kirtyanov N.I. The use of a directional microphone for diagnosing the technical condition of an electric drive by its acoustic vibration [Primenenie napravlennogo mikroфона dlya diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya elektroprivoda po ego akusticheskoy vibratsii] *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrical systems and complexes]. 2019.No 4 (45). pp. 58-63.

Бодров Е.Э., Киртянов Н.И. Бесконтактная акустическая диагностика технического состояния электродвигателя // Автоматизированные технологии и производства. 2019. №2(20). С.9-13.

Bodrov E.E., Kirtyanov N.I. Non-contact acoustic diagnostics of technical condition of electric. Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva [Automation of technologies and production], 2019, no.2(20), pp.9-13. (In Russian)

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

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

$$\text{При } \frac{dZ}{dt} < 0 \quad U = -1, \text{ если } \left(\frac{dZ}{dt}\right)_{\Pi} + \Delta\left(\frac{dZ}{dt}\right)_{\Pi} < 0 \quad (2)$$

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 изменения входного параметра $X(\tau)$ в соответствии с условием:

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

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

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

В схеме предусмотрено стабилизирующее устройство СУ принудительного реверса через время T_r . Это сделано с целью повышения устойчивости СЭР при воздействии на оптимизируемый процесс различных технологических помех и возмущений. Реверс производится всегда, когда выполняется условие $U(\tau) = -1$ независимо от состояния системы [3].

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 ($Z(\tau) < 0$), поэтому может сбрасывать лишь условие реверса ИМ [4].

ДИНАМИКА СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

Динамика поискового процесса в СЭР сжигания топлива, реализуемая оптимизирующим алгоритмом управления, определяется системой уравнений и логических условий:

$$X(\tau) = X_0 + \sigma(\tau) K_{\Pi} \tau, \text{ где } \sigma(\tau) \in (-1, +1) \quad (3)$$

$$Y[X(\tau)] = a_0 + a_1 X(\tau) + a_2 X^2(\tau) + a_3 X^3(\tau) + a_4 X^4(\tau) \quad (4)$$

$$T_1 \frac{dZ_1}{d\tau} + Z(\tau) = Y[X(\tau)] = f[X(\tau)] \quad (5)$$

$$T_2 \frac{dZ}{d\tau} + Z(\tau) = Z_1(\tau) \quad (6)$$

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} \geq 0$$

$$U = \begin{cases} +1, \text{ если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\Pi} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{max} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\Pi} > 0, \\ 0, \text{ если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\Pi} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{max} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\Pi} \leq 0, \text{ при } 0 \leq \tau \leq T_p \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} < 0 \quad U = -1, \text{ если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\Pi} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{\Pi} < 0 \quad (8)$$

При $U = +1$ $\sigma_{\tau+1} \equiv \sigma_{\tau}$ – сохранить выбранное направление;

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

При $U = -1$ $\sigma_{\tau+1} \equiv -\sigma_{\tau}$ – произвести реверс ИМ расхода воздуха.

где τ_{τ} – текущее время;

$X(\tau)$ – текущее значение входного управляющего параметра;

$K_{\Pi} = dx/dt = \text{const}$ – постоянная скорость изменения входного управляющего параметра;

$\sigma(\tau) = (-1, 0, +1)$ – переключающая сигнум-функция, определяющая текущее направление изменения входного параметра;

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

$Y[X(\tau)]$ – текущее установившееся значение выходного параметра в соответствии со статической характеристикой;

T_1 – постоянная времени, количественно характеризующая инерционность оптимизируемого процесса;

$Z_1(\tau)$ и $dZ_1/d\tau$ – текущее значение величин и первой производной выходного параметра только с учетом инерционности процесса;

T_2 – постоянная времени, количественно характеризующая время запаздывания оптимизируемого процесса;

$Z(\tau)$ и $dZ/d\tau$ – текущее значение выходной величины и первой производной выходной величины инерционного с запаздыванием оптимизируемого процесса;

$U = (-1, 0, +1)$ – управляющая функция, определяющая закономерность формирования текущего значения переключающей функции [5].

Для выполнения анализа влияния различных факторов и параметров и параметров СЭР на переходной процесс расчет траектории поискового режима целесообразно выполнять на ЭВМ.

Для расчета переходных процессов была составлена программа на языке программирования BorlandPascal кафедрой АСУ, МГТУ.

Программа kurs_sau.pas предназначена для расчета переходного поискового режима работы СЭР с запоминанием максимальной скорости выходного параметра.

Для повышения устойчивости поиска в программе предусмотрен поверочный принудительный рабочий шаг или шаг с реверсом через время $3T_1$ после остановки ИМ.

Для предотвращения ложного реверса предусмотрено время выдержки сигнум-реле равное $0,1 - 0,3T_1$ в течении которого вводится запрет на реверс ИМ.

Программа обеспечивает:

– построение траектории изменения во времени входного $X(\tau)$, выходного $Z(\tau)$ и установившегося $Y(\tau)$ значений параметров в текущий момент времени;

– построение траектории поискового режима СЭР в плоскости параметров «вход» (X) – «выход» (Y, Z);

– построение увеличенной части фазового портрета для удобства определения показателей качества СЭР.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

В данном разделе произведется анализ поискового процесса в СЭР с целью определения оптимальных параметров динамической настройки СЭР:

- скорость изменения входной величины K_{in} , ($M^3/ч$)/с;
- зона нечувствительности СЭР ΔZ_n , °C/с.

Оптимальные значения параметров динамической настройки будут определяться по показателям качества переходного процесса;

- потеря на поиск Z_n , °C;
- время выхода СЭР на экстремум (время поиска) T_n , с.

Величина потери на поиск Z_n определяется по формуле (9):

$$Z_n = Y_{max} - Z(X) \quad (9)$$

где Y_{max} – максимальное значение выходного параметра в установившемся режиме;

$Z(X)$ – среднее значение выходного параметра оптимизируемого процесса в пределах одного предельного цикла [6-8].

Чем меньше Z_n тем эффективней работа СЭР.

Для зоны нечувствительности СЭР $\Delta Z_n = 0,05$ °C/с определена по показателям качества работы СЭР оптимальная скорость исполнительного механизма K_{in} . Расчетные траектории поискового процесса и фазового портрета СЭР для $\Delta Z_n = 0,05$ °C/с и для разных значений скорости ИМ K_{in} приведены на рисунках 3-8.

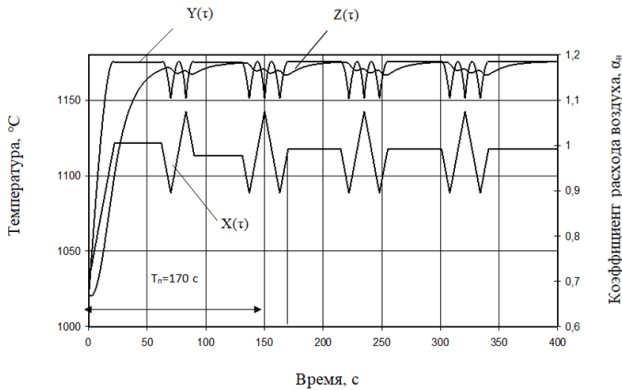


Рис.3. Расчетные траектории изменения во времени $X(t)$, $Z(t)$, $Y(t)$ значений параметров при $\Delta Z_n = 0,05$ °C/с и $K_{in} = 0,02015$ ($M^3/ч$)/с

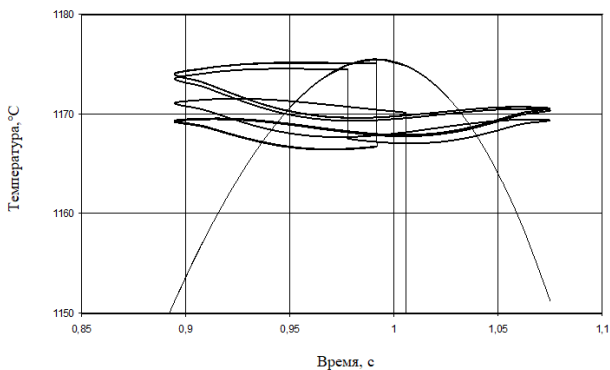


Рис.4. Расчетные траектории поискового режима в СЭР при $\Delta Z_n = 0,05$ °C/с и $K_{in} = 0,02015$ ($M^3/ч$)/с

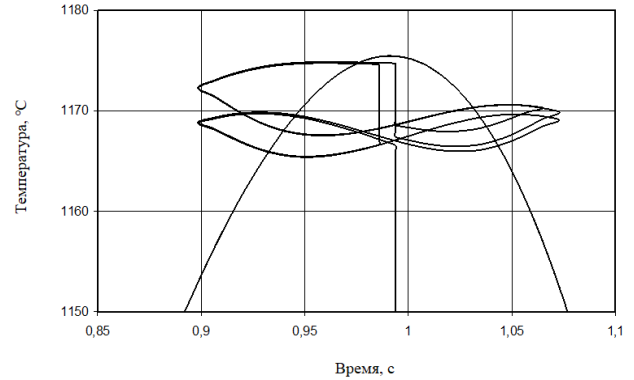


Рис.8. Расчетные траектории поискового режима в СЭР при $\Delta Z_n = 0,05$ °C/с и $K_{in} = 0,007936$ ($M^3/ч$)/с

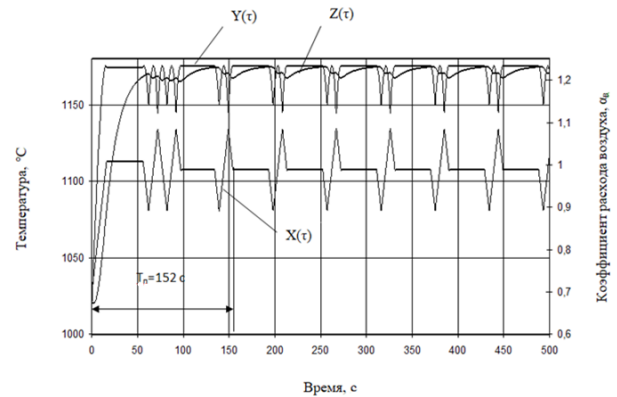


Рис.5. Расчетные траектории изменения во времени $X(t)$, $Z(t)$, $Y(t)$ значений параметров при $\Delta Z_n = 0,05$ °C/с и $K_{in} = 0,01356$ ($M^3/ч$)/с

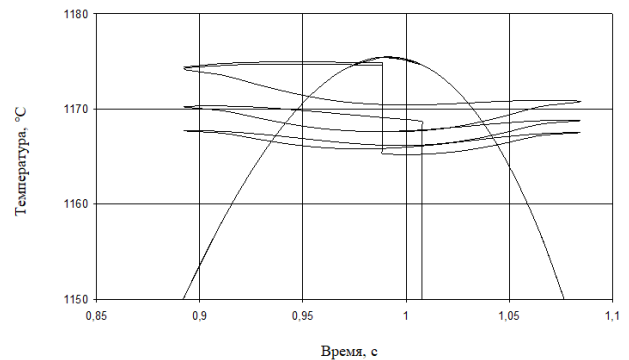


Рис.6. Расчетные траектории поискового режима в СЭР при $\Delta Z_n = 0,05$ °C/с и $K_{in} = 0,01356$ ($M^3/ч$)/с

Исходя из результатов исследования переходных процессов при различных значениях скорости исполнительного механизма, можно определить оптимальные настройки СЭР.

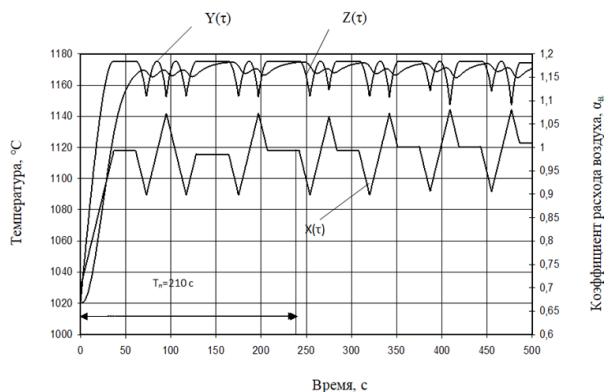


Рис.7. Расчетные траектории изменения во времени $X(t)$, $Z(t)$, $Y(t)$ значений параметров при $\Delta(Z_{н}) = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$ и $K_{и} = 0,007936 \text{ (м}^3/\text{ч)}/\text{c}$

Сведем результаты исследования в таблицу 1.

Таблица 1
Зависимость показателей качества от настроечных параметров СЭР

$K_{и}, \text{ (м}^3/\text{ч)}/\text{c}$	$\Delta Z_{н}, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c}$	$T_{п}, \text{ c}$
0,02015	0,05	170
0,01356	0,05	152
0,007936	0,05	210

Выберем оптимальные параметры настройки с наименьшим временем выхода на экстремум $T_{п}$:

$$\Delta(Z_{н}) = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{c};$$

$$K_{и} = 0,01356 \text{ (м}^3/\text{ч)}/\text{c}.$$

Полученные результаты характеризуют эффективность работы системы автоматической оптимизации статической характеристики оптимизируемого процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Произвели исследование переходных процессов в системе экстремального регулирования, в ходе которого было выявлено, что:

- важным параметром динамической настройки является скорость изменения входного параметра (исполнительного механизма, изменяющего величину входного параметра);

- наличие дрейфа статической характеристики оптимизируемого процесса оказывает заметное влияние на поисковый режим.

EXTREME CONTROL SYSTEM WITH REMEMBER OF THE MAXIMUM SPEED OF CHANGE OF THE OUTPUT PARAMETER

I.G. Samarina, Yu.S. Tolstova, V.A. Gazizova

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. In article research of work of system of automatic optimisation of control temperature in continuous furnace It is very important to achieve accurate temperature control in the continuous furnace, since the entire further process of rolling redistribution, including the quality of products, depends on this parameter, which is why this topic is relevant. The static characteristic of this object has an extreme form and this is depending temperature of air flow coefficient.

Keywords: continuous furnace, system of automatic optimization, static characteristics, transients process.

По итогу работы получили оптимальные параметры настройки, которые позволяют с высокой точностью отслеживать экстремум выходной величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парсункин, Б.Н. Расчеты переходных процессов в системах экстремального регулирования с запоминанием экстремума / Б.Н. Парсункин, М.В. Бушманова // Учеб. пособие. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2001. – 164 с.

2. Андреев, С.М. Экспериментальное исследование эффективности энергосберегающих оптимальных режимов нагрева металла / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин // Автоматизированные технологии и производства. 2014. №6. С. 134-143.

3. Парсункин, Б.Н. Расчеты систем автоматической оптимизации управления технологическими процессами в металлургии / Б.Н. Парсункин, М.В. Бушманова, С.М. Андреев // Учеб. пособие. – Магнитогорск, 2003. – 267 с.

4. Парсункин, Б.Н. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, У.Б. Ахметов. – Магнитогорск МГТУ им. Г.И. Носова, 2006. – 198 с.

5. Парсункин, Б.Н. Оптимизация управления тепловым режимом нагревательных печей / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, М.В. Бушманова // Сталь. 2003. №9. С. 65-67.

6. Парсункин, Б.Н. Снижение удельного расхода топлива при управлении тепловым режимом по температуре поверхности нагреваемого металла / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Обухова и др. // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №5. С. 302-309.

7. Парсункин Б. Н., Андреев С.М., Ишметьев Е. Н., Усачев М. В., Михальченко Е. С., Наливкин А. К. Синтез системы оптимального управления электрическим режимом сверхмощной дуговой сталеплавильной печи ДСП-180 // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. №8. С. 11-18.

8. 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.

REFERENCES

1. Parsunkin B.N., Bushmanova M.V. Raschety perekhodnykh protsessov v sistemakh ekstremal'nogo regulirovaniya s zapominaniyem ekstremuma. Ucheb. posobiye. Magnitogorsk: NMSTU, 2001, pp. 164.
2. Andreev S.M., Parsunkin B.N. Pilot study of efficiency of energysaving optimum metal heating modes. *Automation of technologies and production*. 2014, no. 6, pp. 134-143.
3. Parsunkin B.N., Bushmanova M.V., Andreyev S.M. Raschety system Avtomaticheskoy optimizatsii upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v metallurgii, Ucheb. posobiye. – Magnitogorsk: NMSTU, 2003, pp. 267.
4. Parsunkin B.N., Andreyev S.M., Akhmetov U.B. Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v metallurgii. Magnitogorsk: NMSTU, 2006, pp.198.
5. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Bushmanova M.V. Optimization of controlling the thermal conditions of heating furnaces. *Stal' [Steel]*. 2003, no. 9, pp. 65-67.
6. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Obukhova T.G. et al. Decrease in specific fuel consumption when controlling the thermal mode based on the temperature of the heated metal surface. *Automation of technologies and production*. 2013, no. 5, pp. 302-309.
7. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Ishmetiev E.N., Usachev M.V., Mikhachenko E.S., Nalivkin A.K. Synthesis of Control Optimization System of the High-Power Electric Arc Furnace EAF-180 Electric Conditions. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. 2009, no. 8. pp. 11-18.
8. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Ways to improve the efficiency and noise immunity of automatic process control optimization systems. *Automation of technologies and production*. 2013, no.5, pp.277 – 290.

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(20). С.14-18.

Samarina I.G., Tolstova Yu.S., Gazizova V.A. Extreme control system with remember of the maximum speed of change of the output parameter. *Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva [Automation of technologies and production]*, 2019, no.2(20), pp.14-88. (In Russian)

РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КУПОЛА ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

А.С. Прасолов, Ю.С. Толстова, В.А. Газизова

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

jt_tolstova@mail.ru

Аннотация. В настоящее время системы автоматического регулирования строятся с применением контроллеров. В статье рассматривается система автоматического регулирования температуры купола воздухонагревателя доменной печи, реализованная на контроллере ОВЕН ПЛК 160. Быстродействие, объем оперативной памяти, развитые средства коммуникации современных программируемых логических контроллеров позволили строить разнообразные системы управления и реализовывать алгоритмы управления, используя только программные средства.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, воздухонагреватель, функциональный блок, контроллер.

ВВЕДЕНИЕ

Доменная печь самый большой и сложный непрерывно работающий плавильный агрегат металлургического предприятия. В современных доменных печах производят специальный передельный чугун для дальнейшего использования в качестве основы получения стали [1].

Одним из эффективных способов повышения производительности доменных печей и снижения удельного расхода кокса является нагрев дутья. Для нагрева воздуха сооружают мощные агрегаты (аппараты) – воздухонагреватели, объединенные в блок, в которые холодный воздух нагнетают воздухоудвными машинами. Способ нагрева воздуха основан на принципе регенерации, при котором нагретая горячими продуктами сгорания огнеупорная насадка воздухонагревателей отдает тепло проходящему через нее холодному воздуху. Горячее дутье по воздухопроводу подают через фурменные приборы (воздушные фурмы), расположенные на уровне горна, в рабочее пространство доменной печи.

Доменный и коксовый газы используются в качестве топлива для воздухонагревателей, что еще больше повышает их экономическую эффективность.

При повышении температуры горячего дутья, поступающего в доменную печь, происходит снижение расхода топлива, интенсификация физико-химических процессов доменной плавки, а также увеличение производительности доменной печи [2, 3, 6].

Для хорошего прогрета насадки необходимо поддерживать правильный тепловой режим нагрева, обеспечивающий нормальное распределение температур по высоте насадки, полное сжигание топлива, исключая потерю химической энергии с продуктами горения. Все это должно сопровождаться поддержанием температуры купола и верхних рядов насадки на уровне, не доходящем до температур начала размягчения огнеупорного кирпича. Толь-

ко системы автоматического регулирования (САР) позволяет вести нагрев воздухонагревателей в нужном режиме.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНТУРА НА КОНТРОЛЛЕРЕ ОВЕН ПЛК 160

Для реализации САР потребуется два аналоговых входа, два дискретных входа и два дискретных выхода. В среде CODESYS устанавливается target-файл для ОВЕН



Рис. 1. Конфигурация входов/выходов ПЛК

ПЛК160, настраиваются используемые входы и выходы, представленные на рисунке 1.

В тело программы вводятся переменные:

```

PROGRAM PLC_PRG
VAR
More: BOOL;           (*Сигнал больше на ИМ*)
Less: BOOL;          (*Сигнал меньше на ИМ*)
END_VAR
VAR_INPUT
  setpoint: INT;     (*Заданное значение температу-
ры*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
  feedbackerror: BOOL; (*Ошибка обратной свя-
зи*)
END_VAR

```

Система автоматического регулирования температуры купола воздухонагревателя реализована на языке FBD, графическом языке программирования стандарта МЭК 61131-3. Также была установлена дополнительная библиотека функциональных блоков для регулирования и управления исполнительными механизмами PID_Regulators.lib 28.12.06 для ПЛК фирмы ОВЕН. Подробное описание работы используемых блоков представлено на рисунках 2-4.

Блок цифровой фильтр для аналоговых значений (DIG_FLTR) представлен на рисунке 2, позволяет уменьшить влияние высокочастотных и случайных импульсных помех на измеренную величину за счет интегрирования резких изменений сигнала.

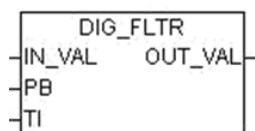


Рис.2. Структурная схема блока цифрового фильтра для аналоговых значений

Установленное значение параметра полосы фильтра (PB) защищает измерительный тракт от импульсных помех – если текущее показание сильно отличается от предыдущего измеренного (более чем на значение полосы), то оно игнорируется и учитывается только следующее измерение.

Большие значения постоянной времени (TI) приводят к замедлению реакции блока на быстрые изменения измеренного параметра, но при этом высокочастотные помехи значительно подавляются.

Блок регулятора без автонастройки (PID_FUNCTION) представлен на рисунке 3.

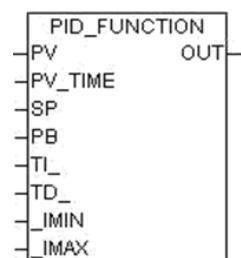


Рис.3. Структурная схема блока регулятора без автонастройки

Полоса пропорциональности (параметр PB) показывает насколько сильно действует обратная связь – чем шире полоса пропорциональности, тем меньше величина выходного сигнала OUT при одном и том же рассогласовании [4].

Постоянная интегрирования (TI_) задает (учитывает) инерционность объекта регулирования.

Постоянная дифференцирования (TD_) характеризует скорость изменения параметра (например, температуры). Рекомендованное соотношение TD_/TI_ для большинства объектов лежит в диапазоне от 0,15 до 0,3.

Во избежание «перерегулирования» и «недорегулирования» можно ограничить сверху и снизу значение накопленной интегральной составляющей. Ограничение накопления интегральной составляющей можно задать равное выходной мощности, необходимой для поддержания заданной уставки, определенной опытным путем. Максимальное ограничение необходимо задать на 5...15 % больше этой мощности, а минимальное – на 5...15 % меньше требуемой мощности.

Функциональный блок управление задвижкой с датчиком положения (VALVE_REG), представленный на рисунке 4, может использоваться для управления трехпозиционными исполнительными механизмами (например,

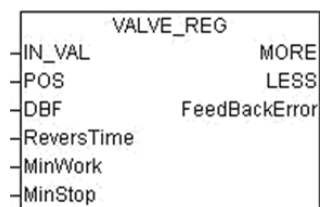


Рис.4. Структурная схема блока управления задвижкой с датчиком положения

задвижками, жалюзи и др.), управляемыми двумя дискретными сигналами.

Блок позволяет устанавливать задвижку в положение, соответствующее значению параметра на входе IN_VAL. При рассогласовании меньше половины зоны нечувствительности (DBF) сигналы на управление задвижкой не подаются. Увеличение значения параметра уменьшает износ исполнительного механизма за счет меньшего количества включений, но снижается точность позиционирования.

Выход ошибки (FeedBackError) принимает значение TRUE в случаях:

а) если значение сигнала с датчика обратной связи (POS) выходит за пределы допустимого диапазона 0...100, т. е. больше 100 или меньше 0;

б) если после подачи команды на изменение положения задвижки (MORE или LESS) за время MinWork*2 значение сигнала положения задвижки (POS) не изменится на значение больше, чем зона нечувствительности (DBF).

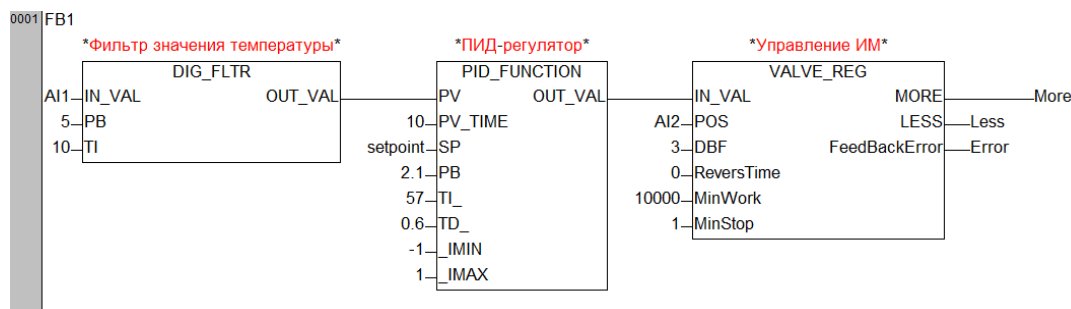


Рис.5. Цепь формирования управляющего сигнала

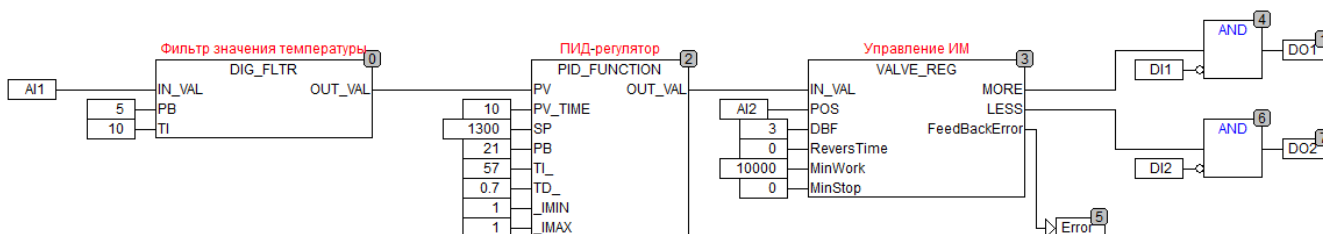


Рис.6. Программа автоматического регулирования температуры купола на языке CFC

В первой цепи FB1, представленной на рисунке 5, значение температуры с аналогового входа AI1 поступает на вход блока фильтра, чтобы исключить колебания значений, далее на вход PV блока ПИД-регулятора. Вход PV_TIME служит для установки времени обновления входа PV, устанавливается минимальное значение возможное для ПЛК 160 – 10 миллисекунд. На вход SP подается переменная setpoint, устанавливаемая оператором с программы визуализации, в зависимости от нужной температуры нагрева купола [5]. На входы PV, TI_, TD_ подаются значения пропорциональной, интегральной и дифференциальной части соответственно. Блок вычисляет нужное положение ИМ и устанавливает, это значение на выход блока OUT_VAL. Значение с выхода блока ПИД-регулятора, поступает на вход блока управления ИМ. Работа блока заключается в сравнении значения входа IN_VAL, с положением ИМ, поступившего из аналогового входа AI2 на вход блока POS. Зона нечувствительности выставлена на 3% вход блока DBF. Далее, в зависимости от ситуации, блок формирует три сигнала: More для открытия ИМ, Less на закрытие ИМ и Error для аларма отсутствия обратной связи. Значения больше идет на вторую цепь FB2, значение меньше на третью цепь FB3 [5].

Для предотвращения захода регулирующего органа за заданные пределы, сигналы More и Less поступают на блоки конъюнкции AND совместно с инверсированными сигналами дискретных входов DI1 и DI2. И далее замыкают дискретные выходы ПЛК DO1 и DO2.

Значение температуры, уставки и тревоги выводятся на экран компьютера оператора, с помощью программы визуализации. Программа управления выполнена на языке CFC и представлена на рисунке 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тепловой режим воздухонагревателей является сложной системой регулирования, несмотря на это, на базе

микроконтроллера Овен ПЛК160 разработана программа управления тепловым режимом воздухонагревателя, которая учитывает технологические особенности данного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беленький, А.М. Автоматическое управление металлургическими процессами [Текст]: учебник для вузов / А.М. Беленький, Ф.М. Бердышев – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 2006. – 384с.
2. 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.
3. Парсункин, Б.Н. Автоматизация и оптимизация управления процессом выплавки чугуна в доменных печах / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Суханосова. – Магнитогорск МГТУ им. Г.И. Носова, 2018. – 215 с.
4. Шелестов, И.В. ОВЕН ПЛК110 и ПЛК160. [Электронный ресурс]: Руководство пользователя версия 1.9. Москва 2010 г. схемы. – Режим доступа: https://www.owen.ru/uploads/24/rp_plk110.160.ru – Заглавие с экрана.
5. 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> – Заглавие с экрана.
6. Парсункин Б.Н., Андреев С.М. Оптимизация режима нагрева воздухонагревателей доменных печей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2004. №7. -С.33-37.

TEMPERATURE CONTROL OF HOT-BLAST STOVES OF BLAST FURNACES

A.S. Prasolov, Yu.S. Tolstova, V.A. Gazizova

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Currently, automatic control systems are built using controllers. The article discusses the automatic temperature control system for the blast furnace air heater dome, implemented on the Aries PLC 160 controller. The speed, RAM, and developed communication tools of modern programmable logic controllers made it possible to build a variety of control systems and implement control algorithms using only software tools.

Keywords: automatic control system, air heater, function block, controller.

REFERENCES

1. Belenky A.M., Berdyshev F.M. Automatic control of metallurgical processes [Text]: textbook for high schools. 2nd ed. reslave. and add. - M.: Metallurgy, 2006, 384 p.

2. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Akhmetov U.B. Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v metallurgii, Magnitogorsk: NMSTU, 2009, 198 p.

3. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Sukhonosova T.G. Avtomatizatsiya i optimizatsiya upravleniya protsessom vyplavki chuguna v domennykh pechakh, Magnitogorsk: NMSTU, 2015, 215 p.

4. Shelestov I.V. ARIES PLC110 and PLC160. [Electronic resource] User manual version 1.9. Moscow. 2010. Access mode: https://www.owen.ru/uploads/24/rp_plk110.160.ru

5. Samarina I.G., Bondareva F.R. Pprogramming and basic algorithms [Electronic resource]: textbook for high schools. Part 3, Magnitogorsk: NMSTU, 2015. Access mode: <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=1485.pdf&show=dcatalogues/1/1124014/1485.pdf&view>

6. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Optimisation of a regime of heating of hot-blast stoves of blast furnaces. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2004. no. 7. p.33-37.

Прасолов А.С., Толстова Ю.С., Газизова В.А. Регулирование температуры купола воздухонагревателя доменной печи // Автоматизированные технологии и производства. 2019. №2(20). С.19-22.

Prasolov A.S., Tolstova Yu.S., Gazizova V.A. Temperature control of hot-blast stoves of blast furnaces. *Avtomatizirovannye tehnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2019, no.2(20), pp.19-22. (In Russian)

