

ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"
Сборник научных трудов
Тематический выпуск
"Автоматика и приборостроение"

37'2007

Издание основано Национальным техническим университетом
"Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание
Свидетельство Госкомитета по
информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук,
проф.

**Секретарь координационного
совета**

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.;
Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.;
Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.;
А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;
Т.С. Воропай, д-р фил. наук, проф.;
М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.;
А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.;
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;
В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.;
П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;
А.Ф. Кириченко, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;
В.А. Лозовой, д-р фил. наук, проф.;
О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.;
П.Г. Перерва, д-р техн. наук, проф.;
Н.И. Погорелов, д-р техн. наук, проф.;
М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;
В.П. Себко, д-р техн. наук, проф.;
В.И. Таран, д-р физ.-мат. наук, проф.;
Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.;
А.Ф. Шехоцков, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

А.Н. Борисенко, канд. техн. наук, доц.

В.М. Боев, д-р техн. наук, проф.;
А.И. Гапон, канд. техн. наук, доц.;
Л.В. Дербунович, д-р техн. наук, проф.;
Л.М. Любчик, д-р техн. наук, проф.;
А.И. Овчаренко, д-р техн. наук, проф.;
Е.В. Рогожкин, д-р физ.-мат. наук, проф.;
В.И. Таран, д-р физ.-мат. наук, проф.;
Г.И. Загарий, д-р техн. наук, проф.;
А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.;
К.И. Богатыренко, д-р техн. наук, проф.;
М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.;
Б.И. Кузнецов, д-р техн. наук, проф.;
Г.К. Вороновский, д-р техн. наук, проф.

Планируются выпуски Вестника в ноябре
и марте каждого года

Адрес редколлегии:

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21.
НТУ "ХПИ", Каф. АУТС
Тел. (057) 707-21-01

Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – № 37 – 108 с.

В збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"

Протокол № 12 від 7 грудня 2007 р.

© Національний технічний університет "ХПІ", 2007

**Ю.И. ДОРОШЕНКО, А.В. ИВАШКО, А.В. ШОСТАК,
О.С. СОМХИЕВА** (г. Харьков)

АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ СТРУКТУР ДРЕВОВИДНЫХ ПСЕВДОМЕДИАННЫХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАЗБИЕНИЙ

У статті наводиться алгоритм синтезу та програмна реалізація всіх можливих структур M -арних дерев $D(M, N)$ які застосовуються для побудови деревоподібного псевдомедіанного фільтру[3].

Paper is devoted a design of weighted tree pseudo median filter with minimal error of vector weights and comparing with corresponding MAE.

Постановка проблемы. С развитием аппаратной части систем регистрации, обработки и визуализации изображений одновременно повышаются требования к характеристикам изображений: разрешению, глубине цвета, переходу к 3-D визуализации. Такие изображения требуют большой размер апертуры фильтров при обработке. Существующие вычислительные мощности персональных и специализированных компьютеров не позволяют проводить цифровую обработку, включающую фильтрацию, потокового видео и 3-D изображений.

Анализ литературы. Медианная фильтрация[1] является широко используемым методом нелинейной цифровой фильтрации для обработки изображений, который обладает важным достоинством – сохранением перепадов яркости изображения при наилучшем подавлении импульсных шумов. Поэтому, несмотря на большое количество методов поиска медианы, продолжают поиски более эффективных[1].

В [2] авторами предложен древовидный псевдомедианный фильтр (ДПМФ), структура которого основана на M -арных деревьях[3]. Предложенный фильтр имеет более высокое быстродействие, чем стандартные медианные и взвешенные медианные фильтры, и одновременно имеет априорные вероятности прохождения входных отсчетов по позициям апертуры.

В данной статье рассматривается алгоритм генерации структур ДПМФ на основе раздела комбинаторики – теории разбиений[4].

M -арное дерево определим рекурсивно на основе элементарного M -арного дерева с одним узлом с M листьями или входами. Если A_1, A_2, \dots, A_M – M -арные деревья, то и $A = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ является M -арным деревом.

Если элемент A_i является тривиальным деревом, то будем говорить о **листе** или **входе** дерева, если же элемент A_i не является тривиальным деревом, то будем говорить об **узле** дерева. **Порядком** M -дерева назовем количе-

ство его элементарных поддеревьев (базисных элементов). Очевидно, что порядок элементарного дерева равен единице: $|1| = 1$. Условимся обозначать M -дерево порядка N через $D(M, N)$. Если A – M -арное дерево, то его порядок условимся обозначать $|A|$.

Очевидно, что порядок дерева, состоящего из совокупности M -арных деревьев, равен сумме порядков этих деревьев, т.е. справедлива формула:

$$|\{A_1, A_2, \dots, A_M\}| = \sum_{i=1}^M |A_i| \quad (1)$$

Очевидно, что число узлов $D(M, N)$ дерева можно подсчитать в соответствии со следующим выражением:

$$\Psi(M, N) = (N-1)/(M-1) \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что, для существования хотя бы одного дерева $D(M, N)$ необходимо и достаточно, чтобы $(M-1)$ делило $(N-1)$ нацело.

Рассмотрим задачу генерации всех неизоморфных $D(M, N)$ деревьев.

Назовем α -набором набор чисел $\{\alpha_i\}_{i=1}^M$, обладающих следующими свойствами:

1. Все значения $\{\alpha_i\}_{i=1}^M$ расположены в порядке невозрастания: $\alpha_1 \geq \alpha_2 \geq \dots \geq \alpha_M$;
2. Сумма всех чисел набора равна N : $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_M = N$;
3. $(M-1)$ делит каждое из чисел набора: $M-1 \mid \alpha_i, i = \overline{1, M}$.

При этом число M будем называть длиной α -набора. Два α -набора длины M $\{\alpha_i\}_{i=1}^M$ и $\{\beta_i\}_{i=1}^M$ будем называть равными или одинаковыми, если у них совпадают соответствующие значения элементов, т.е. $\alpha_i = \beta_i, i = \overline{1, M}$. Тогда для любого M -арного дерева $A = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ найдется изоморфное ему дерево $B = \{B_1, B_2, \dots, B_M\}$, такое, что значения $\{|B_1|, |B_2|, \dots, |B_M|\}$ образуют α -набор. Для любого дерева указанный α -набор определяется единственным образом. Существование и единственность α -набора для указанного M -арного дерева дает нам возможность говорить о α -наборе данного дерева.

Два M -арных дерева назовем изоморфными, если совпадают их α -наборы. Если двум M -деревьям соответствуют разные α -наборы, то они неизоморфны. Таким образом, это приводит нас к следующей идее построения всех неизоморфных $D(M, N)$ деревьев:

1. Если $N = 1$, то единственным деревом будет являться тривиальное дерево.
2. Сгенерировать и рассмотреть все α -наборы длины M и суммой N . Предположим, что $\{\alpha_i\}_{i=1}^M$ – текущий рассматриваемый набор.
3. Если все элементы $\alpha_i = 1, i = \overline{1, M}$, то единственным M -деревом будет $\{1, 1, \dots\}$ длиной M .

4. Всем значениям $\alpha_i = 1$ поставим в соответствие тривиальные деревья. Для остальных же значений ($\alpha_i > 1$) построим все возможные M -деревья, пользуясь этим же алгоритмом.

5. Рассматривая все сочетания сгенерированных деревьев (при этом каждое из деревьев, соответствующее α_i должно занимать i -ю позицию), мы получим всякий раз $D(M, N)$ дерево.

Указанный алгоритм гарантирует, что всякое $D(M, N)$ дерево изоморфно хотя бы одному из сгенерированных. Однако он не гарантирует того, что все сгенерированные деревья будут неизоморфными. Например, в случае $M = 3$ и $N = 15$ одним из допустимых ?-наборов будет $7 + 7 + 1$. Поскольку всего существует два различных неизоморфных дерева 7-го порядка (обозначим их 7a и 7b) то, в соответствии с алгоритмом, всего будет рассмотрено четыре варианта $\{7a, 7a, 1\}$, $\{7a, 7b, 1\}$, $\{7b, 7a, 1\}$, $\{7b, 7b, 1\}$. Однако деревья $\{7a, 7b, 1\}$ и $\{7b, 7a, 1\}$ изоморфны между собой. Выходом состоит следующая модификация предложенного алгоритма таким образом, чтобы он при рассмотрении очередного α_i не генерировал деревья, которые были рассмотрены для предыдущих значений i .

Опишем алгоритм получения всех ?-наборов заданной длины для $M=3$.

Пусть дано число M , и нам необходимо получить все ?-наборы указанной длины. Предположим, что мы успешно сгенерировали значения $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ и нам осталось получить значения $\alpha_{k+1}, \dots, \alpha_M$, ($0 \leq k \leq M$). Если $k < M$, то необходимо установить α_{k+1} последовательно в $\alpha_k, \alpha_{k-(M-1)}, \dots, 1$ (в случае $k = 1$ полагаем, что $\alpha_0 = N - (M - 1)$), и для каждого значения α_{k+1} продолжить поиск. Если $k = M$, то указанный набор сформирован и осталось только проверить его значение суммы.

Алгоритм получения μ -наборов $A1$ выполняет разложение целого нечетного числа N на $M = 3$ целых нечетных числа A, B и C , причем $A \geq B \geq C$ и $N = A + B + C$. Алгоритм $A1$ использует приводимый ниже алгоритм $A2$, который выполняет разложение четного целого числа H на два нечетных целых числа B и C , причем $B \geq C$. В алгоритмах $A1$ и $A2$ число p определяет количество разложений числа N .

Входными данными для алгоритма $A1$ являются числа N и $M=3$. Выходными данными для алгоритма $A1$ являются числа A, B, C и p , причем число A определяется в алгоритме $A1$, числа B и C определяются в алгоритме $A2$, а число p формируется в алгоритмах $A1$ и $A2$.

Алгоритм $A1$ имеет следующий вид:

1. (Установка исходных значений.) $k = M - 1, p = 1$.
2. (Вычисление максимального числа $A = l$ при текущем p) $l = N - p \cdot k$.
3. (Разложение числа N на две части.) $N = c \cdot l + d$, где c – целая часть от деления N на l , $d = N \bmod l$ – остаток от деления N на l .
4. (Анализ величин c и d) Если $c = 1$, то: - $A = l$; - передать в алгоритм $A2$ значения $A, H = d$, и p ; - в результате работы алгоритма $A2$ получим наборы

B, C и p . Если $c = 2$ (при этом обязательно $d \neq 0$), то: - $A = l$; - передать в алгоритм $A2$ значения $A, H = l + d$, и p ; - в результате работы алгоритма $A2$ получим наборы B, C и p . Если $c = 3$ и $d = 0$, то: - $A = l, B = l, C = l$; - конец работы алгоритма $A1$. Если $c = 3$ и $d > 0$, то: - разложение N в базисе l на M чисел отсутствует; - конец работы алгоритма $A1$. Если $c > 3$ (больше M), то: - разложение N в базисе l на M чисел отсутствует; - конец работы алгоритма $A1$.

5. $p = p + 1$ и переход на пункт 2.

В алгоритме $A2$ H – четное целое число ($H \geq 2$), которое требуется разложить на два нечетных целых числа B и C , причем $B \geq C$ и $H = B + C$. Известно также нечетное целое число A ($A \geq 1$), для которого должно выполняться условие $- A \geq B \geq C$. То есть число A ограничивает количество разложений p числа H на два числа B и C .

Входными данным для алгоритма $A2$ являются числа A, H , и p . Выходными данными для алгоритма $A2$ являются числа A, B, C и p . Причем алгоритм $A2$ формирует только числа B, C и p .

Алгоритм $A2$ имеет следующий вид:

1. (Анализ входных данных.) Если $H = 2$, то: - $B = 1, C = 1$; - вывод A, B, C и p ; - конец работы алгоритма $A2$.

2. (Анализ входных данных.) Если $H > 2$, то: - $l = H - 1$ (величина l определяет значение числа B); - $l = \min(l, A)$.

3. (Разложение числа H на две части.) $H = c \cdot l + d$, где $c = [H/l]$ – целая часть от деления H на l ; d – остаток от деления H на l .

4. (Анализ величин c и d .) Если $c = 1$, то: - $B = l, C = d$; - вывод A, B, C и p . Если $c = 2$ и $d = 0$, то: - $B = l, C = l$; - вывод A, B, C и p ; - конец работы $A2$. Если $c = 2$ и $d \neq 0$, то: - конец работы $A2$.

5. (Анализ величины l .) Если $l = 3$, то конец работы алгоритма $A2$. Иначе (при $l > 3$): - $l = l - 2$; - $p = p + 1$; - переход на шаг 3.

Итак, алгоритм получения всех неизоморфных $D(M, N)$ деревьев, как мы уже видели, несложен для понимания, однако его реализация требует определения способа представления M -деревьев в памяти. Один из способов заключается в том, чтобы для каждого узла дерева записывать число входов в него (всего M значений). При этом все листья будут иметь номера с 1 до M включительно, а все узлы будут нумероваться от $M + 1$ до $M + (N - 1)/(M - 1)$. Таким образом, $D(3, 5)$ может быть записано как $(1, 2, 3), (6, 4, 5)$, а два неизоморфных дерева $D(3, 7)$ как $(1, 2, 3), (8, 4, 5), (9, 6, 7)$ и $(1, 2, 3), (4, 5, 6), (8, 9, 7)$. Будем называть такое представление $D(M, N)$ строкой. На основе метода генерации $D(M, N)$ деревьев, изложенного выше на языке *Turbo Pascal* в среде *Delphi* была написана программа генерации структур ДПМФ.

Для генерации всех вариантов структур ДПМФ необходимо задать M (размер окна эквивалентного одномерного фильтра) и N (число входов базового элемента). Примеры работы программы приведены на рис. 1–4. На рис. 1–2 представлены копия экрана при генерации структур ДПМФ, полу-

чаемых из $D(11, 3)$. Все нечетные разбиения числа 11 на три части представлены в окне программы (рис. 2). Результаты для $D(25,5)$ изображены на рис. 3, 4.

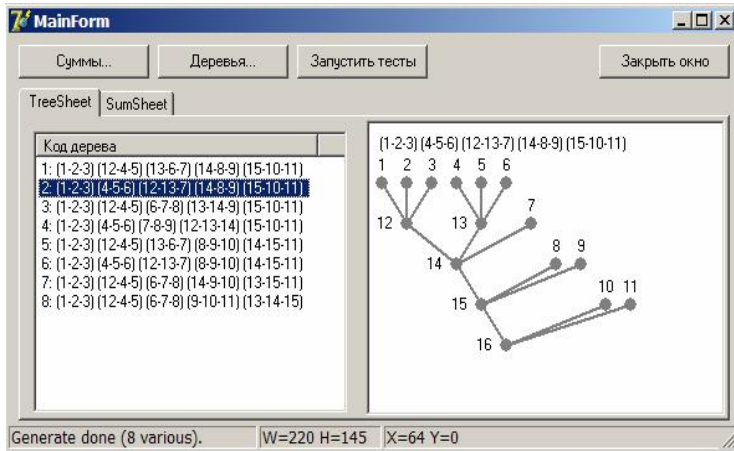


Рис. 1. Структуры ДПМФ при $N = 11, M = 3$

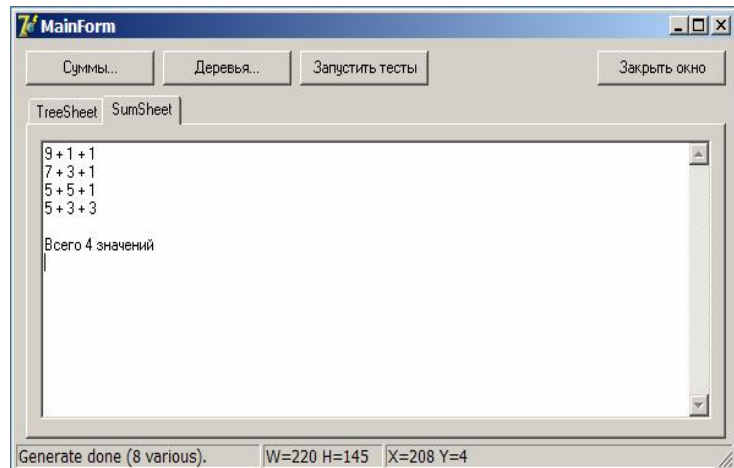


Рис.2. Разбиения числа 11 на три нечетные части

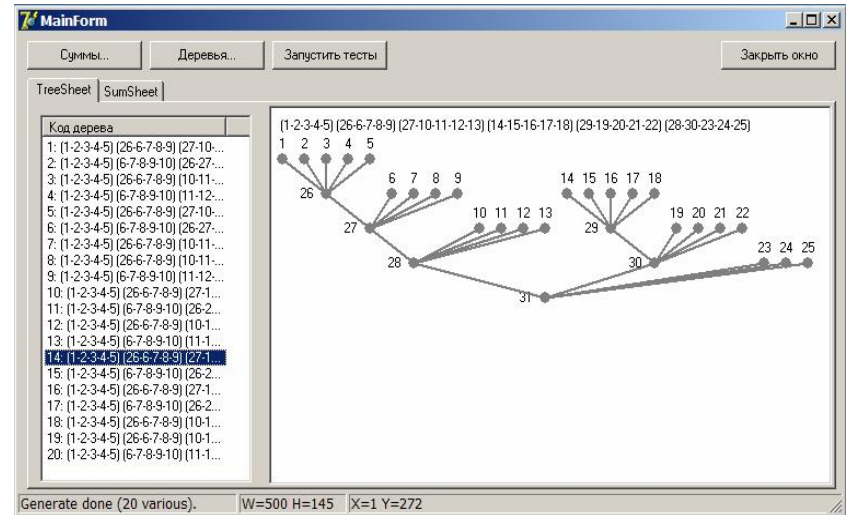


Рис. 3. Структуры ДПМФ при $N = 25, M = 5$

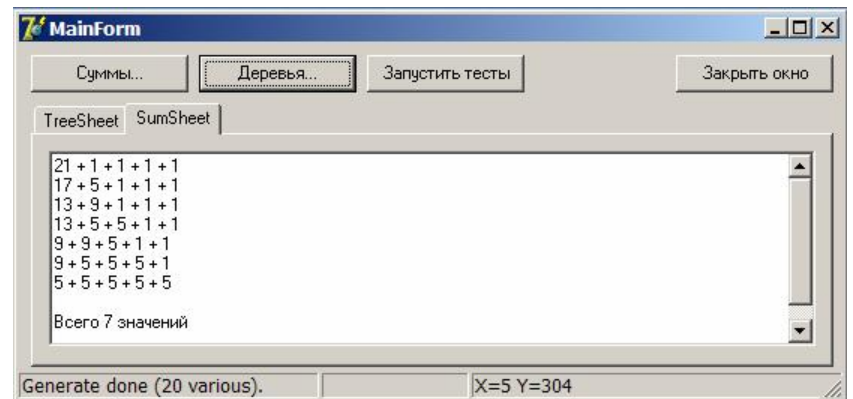


Рис. 4. Разбиения числа 25 на пять нечетных частей

Список литературы: 1. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений/ Под ред. Т. С. Хуанга, - М.: Радио и связь, 1984. - 224 с. 2. Дорошенко Ю.И. Анализ и моделирование нелинейных цифровых фильтров на основе ранговых статистик // Вестник ХПУ, № 21'97. Применение вычислительных систем. Вып.2. 3. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 1104 с. 4. Эндриус Г. "Теория разбиений". - М.: Наука, 1982. -256с.

Поступила в редколлегию 30.11.07

Л.В. ДЕРБУНОВИЧ, д-р техн. наук, проф. каф АУТС НТУ"ХПИ",
М.А. БЕРЕЖНАЯ, канд. техн. наук, доц. ХНУРЭ,
В.С. СУЗДАЛЬ, д-р техн. наук,
Л.И. ГЕРАСИМЧУК, канд. техн. наук,
Ю.М. ЕПИФАНОВ, канд. техн. наук,
И.И. ТАВРОВСКИЙ, м.н.с. (ИСМА НАН Украины)

ОТКАЗОУСТОЙЧИВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫРАЩИВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ

У багатопроцесорній системі керування процесом вирощування монокристалів відмовостійкість забезпечена спільним використанням методів тестового і функціонального діагностування на базі спеціальних убудованих апаратно-програмних засобів діагностування і відновлення працездатності системи. Це дозволило підвищити її надійність і відмовостійкість, і, у цілому, ефективність керування і якість готової продукції.

In a multiprocessing control system of process growing monocrystals fault-tolerance was provided by sharing of methods of test and functional diagnosing and restoration of serviceability of system. It has allowed to raise its reliability and fault-tolerance and, as a whole, a management efficiency and quality of finished goods.

Постановка проблемы. В настоящее время в промышленном производстве крупногабаритных монокристаллов (МКР) широко используются установки типа "РОСТ" с цилиндрическим тиглем, на которых практически реализованы процессы управляемой кристаллизации из расплава на затравку с использованием для управления информации о положении уровня расплава в тигле [1]. Особенности процессов выращивания крупногабаритных МКР являются: многомерность, нестационарность и нелинейность этого объекта управления, высокий уровень производственных шумов и влияние субъективных факторов на качество и надежность функционирования. С другой стороны, такие особенности процессов выращивания МКР как существенная продолжительность и непрерывность рабочего цикла, высокий уровень производственных помех, большие материальные потери при появлении дефектов в работе ростовых установок определяют необходимость создания высоконадежных и отказоустойчивых многопроцессорных систем управления (МПСУ) процессом кристаллизации на основе встроенных средств диагностирования и восстановления работоспособности микропроцессорных средств этих систем [2]. Одним из эффективных путей достижения высоких показателей надежности МПСУ является введение аппаратной, программной и временной избыточности, обеспечивающей их отказоустойчивость (свойство системы сохранять работоспособность при наличии в ней неисправностей

заданного класса). Поэтому разработка МПСУ, в которых свойство отказоустойчивости обеспечивается ее внутренними ресурсами путем использования аппаратно-программных средств диагностирования технического состояния и восстановления работоспособности системы при наличии отказов, дефектов обусловленных типов и кратности при минимальных затратах на их реализацию является актуальной проблемой [3].

Анализ литературы. В [4] рассмотрены принципы организации систем тестового и функционального диагностирования с использованием охранных или диагностических процессоров, в [5] изложены методы и процедуры построения алгоритмов диагностирования для проверки исправности аппаратуры. Диагностическое обеспечение МПСУ состоит из средств тестового и функционального диагностирования, а также технических средств восстановления ее работоспособности [2]. Для реализации функционального диагностирования используются охранные или диагностические процессоры (ДП), примером которых является *CERBERUS-16* [7]. Структура такого ДП является упрощенной копией микропроцессора со своей системой команд, позволяющей отобразить управляющие программы резидентного МК, что усложняет процесс отладки всей системы и снижает эффект его практического использования. С другой стороны, известно, что в структуре современных МК имеются простейшие "watchdog" таймеры, исключающие зависание контроллеров в процессе функционирования с латентным периодом обнаружения ошибки, равным длительности управляющих программ. Использование в МПСУ "watchdog" таймера снижает реактивность системы управления, что при выращивании МКР приводит к экономическим потерям. Известны два основных подхода для реализации сигнатурного мониторинга в МПСУ, которые отличаются способом вычисления эталонных сигнатур. В первом подходе используются различные блоковые коды, обнаруживающие ошибки в потоках команд процессора и данных. На этапе компиляции управляющих программ для каждого сегмента вычисляются контрольные суммы, являющиеся эталонными сигнатурами сегментов. Во втором - контролируется правильность переходов и ветвлений программных сегментов с помощью блоковых кодов и времени выполнения программных сегментов [3]. Тестовое диагностирование исправности МПСУ осуществляется в режиме профилактического контроля и отладки, а также в режиме микродиагностики. Для этой цели широко используются встроенные на кристалл или печатную плату генераторы псевдослучайных, детерминированных тестовых последовательностей и синдромно-сигнатурные анализаторы для сжатия выходных реакций проверяемых устройств [10]. Использование режима микродиагностики особенно эффективно для медленно протекающих процессов, к которым относятся процессы кристаллизации при выращивании крупногабаритных МКР. В этом случае в процессе функционирования МПСУ в интервалах между формированием управляющих команд, можно осуществлять тестирование отдельных блоков системы.

Цель статьи: представление результатов разработки отказоустойчивой

МПСУ с встроенными средствами функционального и тестового диагностирования и оперативного восстановления работоспособности этой системы, на основе концепции сигнатурного мониторинга, что позволяет, в конечном итоге, снизить материальные потери производства МКР, повысить качество и конкурентоспособность готовой продукции.

Анализ отказов. Результаты анализа источников отказов сложных МПСУ показывают, что дефекты аппаратно-программного обеспечения систем составляют ~33% отказов, воздействие окружающей среды (электромагнитные помехи по цепям питания, ионизирующие излучения и др.) составляют 11% отказов системы, а влияние человеческого фактора для сложных распределенных систем управления составляет 50% всех отказов [6]. В процессе эксплуатации установки "РОСТ-5" на промышленном производстве ИСМА НАН Украины фиксировались отказы в распределенной системе управления процессом выращивания крупных щелочно-галоидных кристаллов (ЩГК), состоящей из пяти микроконтроллеров (МК), объединенных локальной сетью. Количественные соотношения между различными видами сбоев и отказами в различных модулях МПСУ характеризуются данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1 – Соотношение сбоев и отказов в модулях МПСУ (%)

Вид отказа \ Тип модуля	Процессор	Память	Интерфейс	Система прерываний	По видам отказов
Одиночные сбои	60	56	68	55	59,8
Кратные сбои (пакеты)	32	37	15	33	29,2
Устойчивые отказы	8	7	17	12	11,0
По типам модулей	36,5	2,7	3,6	57,2	

Анализ данных табл. 1 показывает, что сбои и перемежающиеся неисправности составляют ~90% наиболее вероятных дефектов, которые являются причиной отказов МПСУ.

Структура отказоустойчивой МПСУ выращиванием МКР. В реальных условиях производства система управления выращиванием МКР представляет собой распределенную МПСУ. На рис. 1 приведена структурная схема объектного уровня МПСУ выращиванием крупногабаритных ЩГК на установке "РОСТ" [1].

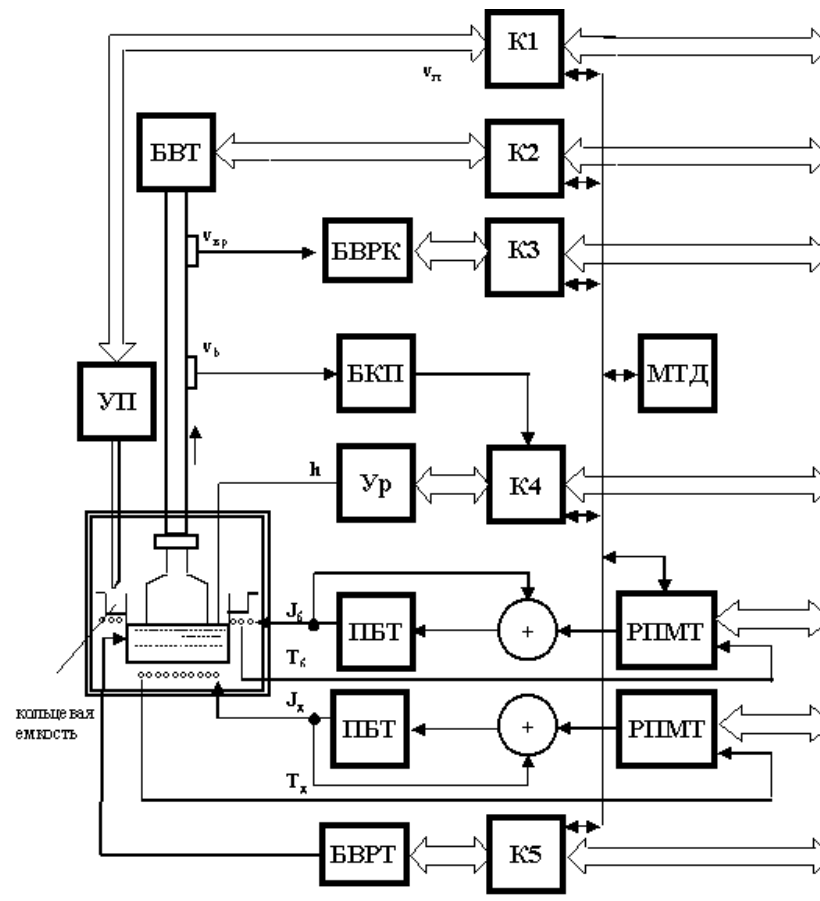


Рис. 1. Структурная схема МПСУ процессом выращивания ЩГК

МПСУ содержит на нижнем (объектном) уровне локальные контуры замкнутого и программно-логического управления (ПЛУ) параметрами установки, включающие в себя датчики, исполнительные устройства и контроллеры, а на верхнем - функциональные модули SCADA-системы. Установка оснащена уровнемером (Ур) для контроля уровня расплава в тигле, блоком вытягивания кристалла (БВТК), блоком вращения кристалла (БВРК) и тигля (БВРТ), устройством подпитки расплава (УП). Тепловой режим установки обеспечивается регуляторами температуры РПМТ и тиристорными преобразователями ПБТ. В табл. 2 показано назначение контроллеров объектного уровня СУ.

Таблица 2 – Функции контроллеров объектного уровня СУ

Контроллер	Назначение
K1	ПЛУ подпиткой расплава
K2	ПЛУ скоростью вытягивания МКР
K3	ПЛУ скоростью вращения МКР
K4	Управление диаметром растущего МКР
K5	ПЛУ скоростью вращения тигля
МТД	Модуль тестового диагностирования

При выращивании МКР в МПСУ осуществляется замкнутое управление тепловым режимом кристаллизации по одной выходной переменной (диаметру кристалла) и программно-логическое управление уровнем расплава, скоростью вращения тигля и кристалла, скоростью вытягивания кристалла. Функциональное диагностирование системы управления построено на основе сигнатурного мониторинга управляющих программ контроллеров $K1-K5$ с помощью диагностического процессора (ДП) [9]. Проверка правильности функционирования системы в отдельных режимах и на отдельных участках выполнения управляющих программ охранными или ДП является по существу развитием метода наблюдателей Люенбергера, где под системами наблюдения за правильностью функционирования понимают линейные участки управляющих программ. Алгебраические инварианты на этих участках – это контрольные суммы микрокоманд или время выполнения сегментов программы. Основной проблемой при использовании ДП является выбор алгебраических инвариантов, позволяющих сократить латентный период обнаружения ошибки и сократить затраты на реализацию диагностического обеспечения. В начале линейного участка программы ДП принимает, например, эталонную контрольную сумму и осуществляет свертку микрокоманд этого линейного участка с помощью сигнатурных или синдромных анализаторов, а в конце линейного участка ДП полученную сигнатуру сравнивает с эталонной. Такой сигнатурный мониторинг выполняется для всех линейных участков управляющей программы, а размерность этих участков определяет латентный период обнаружения ошибок. Другими алгебраическими инвариантами, которые широко используются в практике сигнатурного мониторинга, являются: время выполнения линейных участков управляющих программ и коды сегментов [8]. Для формирования эталонных сигнатур множество управляющих программ разбивается на программные сегменты, для которых вычисляется минимальное и максимальное время. Для определения времени выполнения некоторого сегмента программы используют его графовые модели, в которых вершины соответствуют множеству команд, а дуги - последовательности их выполнения. Каждая дуга отмечена временем выполнения команд - вершиной, из которой она исходит.

При разбиении программы на сегменты необходимо соблюдать следующие условия, определяющие ее контролепригодность:

- присутствие в программном сегменте команд с фиксированным временем выполнения;
- отсутствие в сегменте программы циклов с неопределенным количеством вхождений в него.

Если выполнены эти условия, то для любого программного сегмента в результате анализа его временного графа можно найти множество всех путей от начальной до конечной вершины сегмента. Это множество позволяет определить минимальное и максимальное время выполнения каждого сегмента программы как T_{\min} и $T_{\min}+\Delta T$, соответственно. Контроль правильности выполнения программы по времени ее выполнения позволяет обнаружить закливание программ. Этот контроль осуществляется во время функционирования МК без изменения его структуры. Однако контроль по времени является недостаточным для определения правильности выполнения программы. При появлении сбоя МК может совершить ошибочный переход к другому сегменту. Такую ошибку можно обнаружить, если одновременно с контролем временных сигнатур контролировать правильность выполняемых переходов от сегмента к сегменту [8]. Для осуществления такого контроля необходимо построить для контролируемой программы граф переходов.

Для построения графа переходов программу разбивают на сегменты следующим образом. Пусть адрес команды состоит из k разрядов, которые представляют в виде двух частей: изменяемой, содержащей i разрядов, и неизменяемой, содержащей $(k - i)$ разрядов, называемых меткой сегмента. В сегмент включаются команды с одинаковыми метками, и коды этих меток проверяются на каждом шаге выполнения микрокоманд. При необходимости увеличения или уменьшения длины сегмента достаточно уменьшить или увеличить длину метки. Например, при 16-разрядном адресе команды и 8-разрядной метке сегмент содержит 256 команд, при 9-разрядной метке - 512 и при 7-разрядной метке - 128. Пример построения графа переходов приведен на рис. 2, где 22, 26-29, 31 - метки сегментов. В данном случае переход от сегмента 26 к сегменту 22 является разрешенным, а от 26 к 28 - запрещенным. Вершинами графа являются метки сегментов, а дугами - переходы между сегментами. Переходы внутри сегмента кодируются петлей, разрешенными являются переходы только между смежными вершинами графа.

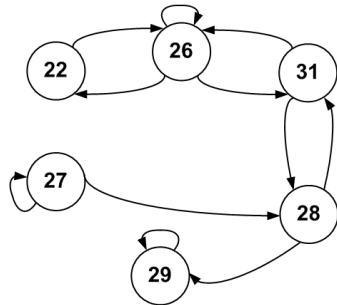


Рис. 2. Граф переходов сегмента программы

Структурная схема ДП, осуществляющего контроль правильности выполнения управляющих программ МК путем анализа время выполнения линейных участков управляющих программ, представлена на рис. 3.

В начале выполнения определенного сегмента управляющей программы МК блок управления загружает из ПЗУ эталонные значения инвариантов этого сегмента в регистры контрольной метки (РКМ), эталонной сигнатуры (РЭС) и таймеров-счетчиков $T = T_{\min}$ и ΔT . Выполнение сегмента управляющей программы сопровождается: проверкой текущей метки обрабатываемого сегмента путем сравнения содержимого регистра текущей метки (РТМ) с содержимым (РКМ); измерением времени выполнения программного сегмента счетчиками времени СчТ и Сч Δ T и вычислением текущей сигнатуры потока управляющих команд блоком сигнатурного анализатора (СА). В СчТ записывается минимальное время T_{\min} выполнения сегмента программы, а в Сч Δ T записывается разность $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$. Проверка эталонных сигнатур и времен выполнения сегмента программы осуществляется по команде блока управления (БУ) при изменении номера сегмента программы.

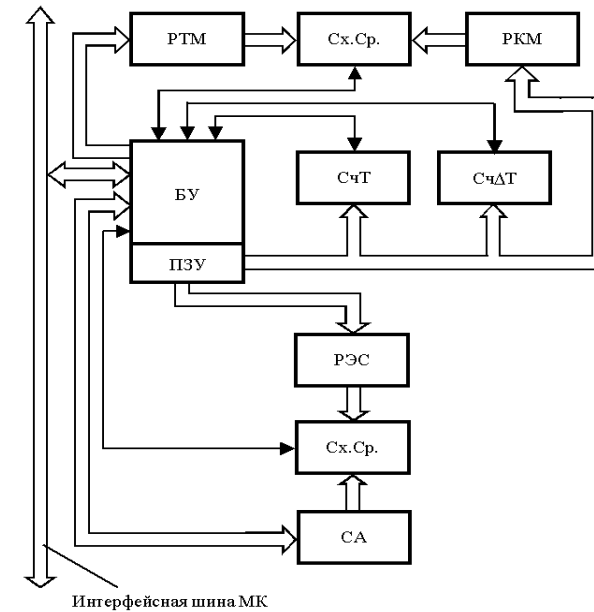


Рис. 3. Структура ДП: РТМ, РКМ – регистры текущей и контрольной метки; Сх.Ср. – схема сравнения; СчТ – счетчик времени $T(\Delta T)$; РЭС – регистр эталонных сигнатур; СА – сигнатурный анализатор; БУ – блок управления

Использование ДП позволило осуществить сигнатурный мониторинг правильности выполнения управляющей программы контроллеров объектного уровня и обнаружить сегмент программы, выполненный с ошибкой. При наличии временной избыточности ДП возвращает основной процессор к выполнению программы в определенную контрольную точку. Сочетание ДП и метода повторной "прокрутки" сегментов программы повысило отказоустойчивость МПСУ для класса перемежающихся неисправностей и сбоев МК. Восстановление правильного функционирования МК этим методом осуществляется при выполнении следующих условий:

- время выполнения полного цикла управляющей программы контроллера значительно меньше максимально допустимого, определяемого временными параметрами управляемого ТП;
- латентный период обнаружения ошибки меньше цикла управляющей программы МК;
- аппаратная и временная избыточность, обеспечивающая отказоустойчивость МК, должна быть минимальной.

Тестовое диагностирование МПСУ в режимах профилактических проверок и микродиагностики осуществляется диагностическим модулем

МТД, который состоит из контроллера тестового диагностирования (КТД) с блоками генераторов тестов и отображения информации. КТД управляет процессом тестирования, а сжатие выходных последовательностей осуществляется сигнатурно-синдромным анализатором (ССА). Устройство ССА (рис. 4) выполнено в виде m -разрядной логической структуры, рекомендации по реализации которой приведены в [10].

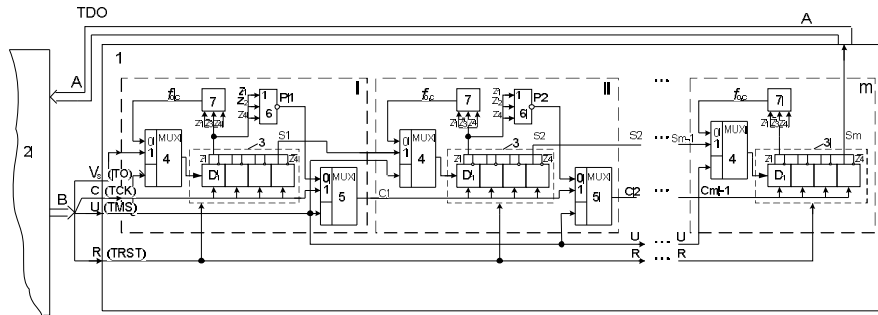


Рис. 4. Устройство диагностирования: 1 – сигнатурно-синдромный анализатор; 2 – вычислительное устройство; 3 – декада двоично-десятичного счетчика с выходами $z_1, \bar{z}_1, \dots, z_4, \bar{z}_4$ m -разрядной структуры; 4, 5 – мультиплексоры; 6 – логический элемент ИЛИ-НЕ; 7 – схема обратной связи; $P1, P2, \dots$ – выход переноса декады ($P = z_1 + z_2 + z_4$); $S1, S2, \dots$ – диагностический выход ($S = z_4$); $f_{oc} = z_4 \oplus \overline{z_1, z_3}$ – функция обратной связи; A – информационная шина; R, U, C, V_s – сигналы управляющей шины B

Проектирование технического обеспечения МПСУ процессом выращивания МКР, в том числе схем ДП и ССА, осуществляется либо на основе специализированных схем ASIC, либо на основе ПЛИС (типа FPGA). Для реализации логических структур МПСУ выращивания крупногабаритных МКР, обеспечивающей длительную работу и безотказность функционирования контроллеров управления всем комплексом оборудования технологического процесса, использованы ПЛИС, преимущества которых основаны на следующих факторах. Архитектура ПЛИС, содержащая набор стандартных технических средств, позволяет легко встраивать в контроллеры МПСУ логические элементы, сумматоры, триггеры, мультиплексоры и т.д. при использовании описания на языке Verilog (или VHDL), что является основой для построения высокоэффективной функционально законченной системы, в том числе и устройства для диагностирования этих контроллеров, а встроенные средства самотестирования чипа, поддерживающие стандарт IEEE 1149.1-1990 "Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture" (JTAG) позволяют существенно упростить организацию тестового диагностирования. В каждом контроллере микропроцессор и схемы ПЛИС объединены в единую JTAG-цепочку, что позволило легко организовать тестирование межсоединений или контроль функционирования платы, опираясь на технологию граничного сканирования.

межсоединений или контроль функционирования платы, опираясь на технологию граничного сканирования.

Выводы. Представлена структура отказоустойчивой МПСУ для выращивания крупногабаритных МКР на установках типа "РОСТ". Отказоустойчивость МПСУ и высокий коэффициент готовности обеспечивается использованием функционального и тестового диагностирования контроллеров системы. Функциональное диагностирование осуществляется диагностическими процессорами, которые осуществляют сигнатурный мониторинг правильности выполнения управляющей программы контроллеров объектного уровня, что позволяет восстановить работоспособность системы при появлении наиболее вероятных дефектов перемежающегося типа. Объединение тестового и функционального диагностирования с использованием специальных встроенных средств диагностирования и восстановления работоспособности позволяет повысить надежность и отказоустойчивость МПСУ процессом выращивания МКР в целом.

Список литературы: 1. Горилецкий В.И., Гринев Б.В., Заславский Б.Г., Смирнов Н.Н., Суздаль В.С. Рост кристаллов.–Харьков:АКТА,2002.–535 с. 2. Бережная М.А., Дербунувич Л.В., Суздаль В.С., Тавровский И.И., Темников И.Н. Отказоустойчивые системы управления на основе микроконтроллеров // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". - Харьков:НТУ "ХПИ", 2002. - Т.1. - Вып.12. - С.218-220. 3. Согомонян Е.С., Слабаков Е.В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы.–М.: Радио и связь, 1989.–208 с. 4. Дербунувич Л.В., Суздаль В.С., Тавровский И.И., Темников И.Н. Отказоустойчивые микроконтроллеры на основе сигнатурного мониторинга//Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті.–Харків: ХарДАЗТ, 2002.–№4,5 (37).–С.71-73. 5. Кукушкин В.К., Либберг И.Г. Улучшенный алгоритм диагностирования соединений печатных плат. / Вестник НТУ "ХПИ". - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2005. - №7.-С.96. 6. Kuhn D.R. Sources of Faibire in the public Switched Telephone Network//Computer.-1997.-№4.-P.31-36. 7. Namjoo M. CERBERUS-16: An architecture for a general-purpose watchdog processor//Pric. 13-th Fault-tolerant Computing Sump. (FTCS-13).-Milan, Italy, June 1983. - P. 216-219. 8. Дербунувич Л.В., Суздаль В.С., Соболев А.В., Некрасов В.В. Диагностические модели реактивных многопроцессорных систем управления//Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті.–Харків:ХарДАЗТ, 2004. - №4,5(48,49). - С.108-109. 9. Устройство для контроля выполнения программ: А.с.1315981, МКИ G06 F 11/26/В.В. Антосик, Л.В. Дербунувич, А.Н. Мызь.–№3888708/24; Заявл. 22.04.85; Опубл. 07.06.87, Бюл. №21.–1 с. 10. Заявка Украины а200704669 Устройство для регулирования роста монокристаллов и устройство для его диагностирования /В.С. Суздаль, Л.В. Дербунувич, Л.И. Герасимчук, Ю.М. Епифанов, М.А. Бережная и др. // Пр. от 26.04.07 г.

Поступила в редколлегию 19.11.2007

В.Н. БАЛЕВ, канд. техн. наук, **А.Н. СУЩЕК**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ LABVIEW ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В статті розглянуто особливості побудови навчального курсу "Комп'ютеризовані засоби вимірювання" та використання середовища LabVIEW для підготовки спеціалістів і магістрів на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій і систем

This paper is devoted to structures and organization of course "Computerized measurement means" using environment LabVIEW for specialists in area of measurements technique.

До недавних пор спеціалісти при вирішенні задач в собственої предметної області були вимушені прибегать к помощи профессиональных программистов, как правило, не являющихся носителями знаний в этой области. Такое посредничество чаще всего увеличивало материальные и временные издержки, а самое главное, снижало качество исследований и разработок [1]. Даже использование специализированных программных продуктов лишь частично снимало эту проблему. Появление программных продуктов последнего поколения с весьма дружелюбными интерфейсами, адаптированными к менталитету и профессиональным навыкам специалистов, сделало возможным их использование специалистами напрямую, не прибегая к помощи посредников. К таким новым программным продуктам относится LabVIEW, имеющий весьма удобный пользовательский интерфейс и мощные средства графического программирования. С каждой последующей версией LabVIEW возрастает уровень интеллектуализации интерфейса пользователя и удобство его использования. Новая версия LabVIEW 8.2, которая появилась осенью 2006 г., и была приобретена кафедрой информационно-измерительных технологий и систем НТУ "ХПИ", является подтверждением этой тенденции.

LabVIEW является идеальным программным средством для создания систем измерения, а также систем автоматизации управления на основе технологии виртуальных приборов. LabVIEW – программа в комплексе с разнообразными аппаратными средствами, подключаемыми через стандартные интерфейсы персонального компьютера, позволяет разрабатывать системы измерения, контроля, диагностики и управления практически любой сложности.

LabVIEW имеет собственную мощную математическую поддержку и имеет возможность интегрировать в себе программы, написанные в среде MatLab.

Роль программных сред, подобных LabVIEW, в научных исследованиях

и технических экспериментах весьма велика. Традиционно для исследователя функции моделирования и экспериментирования разделены. Моделирование осуществляется в среде математических программных пакетов, а эксперименты поддерживаются другими программными средствами, что отнюдь не повышает эффективность научных исследований. Эффективность использования среды LabVIEW в научных исследованиях состоит в том, что, оставаясь в ее рамках, можно разрабатывать как математическую модель объекта, так и снабжать эту модель экспериментальными данными с помощью аппаратных средств ввода-вывода, сопряженных с реальным объектом.

В настоящее время основная литература [2, 3, 4], помогающая освоить LabVIEW, предназначена для пользователей желающих использовать LabVIEW главным образом как средство программирования, либо на освоение инструментария, используемого в лабораторном практикуме.

Целью данной статьи является разработка структуры курса "Компьютеризованные измерительные средства" таким образом, чтобы методика и ход изложения материала в курсе были связаны с получением или повышением профессиональных знаний в конкретной предметной области. При таком подходе LabVIEW является общим фоном, на котором студент изучает какой-либо академический курс или предметную область.

Рассматриваемый курс изучается студентами кафедры "Информационно-измерительные технологии и системы" в последнем, десятом, семестре обучения. Это позволяет рассчитывать на серьезную базовую подготовку студентов и несколько облегчает задачу преподавателя. К моменту изучения данного курса студенты также имеют некоторое представление о LabVIEW, т.к. в курсе "Компьютерное моделирование средств измерений" выполняли три ознакомительные лабораторные работы. Это позволяет сразу, без повторения азов, перейти к углубленному изучению и использованию LabVIEW. Относительно небольшой объем курса, предусмотрены лекционные (30 часов) и практические занятия (15 часов), не позволяют распылять свои силы, пытаясь объять необъятное.

Существенно повысить эффективность обучения можно используя программно-отладочный стенд "AVR – микролаб" разработанный в НТУ "ХПИ" в 2006 году. Этот стенд содержит основные модули, необходимые для построения несложных систем измерения и систем автоматизации управления: модуль микроконтроллера, модули статической и динамической светодиодной индикации, модуль буквенно-цифрового дисплея, модуль функциональной клавиатуры, модуль аналого-цифрового преобразователя; модуль цифро-аналогового преобразователя; модуль драйвера последовательного интерфейса RS 232, модуль блока выходных ключей и т.д.

Особенностью проведения практических занятий в рассматриваемом курсе является обязательное использование компьютерной техники, т.к. рассказ без показа и опробования в разы уменьшит эффективность обучения.

В качестве базы для организации практических занятий планируется использовать материал, наработанный группой студентов кафедры информационно-измерительные технологии и системы которые в 2006/2007 учебном году выполняли реальные бакалаврские проекты: виртуальный амперметр (Доник Т.); виртуальный вольтметр (Лысак М.); виртуальный частотомер (Разумеева Е.); виртуальный осциллограф (Сушек А.).

Упрощенно структурная схема разработанных виртуальных приборов представлена на рисунке.

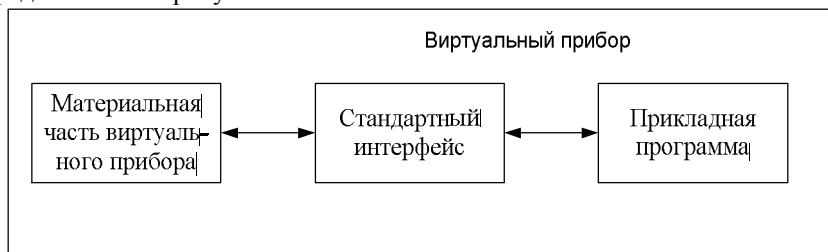


Рис. 1. Структурная схема виртуального прибора

В качестве материальной части виртуального прибора выступает программно-отладочный стенд "AVR – микролаб". Его функционирование требует наличия программы записанной в память микроконтроллера *ATMEGA 16*, на базе которого построен комплекс. Этой программой в основном и определяется функция, выполняемая виртуальным прибором. Программа может создаваться на относительно несложном языке высокого уровня *BASIC* в среде *BASCOS-AVR*. Прикладная программа создается в среде *LabVIEW* и располагается в персональном компьютере. Согласованная работа прикладной программы и материальной части виртуального прибора обеспечивается через интерфейс *RS 232*.

Лекционные занятия в рамках рассматриваемого курса должны быть направлены на обеспечение практических занятий, повышение профессиональных знаний в области разработки и применения современных компьютеризованных средств измерений. Таким образом, в составе лекций можно выделить несколько основных блоков:

1) изучение структуры программно-отладочного стенда "AVR – микролаб", знакомство со средствами создания и отладки программ для микроконтроллера *ATMEGA 16* (компиляторы и симуляторы);

2) программная среда *LabVIEW*. Обзор модулей и библиотек *LabVIEW*. Создание виртуальных приборов с использованием структур и узла формул. Математические операторы узла формул. Массивы и кластеры. Отображение и графика;

3) знакомство с базовыми пакетами готовых виртуальных приборов (*Express, SignalExpress*), позволяющих существенно ускорить создание объектно-ориентированных программ.

Основное время лекционных занятий, порядка 90 %, будет отводиться изучению материалов второго и третьего блоков. Материал первого блока не должен занимать более 10 %, и рассматривается как вспомогательный. Предполагается, что базовые сведения по микропроцессорной технике и цифровым измерительным приборам студенты получили ранее, при изучении соответствующих курсов. Основным при изучении курса является второй блок, на который будет отведено приблизительно 60-70 % лекционного времени.

Практические занятия планируется проводить в компьютерном классе кафедры, где имеются 6 компьютеров с установленным лицензионным программным обеспечением *LabVIEW*. Ограниченное количество рабочих мест и желание активизировать участие студентов в учебном процессе потребует разбиения академической группы на подгруппы (2-4 человека) каждая из которых будет разрабатывать свой прибор (частотомер, вольтметр и т.д.). За счет такого бригадного подхода планируется повысить эффективность решения поставленных задач путем их разбиения на отдельные локальные задачи и решения параллельно различными студентами из состава подгруппы, и повышения ответственности каждого студента за конечный результат. С другой стороны это позволит объединять в рамках одной подгруппы студентов с различным уровнем подготовки и получать удовлетворительные результаты. Изложенный выше подход к организации курса "Компьютеризованные измерительные средства" планируется реализовать в 2007/2008 учебном году.

Дальнейшее совершенствование курса, на наш взгляд следует, связать с приобретением и освоением аппаратных средств компании *National Instruments*, разработчицы *LabVIEW*, например, недорогих модулей ввода-вывода цифровой и аналоговой информации *USB-6008*, имеющих встроенную поддержку в среде *LabVIEW*, и критическим анализом первого опыта проведения курса "Компьютеризованные измерительные средства" в 2007/2008 учебном году.

Список литературы: 1. Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. *LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW* – М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с. 2. Пейч Л. И., Точилин Д. А., Поллак Б. П. *LabVIEW для новичков и специалистов*. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с. 3. *LabVIEW для всех / Джеффри Тревис: Пер. с англ. Клушин Н. А.* – М.: ДМК Пресс; Прибор-Комплект, 2005. – 544 с. 4. Суранов А. Я. *LabVIEW: справочник по функциям*. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 512 с.

Поступила в редколлегию 04.12. 2007 г.

А.Н. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, *С.А. ЛИТВИНЕНКО*

ВОПРОСЫ ВЫБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

Пропонується після обробки тахограми кутової швидкості валу агрегату скласти гістограми та криві, що згладжують, за Пирсоном, а далі асиметрію та ексцес використовувати в якості діагностичних ознак.

We propose build histogram and smoothing curves by Pyrson after processing of shaft angular velocity, and use asymmetry and excess as diagnostic parameters in next.

Постановка проблеми. Обеспечение приемлемых технико-экономических и экологических показателей дизель-генераторов тесно связано с поддержанием на должном уровне технического состояния агрегатов и качества работы систем регулирования, которые в процессе эксплуатации изменяются. В связи с этим возникает необходимость непрерывного контроля технического состояния силовой установки в процессе эксплуатации по соответствующим информативным параметрам, которые необходимо выбрать.

Анализ литературы показывает, что диагностирование дизелей производят либо по сигналам множества датчиков режимных параметров агрегата [1, 2], либо по сигналу одного датчика неравномерности вращения вала [3-6], что удобнее в плане привязки к объекту, но усложняет процесс обработки информации. Глубина диагностирования при этом существенно зависит от выбора математической модели информативного сигнала. Например, в работах [4, 5] в качестве таковой был использован периодически коррелированный случайный процесс, низшие моменты которого (дисперсия и корреляционная функция) используются в качестве диагностических признаков, и позволяют обнаружить неисправный цилиндр.

Цель статьи – выбрать математическую модель неравномерности вращения вала дизеля с учетом случайного ее характера и физической природы происходящих в тепловом двигателе явлений, а затем на ее базе определить новые информативные параметры, которые бы позволили увеличить глубину диагностирования.

По своей физической природе дизель-генератор является объектом циклического действия и его угловая скорость содежит три составляющие: постоянную (среднее значение), переменную (отклонение мгновенной скорости от среднего значения, что может характеризовать дисперсию) и импульсную составляющую, имеющую место при резких изменениях тока генератора. Поскольку указанная угловая скорость подвержена влиянию множества случай-

ных факторов (подача топлива, воздухообеспечение, изменение нагрузки и т.д.), ее можно рассматривать как случайный процесс $\xi(t)$, к которому в качестве математической модели в полной мере подходит линейный периодический случайный процесс (ЛПСЦ).

Определения и основные характеристики ЛПСЦ. $\xi(t)$, $t \in (-\infty, \infty)$ - периодический в широком смысле случайный процесс, если существует такое $T > 0$, для которого одномерная и двумерная функции распределения удовлетворяют условиям:

$$F(x; t) = F(x; t + T)$$

$$F(x_1; x_2; t_1, t_2) = F(x_1, x_2; t_1 + T, t_2 + T), t_1, t_2 \in (-\infty, \infty)$$

Условия стохастической периодичности по Слуцкому

1) $\varphi(\tau, t) \in L_2(-\infty, \infty)$ по τ при всех t - однозначная непрерывная по t функция;

2) $\eta(t)$, $\eta(0) = 0$ - стохастически непрерывный гильбертов процесс с независимыми приращениями.

3) существуют действительные числа $T > 0$; $\alpha \in (-\infty, \infty)$ такие, что при всех τ и t $\varphi(\tau, t) = \varphi(\tau + \alpha T, t + T)$, и выполняются соотношения

$$dx_1(\tau) = dx_1(\tau + \alpha T),$$

$$dx_2(\tau) = dx_2(\tau + \alpha T),$$

$$d_x d_\tau L(x, \tau) = d_x d_\tau L(x, \tau + \alpha T),$$

где $x_1(\tau)$ и $x_2(\tau)$ - первые кумулянтные функции процесса $\eta(t)$; $L(x, \tau)$ - его пуассоновский спектр скачков в форме Леви.

Как пояснялось выше процесс $\xi(t)$ можно рассмотреть как ЛПСЦ. Для определения типа распределения процесса изменения скорости вала (см. рис. 1) реализации были обработаны с использованием программы гистограммного анализа с последующим сглаживанием полученных гистограмм по системе кривых Пирсона.

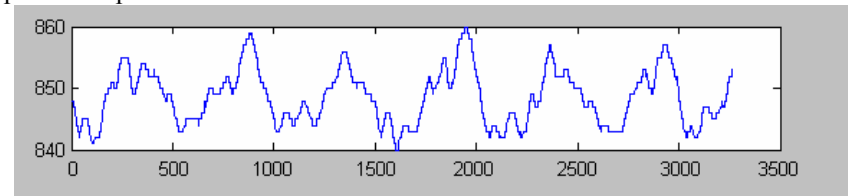


Рис. 1.

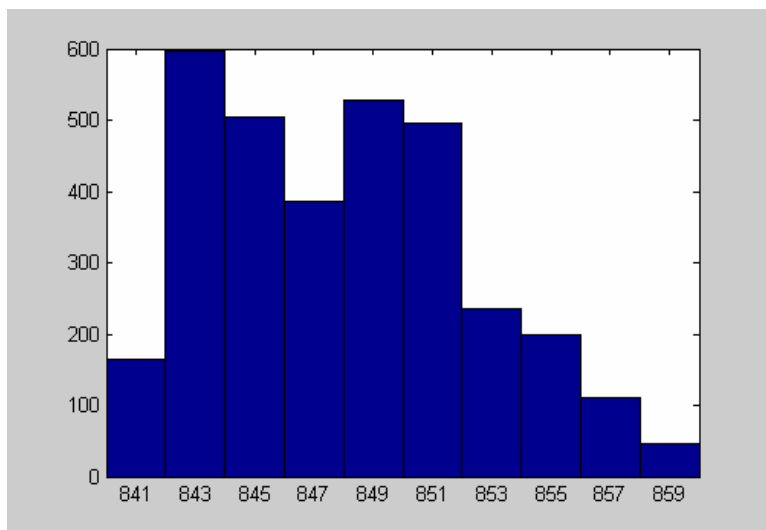


Рис. 2.

На рис. 2 представлены результаты такой обработки в виде гистограмм и сглаживающих эти гистограммы кривых. Общий объем выборки данных для обработки составил 720 элементов. Приведённые гистограммы (см. рис. 2) могут быть сглажены как 1-ым так и 9-ым типом кривых, входящих в систему кривых Пирсона. Этим типам кривых соответствуют следующие аналитические выражения [7]:

1 тип

$$p(x) = 0,75501 \cdot 10^6 \left| 1 + \frac{x}{-0,45740 \cdot 10^7} \right|^{0,40921} \cdot \left| 1 - \frac{x}{0,16101 \cdot 10^5} \right|^{1,59934},$$

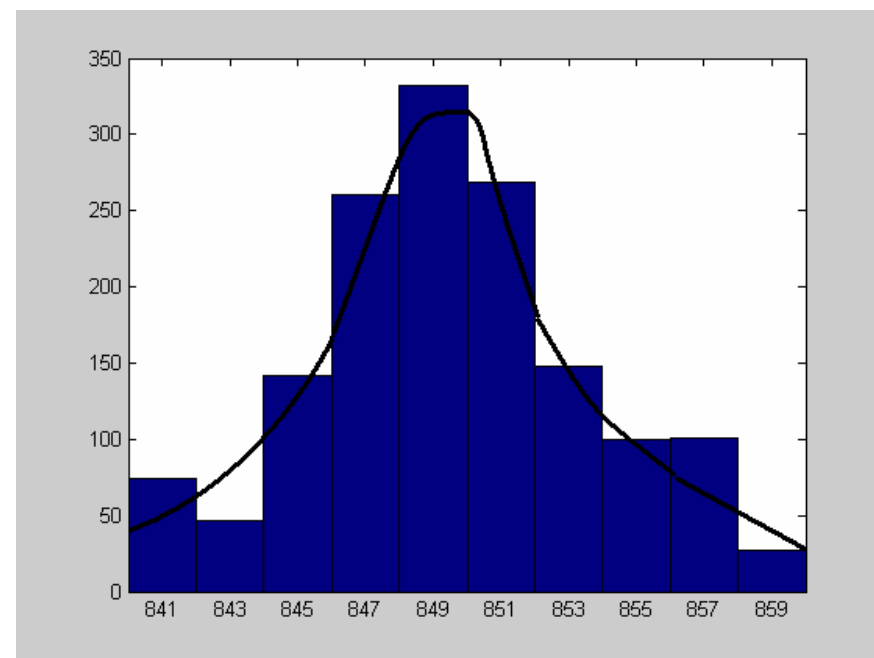
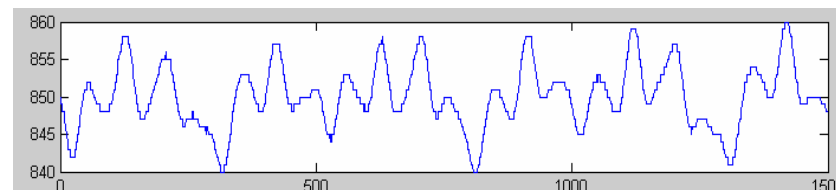
$$-a_1 < x < a_2.$$

9 тип

$$p(x) = 0,13036 \cdot 10^7 \left| 1 + \frac{x}{-0,13441 \cdot 10^{-5}} \right|.$$

Итак, выполнено теоретическое обоснование применимости математической модели ЛПСР для описания девиации угловой скорости вала дизель-генератора и выбраны диагностические признаки. На рис. 3, 4 для несколь-

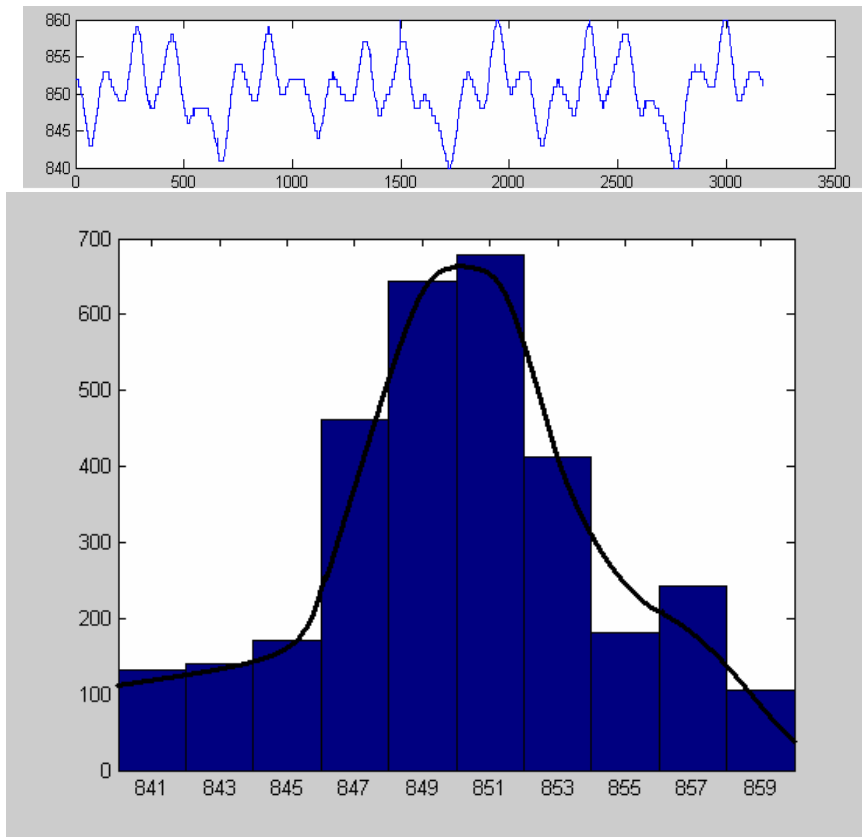
ких режимов работ тепловозного дизель-генератора 10D100 с разными дефектами приведены реализации девиации угловой скорости, гистограммы и сглаживающие кривые по Пирсону.



$$k = 0,0188;$$

$$j = -0,1294$$

Рис. 3



$$k = -0,0763; j = -0,0393$$

Рис.4

Для этих кривых найдены асимметрия и эксцесс[7]

$$k = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{(n-1)^3 \cdot (G_x)^3}} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^3,$$

$$j = \frac{n}{(n-1)^2 \cdot (G_x)^4} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^4 - 3,$$

где n – число измерений; x_i – i -я измеренная величина; m_x – математическое ожидание измеренной величины; G_x – среднеквадратическое отклонение измеренной величины.

Величина n составляла в среднем 1260 на один оборот вала, а число оборотов вала за время измерения составляло 50?70.

Полученные результаты показывают, что при изменении технического состояния двигателя изменяется асимметрия.

Выводы. Проведенные исследования показали, что ЛПСР-модель целесообразна при описании девиации угловой скорости дизель-генератора, а асимметрия и эксцесс такого случайного процесса реагируют на изменение технического состояния дизель-генератора и могут быть использованы в качестве диагностических признаков.

В дальнейшем имеет смысл установить диапазоны изменения k и j и выполнить идентификацию этих диапазонов конкретным типам дефектов или неисправностей силовой установки.

Список литературы: 1. Станиславский Л.В. Техническое диагностирование дизелей.- Киев, Донецк; Вища школа. Главное издательство, 1983. – 135с. 2. Ле Ван Дием. Модели и алгоритмы технического диагностирования силовых дизельных установок в процессе эксплуатации.- Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук.- Санкт-Петербург, 2006г.- 24 стр. 3. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 1. модели динамики цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1998. – № 5 – с. 36-40. 4. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 2. Построение оценок линейных ПКСР, описывающих динамику цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1998. – № 6. – с. 39-42. 5. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 3. Физическая конкретизация параметров модели и имитационное моделирование динамики цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1999. – №1. – с. 59-63. 6. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 4. Экспериментальная проверка методики диагностики цилиндрической поршневой группы дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1999. – № 4. – с. 40-45. 7. Бакут П.А., Большаков И.А. и др. Вопросы статистической теории радиолокации / под ред. Г.П. Татаковского. – т.1. – М.: Сов. Радио, 1963. – 424 с.

Поступила в редакцию 22.11.07

Ю.М. БУСЯК (г. Харьков)

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ И ПЕРИОДИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

Розроблені періодизація та класифікація танків точки зору технічних рішень, якісно змінивших властивості бойової складної технічної системи.

A division into periods and classification of tanks is developed from point of technical decision, that has been changed properties of the complex battle technical system.

На этапе определения основных тактико-технических характеристик проектируемого объекта бронетехники возникает задача ретроспективного анализа технических решений и достигнутых на их основе соответствующих показателей. В настоящее время регулярного подхода к решению этой задачи применительно к объектам бронетехники не разработано. В основе такого подхода должны лежать классификация машин. Однако ввиду непрерывного развития объектов БТТ, их усложнения, как технической системы, такая классификация должна рассматриваться совместно и с периодизацией. Это обусловлено тем, что абсолютное календарное время, с точки зрения поставленной задачи, представляется мало интересным. Наибольший интерес представляет понимание развития данного класса машин как последовательность осуществленных технических решений, обеспечивших значительное повышение существующих или возникновение новых свойств, что естественно приводит к включению в классификацию нового классификационного признака.

Каждое из этих технических решений знаменовало новый период в развитии техники. Разработке такой классификации совместно с периодизацией и посвящена настоящая публикация.

Периодизация представляется исторической категорией, однако в технике, в ее ретроспективном анализе, периодизация должна связываться не столько с временными этапами, сколько с этапами технических, конструкторских и технологических решений, которые обеспечили новое качество или свойство технической системе. Поэтому становится очевидной связь между периодизацией и классификацией, поскольку каждый новый этап должен отражаться, по крайней мере, еще одним классификационным признаком.

Не рассматривая научные, технические и технологические достижения, а также военно-прикладные предпосылки создания боевых колесных и гусеничных машин, будем оперировать только образцами, реализованными в металле хотя бы в единственном экземпляре. Исходя из этого заметим, что таким образом «родиною» танка следует считать Великобританию.

Сразу можно выделить в качестве классификационных признаков на первичном этапе (или зарождении) следующее:

- компоновка (взаимное расположение отделений управления, боевого, моторно-трансмиссионного, десантного и ходовой части);
- вооружение (пулеметное, пушечное) в башне, в спонсоне, казематная установка;
- броневая защита (противопульная, противоснарядная);
- тип двигателя;
- тип трансмиссии (механическая, гидравлическая, электромеханическая);
- тип ходовой части;
- средства связи;
- средства наблюдения, разведки и прицеливания.

Практическое использование первых танков приводит к разделению машин на тяжелые и легкие – для сопровождения пехоты, с низкой стоимостью и возможностью переброски с помощью других транспортных средств для сохранения ресурса. Создание таких машин сразу разделило технику по подвижности (оперативной и тактической) и проходимости, что можно оценивать боевой массой, габаритными размерами, удельным давлением на грунт и запасом хода (на одной заправке).

По совокупности технических решений завершением начального этапа в танкостроении можно считать создание танка «*Renault FT-17*» (Франция). Тактико-технические характеристики этого танка и других машин приведены во многих публикациях [1, 2, 3, 4, 5, 6].

К новшествам, характерным для танка «*Renault FT-17*», явившимися этапными, следует отнести наличие подвески с балансирами, вращающуюся башню, разделение машины на отделения. Дальнейшее развитие танков связано в основном с наращиванием характеристик подвижности, вооружения, броневой защиты, усовершенствование трансмиссии и подвески, снижением физической нагрузки на операторов. В компоновочных решениях появляются машины с несколькими башнями, постоянно возрастает калибр артиллерии, скорость легких танков достигает 120 км/ч.

Апогеем развития скоростного танка следует считать танк Дж. У. Кристи М 1931 (США), который содержит ряд новых технических решений.

Первое из них – большие углы наклона броневых листов. Когда собственная толщина брони уже не в полной мере характеризует показатель защищенности, индивидуальная подвеска с опорными катками большого диаметра, плотная компоновка, поперечно расположенные коробки передач, возможность хода как на гусеницах так и на опорных катках.

Таким образом очередной этапный танк – это танк Кристи.

Следующий этапный танк – средний танк Т-34, в котором удачно сочетались высокая огневая мощь длинноствольной пушки, надежная броневая

защита, отличные характеристики подвижности и технологичность изготовления.

В первой половине 40-х годов огневая мощь, особенно у советских и немецких танков резко возросла, дистанция эффективной стрельбы увеличилась с 600 м до 1500 – 1800 м. Отсталость приборов наблюдения и прицеливания и другого оборудования, которые должны обеспечивать попадание снаряда в цель, стала очевидной.

В течение 10 лет начиная с 1946 года, конструкторами – танкистами были внедрены основные компоненты системы управления огнем: двухплоскостной стабилизатор основного вооружения (танк *Centurion Mk.2*, 1946 г. Великобритания), оптический дальномер и электромеханический кулачковый танковый баллистический вычислитель (танк M48A2 1953 г. США).

В первой половине 50-х годов резко возросла угроза применения тактического ядерного оружия, поэтому возникла необходимость защиты от него.

Первым танком, оснащенным системой коллективной защиты от оружия массового поражения стал танк Т-55 (1958 г., СССР). Кроме этого в нем были внедрены другие системы: автоматическая система пожаротушения, термодымовая аппаратура для создания протяженной дымовой завесы, а также, оборудование для преодоления водной преграды глубиной до 5 м.

В следующие 10 лет было создано много образцов средних и тяжелых танков, в которые были интегрированы многие передовые технологии: гладкоствольные артиллерийские системы, панорамические приборы наблюдения и прицеливания, приборы/прицелы ночного видения с подсветкой, перископические прицелы со сменным увеличением и 2-х плоскостной стабилизацией поля зрения.

Одновременно велись НИОКР по созданию многослойной комбинированной брони, танковой 120-125мм пушки и танкового автомата заряжания, повышению удельных показателей моторно-трансмиссионной установки. Эта работа завершилась принятием на вооружение первого основного боевого танка (ОБТ) – Т-64А (1968 г, СССР), у которого параметры защиты и огневой мощи соответствовали тяжелым танкам, а массо-габаритные характеристики и параметры подвижности находились на уровне средних танков.

Поскольку после установки 120 и 125 мм пушек дальность эффективной стрельбы увеличилась до 2000 м возникла необходимость в очередном усовершенствовании системы управления огнем танка. Были внедрены: лазерный дальномер, который резко сократил время подготовки и производства первого выстрела, электронный танковый баллистический вычислитель (ТБВ) с датчиковой периферией, а также термокожух ствола пушки и коллимационная система оперативного контроля оси канала ствола с линией визирования прицела (танк *Chieftain Mk.5*, 1971 г. Великобритания). В этом танке были установлены приборы ночного видения пассивного типа, что значительно снизило демаскирующие факторы танка при движении в ночных условиях.

Позднее в 1974г на танке «*Leopard-1A4*» немецкие конструкторы смогли резко интенсифицировать процессы поиска и поражения целей за счет их совмещения (командир обеспечивает поиск и целеуказание, а наводчик ведет стрельбу). Такой режим назвали «*Hunter-Killer*» и он стал обязательным для всех последующих танков.

Завершает этот этап (70-е годы) танк Т-64Б (1978г, СССР), у которого резко повысилась огневая мощь за счет введения в боекомплект танковой управляемой ракеты, которая выстреливалась из пушки и поражала цели с вероятностью 0,9 на дальностях до 4000 м. Бронепробиваемость ракеты была на 40% выше, чем артиллерийского снаряда того же калибра.

Далее возникла необходимость повышать характеристики защищенности. В 1979г. в Израиле был принят на вооружение танк «*Merkava Mk1*», у которого уровень защищенности лобовой проекции был существенно повышен за счет размещения моторно-трансмиссионной установки в носовой части танка, а экипажа и боеприпасов – в кормовой части.

Далее в 1981г. Израиль модернизировал американские танки М48 и М60, установив динамическую защиту («Реактивную броню»), которая резко повысила защитные характеристики танка, при попадании в него кумулятивно-го боеприпаса.

В Советском Союзе в 1983 г. на танках Т-55АД был установлен защитный комплекс другого типа – комплекс активной защиты «Дрозд». Он уничтожал или сбивал с траектории подлетающий управляемый боеприпас.

В 1988 г. танк М1А1 «*Abrams*», США, был оснащен защитными панелями с обедненным ураном (М1А1НА).

Со середины 80-х годов серьезной угрозой для танков становится высокоточное оружие, в состав комплексов которого входят радиотехнические, тепловизионные и лазерные каналы разведки и наведения, поэтому танки стали создавать с использованием стелс – технологий (танк «*Challenger-2*», 1997 г, Великобритания) и систем регистрации лазерного облучения (танк «*Merkava Mk3*», 1989 г, Израиль).

Одновременно с повышением характеристик защищенности в 1990-х годах стали широко использовать цифровые технологии (танк «*Leclerc*», 1992 г, Франция).

На сегодняшний день наиболее совершенными образцами, где реализованы все новации являются:

- М1А2 «*Abrams*», США;
- «*Leopard 2A6*», Германия;
- «*Leclerc Mk1*», Франция,

Комплексный анализ характеристик современных образцов и последние разработки позволяют прогнозировать, что в ближайшие 5-10 лет должны произойти качественные изменения, которые позволят при сохранении, или даже уменьшении массы танка, резко повысить основные характеристики:

– *огневую мощь* – за счет применения альтернативных систем метания снарядов (электротермохимические или электромагнитные пушки), а также комплексированных систем разведки и прицеливания (в оптическом, ИК и радиотехническом диапазоне) и интеллектуальных средств поражения;

– *защищенность* – внедряя электромагнитную защиту и наноброню;

– *подвижность* – используя гибридные силовые установки, электро-механическую трансмиссию и прогрессивные системы поддрессирования;

– *командную управляемость на поле боя* – за счет создания сетевых тактических групп, состоящих из наземных систем вооружения и БПЛА.

Можно считать, что этап – широкое внедрение информационных технологий относится к периоду после Т-64А. Новые концепции только формируются, и связано это с изменением задач, форм и методов вооруженной борьбы. Последние 10-15 лет показали, что эпоха массовых армий, единых фронтов с выраженной линией фронта и недоступного для противника тыла стали историей. В то же время, после II-й мировой войны ни разу не применялось ядерное оружие, но в то же время появились другие виды оружия поражения: вакуумные боеприпасы, высокоточное оружие и др. Однако, до тех пор, пока этот современный арсенал доступен не всем государствам, актуальность бронетехники будет сохраняться.

Укрупненная периодизация развития танков представлена в табл. 1.

Перспективный этап развития танков, по-видимому, следует связывать с многофункциональным шасси – средством подвижности, которое будет обеспечивать возможность установки различных комплексов вооружения – артиллерийского, ракетного, средств РЭБ, разведки, целеуказания и наведения, ПВО, ВТО и других. Это приведет и к изменению облика бронетанковой компоненты сухопутных войск, которая предполагает широкую номенклатуру различных по назначению машин, но универсальных по средству подвижности, способных образовывать соединения и части для решения боевых задач.

Заканчивая рассмотрение периодизации и классификации танков, следует подчеркнуть, что в фундаментальных трудах [4, 7], периодизация танков связывается с историческими событиями их применения в войнах. В большинстве работ среди классификационных признаков используются лишь масса (легкий, средний, тяжелый), тип двигателя (гусеничный, колесно-гусеничный) [4, 7]. Разработанные периодизация и классификация впервые (применительно для танков) показывают развитие класса боевых машин принимая в качестве вех не исторические события и временные интервалы, а технические решения качественно изменившие свойства боевой сложной технической системы от ее зарождения до современного этапа.

Таблица 1

Год разработки, страна		Образец	Показатель, определивший этап	
1916, Великобритания, Германия		Первые танки		Начальный этап
1917, Франция		<i>Renault FT-17</i>	Компоновка, основные элементы современного танка	
1931, США		Кристи М1931	Сочетание подвижности и защищенности	
1940, СССР		Т-34	Сочетание подвижности, огневой мощи, защищенности и технологичности	
1946, Великобритания		<i>Centurion Mk.2</i>	2-х плоскостной стабилизатор	Огневая мощь
1953, США		М48А2	Оптический дальномер, ТБВ	
1958, СССР		Т-55	Защищенность (СКЗ от ОМП и др.)	
1968, СССР		Т-64А	Первый ОБТ	
1971, Великобритания		<i>Chieftain Mk.5</i>	Новая СУО	Огневая мощь
1974, Германия		<i>Leopard-1A4</i>	Режим “Hunter-Killer”	
1978, СССР		Т-64Б	Управляемая ракета	
1979, Израиль		<i>Merkava Mk.1</i>	Компоновка с передним МТО	Защищенность
1981, США		М48 и М60	Динамическая защита	
1983, СССР		Т-55АД	Комплекс активной защиты	
1988, США		<i>Abrams M1A1</i>	Защита с обедненным ураном	
1989, Израиль		<i>Mercava Mk.3</i>	Регистратор облучения	
1999, Великобритания		<i>Challenger-2</i>	маскировка в РТ диапазоне ЭМИ	
1992-2004	Франция	<i>Leclerc Mk.1</i>	Цифровые технологии для повышения основных характеристик и командной управляемости	
	Германия	<i>Leopard-2A6</i>		
	США	<i>Abrams M1A2</i>		

Список литературы: 1. *Бах В.И., Варакин Ю.Н., Выгодский С.Ю.* Зарубежная бронетанковая техника: Справочник в двух книгах. – М.: Машиностроение, 1984 г. кн. 1 – 424 с., ил. кн. 2 – 392 с. 2. *Чемберлен П.* Энциклопедия немецких танков Второй мировой войны: Полный иллюстрированный справочник боевых танков, броневых автомобилей, самоходок и гусеничных машин. 1933 – 1945г. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2003 г. – 271, [1] с: ил. 3. *Чемберлен П.* Британские и американские танки Второй мировой войны. Иллюстрированная история бронетанковой техники Великобритании, США и стран содружества. 1933 – 1945 г. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2003 г. – 222, [2]с.: ил. 4. *Солякин А.Г., Павлов М.В., Павлов И.В., Желтов И.Г.* Отечественные бронированные машины XX века. Т1, 1905-1941 – М.: ООО «Издательский центр «Экспринт», 2002.-344с.: ил., т.2 1941-1945 – М.: ООО «Издательский центр «Экспринт», 2005.-448 с.: ил. 5. *Варакин Ю.Н., Бах В.И., Выгодский С.Ю.* Бронетанковая техника СССР (1920-1974). – М.: ЦНИИ информации, 1981. – 484с. 6. *Кристофер Ф. Фосс.* Танки и боевые машины. – М.: ООО Издательство АСТ; ООО «Издательство Астрель», 2005 – 448с.: ил. 7. Танки и танковые войска. Под ред. *А.Х. Бабаджаняна.* М. Воениздат, 1980г. – 432с. 8. *Мостовенко А.* Танки. Воениздат, 1958г. 9. *Александров Е.Е., Етифанов В.В.* Быстроходные гусеничные и армейские колесные машины: краткая история развития. Учебно-справочное пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 376с.

Поступила в редколлегию 1.12.2007

А.И. ГАПОН, канд. тех. наук, НТУ “ХПИ” (г. Харьков),
Э.С. ИСМАИЛОВА, ст. гр. АП-52, НТУ “ХПИ” (г. Харьков).

ПРИБОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В БИОТКАНЯХ

Запропоновано нове рішення побудови металодетектора на основі частотомірювального методу, що відрізняється високою чутливістю та простотою конструкції давача. Розроблена структурна схема пристрою, приведено алгоритми.

The new decision of construction of metal detector on the basis of frequency meter a method distinguished by high sensitivity and simplicity of a design of the gauge is offered. The block diagram of the device is developed, algorithms of work are resulted.

Прободные ранения глаз относятся к тяжелой травме. Вследствие тяжести клинических проявлений они являются одной из основных причин инвалидности по зрению. Проникающие ранения, осложненные внутриглазным инородным телом, занимают значительное место в структуре глазного травматизма. Актуальной остается проблема удаления осколков из полости глаза. Одной из основных причин неудачного или несвоевременного извлечения инородного тела является некачественная диагностика из-за несовершенства диагностической техники, наличия рентгенонегативных и мелких осколков, не улавливаемых ультразвуком. Известно, что обнаружение магнитных свойств инородного тела во многих случаях облегчает хирургическое вмешательство.

Метод обнаружения инородных объектов металлодетекцией в медицине распространен мало, несмотря на простоту процедуры диагностики и отсутствие вредного влияния на организм. Однако он имеет большие перспективы, и уже хорошо зарекомендовал себя в промышленности и технике. Узкая сфера применения ограничивает распространение металлодетекторов в медицинской диагностике, но иногда их применение в медицине становится достаточно обоснованным.

В настоящее время существует множество разнообразных типов устройств металлодетекции. Это и металлодетекторы по принципу “передача-приём”, и металлоискатели на биениях, и однокатушечные металлодетекторы индукционного типа, импульсные металлодетекторы, а также магнитометры и радиолокаторы. При построении большинства приборов за основу приняты индукционные свойства объектов, подлежащих обнаружению. Однако большинство из них не может удовлетворить решение поставленной задачи применительно к офтальмологии, так как вышеперечисленные устройства, обладают недостаточной чувствительностью. **Кроме того, зачастую конструк-**

ции металлоискателей громоздки, что нежелательно в медицинской диагностике.

В [1] проведен анализ существующих методов металлодетекции. Выбраны основные преимущества и недостатки существующих методов металлодетекции применительно к поставленной задаче. Более подробное рассмотрение методов металлодетекции сделано в [2], [3], [4]. В [5] и [6] рассмотрены проблемы, связанные с обработкой результатов измерения, выбран метод регистрации отклонения частоты. С помощью [7], [8] осуществляется выбор и расчет однокатушечного датчика металлодетектора.

Целью статьи является разработка устройства металлодетекции для медицинской диагностики, обладающего высокой чувствительностью и небольшими габаритными размерами.

Принцип действия устройства следующий: циклическое измерение частоты поискового генератора и вычисление ее приращения. В зависимости от типа мишени (ферромагнетик или неферромагнетик), от ее размера и удаления от катушки это приращение меняет свою величину и свой знак. На основе анализа этой информации в микроконтроллере производится распознавание и индикация. Устройство может работать как в статическом, так и в динамическом режиме. На рис. 1 приведена структурная схема устройства.

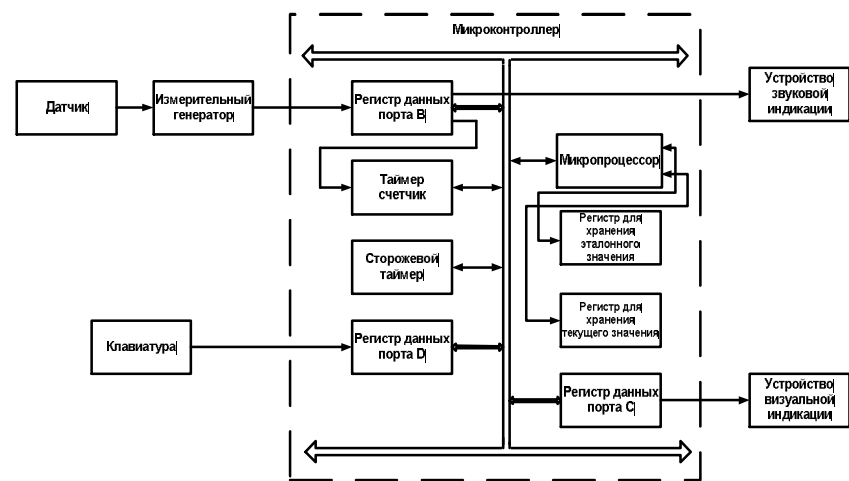


Рис. 1. Структурная схема металлодетектора по принципу частотомера

Сначала оценивается частота измерительного генератора, когда датчик находится вдали от объектов поиска. Это значение заносится в запоминающий регистр (один из регистров общего назначения микроконтроллера). Затем, в процессе поиска, микроконтроллер непрерывно измеряет текущую частоту измерительного генератора. Из полученных значений вычитается значе-

ние эталонной частоты, и результат подается на устройство индикации. Очевидно, что в такой конструкции эффект паразитной взаимной синхронизации генераторов будет выражен слабо, так как частота измерительного генератора на несколько порядков ниже частоты опорного генератора. С помощью измерения частоты можно измерить не только величину ухода частоты измерительного генератора, но и ее знак. Однако непосредственная реализация этой идеи, не позволяет получить реальную чувствительность, достаточную для обнаружения малых частиц (эквивалентным радиусом 0,3 мм). Это связано с тем, что невозможно напрямую в реальном масштабе времени регистрировать очень малые уходы частоты (единицы герц). Чтобы измерить столь малый уход, время измерения должно быть достаточно большим – десятки секунд. Для реально действующего металлоискателя время обработки сигнала не должно превышать 20 – 40мс. Решение проблемы заключается в следующем: сначала измеряется период колебаний вдали от мишеней. Это значение берется в качестве эталонного. Затем в цикле производится измерение периода, вычисление частоты и вычитание эталонного значения из вновь полученного. Результат подается на индикацию.

Алгоритм работы устройства приведен на рис. 2.

Его особенность заключается в том, что программа подстраивается под частоту сигнала, выходящего из измерительного генератора. Сразу после включения питания микроконтроллер измеряет частоту входящего сигнала. В зависимости от выбранного режима производится обработка сигнала. Для статического режима производится анализ отклонения частоты, и результаты выдаются на индикатор. В динамическом режиме перед анализом результатов производится фильтрация сигнала.

При необходимости в устройстве предусмотрен сброс и запись нового эталонного значения, а также выбор режима поиска объекта. При сбросе эталонного значения работа устройства для обнаружения металлических объектов начинается заново, а при смене режима поиска заново оценивается вновь полученный результат. Оптимальные датчики для устройства – однокатушечные индуктивные.

На основании анализа существующих методов металлодетекции выбран методика построения металлоискателей по частотоизмерительному принципу, так как он позволяет строить приборы с большей чувствительностью и отличается простотой конструкции датчика. Основной характеристикой устройства, отличной от уже имеющихся металлоискателей, является его высокая чувствительность (устройство позволяет обнаруживать металлические объекты размером около 0,3 мм на расстоянии 20 см).

Большая вариативность построения измерительной части металлодетектора и применение микропроцессора позволяют создавать недорогие приборы с заданной чувствительностью для конкретного класса задач.

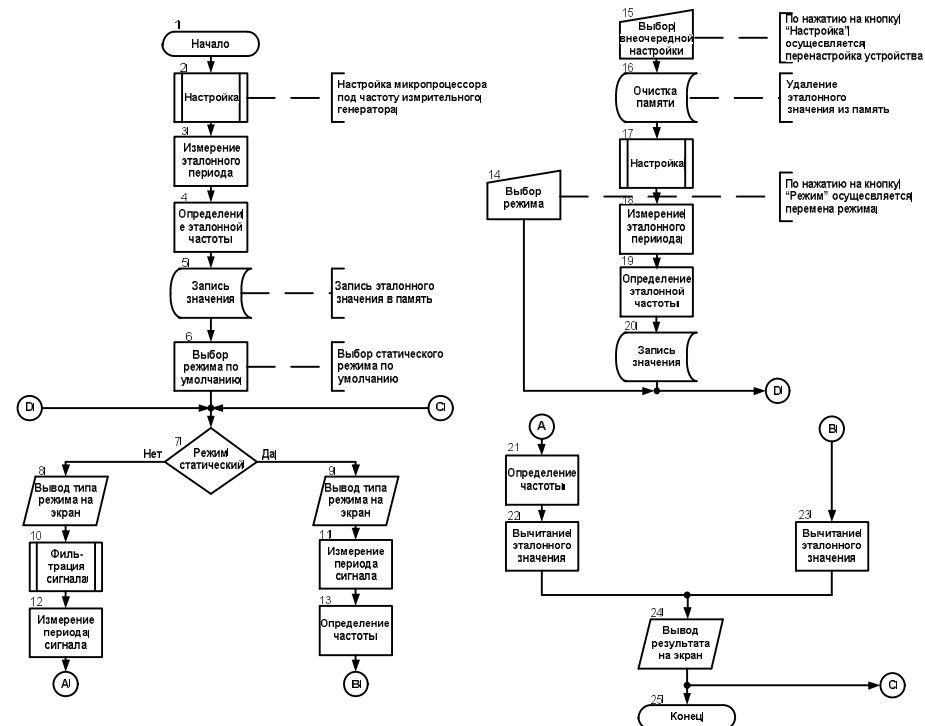


Рис. 2. Алгоритм работы металлодетектора по принципу частотомера

Дальнейшие исследования в этом направлении могут повысить эффективность предоперационного обследования и, возможно, найти и другие области применения, отличные от медицинской диагностики, где необходимо сочетание высокой чувствительности с измерением на небольших площадях поверхностей.

Список литературы: 1. Щедрин А.И., Осипов И.Н., Металлоискатели для поиска кладов и реликвий. – "Горячая линия - Телеком". – М.: "Радио и связь", 2000. 2. Щедрин А., Колоколов Ю. Схемотехника многочастотного металлоискателя // РАДИОХОББИ, 2005. – №2. 3. Щедрин А., Колоколов Ю. Двухчастотный селективный металлоискатель КОЩЕЙ-18 // РАДИОХОББИ, 2005. – №5,6. 4. Щедрин А., Колоколов Ю. Микропроцессорный импульсный металлоискатель // РАДИОХОББИ, 2003. – №6. 5. Chchedrine A., Kolokolov Y., Frequency Meter Metal Detector // Circuit Cellar Magazine, №130, May 2001. 6. Velchev V., Sensor Interface for Metal Detection // Microchip Technology Inc. DS40160A/3_007, 1997. 7. Немцов М.В., Шамаев Ю.М. Справочник по расчету параметров катушек индуктивности. – М.: Энергоиздат, 1981. 8. Калантаров П.М., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Справочная книга. – Л.: Энергоатомиздат Ленингр. отд-ние, 1986.

Поступила в редколлегию 10.09.2007

М. В. ГУНБИН, к.т.н., доц., **А. В. ДУДНИК**, ассистент,
А. А. ИВАШКО, врач-интерн, **С. А. ВУЯЛКИНА**, студентка,
Е.А. ЯРМОЛА, инженер (г. Харьков)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ТОЧЕК АКУПUNKТУРЫ СТОПЫ

У статті описуються виникнення і методи рефлексотерапії, порівнюються західний та східний підходи до медицини. Розглядається вплив електромагнітотерапії та імпульсної терапії на організм людини. Проводиться аналіз точок акупунктури стопи, а також приводиться їх зв'язок з різними захворюваннями. Розроблено метод автоматизованого визначення координат точок акупунктури та електроімпульсного впливу на них.

In this paper methods and apparatus of reflexotherapy are described, western and eastern approaches to medicine are compared. Influence of an electromagnetotherapy and pulse therapy on the human organism is considered. The analysis of acupuncture points of the foot is spent, and also their interrelation with various diseases is resulted. Method of automatic selection and electrical influence on of acupuncture points has been developed/

Интерес к медицине Востока не ослабевает с 50-х годов XX века. Это можно объяснить самобытностью и, даже, экзотичностью подходов, принятых там. С другой стороны, нельзя не заметить эффективность методов лечения, которые входят в арсенал восточной народной медицины. Многие наслышаны о таких методах рефлексотерапии, как чжен-цзю (иглоукалывание и прижигание во вьетнамской транскрипции) или шиацу (техника массажа в японской транскрипции). Эти методы лечения и профилактики заболеваний имеют тысячелетнюю историю и предполагают воздействие на некоторые точки тела (точки акупунктуры) колющим или тепловым раздражителем, либо пальцами лечащего.

Официально признание у себя на родине эти методы получили относительно недавно (например, в Японии в 1955 г., во Вьетнаме в 1957г.) [1-3]. К началу 80-х годов XX века различные способы воздействия на точки акупунктуры широко распространились в странах Европы и Америки, серьезное внимание уделялось этому вопросу и в Советском Союзе.

Следует обратить внимание на отличия в подходе к человеку в медицине Востока и медицине Запада. Если западные врачи брали за основу устройство отдельного органа (его морфологию), то восточные медики исходили из анализа функций, выполняемых органом (или органами). Кроме этого рассматриваемая ими «жизненная энергия», циклично пересекающая в организме, тесно граничит с представлением об интегральной функции и биологических ритмах, которые вошли в практику медицины западного типа только в последнее время.

Восточная медицина рассматривает человека как сосредоточение жизненной энергии («ци» в китайской и «кхи» во вьетнамской транскрипции). Эта энергия накапливается и расходуется, что связывается с представлением о борьбе двух противоположных начал инь и ян. Таким образом, энергия циркулирует по специальным энергетическим каналам – меридианам. В классических трактатах выделяют 12 основных (6 инь и 6 ян) и 8 дополнительных меридианов. Передать недостающую или принять избыточную энергию можно посредством воздействия на специальные точки, расположенные на поверхности кожи – точки акупунктуры (точки цубо в японской транскрипции). В классических трактатах указывается 365 точек акупунктуры, расположенных по меридианам. На сегодня уже насчитывается около 2000 точек.

Если же подойти к вопросу не со стороны терапии, а со стороны профилактики заболеваний, когда пациент в целом здоров и требуется только поддерживающее воздействие, то следует рассмотреть применение электростимуляции (электромагнитотерапии, импульсной терапии и т.д.). Так под влиянием магнитных полей происходит повышение сосудистой и эпителиальной проницаемости, прямым следствием чего является ускорение рассасывания отеков и действия введенных лекарственных веществ. Благодаря данному эффекту магнитотерапия нашла широкое применение при травматических повреждениях тканей и их последствиях

Воздействие магнитного поля оказывает значительное влияние на обмен веществ в организме. При действии на отдельные системы организма в сыроворотке крови увеличивается количество общего белка, глобулинов и повышается их концентрация в тканях за счёт α - и γ - глобулиновых фракций. При этом происходит изменение структуры белков. При кратковременных ежедневных общих влияниях на организм магнитных полей снижается содержание пировиноградной и молочной кислот не только в крови, но также в печени и мышцах. При этом происходит увеличение содержания гликогена в печени. Под действием магнитного поля в тканях происходит снижение содержания ионов Na при одновременном повышении концентрации ионов K , что является свидетельством изменения проницаемости клеточных мембран. Отмечается снижение содержания Fe в мозге, сердце, крови, печени, мышцах, селезёнке и повышение его в костной ткани.

Несмотря на своё благотворное действие на организм, магнитные поля от 70 мТл и выше становятся стрессорными агентами и неблагоприятно сказываются на деятельности различных функциональных систем. Происходит дискоординация деятельности эндокринных органов, снижается интенсивность энергетических процессов, усиливается гликолиз, нарушается проницаемость клеточных мембран, развивается гипоксия и дистрофические процессы. Исходя из этого, необходимы строжайшее соблюдение техники безопасности и контроль дозировки фактора.

Также в лечебной практике широко применяются импульсные токи, ко-

торые провоцируют сокращения скелетной и гладкой мускулатуры. Доказано, что нервные волокна кожи и скелетных мышц более чувствительны к импульсному току, по сравнению с другими видами токов. Физико-химическая сущность действия импульсных токов отличается от действия постоянного тока тем, что перемещение и накопление на мембранах заряженных частиц носит ритмический характер. Импульсные токи наряду с активным влиянием на нервно-мышечный аппарат оказывают выраженное антиспастическое, болеутоляющее, трофикорегенераторное и сосудорасширяющее действие.

На стопе примерно 70 тысяч нервных окончаний, следовательно, стопа является высокорекфлекторной зоной, связанной со всеми внутренними органами. Нервная система в свою очередь посылает к пораженному органу или органам импульсы, активизирующие системы самовосстановления.

Воздействуя на определенные точки стопы (точки акупунктуры) электростимуляцией мы воздействуем на организм в целом. На рис. 1 приведено изображение точек акупунктуры на стопе.

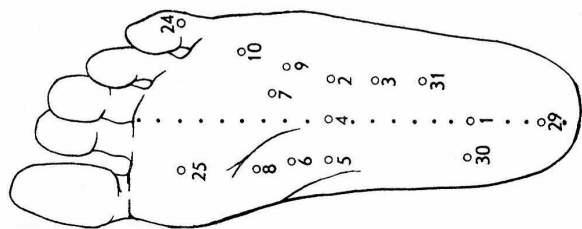


Рис 1. Активные точки, расположенные на подошвенной стороне стопы (точечной линией обозначена центральная продольная линия подошвы)

Таким образом, из проанализированных нами фактов, делаем вывод, что использование методов электростимуляции активных точек стопы является одним из способов профилактики и лечения различных заболеваний. Данная методика терапии является естественной, безопасной, бескровной, недорогой, не вызывает привыкания и побочных эффектов поэтому в комплексном применении с другими методами лечения дает более высокие показатели эффективности.

Ниже приводится табл. 1, которая разъясняет значение точек (на какие заболевания они влияют), представленных на рис. 1.

Таблица 1 – Связь точек акупунктуры стопы с различными заболеваниями человеческого организма.

Номер активной точки	Показания
1	Неврастения, истерия, бессонница
2	Неврастения, истерия, бессонница
3	Ишиалгия, боль в нижней части спины и нижних конечностях
4	Бессонница, желтуха, астма, отсталость в умственном развитии
5	Диарея, синдром раздраженного кишечника
6	Диарея, синдром раздраженного кишечника
7	Боли в животе, рвота, диарея, дисменорея
8	Рвота, диарея, спазмы желудка
9	Ишиас, дерматиты
10	Зубная боль
24	Энурез, частые мочеиспускания
25	Зубная боль
29	Простуда, головная боль, синусит, ринит
30	Невралгия тройничного нерва
31	Межреберная невралгия

Все выше приведенные факты дают нам основания для разработки автоматической микроконтроллерной системы, которое будет объединять в себе методы магнитной и электроимпульсной терапии. Каждое из этих воздействий эффективно по-своему, их действие в комплексе принесет более высокий результат чем реализация каждого метода отдельно.

Воздействие этими методами на организм человека будет осуществляться через стопу, т. к. она является высокорекфлекторной зоной связанной со всеми внутренними органами. При осуществлении автоматического воздействия на точки акупунктуры крайне важным является точное определение их координат, не зависящее от размеров стопы и случайного ее поворота. Поэтому были разработаны алгоритм и программа определения угла поворота стопы относительно горизонтали и ее размеров. Входными данными алгоритма являются данные от контактных датчиков, определяющие конфигурацию стопы и формирующие в памяти микроконтроллера ее изображение. Алгоритм включает в себя следующие шаги:

1. Медианная фильтрация изображения с целью удаления импульсных помех и артефактов, вызванных неплотным прилеганием стопы в отдельных точках;
2. Определение координат крайних точек изображения (белая рамка на рис. 2);
3. Для каждого значения абсциссы изображения определение центра среза изображения стопы (сплошная линия на рис. 2);

4. Построение линейной аппроксимации средней линии методом наименьших квадратов (штрих-пунктирная линия на рис. 2);

5. Определение угла поворота стопы из уравнения аппроксимирующей прямой;

6. Определение координат точек акупунктуры с учетом поворота и деформации изображения

Так, на рис. 2 изображен пример обработки изображения стопы, повернутой на 20 градусов по часовой стрелке. Применение предложенного алгоритма позволило определить угол поворота и оценить его в 18,9168 градуса. Проведенные эксперименты показали, что для реальных значений угла поворота погрешность не превышает 1,5%. Кроме того, на рис. 2 отмечена одна из найденных точек акупунктуры.

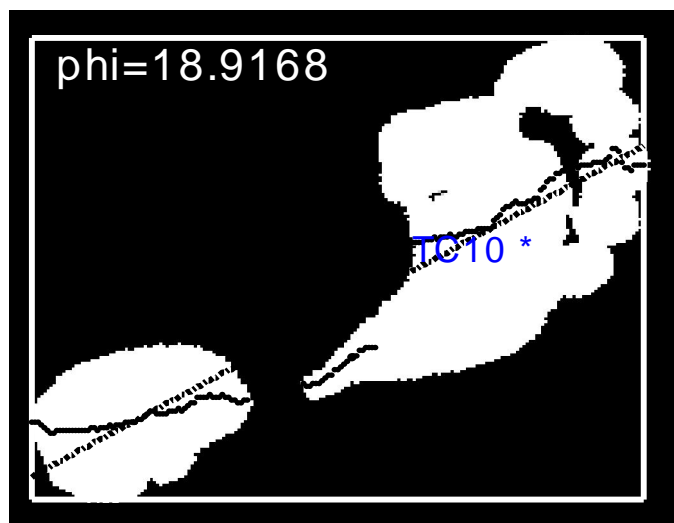


Рис. 2. Пример программного определения угла поворота и размера стопы для поиска точек акупунктуры

Список литературы: 1. Энциклопедия массажа от А до Я. Пер. с итальянского Greinti Demetra, Tirenze Milano 2005, "Enciclopedic del Massaggio". 2. Дубровин Д. А. Трудные вопросы классической китайской медицины / Астро Пресс Ленинград. 1991г. 3. Хоанг Бао Тлу, Ла Куанг Ниен "Иглоукальвание" // Москва, "Медицина", 1988г. 4. Гаваа Лувсан Очерки методов восточной рефлексотерапии // Новосибирск, "Наука", сибирское отделение, 1991г.

Поступила в редколлегию 15.11.07

А.А. ЗАГАЙНОВА аспирант (НТУ «ХПИ», г. Харьков)

ТЕСТИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СТАРЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Наведено результати та методика прискорених випробувань трансформаторних масел. Зроблено тестування статистичних моделей старіння трансформаторних масел за результатами прискорених випробувань.

Results and procedure of the accelerated tests of transformer oils are given. Testing of statistical models of senescence of transformer oils is conducted on results speed-up tests.

Постановка проблемы. Профилактический контроль состояния электрической изоляции высоковольтного маслонаполненного оборудования производится в ходе длительной эксплуатации оборудования и не даёт возможности получить достоверные выводы о качестве изоляции на начальном этапе эксплуатации. Это связано с ограниченностью получаемой в ходе измерений информации, не позволяющей использовать для прогнозирования возможных параметрических изменений регрессионные модели старения изоляции. Более того, обнаруженные параметрические изменения состояния изоляции предполагают использование результатов двумерных наблюдений, например, в форме временных рядов, что может быть обеспечено измерениями на протяжении не менее трёх лет эксплуатации.

Проблема уменьшения времени наблюдения за свойствами изоляции - это проблема организации активного измерительного эксперимента, а также проблема выбора адекватной модели параметрических изменений свойств изоляции, позволяющей с максимальной достоверностью принять решение о соответствии качества изоляции нормативным требованиям на начальном этапе эксплуатации высоковольтного маслонаполненного энергетического оборудования.

Анализ литературы. Исследованию параметрических изменений свойств трансформаторного масла, как наиболее распространённого вида изоляции высоковольтного энергетического оборудования, посвящено достаточно много публикаций, из которых в первую очередь надо отметить монографию [1], в которой представлены результаты профилактических испытаний маслонаполненного оборудования по ряду областей Украины.

Расширенный анализ состояния эксплуатации и диагностики высоковольтного оборудования Российской Федерации хорошо отражено в публикациях [2,3]. Внедрение новых информационных технологий в систему мониторинга энергетического оборудования достаточно полно отражено в публика-

циях[4,5]. Однако, подавляющее большинство публикаций основано на результатах длительной подконтрольной эксплуатации энергетического оборудования. Задача выявления скрытых дефектов трансформаторных масел, влияющих на процессы их параметрического старения при ограничениях на время профилактических испытаний разработана недостаточно полно и требует для своего решения специальных методов планирования измерительного эксперимента, обеспечивающих минимизацию времени наблюдения.

Цель статьи заключается в обосновании выбора метода ускоренных испытаний образцов трансформаторных масел в условиях активного факторного эксперимента и описание методики дисперсионного анализа многомерных результатов испытаний электрических параметров с последующей дискриминацией тестовых статистик в рамках условной шкалы качественного состояния трансформаторного масла

Описание методики ускоренных испытаний. Ускоренные испытания проводились путем поступательного нагрева образцов масла в термощкафу, за время не превышающее шести часов. Образцы масла находились в испытательной ячейке, а измерения электрических параметров масла осуществлялись без изъятия ячейки из камеры нагрева. Нагрев производился ступенчато со стабилизацией температуры на каждой ступени и выдержке не менее 30 минут. Максимальная температура нагрева не превышала 90°C, а минимальная была не мене 20°C. Выборочные результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний чистого трансформаторного масла

Частота, кГц	Температура						
	Показатель	30	66	70	75	80	82
0,1	tg δ, %	0,85	1,11	1,13	1,25	1,46	1,51
	C, пФ	797,3	796,3	795,6	779,1	777,7	777,4
1	tg δ, %	0,84	0,76	0,77	0,86	0,88	0,89
	C, пФ	788,8	787,4	786,4	779,1	777,7	777,4
10	tg δ, %	1,05	0,84	0,84	0,85	0,82	0,82
	C, пФ	777,2	778	777,2	769,6	768,8	768,1

На основе имеющихся результатов ускоренных испытаний была разработана статистическая модель теплового старения. Достоверность модели и информативность каждого показателя, в первом приближении, были проверены с помощью дисперсионного анализа. Для проведения этого анализа была использована программа, написанная на языке *Turbo Pascal*. Была выдвинута гипотеза о линейности модели и составлена таблица дисперсионного анализа (табл. 2). В результате расчета были сделаны выводы, что выдвинутая гипотеза не отвергается и необходимо провести более точный анализ результатов, для этого был использован ковариационный анализ имеющейся моде-

ли, потому что при односторонней классификации измеряются две характеристики (x и y) каждого объекта наблюдения и необходимо рассматривать их взаимосвязь, а также взаимную межгрупповую изменчивость.

Таблица 2 – Таблица дисперсионного анализа

Источник изменчивости	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат
Регрессия	$S_1 = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$\nu_1 = 1$	$\bar{S}_1 = \frac{S_1}{\nu_1}$
Остаток Z_i	$S_e = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$\nu_e = N - 2$	$\bar{S}_e = \frac{S_e}{\nu_e}$
Общее	$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	$\nu = N - 1$	—

Общий объём выборки был разбит на K последовательных интервалов с n_j числом отсчетов ($j = \overline{1, K}$) в каждом таком интервале. Была использована кусочно-линейная аппроксимация функции $f(t_i)$, сформированной на основе имеющейся модели, и представленная на K интервалах наблюдения линейными регрессиями:

$$E[Y_j|x] = A_j + B_j x, \quad (1)$$

где A_j, B_j - оценки параметров α_j, β_j модели наблюдения.

Рассмотрим основную линейную гипотезу порядка $2(K-1)$:

$$H_0: (\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_k; \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k). \quad (2)$$

Согласно [6] ее можно разбить на три независимых части:

$$H_0^{(1)}: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k;$$

$$H_0^{(2)}: \text{групповые средние лежат на прямой};$$

$$H_0^{(3)}: \text{угловой коэффициент этой прямой равен } \beta_c, \text{ причем } \beta_1, \dots, \beta_k.$$

Для проверки выдвинутых гипотез используем разложение суммы S квадратов отклонений наблюдений от общего среднего \bar{Y} на пять слагаемых [6]:

$$S = S_0 + S_{WG} + S_G + S_W + S_R, \quad (3)$$

Результаты ковариационного анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты ковариационного анализа

Образы масел \ F статистики	F_0	F_{wg}	F_{\square}	$F_{0\Sigma}$
Чистое масло	8,81	210,79	131,9992	219,9986
Масло из автотрансформатора №2	277,39	112,93	78,53	125,65
Масло из автотрансформатора №3	191,77	35,28	23,36	38,93

Практические результаты. Из табл. 3 видно, что тестовые F статистики для нормального (чистое) и дефектных масел резко отличаются по среднему значению. Особенно наглядно это проявляется для статистики F_0 . Использование для определения вида качественного состояния масла (норма – нарушение нормы) даже одной статистики F_0 позволяет получить достоверность принятия решения не ниже значения $P = 0,93$. Добавление в процедуру параметрического тестирования дополнительных статистик F_{wg} и F_{\square} увеличит достоверность технической диагностики трансформаторных масел до значения $P = 0,95$.

Выводы. Показана статистическая обоснованность использования ускоренных испытаний трансформаторного масла, для выявления параметрических изменений контролируемых показателей и доказана эффективность параметрического тестирования результатов испытаний изоляции для выявления параметрических изменений изоляции.

Список литературы: 1. Бондаренко В.О., Шапов П.Ф., Шутенко О.В. Повышение эффективности эксплуатационного измерительного контроля трансформаторных масел: Монография. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007.-452с. 2. Чичинский М.И. Состояние эксплуатации и диагностики высоковольтного маслонаполненного оборудования в РАО «ЕЭС России» // Второй научно-технический семинар «Современные методы и средства оценки технического состояния и продления сроков эксплуатации высоковольтного оборудования энергосистем» (19-23 ноября 2001 г., Москва): Материалы семинара. – М., 2001. 3. Чичинский М.И. Повреждаемость маслонаполненного оборудования электрических сетей и качество контроля его состояния // Энергетик, 2000, №11.- с. 29-31. 4. Воропай Н.И., Массель Л.В., Славин Г.Б. Организация системы мониторинга энергетического хозяйства России на базе новых информационных технологий // Электричество, 2002, №9.- с 2-8. 5. Дьяков А.Ф., Канцдалов В.Г., и др. Новые подходы к оценке ресурса стареющего энергооборудования электростанций и модульные принципы создания диагностической аппаратуры // Электрические станции, 2002, №4.- с. 67-78 6. Джонсон Н. Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента. -М.:Мир, 1981.-520с.

Поступила в редакцию 19.11.07

УДК 621.391

А.В. ИВАШКО, канд. техн. наук, **Д.А. ЛУНИН**, **В.В. ПЕРЕХОД**,
(г. Харьков)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПЛИС-РЕАЛИЗАЦИЙ УСТРОЙСТВ ОЦЕНИВАНИЯ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРЕТИКО- ЧИСЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

У статті розглянута ПЛИС-реалізація швидкодії алгоритмів обчислення автокореляційних функцій на основі теоретико-числових перетворень. Проведено аналіз складності реалізованих алгоритмів. Представлено результати аналізу швидкодії й доли використання кристала залежно від порядку моделі. Визначено перспективи подальших досліджень.

EPLD-realization of the processing speed of autocorrelated algorithms based on the number-theoretic transforms are considered in the article. Complexity analysis of these algorithms is realized. The results of processing speed analysis and the chip utilization are presented. Further studies subjects are discussed.

Спектральный анализ – это один из методов обработки сигналов, который позволяет охарактеризовать частотный состав измеряемого сигнала. Он широко применяется при решении задач технической и медицинской диагностики, в обработке сигналов в реальном масштабе времени, например для задач анализа аудио, речевых, мультимедийных сигналов.

Анализ литературы показал, что в настоящее время существует большое количество алгоритмов, которые так или иначе решают основную задачу спектрального анализа: оценивание спектральной плотности мощности, с тем, чтобы по полученному результату судить о характере обрабатываемого сигнала. Классические методы имеют широкую область применения, но проигрывают авторегрессионным и методам, основанным на собственных значениях, по качеству оценивания. Но в реальном масштабе времени использование последних затруднено из-за вычислительной сложности. Основной и наиболее трудоемкой частью многих алгоритмов спектрального анализа, таких, как коррелограммный и алгоритм Юла-Уолкера, является вычисление автокорреляционных функций (АКФ) сигнала.

В матричном виде соотношения Юла-Уолкера выглядят следующим образом:

$$\begin{bmatrix} R_{xx}[0] & R_{xx}[-1] & \dots & R_{xx}[-p] \\ R_{xx}[1] & R_{xx}[0] & \dots & R_{xx}[0] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{xx}[p] & R_{xx}[-p] & \dots & R_{xx}[0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a[1] \\ \dots \\ a[p] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Таким образом, если задана автокорреляционная последовательность для

$0 \leq m \leq p$, то АР-параметры можно найти в результате решения матричного соотношения (называемого нормальными уравнениями Юла-Уолкера), где автокорреляционная матрица является и теплицевой, и эрмитовой.

Вычисление оценок АКФ входного сигнала является наиболее трудоемким этапом расчета (2):

$$r_{xx}[m] = \frac{1}{N-m} \sum_{i=0}^{N-m-1} x_i \cdot x_{i+m} \cdot D. \quad (2)$$

При анализе реальных сигналов, для которых число отсчетов составляет несколько тысяч, а порядок модели достигает нескольких сотен, число умножений может достигать недопустимо больших значений, особенно в реальном масштабе времени. Известны алгоритмы расчета АКФ через два быстрых преобразования Фурье [1]. Их недостатком является необходимость расчета комплексных преобразований и наличие ошибок округления.

Поэтому были разработаны так называемые теоретико-числовые преобразования (ТЧП), у которых промежуточные результаты вычислений принимают только квантованные (целые) значения. При их вычислении все расчеты производятся над конечным полем $GF(p)$, где p – простое число.

Схема вычисления АКФ с помощью ТЧП приведена на рис. 1:

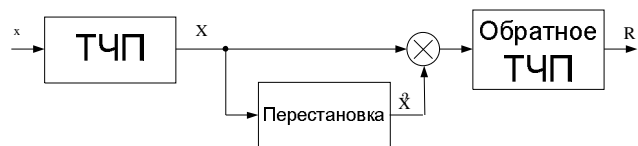


Рис. 1. Вычисление АКФ с помощью ТЧП

ТЧП последовательности $x_i, i = 0 \dots N - 1$ определяется следующим образом:

$$X_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot g^{ik} \pmod{p}, \quad (3)$$

где модуль p и длина последовательности N не имеют общих сомножителей, а g выбирается так, чтобы выполнялось условие:

$$g^N = 1 \pmod{p}, \quad (4)$$

Обратное ТЧП определяется как:

$$x_i = N^{-1} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot g^{-ik} \pmod{p}. \quad (5)$$

где $(1 - g^k)$ является взаимно простым с M для всех k , за исключением тех, которые сравнимы с 0 по модулю N .

Если все значения отсчетов АКФ будут меньше модуля p , то результат будет верным, несмотря на промежуточные переполнения. В случае же, когда

результат превышает значение модуля p , восстановить верное значение АКФ можно по китайской теореме об остатках [3].

Трудоемкость вычисления ТЧП пропорциональна квадрату размерности N и быстро растет с ее увеличением. Поэтому были разработаны алгоритмы быстрого ТЧП [4], число операций, для которых пропорционально $N \log_2 N$, что позволяет обеспечить значительную экономию при больших N .

Цель статьи заключается в сравнении сложности и анализе быстродействия ПЛИС-реализации различных алгоритмов ТЧП.

Для аппаратной реализации были выбраны программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Описание моделей алгоритмов выполнялось на языке VHDL, который обеспечивает компактную запись для проектируемой схемы, дает значительное сокращение трудоемкости и сроков разработки больших схем.

Моделирование алгоритма нахождения автокорреляции велось с применением программного пакета *Active-HDL* 6.1. Синтез *HDL*-кода выполнялось при помощи пакета *FPGA Express*, который транслирует и оптимизирует описание на *HDL*-коде на вентиляльном уровне. Реализация синтезированного кода на ПЛИС велась в пакете системы проектирования *Altera Maxplus II 10.1 BASELIN*, в результате чего была получена оценка быстродействия и степень использования ПЛИС.

Построение ПЛИС-моделей алгоритмов вычисления АКФ с использованием ТЧП позволило получить результаты, представленные на рис. 2 и рис. 3.

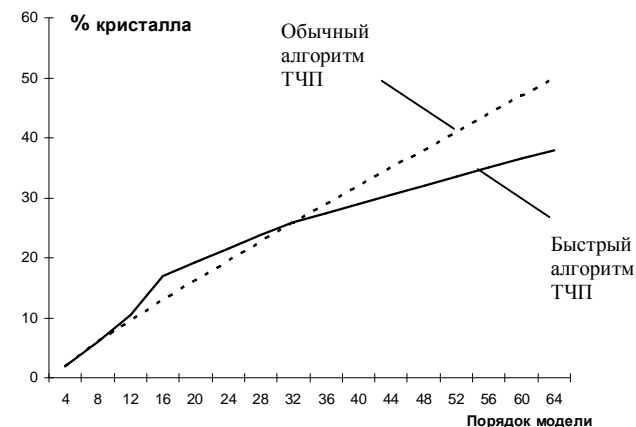


Рис.2. Зависимость относительных используемых ресурсов ПЛИС от порядка модели

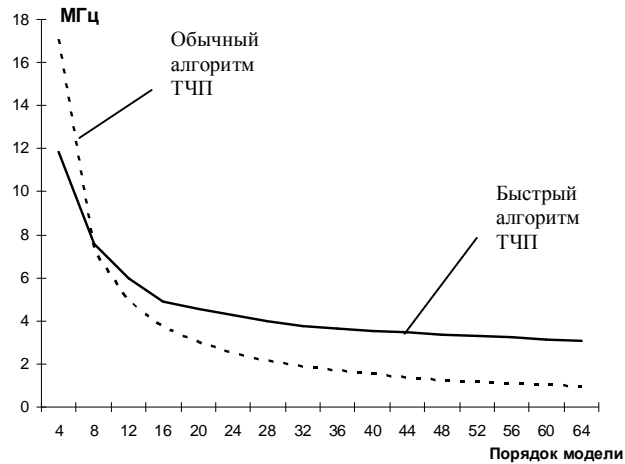


Рис. 3. Зависимость максимальной частоты следования отсчетов от порядка модели

Из рисунков видно, что быстрый алгоритм требует несколько меньше места на ПЛИС и работает существенно быстрее. Примечательно, что за счет распараллеливания вычислительных процессов внутри ПЛИС и оптимизации при синтезе схемы для больших размерностей может быть обеспечена более высокая частота следования отсчетов. Очевидно, что применение быстрого алгоритма оправдано при больших размерах порядка модели (>128). Увеличение порядка модели ведет, однако, к квадратичному увеличению объема памяти, что резко увеличивает долю использования кристалла.

Моделирование устройств вычисления ТЧП на основе ПЛИС показывает, что для больших N лимитирующим фактором является необходимость наличия значительных объемов внутрикристалльной памяти для хранения данных и констант. Поэтому более перспективным представляется выделение отдельных запоминающих устройств, а ресурсы ПЛИС использовать для генерации адресов и вычислений «бабочек», что позволит реализовать на ПЛИС алгоритмы нахождения АКФ с использованием ТЧП с большими размерами порядка модели.

Список литературы: 1. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. - М.: Мир, 1990. - 850 с. 2. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. - М.: Связь, 1980. - 248 с. 3. Иващенко А.В., Лукин Д.А. Оценивание автокорреляционных функций с использованием теоретико-числовых преобразований. - Вестник НТУ «ХПИ». - 2005. - № 38, с. 50-54. 4. Макклелан Дж.Х., Рейдер Ч.М. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов. - М.: Радио и связь, 1983. - 264с.

П.А. КАЧАНОВ, д.т.н., проф., **А.А. ЗУЕВ** (г. Харьков)

КОМПРЕССИЯ ПОЛЕЙ ВЫСОТ ПРИ ПОМОЩИ ПОЛИНОМОВ

У статті розглянутий метод зменшення об'єму пам'яті, яку займає поле висот, за допомогою кодування поліномами. Запропонований набір поліномів для компресії поля висот. Проведено дослідження величин середньої і максимальної похибок кодування.

Method of diminishing memory which is occupied by the height field is considered in article, through encoding polynomials. The set of polynomials is offered for the height field compression. Research of average and maximal errors of encoding is conducted.

Применение средств компьютерной графики для синтеза окружающей обстановки, которая максимально приближена к реальности - позволяет оператору транспортного средства приобрести необходимые навыки управления, без значительных материальных затрат и износа дорогостоящей техники. Основной частью для тренажерных комплексов наземной техники является моделирование ландшафта [1, 2], с высокой точностью. Моделирование позволяет имитировать сложные условия управления транспортным средством.

В настоящее время существуют различные методики хранения данных описывающих ландшафт, из которых поля высот [3] представляют наибольший интерес для тренажеров наземной техники, вследствие высокой скорости вычисления высоты в заданной точке и простоты синтеза таких полей автоматизированным способом. Основным недостатком полей высот, является большой объем памяти необходимый для их хранения.

В статье рассмотрена модификация метода компрессии поля высот при помощи полиномов, что позволяет в четыре раза уменьшить объем памяти, занимаемой полем высот. Основной идеей метода является поблочное преобразование высот поля h_i в кодированную форму h_i^c , согласно выражению

$$\begin{aligned} h_0^c &= h_{\min} + h_s, & h_1^c &= 0,66 \cdot h_{\min} + 0,33 \cdot h_{\max}, \\ h_2^c &= 0,33 \cdot h_{\min} + 0,66 \cdot h_{\max}, & h_3^c &= h_{\max} - h_s, \end{aligned} \quad (1)$$

где h_{\min}, h_{\max} – минимальная и максимальная высота в блоке; $h_s = 0,125 \cdot \Delta h$, где $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$.

Очевидно, что при помощи выражения (1) с наименьшей ошибкой будут кодироваться блоки, содержащие относительно плавный переход высот от минимума к максимуму, например как показанный на рис. 1.

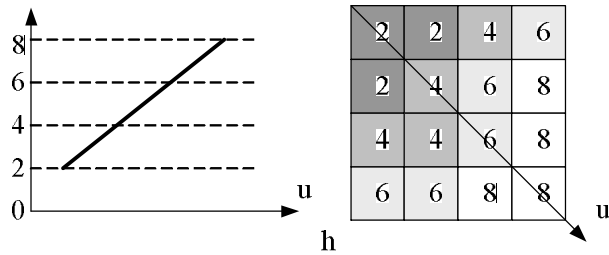


Рис. 1. Пример блока высот кодируемого с наименьшей ошибкой

Такое линейное распределение высот внутри блока для реальных ландшафтов встречается относительно редко, поэтому для уменьшения ошибки желательно кодировать каждый блок наиболее подходящим полиномом. Для задания индивидуального полинома для блока необходимо изменить формат последнего и алгоритм вычисления высот таким образом, чтобы появилась возможность хранения номера полинома i , используемого при кодировании блока. Полиномы $f_i(j)$ будут храниться в отдельной таблице, уникальной для каждого ландшафта. Каждый полином состоит из четырех коэффициентов, используемых для вычисления соответствующей опорной высоты.

Для задания одной высоты ландшафта характерного для холмистой и равнинной местности достаточно использовать 12-ти битное представление высоты. При кодировании блока, сохраняется минимальная высота с точностью 12 бит и разность между максимальной и минимальной высотой Δh с точностью 12 бит. Номер полинома используемого для кодирования и восстановления высот блока сохраним с точностью 8 бит. На хранение каждой из кодированных высот отводится 2 бита, что в сумме будет давать 32 бита. Таким образом, блок из 16 (4×4) высот будет занимать 64 бита, против 256 без кодирования.

Рассмотрим процесс уменьшения разрядности величин h_{\min} и $\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$. Для преобразования высот из 16 битного к 12 битному представлению, воспользуемся следующим выражением

$$h'_{\min} = \lfloor h_{\min} / 2^{16-12} \rfloor, \quad (2)$$

$$\Delta h' = \Delta h + \left(h_{\min} \% 2^{16-12} \right),$$

где $\%$ – операция вычисления остатка от деления; $\lfloor \rfloor$ – операция округления к ближайшему меньшему целому числу.

Такой способ минимизирует ошибку округления, что сказывается на величине максимальной ошибки кодирования. Для такого способа кодирования значения опорных высот вычисляются следующим образом

$$h_j^c = h'_{\min} + \Delta h' \cdot f_i(j), \quad (3)$$

где i – номер полинома для интерполяции; j – номер опорной высоты; $f_i(j)$ – величина коэффициента i -го полинома для j -й высоты.

При использовании для кодирования одного полинома с коэффициентами $f_i(0)=0,125$, $f_i(1)=0,375$, $f_i(2)=0,625$, $f_i(3)=0,875$ выражение (3) эквивалентно выражению (1). При кодировании блока согласно выражению (3) сначала производится выбор наилучшего полинома – дающего наименьшую ошибку кодирования. Далее блок кодируется при помощи выбранного полинома и его номер записывается в соответствующее поле блока.

Рассмотрим три варианта ошибки кодирования блока e_k , используемой для выбора полинома, среднюю, среднеквадратическую и максимальную

$$e_1 = \frac{1}{S_b} \sum_{i=0}^{S_b-1} (h_i^o - h_i^d), \quad e_2 = \frac{1}{S_b} \sum_{i=0}^{S_b-1} (h_i^o - h_i^d)^2, \quad e_3 = \max_{i=0}^{S_b-1} (h_i^o - h_i^d), \quad (4)$$

где S_b – площадь блока в отсчетах.

Для исследования использована таблица из пяти полиномов, значения коэффициентов которых приведены в табл. 1.

Предложенная модификация алгоритма позволяет уменьшить среднюю ошибку примерно в 2,5 раза по сравнению с немодифицированным алгоритмом.

Таблица 1 – Пример полиномов для кодирования блоков

Номер полинома	Номер коэффициента			
	0	1	2	3
0	0,125	0,375	0,625	0,875
1	0,050	0,500	0,750	0,890
2	0,110	0,025	0,050	0,950
3	0,050	0,075	0,850	0,890
4	0,110	0,015	0,250	0,950

В результате исследования получены значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Характер распределения и величина ошибки кодирования

Тип ошибки для выбора полинома	Ошибка, %		Ошибка, см		Площадь поля высот, ошибка кодирования на которой не превышает 5 см, %
	Средняя	Максимальная	Средняя	Максимальная	
Средняя	0,036	1,108	3,58	110,78	76,14
Средне-квадратичная	0,037	0,964	3,67	96,44	75,24
Максимальная	0,041	0,621	4,13	61,19	68,42

Из таблицы видно, что наиболее подходящим для выбора полинома является критерий максимальной ошибки, который при снижении на 10% площади максимально точно восстановленного поля высот (ошибка менее 5 см) в 2 раза снижает величину максимальной ошибки.

По результатам исследования распределения ошибок установлено, что подавляющее большинство ошибок (более 90%) сосредоточены в малых значениях. Количество ошибок близких к максимальному значению менее 0,1 %.

Список литературы: 1. Balmelli Laurent, Ayer Serge, and Vetterli Martin. Efficient algorithms for embedded rendering of terrain models. In Proceedings IEEE ICIP 98, pages 914–918, 1998. 2. Balog Andras. Real-time visualization of detailed terrain// Konzulens, Rajacsics Tamas, Budapest, 2003. 3. Roettger S., Heidrich W., Slussallek P., Seidel H.P.: Real-Time Generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields, Proc. 6th Int. Conf. in Central Europe on Computer Graphics and Visualization, pp. 315-322, 1998.

Поступила в редакцию 20.11.07

УДК 539.3

В.В. КЛИТНОЙ

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПЕЧАТНОГО УЗЛА БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

У статті описана схема активного гасіння вібрацій, заснована на принципі управління із зворотним зв'язком за швидкістю переміщень. Представлені геометрична і кінцево-елементна моделі бортового печатного вузла BU-65572i. Проведені чисельні дослідження можливості активного гасіння механічних вібрацій в досліджуваному бортовому печатному вузлі.

The chart of active suppression of vibrations, based on the management with a feed-back on speed moving, is described in the article. The geometrical and finite-element models of printed board BU-65572i are represented. Numerical researches of possibility of active suppression of mechanical vibrations are conducted in the explored printed board.

Одной из наиболее важных проблем, стоящих перед создателями электронного оборудования, является обеспечение безотказной работы систем в жестких условиях эксплуатации, при интенсивном воздействии на аппаратуру, которое представляет собой определенное сочетание климатических, радиационных и механических факторов.

Конструирование электронной аппаратуры зависит от условий ее эксплуатации: нормальные, наземные, бортовые (на борту самолетов, ракет, космических аппаратов). Наиболее подвержена комплексному воздействию факторов бортовая электронная аппаратура, которая должна быть работоспособной в условиях негерметизированного пространства, больших вибраций и ударных нагрузок при взлетах и посадках. Наиболее же напряженным элементом электронной аппаратуры является печатная плата, которая служит не только несущей конструкцией второго уровня иерархии, а часто и основной несущей конструкцией более высокой иерархической структуры.

Механические воздействия вызывают до половины всех отказов электронных средств. Под действием механических нагрузок в печатных платах могут происходить обратимые и необратимые изменения, вызванные недопустимо большими деформациями, связанными с превышением предела прочности материала и возникающие в результате недостаточной жесткости платы. Деформации могут вызывать отказы электрического и механического характеров. К первым относятся изменения параметров электрических цепей, ко вторым изменения геометрических размеров, перекосы, нарушения герметичности стыков. Также опасны поломки печатных узлов в результате усталости материала, так как они происходят при напряжениях значительно меньших допустимых в статических режимах нагружения. Явление усталости

в печатных узлах вызывает изломы выводов навесных элементов, разрывы печатных проводников и паяных швов [1].

Все выше перечисленное требует принятия мер по защите печатных узлов бортовой аппаратуры от вибраций и ударных перегрузок.

Хорошие результаты в этом направлении могут быть достигнуты при использовании активных методов подавления вибраций, идея которых состоит во вводе в систему дополнительного источника энергии. Активные средства виброзащиты представляют собой системы автоматического регулирования, включающие в себя чувствительные, контролирующие и исполнительные элементы. Эти системы либо компенсируют возмущающие вибрационные возмущения, либо удерживают защищаемый объект на заданном уровне вибраций. В качестве чувствительных элементов используются вибропреобразователи (сенсоры), которые воспринимают вибрацию объекта и передают полученный сигнал на контролирующие устройства. Последние выделяют сигналы рассогласования, поступающие на исполнительные элементы (актуаторы). Назначение оных состоит в формировании сил, компенсирующих вибрацию объекта. Высокая интегрируемость пьезоэлектрических элементов и их широкий частотный диапазон позволяют активно использовать их в качестве вибропреобразователей, или исполнительных элементов в активных управляемых структурах. Как чувствительные элементы, они производят сигнал, пропорциональный их деформации, и наоборот, как актуаторы создают силу являющуюся пропорциональной приложенному электрическому напряжению.

Основной целью данной работы является оценка эффективности использования пьезокерамических актуаторов и сенсоров в системах активного подавления возмущений и изучение возможности защиты бортовых печатных плат от механических вибраций и ударных нагрузок.

Для этих целей была построена трехмерная модель бортового печатного узла *BU-65572i* (рис. 1.), используемого как для наземных работ (тестирования бортовой системы *MIL-STD-1553*), так и для работы в условиях реального полета (сбора данных). Анализ результатов гашения вибраций проводился, с использованием конечно элементной модели системы. Активное подавление вибраций в плате осуществлялось на основе схемы метода обратной связи.

Вибрацией печатного узла называют его механические колебания с относительно малой частотой. Вибрация может быть периодической и случайной. Периодические вибрации могут быть гармоническими и полигармоническими, а случайные – стационарными и нестационарными, узкополосными и широкополосными. В рамках данной работы рассматриваются гармонические вибрации.

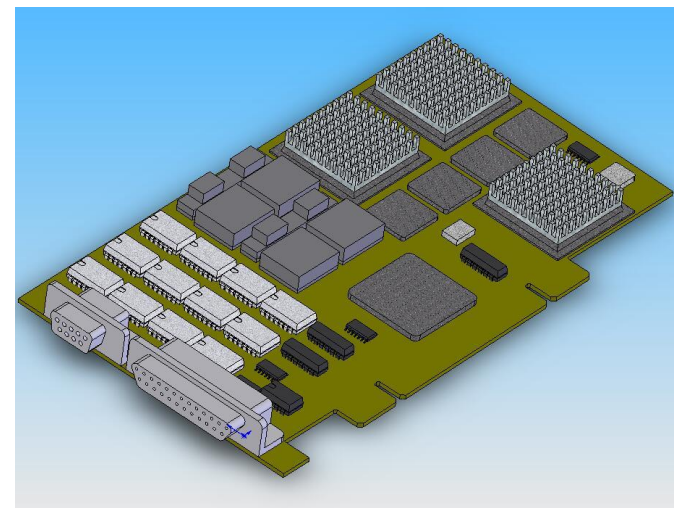


Рис. 1. Трехмерная модель бортового печатного узла *BU-65572i*

Если частота вибрации совпадает или близка к собственной частоте колебаний печатного узла, наступает резонанс, который приводит к отказу в работе. Но даже при отсутствии резонанса вибрационные нагрузки являются опасным механическим воздействием, так как они вызывают усталостные явления в элементах конструкций, выражающиеся в повреждениях при напряжениях, значительно меньших предельно допустимых для статических режимов эксплуатации.

В качестве ориентировочных параметров возмущающих факторов используются среднестатистические значения, накопленные путем обобщения опытных данных. Так и в наших исследованиях воспользуемся значением максимальной вибрационной перегрузки воздействующей на электронное оборудование, которая для самолетов всех типов равна $n_g = 15$ [1]. Виброперегрузкой называется отношение виброускорения к ускорению свободного падения:

$$n_g = \frac{a_g}{g}. \quad (1)$$

Ударные нагрузки возникают при эксплуатации (например, при взлете, посадке летательного аппарата, или под воздействием ударной волны). Интенсивность ударного воздействия зависит от формы, амплитуды и длительности ударного импульса.

При исследовании воздействия на печатный узел ударной нагрузки воспользуемся такой характеристикой, как ударная перегрузка:

$$n_{\text{уд}} = \frac{a_{\text{уд max}}}{g}. \quad (2)$$

Для самолетов всех типов $n_{\text{уд}} = 25$ [1]. Форма ударного импульса может быть различной, для упрощения вычислений, она была заменена более простой – полусинусоидальной. Длительность ударного импульса принималась равной $\tau = 0,01$ с.

Благодаря уникальным свойствам пьезокерамических материалов существует большое количество разработок схем активного подавления возмущений, работающих с гарантируемой стабильностью при использовании различных типов актуаторов и сенсоров. Для обеспечения безотказной работы электронного оборудования в жестких условиях эксплуатации, в частности, при интенсивных механических воздействиях, наиболее эффективными видятся глобальные методы контроля. Таковыми являются методы, основанные на принципе контроля по обратной связи.

Одной из перспективных и широко используемых схем является схема управления с обратной связью по скорости перемещений. Управляющая система для такой схемы состоит из компенсатора второго порядка, на который поступает сигнал от сенсора, соответствующий скорости перемещения точки системы. После чего сигнал с компенсатора усиливается и подается обратно в систему. Уравнения, описывающие такую схему контроля, можно представить в следующем виде [2, 3, 4]:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2 \cdot \zeta_n \cdot \omega_n \cdot \dot{x} + \omega_n^2 \cdot x &= f - G \cdot \omega_c^2 \cdot y \\ \ddot{y} + 2 \cdot \zeta_c \cdot \omega_c \cdot \dot{y} + \omega_c^2 \cdot y &= \omega_c^2 \cdot \dot{x} \end{aligned} \quad (3)$$

где x – координата, описывающая деформацию конструкции; ω_n – собственная частота колебаний в конструкции; ζ_n – коэффициент демпфирования конструкции; f – возбуждающая нагрузка; y – координата описывающая сигнал сенсора; ω_c – собственная частота колебаний компенсатора; ζ_c – коэффициент демпфирования компенсатора; G – коэффициент обратной связи.

Считаем, что при установившихся вибрациях состояние системы и компенсатора описывается по гармоническому закону:

$$x = x_0 \cdot e^{i\omega t} \quad y = y_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (4)$$

Подставив выражения (4) в уравнения (3) можно получить зависимость для амплитуды сигнала в контроллере:

$$y_0 = \left[\frac{i \cdot \omega \cdot \omega_c^2}{(\omega_c^2 - \omega^2) + 2 \cdot i \cdot \zeta_c \cdot \omega_c \cdot \omega} \right] \cdot x_0 \quad (5)$$

В окончательном виде сигнал с контроллера усиливается и подается на пьезоэлектрический актуатор, работающий в качестве гасителя вибраций:

$$u = u_0 \cdot e^{i\omega t} = \left[\frac{-G \cdot i \cdot \omega \cdot \omega_c^4}{(\omega_c^2 - \omega^2) + 2 \cdot i \cdot \zeta_c \cdot \omega_c \cdot \omega} \right] \cdot x_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (6)$$

Таким образом, в выражении (6) показана зависимость между амплитудой перемещений конструкции и амплитудой гасящего сигнала контроллера.

Дальнейшие вычисления проводились с учетом параметров контроллера рассматриваемого в работе [2]. Для которого значение собственной частоты приравнялось $\omega_c = 1,3 \cdot \omega_n$, и коэффициент демпфирования $\zeta_c = 0,3$.

Для проведения численных расчетов построенная геометрическая модель печатного узла была импортирована в расчетный комплекс ANSYS. После чего была получена конечно элементная модель рассматриваемой конструкции (10200 конечных элементов) (рис. 2).

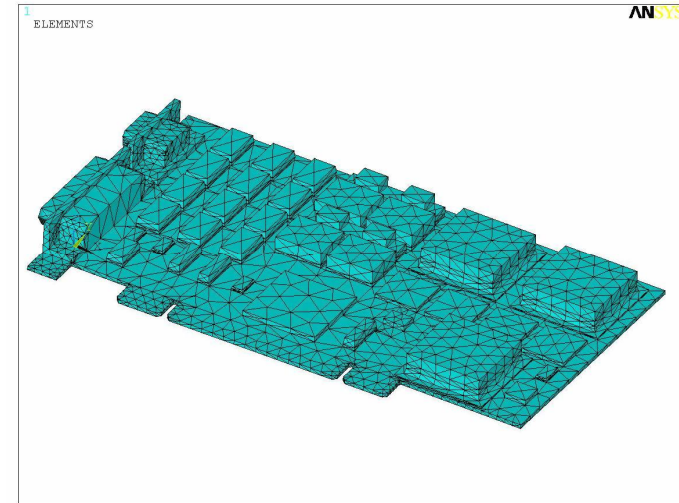


Рис. 2. Конечно элементная модель печатного узла

В качестве элемента разбиения несущей пластины и электронных компонентов был выбран объемный элемент *SOLID92*, который имеет десять узлов с тремя степенями свободы в каждом (перемещения вдоль осей x , y , z – UX , UY , UZ). Пьезоэлектрический элемент разбивался с помощью десяти узлового объемного конечного элемента *SOLID98*, имеющего шесть степеней свободы в каждом узле (UX , UY , UZ , $TEMP$, $VOLT$, MAG). В нашем варианте исследований в каждом узле были задействованы только перемещения и электрическое напряжение (UX , UY , UZ , $VOLT$).

На основании ряда экспериментальных данных диапазон частот колебаний, в котором работает бортовая электронная аппаратура самолетов всех типов, составляет от 3 до 500 Гц [1]. В этот диапазон попали первые две собственные частоты рассматриваемого печатного узла. Которые были численно определены и оказались равными: $p_1 = 153,4$ Гц, $p_2 = 344,6$ Гц.

На рис. 3, 4 приведены графики АЧХ колебаний печатного узла при различных значениях коэффициента обратной связи в диапазонах первой и второй собственных частот.

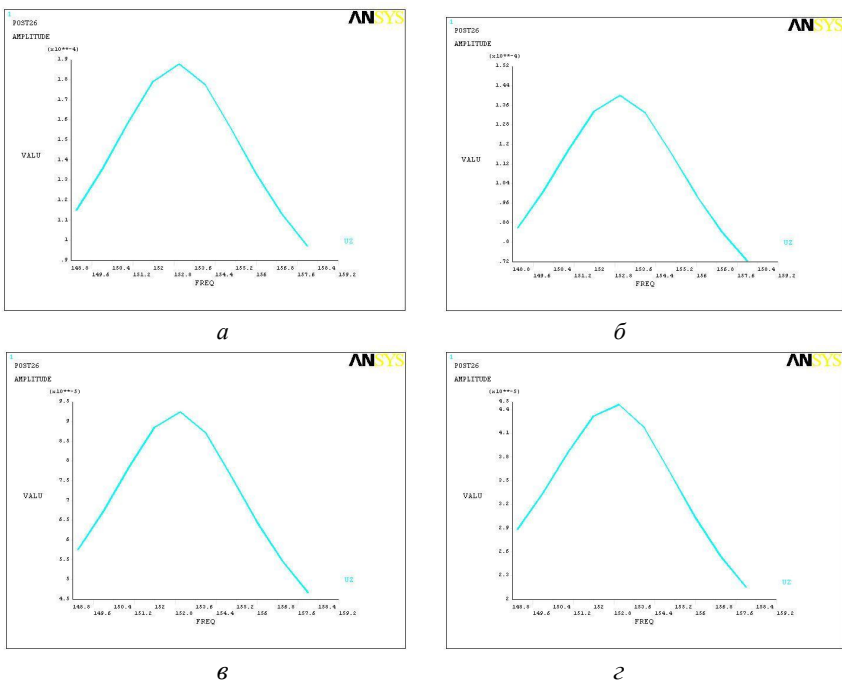


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики колебаний бортового печатного узла BU-65572i, около первой собственной частоты при различных коэффициентах обратной связи: а – $G = 0$; б – $G = 2$; в – $G = 4$; з – $G = 8$

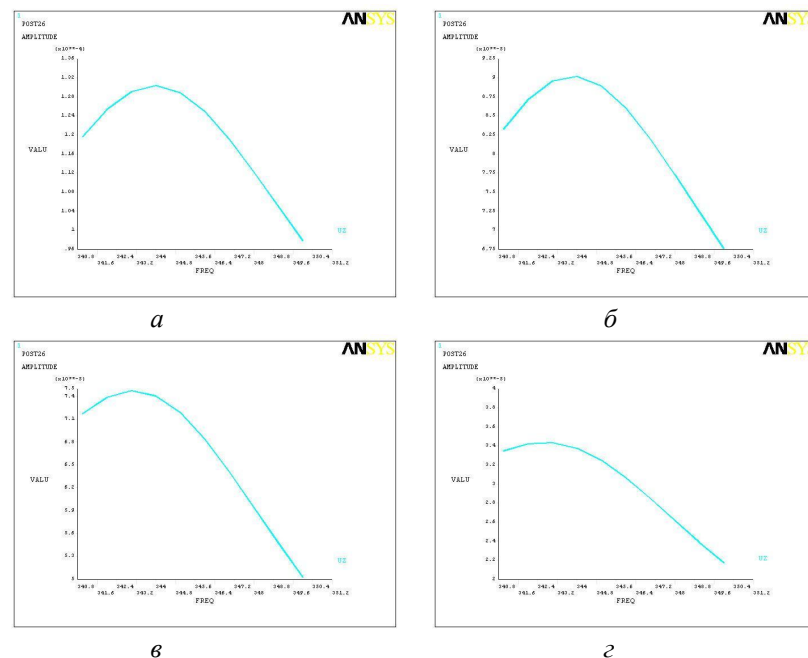


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики колебаний бортового печатного узла BU-65572i, около второй собственной частоты при различных коэффициентах обратной связи: а – $G = 0$; б – $G = 2$; в – $G = 4$; з – $G = 8$

На рис. 5, 6 представлены графики зависимости отклонений печатного узла от времени под действием ударной нагрузки при коэффициентах обратной связи $G = 0$ и $G = 8$ соответственно.

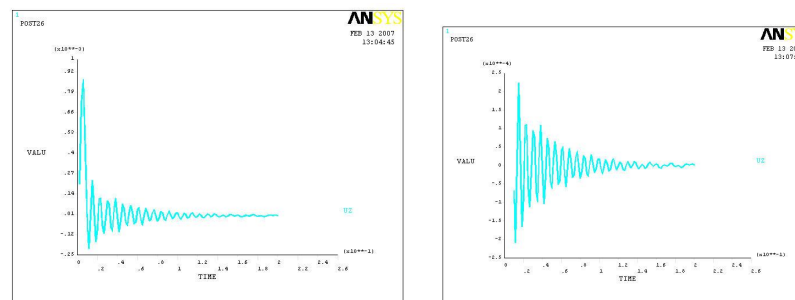


Рис. 5. Зависимость отклонений печатного узла BU-65572i от времени под действием ударной нагрузки, при коэффициенте обратной связи $G = 0$

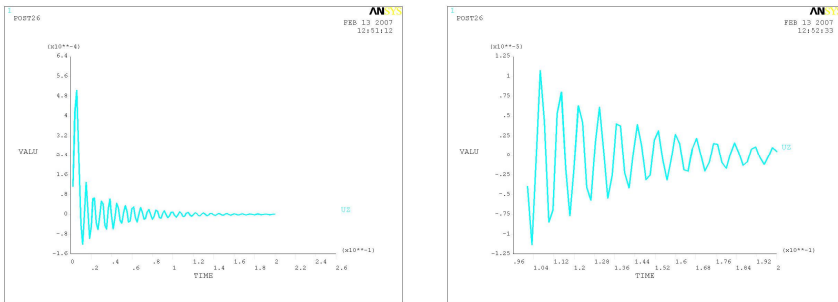


Рис. 6. Зависимость отклонений печатного узла BU-65572i от времени под действием ударной нагрузки, при коэффициенте обратной связи $G = 8$

Как видно из полученных результатов, при использовании схемы активного подавления вибраций с коэффициентом обратной связи равном $G = 8$, при гашении гармонических вибраций происходит уменьшение максимальных значений амплитуд около первой собственной частоты практически на 70 %, и около второй на 64%. При анализе результатов управления ударными возмущениями можно отметить значительное снижение (практически в три раза), времени затухания колебаний. Также снижение на порядок максимальных амплитуд отклонения печатного узла.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности активного подавления механических вибраций и ударных нагрузок в бортовых печатных узлах.

Список литературы: 1. Сухобрус А.А., Ткаченко В.А. Конструирование печатных узлов. Харьков ХАИ 1990. – 104. 2. Brian P. Bailargeon, Senthil S. Vel Active vibration suppression of sandwich beams using piezoelectric shear actuators: experiments and numerical simulations. Journal of intelligent material systems and structures. Vol. 16. 2005. – 517-530. 3. Newman, S.M. Active damping control of a flexible space structure using piezoelectric sensors and actuators. Master's Thesis. U.S. Naval Postgraduate School. 1992. 4. Preumont A. Active vibration control.

Поступила в редакцию 19.11.07

УДК 006.022

Л.В. КОНСТАНТИНОВА, канд. техн. наук, проф.,
Н.Ю. БОНДАРЕНКО (г. Харьков)

О РАЗВИТИИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В УКРАИНЕ

Розглянуто процес реформування законодавства України в сфері технічного регулювання і підтвердження відповідності. Проведено аналіз проблем та висвітлені шляхи їх розв'язання.

The process of reforming of legislation of Ukraine in the sphere of technical regulation and acknowledgement of conformity is discussed. Problems and solutions are analyzed.

В настоящее время вопрос реформирования украинской системы технического регулирования в сфере подтверждения соответствия приобрел особую актуальность. Это объясняется тем, что главной целью государственной политики в сфере технического регулирования является обеспечение высокого уровня защиты прав украинцев как потребителей в предоставлении возможности свободного выбора безопасных и качественных товаров, а также содействие свободному движению товаров на государственном и мировом рынках.

Согласно [1], «техническое регулирование - правовое регулирование отношений в сфере установления, применения и выполнения обязательных требований к продукции или связанным с ней процессам, системам и услугам, персоналу и органам, а также проверки их соблюдения путем оценки соответствия и/или рыночного надзора».

Предпосылкой для развития системы технического регулирования и потребительской политики является совершенствование законодательного и нормативного обеспечения, что становится основой для последующих действий.

Применение международных и европейских стандартов, технических регламентов, процедур оценки соответствия и рыночного надзора, которые будут способствовать обмену товарами и услугами с торговыми партнерами, повышению качества и конкурентоспособности на всех уровнях производства, торговли ради конечной цели – удовлетворения требований потребителей, надежной защиты их жизни, здоровья, создания безопасных условий труда и сохранения окружающей природной среды – это необходимое условие дальнейшего экономического развития Украины.

Система технического регулирования, полученная нашей страной после распада Союза, была основана на принципах плановой экономики, где государство несло ответственность за безопасность продукции и услуг, а стандарт являлся законом. Нормативными документами жестко регламентировались

даже мелкие требования к продукции, и все это подвергалось тотальному контролю. Такой подход не отвечал международным нормам и правилам, принципам Всемирной Торговой Организации (ВТО), а именно Соглашению о технических барьерах в торговле, не оказывал содействия внедрению новых технологий и инноваций и являлся объектом постоянной критики со стороны торговых партнеров Украины.

Реформирование национальной системы технического регулирования началось с принятия Законов Украины “О подтверждении соответствия” [2] и “О стандартизации” [3], которые отвечают принципам технического регулирования, действующим в странах Европейского Союза (ЕС). Главные принципы, реализованные в новом техническом законодательстве Украины:

- внедрение добровольности применения стандартов;
- приоритетность прямого внедрения международных и европейских стандартов;
- гармонизация национальных нормативно-правовых актов по подтверждению соответствия с международными и европейскими;
- применение способов подтверждения соответствия в зависимости от потенциального риска, что соответствует международной практике, в частности декларирование соответствия производителем;
- обеспечение идентичности процедур подтверждения соответствия отечественного и иностранного происхождения;
- создание независимого органа по аккредитации, применение гармонизованных с международными и европейскими стандартов в сфере аккредитации.

В частности, законом Украины “О стандартизации” (статья 12) закрепляется основной принцип международной стандартизации – добровольность применения стандартов. Но добровольными стандарты станут лишь после того, как обязательные требования безопасности для жизни и здоровья людей, требования относительно охраны окружающей среды будут перенесены в технические регламенты, являющиеся аналогами Директив ЕС. А стандарты, базируясь на международных нормах, должны: служить основой выполнения технических регламентов и процедур оценки соответствия продукции требованиям технических регламентов; содержать опережающие требования к качеству и безопасности продукции; внедрять результаты инноваций и новейших технологий в сфере качества и безопасности продукции и т.п.

Тем не менее реформирование законодательства Украины в области технического регулирования это лишь первый и, возможно, самый простой шаг на пути реформирования системы технического регулирования Украины. Наиболее сложным процессом, который требует привлечения значительных финансовых ресурсов, является внедрение принятых технических регламентов по подтверждению соответствия, гармонизация действующих национальных стандартов с международными.

Дальнейшее развитие сферы технического регулирования нашло отражение в Законе Украины “О стандартах, технических регламентах и процедурах оценки соответствия”, принятом в декабре 2005 года [4].

Принятый Закон определяет правовые и организационные основы разработки и применения национальных стандартов, технических регламентов и процедур оценки соответствия, а также основополагающие принципы государственной политики в сфере стандартизации, технического регулирования и оценки соответствия. Закон гласит также, что стандарты применяются на добровольной основе за исключением случаев, когда их применения требуют технические регламенты.

В соответствии с Законом разработана Концепция развития сферы технического регулирования и потребительской политики в Украине и стратегический план ее реализации на 2006-2010 годы (далее – Концепция). Концепция анализирует современное состояние сферы технического регулирования и потребительской политики в Украине, определяет цель, основные задачи и принципы государственной политики, механизмы реализации Концепции и пути решения существующих проблем. В Концепции приводится прогнозируемая оценка ожидаемых результатов, предусматривается мониторинг выполнения.

В Концепции поставлена задача подготовки и переподготовки кадров в сфере стандартизации, метрологии, качества, защиты прав потребителей. Концепция предусматривает активизацию международного сотрудничества, участие и представительство в международных и европейских организациях в сфере стандартизации, метрологии, оценки соответствия и защиты прав потребителей.

На сегодняшний день действует также ряд основополагающих международно-правовых документов, которые касаются сферы технического регулирования, в частности: Соглашение о партнерстве и сотрудничестве между Украиной и Европейскими Содружествами и их государствами-членами, План действий „Украина - Европейский Союз”, „Европейская политика соседства”, составляющие правовую основу проведения работ по стандартизации и оценке соответствия.

Указанные международные и национальные правовые документы свидетельствуют о том, что в Украине создана национальная система технического регулирования.

Однако положения принятых законов не реализуются на практике ввиду отсутствия необходимого финансирования. На сегодня остаются нерешенной проблемой следующие общие требования ВТО и ЕС по техническому регулированию в Украине:

- 1) необходимо пересмотреть законодательную базу, гармонизировать ее с европейской: исключить государственный надзор; использовать европейские модули оценки соответствия продукции требованиям Директив ЕС; ус-

тановить законодательные требования к производителю и поставщику импортируемой в страну продукции.

2) привести в соответствие с европейской состояние нормативной базы: внедрить разработанные технические регламенты - аналоги Директив ЕС; обеспечить добровольность применения стандартов, гармонизировать их с международными.

Требуется бюджетное финансирование для пересмотра нескольких десятков тысяч стандартов. Необходимо принять Закон о рыночном надзоре.

В связи с этим основное внимание при реформировании системы технического регулирования сконцентрировано на усовершенствовании действующего национального законодательства, внедрении европейских директив Нового и Глобального подходов, гармонизации стандартов, активизации участия в международных и европейских организациях по стандартизации и оценке соответствия, заключении двусторонних соглашений о взаимном признании результатов работ по оценке соответствия.

Приведение созданной в Украине системы технического регулирования в соответствие с общепризнанными международными нормами и правилами даст возможность отечественным экспортерам получить доступ на рынок 27 стран – членов ЕС, объединяющий более 460 миллионов потребителей, обеспечит реализацию государственной политики европейской интеграции.

Список литературы: 1. Закон України “ Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності” від 01.12.2005 р. № 3164-IV. 2. Закон України «Про підтвердження відповідності» від 17.05.2001, № 2406 – III. 3. Закон України "Про стандартизацію" від 17.05.2001, №2408 – III. 4. Сертификация и подтверждение соответствия в Украине: Учеб. Пособие/ С.И. Кондрашов, Л.В. Константинова и др. – Харьков: НТУ“ХПИ”, 2006.

Поступила в редколлегию 19.10.2007

УДК 65.018

Л.В. КОНСТАНТИНОВА, доц., к.т.н., **М.Ф. РОГОВ**,
О.В. КОНОВАЛОВА (г. Харьков)

МОНИТОРИНГ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

Проведені дослідження задоволеності споживачів освітніх послуг згідно з вимогами міжнародного стандарту IWA2:2003. Надані основні результати аналізу споживацького моніторингу.

The research of satisfaction of the educational services quality according to the demands of the international standard IWA2:2003 are included. The main results of consumer monitoring are illustrated.

В основе обеспечения и повышения качества жизни населения любого государства лежит образование. Таким образом, социальный институт образования становится одним из главных условий устойчивого развития страны.

Повышение качества образовательных услуг – это обеспечение существования, процветания и развития ВУЗа

Совершенно ясно, что движущим фактором развития является конкуренция, а залогом успеха выступает эффективная система управления. Рост требований со стороны самих потребителей к качеству образовательных услуг, вхождение Украины в европейское образовательное пространство привели к тому, что ориентация на потребителя становится ключевым принципом в организации образовательного процесса. Именно в расчете на потребителя организация должна определять цель своей деятельности и ставить задачи для ее достижения. Реализация данного принципа предполагает создание системы взаимодействия вуза со своими потребителями, системы потребительского мониторинга удовлетворенности образовательными услугами. Под системой потребительского мониторинга подразумевается постоянное отслеживание состояния удовлетворенности потребителя образовательных услуг, выявление тенденций их изменений для принятия управленческих решений [1].

Целями любой организации, в том числе и образовательного учреждения, являются:

- определение и удовлетворение потребностей и ожиданий потребителей и других заинтересованных сторон, обеспечение преимуществ в конкурентной борьбе и осуществление этого результативно и эффективно;

- достижение, поддержание и повышение эффективности и возможностей организации в целом.

Лидирующие позиции в конкурентной борьбе занимают те учреждения и организации, стратегии которых ориентированы на качество и организацию системы управления качеством.

В соответствии с требованиями международных стандартов ISO серии 9000, для обеспечения надлежащего функционирования системы управления качеством организации, ее эффективной работы и совершенствования, необходимо проводить измерения, анализ и оценивания. Для объективного отображения результатов деятельности учреждения проводят не только качественное, но и количественное оценивание ее результативности с учетом показателя эффективности.

Согласно международному стандарту IWA2:2003, являющемуся руководством по применению ISO 9001:2000 в сфере образования, учебное заведение должно определить и использовать методы мониторинга результатов своей деятельности, чтобы поддерживать и развивать установленные образовательные процессы.

В настоящее время наиболее эффективный способ повышения удовлетворенности заинтересованных сторон – это применение «процессного подхода» при разработке и внедрении системы управления качеством. Такой подход акцентирует внимание на: понимании и выполнении требований, необходимости рассмотрения процессов с точки зрения добавленной ценности, достижении результатов выполнения процессов и их результативности, постоянном улучшении процессов, основанном на объективном измерении.

Достаточно распространенным инструментом управления качеством является самооценка. Такой метод позволяет определить степень достижения поставленных целей, выявить возможные отклонения и причины их вызывающие, применить системный подход к совершенствованию деятельности организации, получить оценки, основанные на фактах и на личностном восприятии, выявить и проанализировать процессы, которые можно улучшить, сравнить свои результаты самооценки с лучшими результатами, достигнутыми как в данной организации, так и в других.

Авторами были проведены исследования, направленные на выявление соотношения образовательных целей и результатов деятельности в вузе.

Студентам, как первичным потребителям образовательных услуг, было предложено провести оценку по таким критериям, как процесс поступления, процесс обучения и процесс получения результатов образования. Показатели для оценивания ключевых процессов представлены в виде диаграммы Исикавы на рис. 1.

Респондентами были студенты 4-5 курсов факультета «Автоматика и приборостроение», перед которыми было поставлено две задачи:

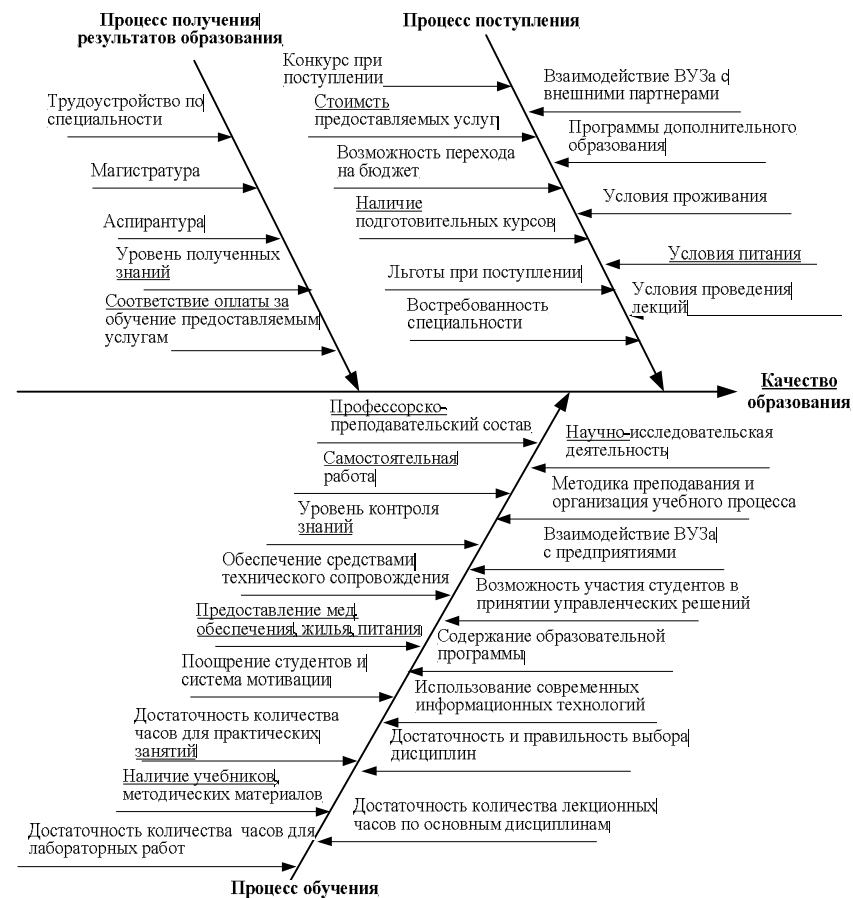


Рис. 1. Показатели качества образовательных услуг

- ранжировать с использованием квалиметрического метода попарных сопоставлений показатели по каждому из трех указанных критериев;
- произвести оценку данных показателей по 10-балльной системе.

Результаты обработки показали, что наиболее важным фактором в «процессе обучения» студенты считают методику преподавания и организацию учебного процесса, а наименее важным - самостоятельную работу, что свидетельствует о недостаточном уровне ее организации. Важнейшим фактором в «процессе поступления» является востребованность специальности, наименее важны при этом условия питания и конкурс при поступлении. В процессе получения результатов образования важнейшим является трудоустройство по

специальности и наименее важным – аспирантура.

Наибольшую оценку получили показатели критерия «процесс обучения»: «профессорско-преподавательский состав» (8,3 балла), «методика преподавания и организация процесса обучения» (7,7 балла) и «достаточность количества лекционных часов по основным дисциплинам» (7,5 балла). Наименьшую оценку получила организация самостоятельной работы в вузе (6,2 балла). Причем все составляющие критерия «процесс обучения» имеют приблизительно одинаковую достаточно высокую оценку, что говорит об эффективной деятельности вуза по всем аспектам процесса обучения.

Среди составляющих критерия «процесс поступления» как сильные позиции отмечены «наличие подготовительных курсов» (8,2 балла), «конкурс при поступлении» (7,4 балла) и «востребованность специальности» (7,3 балла). Самую низкую оценку по всем показателям получили составляющие «условия питания» (5,4 балла) и «условия проживания» (5,5 балла).

Наибольшую оценку по критерию «процесс получения результатов образования» имеет составляющая «уровень полученных знаний» (7,3 балла). Низкую оценку получила «аспирантура» (5,8 балла).

Студентами дополнительно были отмечены основные показатели дальнейшего развития по каждому из критериев: требуют обновления учебные программы и материальная база; необходимо ввести новые предметы взамен устаревших; оборудовать больше кабинетов компьютерами; предоставить студентам доступ в Интернет и локальные сети; обеспечить дисциплины учебными пособиями и учебниками; варьировать стоимость образования в зависимости от успеваемости студента; оказывать помощь выпускникам в трудоустройстве по специальности; увеличить количество договоров с ведущими компаниями в данной отрасли; улучшить условия проживания в общежитии; расширить сеть буфетов, столовых в учебных корпусах.

По результатам исследований определяются приоритетные направления развития факультета и вуза в целом. Данные потребительского мониторинга позволяют не только диагностировать образовательный процесс, но и эффективно управлять им, что очень важно на первоначальном этапе формирования системы управления качеством.

Список литературы: 1. Константинова Л.В., Рогов М.Ф. Особенности построения модели системы управления качеством в вузах // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2006. - №31 с.71-76. 2. IWA2:2003 Quality Management System – Guidelines for the application of ISO 9001:2000 in education. – Система менеджмента качества. Руководство по применению ISO 9001:2000 в сфере образования.

Поступила в редколлегию 10.10.2007

УДК 621.317

Т.Г. МАЩЕНКО, канд. техн. наук, проф.,
Н.Б. ВАСЬКИВ, студентка (г. Харьков)

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ НАЛИЧИЯ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ

Останнім часом проблема якості води стала досить актуальною не лише для України, а й для всього світу. Одним з найважливіших показників якості води є наявність в ній металів у рамках існуючих норм. Добре відомим методом виявлення концентрації металів є імпульсна полярографія, що стала основою для розробки пристрою контролю наявності металів. У статті проведена оцінка основних характеристик пристрою: чутливості та швидкочинності.

Recently the problem of quality of water became enough actual not only for Ukraine, but also for all world. One of the main parameters of quality of water is presence at it of metals within the framework of existing norms. Widely known method of definition of metals is pulse polarography which became a basis for development of the device of the control of presence of metals. In the publication the estimation is carried out of the basic characteristics of the device: sensitivity and speed.

Постановка проблемы. В современном мире вода – один из важнейших факторов, определяющих размещение производственных сил, а очень часто и средств производства. Вся живая природа не может обойтись без воды, которая присутствует во всех процессах обмена веществ. Итак, важность воды и гидросферы – водной оболочки Земли, невозможно переоценить. Именно сейчас, когда темпы роста водопотребления огромны, когда некоторые страны уже испытывают дефицит пресной воды, особенно остро стоит вопрос снижения загрязнения пресной воды.

В последние годы поверхностные водные объекты во всевозрастающей мере подвергаются техногенному воздействию, в результате которого происходит загрязнение воды тяжелыми металлами, детергентами, пестицидами, биогенными элементами, фенолами и другими загрязняющими веществами.

Устройства, способного удалить из воды все вредные примеси сразу, не существует, поэтому любой проект водоподготовки и водоочистки должен предусматривать постоянный контроль состава воды.

Качество контроля в той или иной форме характеризуется погрешностью, присущей любому измерению, или доверительностью полученного результата. Основным критерием оценки качества является правильное отображение реального состояния объекта контроля. Достоверность результатов контроля является обобщенным критерием, позволяющим оценить качество процесса контроля. Это вызывает потребность определения чувствительности и быстродействия устройства, предназначенного для контроля качества воды.

Анализ литературы. Первые публикации по определению малых концентраций металлов и органических веществ при анализе объектов окру-

жающей среды, и в частности, пресной воды появились в 1980-1985 [1,2]. В статье [3] приведены негативные последствия влияния металлов на организм человека. В работах [4,5,6] рассмотрено применение полярографического метода контроля концентрации металлов в воде, зависимость длительности контроля и степени чувствительности от электрохимических характеристик металлов.

Цель статьи – оценка чувствительности и быстродействия устройства контроля наличия металлов в воде.

Опыт работы лаборатории по анализу качества воды показал, что к наиболее распространенным загрязнителям воды (содержание компонентов превышает нормативы) можно отнести железо, марганец, сульфиды, фториды, соли кальция и магния, органические соединения, др.

Какие же отрицательные свойства воде могут придавать те или иные компоненты в случае их содержания выше нормативов?

Повышенное содержание железа в воде (более 0,3 мг/л) придает воде неприятную красно-коричневую окраску, ухудшает её вкус, вызывает развитие железобактерий. При употреблении для питья воды с содержанием железа выше норматива человек рискует приобрести различные заболевания печени, аллергические реакции, др. Повышенное содержание марганца в воде оказывает мутагенное действие на человека. Иногда в питьевой воде встречается много солей соляной и серной кислот (хлориды и сульфаты). Употребление такой воды приводит к нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта. Содержание в воде катионов кальция и магния сообщает воде так называемую жесткость. Оптимальный физиологический уровень жесткости составляет 3,0-3,5 мг-экв/л. Постоянное употребление внутрь воды с повышенной жесткостью приводит к накоплению солей в организме и, в конечном итоге, к заболеваниям суставов (артриты, полиартриты), к образованию камней в почках, желчном и мочевом пузырях. Повышенные концентрации свинца могут встречаться в подземных водах, свинец откладывается в костях, приводит к изменениям в центральной нервной системе. Стронций широко распространен в природных водах, при этом его концентрации колеблются в широких пределах (от 0,1 до 45 мг/л). Длительное его поступление в больших количествах в организм приводит к функциональным изменениям печени. Вместе с тем продолжительное употребление питьевой воды, содержащей стронций на уровне 7 мг/л, не вызывает функциональных и морфологических изменений в тканях, органах и в целостном организме человека. Употребление воды, содержащей 0,2-1 мг/л мышьяка, вызывает расстройство центральной, и особенно периферической, нервной системы с последующим развитием полиневритов. Безвредной признана концентрация мышьяка 0,05 мг/л. Кадмий, накапливаясь в почках, вызывает гипертонию, ослабляет иммунитет организма, оказывает негативное воздействие на умственные способности

человека, т.к. вытесняет необходимый для нормальной работы мозга цинк. Алюминий, накапливаясь в организме, может стать причиной старческого слабоумия, повышенной возбудимости, вызвать нарушения моторных реакций у детей, анемию, головные боли, заболевание почек, печени, колиты, неврологические изменения, связанные с болезнью Паркинсона. Органические вещества, обуславливающие повышенное значение перманганатной окисляемости, отрицательно влияют на печень, почки, репродуктивную функцию, а также на центральную нервную и иммунную системы человека.

Токсичность вышеперечисленных компонентов не настолько велика, чтобы вызвать острое отравление, но при длительном употреблении воды, содержащей упомянутые вещества в концентрациях выше нормативных, может развиваться хроническая интоксикация, приводящая в итоге к той или иной патологии. Следует учитывать также, что токсическое воздействие веществ может проявляться не только при оральном (через рот) поступлении их с водой, но и при всасывании через кожу в процессе гигиенических (душ, ванна) или оздоровительных (плавательные бассейны) процедур.

В настоящее время использование воды без очистки или водоподготовки встречается достаточно редко. В тех случаях, когда водный источник рассматривается в качестве потенциального источника водопользования, первым шагом к проектированию системы водопользования является анализ состава воды. Современная водоподготовка и водоочистка осуществляется по технологиям, включающим целый ряд взаимосвязанных и взаимозависимых стадий. Естественно, что нарушение или сбой на одной из стадий процесса сразу же ведет к осложнениям на последующих стадиях. Вот почему аналитическому контролю качества воды должно уделяться такое повышенное внимание. Причем такой контроль должен проводиться качественно и быстро.

Для получения оперативной информации о состоянии водного источника и определения наличия и концентрации металлов в воде наиболее приемлемым является полярографический метод, который позволяет производить не только качественный, но и количественный анализ раствора без дополнительных химических реагентов. С помощью полярографического анализа на обычных полярографах можно определять малые количества примеси, порядка 10^{-3} и даже, в некоторых случаях, 10^{-4} мг/л.

Сущность полярографических исследований заключается в получении и анализе полярограмм, отражающих зависимость силы тока от напряжения в различных электролитических ячейках. Качественный анализ проводится по величине потенциала поляризации, а количественный - по значению предельных токов электролиза. Поскольку каждому химическому элементу отвечает определенный потенциал восстановления или окисления, являющийся константой, характерный только для этого элемента, анализ можно проводить в растворе, содержащем несколько веществ (5-7) без их предварительного разделения. Продолжительность анализа – несколько минут.

Благодаря этому в основу устройства экспресс-анализа качества воды взят именно метод импульсной полярографии с применением твердых электродов. Работу всего устройства обеспечивает микроконтроллер. Устройство имеет небольшие габариты, автономное питание, результаты измерений выдают на экран

Рассмотрим основные характеристики устройства. Время контроля τ_k зависит от времени восстановления исследуемых ионов электролита ($\tau_{\text{диф}}$). Время диффузии меди – 0,5 с; свинца – 0,7 с; олова – 0,4 с. При этом необходимо учитывать температуру, давление. Этим временем ($\tau_k = 1,1\tau_{\text{диф}}$) определяются частотные характеристики отдельных элементов устройства и устройства контроля концентрации в целом.

Чувствительность устройства дает представление о влиянии величины и линейности его реакции на изменение входного воздействия – определяемого компонента состава. Она определяется зоной нечувствительности относительно потенциала полуволн ($E_{1/2}$) отдельных компонентов и составляет для меди – 0,25 В, для серебра – 0,05 В, свинца – 0,57 В. Разрешающая способность устройства контроля определяется пределом обнаружения данного вещества в растворе, его количеством, исходной чистотой компонентов, температурой и другими факторами.

В работе устройства контроля можно выделить основные этапы: фиксирование входного сигнала с последующим усилением до амплитуды, позволяющей определить параметры преобразованного сигнала; получение информации о концентрации электролита определением амплитуды броскового тока.

В соответствии с основными этапами, результирующая погрешность устройства представляется составляющими: погрешностью, определяемой первичным преобразователем, погрешностью, определяемой выбором пределов измерения и последующим определением амплитуды броскового тока.

При контроле качества воды большое значение имеет выбор первичного преобразователя, под которым понимается электролитическая ячейка с электродами. Погрешность σ_1 , вносимая первичным преобразователем, находится под влиянием многих независимых и разнообразных причин. В этом случае можно считать погрешность случайной величиной, имеющей нормальный закон распределения вероятности. Результирующая погрешность:

$$Z = f(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, x),$$

где x – значение измеряемого параметра; параметры, учитывающие влияние: a_1 – напряжение поляризации, $U_{\text{пол}}$; a_2 – напряжение деполяризации, $U_{\text{деп}}$; a_3 – скорости изменения поляризующего напряжения dE/dt ; a_4 – температуры окружающей среды; a_5 – емкостной составляющей; a_6 – поверхности электродов.

При номинальных значениях параметров a_i из приведенного уравнения можно определить номинальное значение результата измерения.

Предполагается, что отклонения параметров от номинальных значений малы, то есть $\Delta z < z$, $\Delta a_i < a_i$, а изменения параметров в пределах измерений линейны, то есть можно пренебречь числами второго порядка малости по сравнению с числами второго порядка.

Между значениями напряжений поляризации и деполяризации существует прямая связь. Подбирая значения этих напряжений, добиваются определения максимальной амплитуды броскового тока. Экспериментально установлено, что воспроизводимые результаты при определении меди в электролите гальванического меднения получены при $U_{\text{пол}} = 0,3$ В и $U_{\text{деп}} = 0,5$ В.

Измеряемое на выходе напряжение $U_{\text{вых}}$ представляет сумму напряжений, обусловленных нестационарной диффузией и зарядом конденсаторного слоя на границе электрод-раствор. Величина емкостной составляющей определяется составом полярографического фона. Методика измерения качества воды (например, меди) устройством контроля качества предусматривает стабилизацию и компенсацию емкостного тока до значения, близкого к нулю.

Определение концентрации отдельных металлов зависит от изменения величины RT/nF . Температурная погрешность измерения:

$$E_p = E_{1/2} + 1,11RT/nF,$$

где $E_{1/2} = 0,3$ В (для меди, например).

Приняв, что число электронов, участвующих в реакции равно единице ($n = 1$), величина R/F при температуре 20°C ($T = 298$ К) составляет 0,212 В. Таким образом, второе слагаемое будет равно 63,7 мВ. Изменение температуры на 5 градусов вызовет изменение указанного слагаемого на ± 2 мВ или на $\pm 1,8\%$ относительно 1°C . С целью уменьшения температурной погрешности проводят измерение концентрации в двух ячейках, в одной из которых помещают фоновый раствор, а в другую – исследуемый.

Суммарная относительная погрешность, вносимая первичным преобразователем при контроле металлов в водных растворах, составляет $\pm 1,5\%$. Значение относительной погрешности преобразователя составляет не более 0,5%. Общая погрешность экспресс-контроля качества воды цифровым устройством составляет 2,0%. Время контроля – до 2 минут. При определении качества воды химическими методами погрешность определения состава не менее 5–7%.

Выводы. Наиболее информативными параметрами при оценке качества пресной воды является концентрация тяжелых металлов в ней. Наличие таких металлов как алюминий, медь, желе- железо, кадмий, свинец и др. могут

привести к серьезным заболеваниям, как взрослых, так и детей. Анализ воды является единственным инструментом для контроля ее состояний и свойств. При использовании для анализа качества воды устройства, основанного на импульсной полярографии, погрешность измерений является незначительной, а время проведения анализа – небольшим.

Перспективы дальнейшего развития. В дальнейшем предложена практическая реализация устройства контроля концентрации металлов, также рекомендуется серийный выпуск для применения в системах водоподготовки и водоочистки.

Список литературы: 1. Антонович В.П. Некоторые вопросы химико-аналитического контроля качества вод // Химия и технология воды. 1998, т.20, №5. С.461-465. 2. Глушко А.А. Инженерная гидроэкология (открытый университет) // Инженерная экология. – М.:1995.–№2. – с.8 -30. 3. Присяжнюк В.А. // С.О.К. — 2004. — № 10. — С.14–29. 4. Воронов В.Г., Мащенко Т.Г. Автоматизация производства печатных плат. – К.: Техника, 1988 – 128с. 5. Делимарский Ю.К., Скобец Е.М. Полярография на твердых электродах. – К.:Техника, 1973. – 219с. 6. Гейровский Я.Н. Техника полярографического исследования. Пер. с чеш., нем., англ. под ред. Янковской Л.Я. – М.: 1961. – 552 с.

Поступила в редколлегию 24.04.07

УДК 617+615.47,62-507

Т.Г. МАЩЕНКО, канд. техн. наук, проф.,
Т.А. ШМАТОК, студентка, НТУ «ХПИ».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ И ЧАСТОТНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ НАРУШЕНИЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

В статті наведено аргументи необхідності впровадження нових методів аналізу добової електрокардіограми для більш детальної діагностики порушень синусового ритму. Представлена загальна схема аналізу вегетативної регуляції серцевої діяльності за допомогою математичних та статистичних інструментів.

The arguments of necessity to adopt new methods of analyzing the diurnal electric cardiogram were drawn in the article for more accurate diagnostics in disturbing of the sinus rhythm. There general scheme of analysis of the vegetative regulation of the functioning of the heart is presented with the help of mathematical and statistical instruments.

Постановка проблемы. Заболевания сердечно-сосудистой системы во многих странах вышли на одно из первых мест и являются причиной 50% всех смертных случаев. Современные технические возможности обеспечили создание адекватного клиническим потребностям метода, который все шире находит применение в практической медицине, в том числе и при лечении детей. Однако, учитывая большую вариабельность сердечного ритма у здоровых детей, а также обнаружение у них же при суточном мониторинговании частых нарушений, которые традиционно относились к признакам патологии, ставят на повестку дня проблему создания новых математических и статистических методов обработки полученных данных для точной постановки диагноза.

Анализ литературы. В работе [1] подробно изложена методика электрокардиографии. Отражен современный подход к проведению пробы с динамической нагрузкой, холтеровскому мониторингованию и анализу вариабельности ритма сердца. В [2] приведены технические и методические аспекты исследования с помощью суточной ЭКГ, анализ нарушений ритма сердца у здоровых детей при холтеровском мониторинговании. В работе [3] приведены описание и методика анализа основных инвазивных и неинвазивных методов исследования сердечно-сосудистой системы. В [4] описана разработка быстродействующего алгоритма обработки электрокардиосигнала. Работа [5] посвящена анатомо-физиологическим особенностям сердечно-сосудистой системы у детей, приведены основные особенности ЭКГ у детей.

Цель статьи заключается в проведении анализа массива комплексов RR частотным и временным методом с помощью построения графиков, отра-

жающих признаки нарушения variability сердечного ритма.

Достаточная распространенность вариантов нарушений сердечного ритма и проводимости диктует необходимость своевременной их диагностики на уровне самого первичного звена здравоохранения – участкового врача. В настоящее время существует много новых методов в диагностике аритмий: холтеровское мониторирование, электрокардиография, магнитокардиография и др. Но электрокардиография в практической деятельности врача до сих пор остается главным базисным методом диагностики расстройств ритмической деятельности сердца. Поэтому и в наше время имеется потребность в разработке критериев диагностики и дифференциации аритмий именно на основе этого доступного метода исследования.

В работе [1] предложена диагностическая методика, обеспечивающая врача необходимой информацией. Особенно остро этот вопрос стоит при расшифровке ЭКГ детскими кардиоревматологами. По данным [1] при проведении анализа 670 заключений ЭКГ полностью правильное решение диагностической задачи патологической ЭКГ отмечено только в 26 случаях (3,9%).

Холтеровское мониторирование представляет большие возможности в оценке variability синусового ритма. Очень важно при анализе суточной ЭКГ исключить артефакты, так как они могут быть приняты анализатором за какие-то нарушения [4].

Принципиальных различий в распознавании нарушений ритма на обычной ЭКГ нет. В то же время холтеровское мониторирование в отдельных случаях позволяет уточнить характер нарушения ритма и проводимости и увеличить надежность диагностики выявленных нарушений. Значительным преимуществом суточной динамической ЭКГ является определение связи нарушений ритма с конкретным временем суток и возможность установить зависимость различных вариантов аритмий и нарушений проводимости от состояния тонуса вегетативной нервной системы.

Холтеровское мониторирование (ХМ) позволяет проводить распознавание эпизодов учащенного сердцебиения. Установить определенную нижнюю границу частоты сердечных сокращений для детей особенно трудно, учитывая существенное физиологическое изменение функций синусового узла с возрастом ребенка. Однако замедление ритма до 80 ударов в одну минуту у новорожденных детей (норма 90-100 ударов), до 70- у детей в возрасте 3-5 лет и до 55-60- у детей в возрасте 10-12 лет в период спокойного бодрствования указывает на угнетение синусового узла [5].

Вариability синусового ритма в определенных пределах является необходимой закономерностью физиологической функции синусового узла. Холтеровское мониторирование дает большую уверенность в установлении синусовой аритмии, так как имеется большой массив сердечных циклов.

Зафиксированный прибором массив комплексов RR статистически мо-

жет быть проанализирован в двух направлениях: с помощью временного и частотного методов. Анализ сердечного ритма проводится с помощью построения трех графиков: 1) ритмограммы; 2) гистограммы; 3) скаттерограммы.

Вегетативная нервная система существенно влияет на частоту сердечного ритма. Известно изменение частоты сердечных сокращений при дыхании: интервалы RR во время вдоха укорачиваются, а во время выдоха – удлиняются. Кроме того, определено влияние на частоту сердечных сокращений (ЧСС) микроколебаний артериального давления, колебаний температуры тела, а также различных гуморальных воздействий.

Для частотного анализа ритма строится тахограмма интервалов RR, которая чаще всего в литературе называется ритмограмма [1,2]. Ритмограмма представляет собой диаграмму длительности ряда последовательных сердечных циклов, в которой по вертикали откладывается продолжительность циклов (в мс), а по горизонтали – реальное время (в с). Полученная диаграмма может иметь вид частотокола (рис.1).

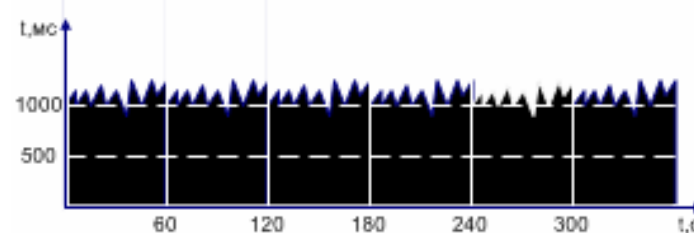


Рис. 1. Кардиоритмограмма (тахограмма) интервалов RR анализируемого ритма

На такой диаграмме хорошо заметны артефакты, экстрасистолы, которые могут быть без труда удалены при оценке ритмограммы. Затем вершины полученного графика соединяются ломаной линией, которую иногда называют функцией вариации ритма [2].

По виду частотного спектра можно предполагать ряд патологических состояний.

Принцип построения интервальной гистограммы заключается в объединении в отдельных разрядах (так называемых полигонах) всех одинаковых RR интервалов в анализируемой выборке (при ХМ – за 24 часа) и представление полученных данных в графическом виде. Пример построения интервальной гистограммы ритма сердца по анализу 12 интервалов RR представлен на рис. 2.

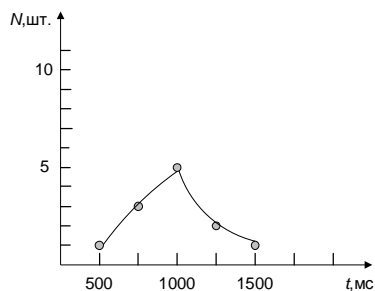


Рис. 2. Принцип построения интервальной гистограммы

Из графика гистограммы возможно определение значения максимального и минимального значений RR интервала (или ЧСС). Разницу между ними графически отражает ширина основания гистограммы.

Вторым вариантом гистограммы является дифференциальная гистограмма (рис. 3). Гистограмма распределения RR интервалов представляет собой диаграмму, в которой высота каждого столбика соответствует количеству RR интервалов временного диапазона, ограниченного данным столбиком.

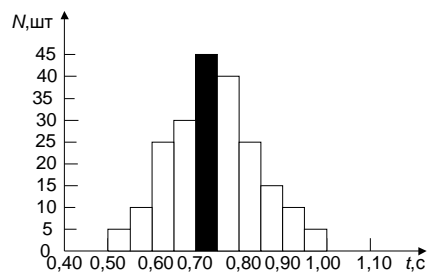


Рис. 3. Дифференциальная гистограмма

Дифференциальная гистограмма в норме характеризуется одновершинностью (мономодальностью), свидетельствующей о примерно равном соотношении периодов увеличений и уменьшений разницы между соседними кардиоинтервалами.

Возникновение асимметрии дифференциальной гистограммы свидетельствует о патологиях сердечно-сосудистой системы.

Одним из наиболее наглядных геометрических методов оценки вариабельности сердечного ритма является корреляционная ритмография.

Сущность метода состоит в построении на осях координат значений двух соседних RR интервалов. При этом получается точка по оси ординат,

соответствующая текущему RR интервалу, а по оси абсцисс - последующему. Такая графическая картина получила название скаттерграммы (рис. 4).

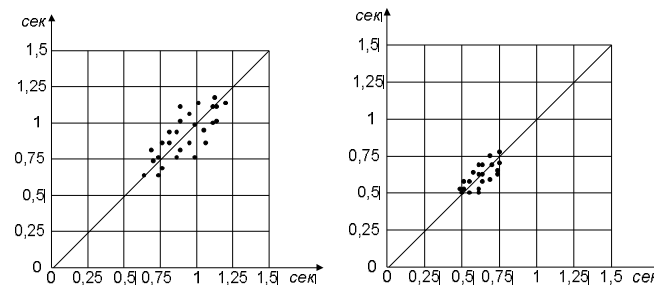


Рис. 4. Корреляционная ритмограмма

На рисунке наглядно видно различие графиков в условиях противоположной вегетативной регуляции ритма сердца. При усилении парасимпатических влияний отмечается выраженная синусовая аритмия, различия между продолжительностью двух соседних кардиоинтервалов. На графике данный вариант ритма отражен в виде достаточно размытого облака, со значительным отклонением отдельных точек от центральной оси. При симпатической активации, наоборот, отмечается концентрация ритма вокруг центральной оси, небольшая площадь разброса кардиоинтервалов.

Характер вариабельности синусового ритма может отражать состояние активности вегетативного отдела нервной системы. Физическая нагрузка и эмоции вызывают учащение синусового ритма, что является отражением повышения активности симпатического отдела и снижением напряжения парасимпатического отдела нервной системы. Отдых в положении лежа и сон вызывают обратную вегетативную реакцию. Другим известным состоянием активности парасимпатической нервной системы является дыхательная аритмия.

Несомненным преимуществом геометрических методов, прежде всего в клинической практике, является наглядность и относительно небольшая, по сравнению с другими методами математического анализа ритма сердца, чувствительность к неизбежно возникающим при ХМ нарушениям качества ЭКГ сигнала, артефактам и т.д.

В табл. 1 приведена общая схема анализа вегетативной регуляции сердечного ритма с помощью математических и статистических инструментов [1] и результаты обработки различными геометрическими методами данных, полученных при проведении холтеровского мониторинга.

Р.П. МИГУЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент каф. ИИТС,
О.Ю. КРОПАЧЕК, канд. техн. наук, старший преподаватель каф. ТОЭ,
М.Н. МАЛЬКО, канд. техн. наук, доцент каф. САУ,
А.М. ГАЙДАШ, ассистент каф. ВМ (г. Харьков)

ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В статті досліджено модель вимірювального перетворювача вологості сиплячих матеріалів. Проаналізовані можливі моделі сиплячих матеріалів та схеми вимірювання вологості, синтезована модель перетворювача, проведені доведення адекватності теоретичної моделі перетворювача реальному об'єкту

In clause the technique of analytical synthesis of models of the observer of multizoned through passage units is considered. Three models of the observer are synthesized on the basis of static thermal physical model press of cultures with oil. The opportunity of definition of optimum model for research of the characteristics of the chosen object is shown depending on the put tasks. The prospects of the further researches are planned

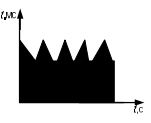
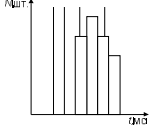
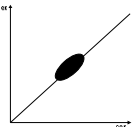
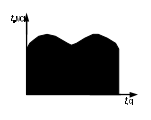
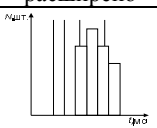
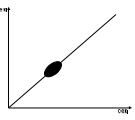
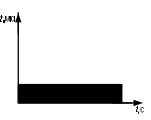
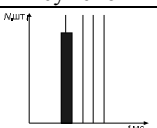
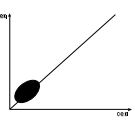
Постановка проблемы. Измерение влажности сыпучих материалов является чрезвычайно важной задачей в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Поэтому доказательство актуальности выбранной темы для исследований излишние.

Однако, как следует из справочных данных, очень важной и малоисследованной задачей при оценке влажности сыпучих материалов является задача экспресс-измерений. В настоящее время существует достаточно большое количество разнообразных измерительных устройств и преобразователей, но, практически, все из них сложные, дорогие и не решают задачу быстрой оценки количественного значения влажности [1, 2]. Поэтому насущной необходимостью являются разработка и исследование влагометрических преобразователей, на основе которых возможно создание быстродействующих устройств.

Любые исследования технических устройств основываются на построении и детальном исследовании моделей устройств. Синтез моделей является неотъемлемой частью работы над анализом метода или устройства.

Анализ литературы. Анализ методов измерения влажности сыпучих материалов [1-5] позволил выбрать в качестве базового электромагнитный метод. Электромагнитные влагометрические системы имеют ряд неоспоримых достоинств, главными из которых являются: использование в таких системах сравнительно несложной, недорогой, простой в эксплуатации и высоконадежной электрической аппаратуры, возможность получения точностей, удовлетворяющих требованиям соответствующих стандартов, возможность осуществления, с помощью таких систем не только дискретного, но и непре-

Таблица 1 – Диагностика состояния вегетативного гомеостаза с помощью различных математических и статистических инструментов

Ритмограмма (тахограмма)	Гистограмма распределения RR-интервалов	Скаттерограмма (корреляционная ритмограмма-КорРГ)	Медицинское заключение
 Имеет вид высокого частотола	 Сдвиг основания вправо, основание расширено	 Овал расширен по длине и ширине	Выраженная дыхательная аритмия. Урежение ЧСС.
 Имеет вид высокого графика с медленными волнами	 Сдвиг основания вправо, основание сужено	 Овал по длине укорочен, удален от нулевой точки	Преобладание парасимпатического влияния на фоне урежения ЧСС.
 Имеет вид лежащего прямоугольника с низкой высотой	 Очень узкое основание, сдвиг основания влево	 Овал по длине укорочен, приближен к нулевой точке	Ригидный ритм. Предельное усиление симпатических влияний на фоне учащения ЧСС.

Для оценки влияния вегетативной нервной системы на сердечный ритм следует пользоваться всеми разработанными статистическими и математическими инструментами.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку устройства мониторинга, использующего наиболее распространенные методы обработки данных с целью повышения достоверности данных аритмий.

Список литературы: 1. Воробьев А.С. Электрокардиография.- М.: Издательство Эксмо; СПб.: Сова, 2003. - 560с. 2. Макаров Л.М. Холтеровское мониторирование. Руководство для врачей по использованию метода у детей и лиц молодого возраста.- М.: Медпрактика, 2000.- 216 с. 3. Кравчун П.Г. и др. Инструментальная диагностика в кардиологии: Пособие.- Х.: Основа, 2001.- 296с. 4. Обвінцев О.В., Джога Н.В. Автоматизована обробка електрокардіосигналу з метою діагностики // Український журнал медичної техніки і технології.- 2001, №2, с.38-50. 5. Белозеров Ю.М. Детская кардиология.- М.: Медпрессинформ, 2004.- 600с.

Поступила в редколлегию 15.03.07

рванного измерения.

Целью статьи является исследование модели измерительного преобразователя влажности сыпучих материалов и выбор оптимальных решений при проектировании влагометрического преобразователя. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: проанализировать возможные модели сыпучих материалов и схемы измерения влажности, синтезировать модель преобразователя, произвести доказательство адекватности теоретической модели преобразователя реальному объекту.

Анализ моделей сыпучих материалов и схем измерения влажности.

Активные потери в электромагнитном поле сыпучих материалов складываются из диэлектрических потерь и потерь проводимости, причем диэлектрические потери определяются совокупностью всех видов поляризации, имеющих место в материале [1, 2]. Вследствие этого рекомендуется в качестве схемы замещения сложного поляризованного материала использовать схему, приведенную на рис. 1.

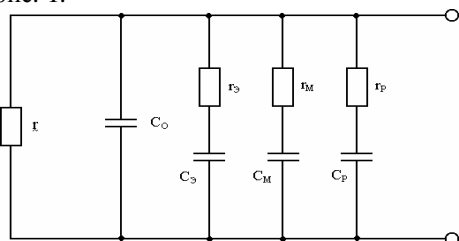


Рис. 1. Схема замещения сложного поляризованного материала:

r – величина, характеризующая активные потери в материале; $r_3, r_{И}, r_P$ – электронная, ионная и релаксационная составляющая; C_0 – воздушная емкость конденсатора, в котором находится исследуемый материал; $C_3, C_{И}, C_P$ – емкости, обусловленные электронной, ионной и релаксационной поляризацией

Если в первом приближении не учитывать влияние индуктивности, то эквивалентную схему материала в ячейке следует представлять в виде простейшего эквивалентного двухполюсника с параллельным соединением образующих элементов.

Основные расчетные соотношения с учетом того, что

$$tg\delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{1}{\omega C r},$$

где I_a – активная, I_c – емкостная (реактивная) составляющие тока через ячейку, можно записать в виде:

$$Z_{\Sigma} = \frac{r}{1 + j\omega C r} = \frac{r}{1 - \frac{1}{j tg\delta}} = \frac{r}{1 + tg^2\delta} - j \frac{r tg\delta}{1 + tg^2\delta}. \quad (1)$$

Мнимая часть выражения (1) представляет собой емкостное сопротивление, являющееся функцией кажущейся емкости C_K . Для

$$X_{C_K} = \frac{1}{\omega C_K} = \frac{r tg\delta}{1 + tg^2\delta} \quad (2)$$

C_K определяется из (2):

$$C_K = \frac{1 + tg^2\delta}{\omega r tg\delta} = \frac{1 + tg^2\delta}{\omega r \frac{1}{\omega C_M r}} = C_M (1 + tg^2\delta).$$

Дальнейшей задачей является попытка поиска наиболее благоприятного схемного решения.

Для этой цели бесчисленное множество измерительных схем, используемых во влагометрии, может быть разбито на ряд основных типов:

- 1) z – метры, реагирующие на изменение модуля комплексного сопротивления преобразователя;
- 2) y – метры, реагирующие на изменение модуля комплексной проводимости преобразователя;
- 3) Q – метры, реагирующие на изменение активной составляющей комплексного сопротивления преобразователя;
- 4) F – метры, реагирующие на изменение частоты автогенератора при включении преобразователя в его колебательный контур.

Выбор конкретной измерительной схемы сопровождается не только исходя из принятого критерия качества, но и свойствами материала. Для дальнейшего исследования, принимается схема Q – метра [2]. Выбранная схема является достаточно редкой в случае применения ее для измерения влажности сыпучих материалов и нуждается в подробном исследовании и изучении.

Синтез модели электромагнитного преобразователя влажности. В основу модели преобразования положим упрощенную эквивалентную схему замещения, представленную на рис. 2. Здесь $E, R_{Г}, C, L$ являются рабочими параметрами схемы, R_M – активное сопротивление, соответствует диэлектрическим потерям в материале. Учитывая тот факт, что емкость материала изменяется незначительна, а расстройка по частоте практически не влияет на работу преобразователя [5], правомерно считать что:

$$W_c = f(R_M),$$

где W_c – влажность материала, или как следует из [6]:

$$R_M = k W_c^{-1},$$

где k – коэффициент пропорциональности между величиной, обратной влажности, и эквивалентным активным сопротивлением потерь.

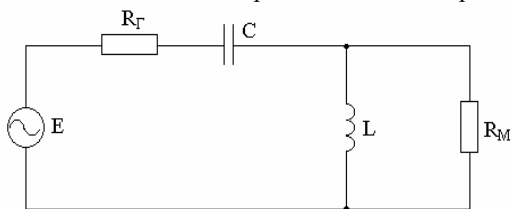


Рис. 2. Упрощенная информационная модель преобразователя с последовательным резонансным контуром

Определим зависимость $U_{\text{вых}} = f(R_M)$ на основе теоретических исследований, используя схему замещения на рис. 2.

КПФ имеет вид:

$$K(j\omega) = \frac{j\omega LR_M}{R_\Gamma + \frac{1}{j\omega C} + \frac{j\omega LR_M}{j\omega L + R_M}} \quad (3)$$

Из выражения (3) зависимость $A(\omega) = f(W)$ определяется как [5]:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(k_1 W + 1)^2 + \left(\frac{1}{Q} + k_1 Q W\right)^2}}$$

При

$$\Delta U = A(\omega) \Big|_{R_M = \infty, \omega = \text{const}} - A(\omega) \Big|_{\omega = \text{const}},$$

окончательно математическая модель электромагнитного преобразователя влажности имеет вид:

$$\Delta U = \frac{1}{\sqrt{(k_1 W_c + 1)^2 + \left(\frac{1}{Q} + k_1 Q W_c\right)^2}} A_B + B_B, \quad (4)$$

где A_B – коэффициент усиления, B_B – постоянная, обусловленная коррекцией нуля.

Как следует из (4), математическая модель рассматриваемого преобразователя сильно зависит от параметров резонансного контура и значение ΔU может варьироваться в некоторых пределах в зависимости от этих параметров.

Доказательство адекватности теоретической модели электромаг-

нитного преобразователя влажности реальному объекту. Дальнейшее исследование полученной теоретической модели электромагнитного преобразователя влажности без получения её верификации невозможно. Доказательство адекватности всегда проводится экспериментальным путем. Целью экспериментального исследования является определение действительной функции преобразования, после чего экспериментальные данные сравниваются с теоретическими.

В нашем случае был разработан преобразователь, с которым проводились эксперименты в лаборатории НТУ «ХПИ». Разработанный преобразователь обладает определенными характеристиками. Экспериментально установлено, что диапазон изменения R_M , при изменении влажности материала в пределах $4 \div 15\%$, составляет $3 \cdot 10^4 \div 10^5$ Ом. Определимся в реальных значениях параметров, входящих в (3):

$$\begin{cases} \omega L - \text{сотни Ом;} \\ R_\Gamma - \text{сотни Ом.} \end{cases}$$

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные электромагнитного преобразователя влажности

R_M , кОм	10	30	50	70	93
$U_{\text{вых}}$, В	3,2	3,6	3,7	3,75	3,8

Графическое отображение результатов эксперимента представлено на рис. 3.

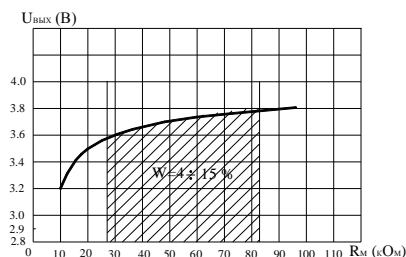


Рис. 3. Экспериментальные данные

На основе полученных реальных значений параметров входящих в математическую модель $Q = 1$ и АЧХ предстанет в виде:

$$A(\omega) = \frac{0,707}{\frac{100}{R_M} + 1} \quad (5)$$

Используя выражение (5) построим теоретическую зависимость $A = f$

(R_m) (рис. 4).

Проведенные сравнения двух величин, полученных, экспериментальным путем подтверждает адекватность модели (рис. 3). Отличительным условием является уровень выходного напряжения, который связан с аддитивным смещением кривой, вследствие не единичных начальных условий реального измерительного преобразователя.

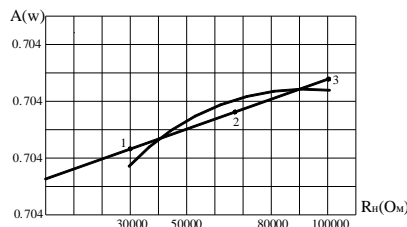


Рис. 4. Теоретические данные

На рис. 4 отображена теоретическая и экспериментальная модель материала, где видно, что они практически одинаковы, не считая возникающей в точках один, два и три погрешности линейности, которой можно пренебречь.

Выводы. Согласно проведенным исследованиям, синтезированная модель сыпучего материала (семена подсолнечника) представляет собой чисто активное сопротивление. Изменения сопротивления адекватно изменению влажности материала и преобразователь работает на изменении добротности последовательного резонансного контура. Емкостная составляющая модели материала стремится к нулю, что позволяет зафиксировать частоту вынужденных колебаний вынужденного контура.

Список литературы: 1. Берлинер М.А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности. - М.-Л.: Энергия, 1965. - 488с. 2. Кричевский Е.С. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов. - М.: Энергия, 1980. - 239с. 3. Мигуценко Р.П., Овчаренко А.И. Исследование модели электромагнитного преобразователя влажности сыпучих материалов // Украинский метрологический журнал. - 1999. - Вып.2. - С.27–31. 4. Турчин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. - М.: Энергия, 1966. - 690с. 5. Мигуценко Р.П. Адаптивная система управления многозонными проходными технологическими агрегатами: Дис. Канд. Наук: 05.13.07. - Харьков, 2001.- 186с. 6. Цанов П.Ф., Овчаренко А.И., Мигуценко Р.П. Оценка метрологических характеристик электромагнитного преобразователя влажности // Украинский метрологический журнал. - 1999. -Вып.3. - С.31–34.

Поступила в редколлегию 04.12.07

УДК 621.3 (09)+621.3 (477)

О.С. ТВЕРИТНИКОВА (м. Харків)

РОЗВИТОК МЕРЕЖІ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРНИХ КАДРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ (80 рр. ХІХ ст. – початок ХХ ст.)

Рассмотрена история становления и развития электротехники как технической науки. Исследуется процесс образования комплекса электротехнических дисциплин. Проведен детальный анализ зарождения электротехнической науки и образования в Украине.

Submit for consideration history of development electrical engineering as a technical science. Realization of detail analysis of forming and development of electrical engineering science and education in Ukraine in 20-30 years of the 20th century.

Дослідження історії окремих технічних наук перш за все передбачає розгляд питань взаємодії теорії і практики, науки і техніки, фундаментальних і прикладних наук. Активний пошук оптимальних форм і моделей здобуття технічної освіти вимагає вивчення процесів реформування системи вищої електротехнічної освіти що відбувалися в Україні на початку минулого століття, узагальнення історичного досвіду.

Детально проведено аналіз становлення вищої електротехнічної освіти у наукових закладах Бельгії, Франції, Німеччини [1, 2]. В публікаціях показано передумови виникнення вищої електротехнічної освіти враховуючи соціальний економічний розвиток суспільства, розвиток промисловості. Проведено аналіз навчальних програм і методик викладання вищих електротехнічних закладів Європи. Між тим автори не торкаються вузів України. Становлення і розвиток системи вищої спеціальної освіти на Україні у дореволюційний період висвітлено у праці [8, 9, 10]. У переважній більшості, наукові праці, досягнення українських вчених, зокрема електротехніків Харківського технологічного інституту (ХТІ), подані досить уривчасто і лише в контексті розвитку загальноросійської науки.

Автор ставить за мету, опираючись на архівні матеріали, здійснити цілісний історико-науковий аналіз процесу становлення електротехніки, як наукової дисципліни в Україні наприкінці ХІХ – початку ХХ ст.

Система вищих електротехнічних навчальних закладів в Європі почала складатися з 1880 рр. Перша установа яка надавала спеціалізовану освіту в галузі електротехніки, була відкрита у Франції в 1880 р. Вона одержала назву Вища телеграфна школа. Курс навчання був розрахований на два роки і базувався на закінченій вищій освіті, тобто вона мала статус курсів перекваліфікації. Прийом слухачів був обмежений – 5-6 чоловік на рік. Через кілька років у Бельгії організовано електротехнічний інститут при технічному факультеті університету м. Льеж. У 1886 р. був відкрито електротехнічний факультет при Ганноверському політехнічному інсти-

туті. Наприкінці 80 р. XIX ст. електротехнічні факультети були відкриті при Цюріхському політехнічному інституті і при Шарлотенбурзькому інституті в Берліні. У Дармштадському політехнічному інституті електротехнічне відділення при машинобудівному факультеті реорганізовано в окремий електротехнічний факультет. Важливо підкреслити, що в перші десятиріччя свого існування дані навчальні заклади мали за мету удосконалення фахівців, які мали вищу освіту. Спеціалізованих електротехнічних кафедр ці установи не мали [1, с. 3].

З метою надати можливість інженерам і технікам одержати практичні звички в Парижі була організована електротехнічна лабораторія. У 1894 р. за пропозицією голови міжнародного суспільства електриків Ж. Берже на базі лабораторії була відкрита Вища електрична школа. У перший рік було прийнято 12 слухачів. Навчання складалось з теоретичних і практичних модулів. Теоретичні підготовка проводилась з таких дисциплін: загальна електротехніка, електричні вимірювання, конструкція і розрахунки дінамомашин змінного і постійного струму, електричні установки, електрична тяга, передача електричної енергії, електрохімія, електричне освітлення, застосування електрики на залізницях тощо. До викладання залучались інженери, які мали досвід роботи на виробництві. Практична частина включала до себе обов'язкові лабораторні заняття, виконання проектів, відвідування підприємств. За перше десятиріччя існування кількість осіб отримавши освіту у Вищій паризькій електричній школі складала – 572, з них 15 – росіян [2, с. 27-28].

У вищих навчальних закладах Росії ведучими викладачами в курсах фізики важливе місце відводять електротехніці: у технологічному інституті Санкт-Петербурга – Ф.Ф. Петрушевський, Д.А. Лачінов; в Петербурзькому університеті – І.І. Боргман і О.Д. Хвольсон; у Москві – А.Г. Столетов, у Київському університеті – М.П. Авенаріус, у політехнічному училищі Риги – Э. Арнольд. Але лабораторної бази потрібного рівня на той час на території Російської імперії не існувало. Випускникам університетів, що вирішувало спеціалізуватися в галузі електротехніки потрібно було обов'язково одержати практичну підготовку за кордоном [9, с. 12-13].

У 1886 р. у Санкт-Петербурзі відкрито Технічне училище зі спеціалізацією в галузі телеграфії. Курс навчання базувався на середній освіті, був розрахований на три роки і додатково підготовче відділення. Поступово розвиток інших електротехнічних галузей сприяє розширенню навчального плану училища. У 1891 р. училище було реорганізовано у електротехнічний інститут, що став першим окремим самостійним електротехнічним вищим навчальним закладом на території Росії [9, с. 16-20].

У Петербурзькому Технологічному інституті до навчального плану електротехніка, як обов'язкова дисципліна входить з 1896 р. на механічному відділенні під керівництвом професора І.І. Боргмана підготовку фахівців з електромашинобудування для великих підприємств. Спеціалізації з розподілу електричної енергії, електричної освіти, електрометалургійної галузі відсутні [10].

Першим професором електротехніки у Москві стає випускник Московського

вищого технічного училища (МВТУ) Б.І. Угрімов, який розпочав викладати з 1900 р. „Загальний курс електротехніки” і неонов'язкові лабораторні роботи. Розширення електротехнічного курсу відбувається з появою в МВТУ К.А. Круга, який ініціював відкриття електромеханічної спеціалізації на механічному відділенні. На базі цієї спеціалізації у 1918 р. відкрито електротехнічний факультет [8].

В ХТІ професор О.К. Погорелко усвідомлюючи необхідність розширення курсу загальної фізики, запропонував ввести до навчальної програми додатково нові дисципліни, спрямовані на підготовку фахівців електротехнічного напрямку. Багато зробив для організації матеріально-технічної бази ХТІ М.П. Клобуков, талановитий дослідник в галузі електротехніки і електрохімії. Він став організатором, а з 1892 р. завідувачем електротехнічної лабораторії ХТІ [5, ф. Р-1682, оп. 1, од. збер. арк. 10, 14].

Становлення електротехніки як навчальної дисципліни в інституті відбувається з появою П.П. Копняєва, який ініціює впровадження дипломного проектування і збільшення кількості годин. Досвід професора П.П. Коняєва сприяє створенню у 1921 р. електротехнічного факультету в ХТІ. Перший випуск відбувся вже у 1922 р. Диплом інженера-електрика отримали 30 студентів. Контингент факультету складав 276 чоловік. До навчальних планів входили такі курси: електроулаштування фабрик і заводів, електрифікації гірської промисловості, електричних мереж і ліній, електричних станцій і міських трамваїв. Тривалість навчання була доведена до п'яти років; виробнича практика стала обов'язковим елементом навчання; до викладання провідних дисциплін залучалися заводські інженери [5, ф. Р-1682, оп.1, од. збер. 83, арк. 19, 20; од. збер. 120, арк. 1].

У 1930 р. на базі електротехнічного факультету ХТІ було створено електротехнічний інститут (ХЕТІ) – перший в Україні спеціалізований вищий електротехнічний навчальний заклад. ХЕТІ мав у своєму складі електротехнічний факультет з кафедрами передачі електричної енергії (завідувач професор В.М. Хрущов), електричних станцій (професор А.Л. Матвеев), електромашинобудівний факультет з кафедрами електричних апаратів (професор Б.Ф. Вашура), електрифікації промисловості (професор Т.П. Губенко) і електричних машин (професор П.П. Копняєв). Підготовка фахівців проводилась за спеціальностями: електричні машини, електричні апарати, електропривод, центральні електростанції, передача електричної енергії, електропостачання промислових підприємств, радіотехніка [5, ф. Р-1682, оп.1, од. збер 277, арк. 2, 28].

Враховуючи досвід роботи у ХТІ, В. Л. Кирпичов, який передбачав важливе місце електротехніки у майбутньому, при організації Київського політехнічного інституту (КПІ) планував відкрити електротехнічне відділення. Але ця ініціатива була відхилена Міністерством освіти, і обмежились організацією в КПІ спеціалізації електротехніки на механічному відділенні. На початку XX ст. викладання електротехніки проводять відомі вчені професора М. А. Артем'єв, А.В. Круковський, А.А. Скоморохов, С.М. Усатий. У 1918 р. в Київському інституті на базі електротехнічного відділення механічного факультету організовано електро-

технічний факультет, але фактично нічого не змінилося. Як і раніше, випуск фахівців-електротехніків проводить одна спеціалізація на механічному відділенні. Кількість студентів, які виконували дипломні роботи з електротехнічного проектування, – 5-6 на рік [4, ф. 18, оп. 1, од. збер. 1851, арк. 3, 11].

У Львівській політехніці початок електротехнічних досліджень пов'язаний з діяльністю професорів Ф. Стржелецького та К. Олеарського. Зацікавленість до нової галузі проявив талановитий інженер і науковець Р. Гостковський. Подальші дослідження в галузі електротехніки продовжує випускник Львівської політехніки професор Ф. Добжинський. Як окрема навчальна дисципліна електротехніка була впроваджена до навчального плану Львівської політехніки у 1887 р. В 1891 р. створено кафедру електротехніки, яку очолив професор Р. Дзєлевський [3].

Висновки Таким чином, наприкінці XIX ст. – початку XX ст. у Європі існувало шість вищих електротехнічних навчальних закладів. Але це були електротехнічні факультети чи інститути навчальна програма яких спиралась на отриману вищу освіту фахівця і мали характер інститутів удосконалення. На території Росії спеціалізовану електротехнічну освіту можна було отримати у МВТУ і електротехнічному інституті Санкт-Петербургу, які мали високий рівень кваліфікації викладачів і лабораторну базу. В Україні на початку XX ст. зародились три основні наукові електротехнічні центри: Київський, Львівський, зосереджений у Львівській політехніці і Харківський, який почав розвиватись на базі ХТІ.

Список літератури: 1. *Разумовский Н.Н.* Период зарождения и организации электротехнического института (ЭТИ) // Изв. ЛЭТИ. Вып. 37. – 1959. – С. 3-13. 2. *Лебединский В.К.* Десятилетие высшей электротехнической школе в Париже // Электричество. – 1905. – № 2. С. 21-26. 3. *Тверитникова О.С.* Становлення електротехніки як науково-технічної дисципліни у Харківському технологічному інституті наприкінці XIX початку XX ст. // Історія науки і техніки у вищих навчальних закладах України: 36. наук. праць: За матер. Всеукр. наук.-метод. конференції. – Харків: НТУ "ХПИ", 2007. С. 281 – 289. 4. *Державний архів м. Києва:* Фонд Київського політехнічного інституту. 5. *Державний архів Харківської області:* Фонд Харківського електротехнічного інституту. 6. *Милях А.Н., Кирпатовский С.И.* Из истории становления и развития теоретических основ электротехники на Украине // Теоретическая электротехника: Сб. науч. тр. – Вып. 3. – Львов: изд-во Львов. ун-та, 1967. – С. 3-15. 7. *Белькинд Л.Д.* Высшая электротехническая школа // Электричество. – 1947. – №11. – с. 93–98. 8. *Известия Ленинградского электротехнического института им. В.И. Ульянова (Ленина) / Под ред. Н.П. Богородицкой.* – Вып. №1. – Л.: изд-во Ленинград. ун-та, 1963. – с. 412. 9. *Шателен М.А.* Преподавание электротехники в высших учебных заведениях в России и за границей // Электричество. – 1898. – № 20. – С. 297-301.

Поступила в редколлегию 7.12.07

УДК 681.2

**М.В. ТРОХИН, В.В. ЛЫСЕНКО,
М.Б. МАРАХОВСКИЙ,** канд. техн. наук,
А.О. ОСТРОЖИНСКИЙ, Н.Н. СНИТКО, НТУ «ХПИ»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АИС-СМ2

В статті подаються результати роботи колективу авторів з виготовлення автоматизованого мобільного комплексу АИС-СМ2, що дозволяє вимірювати та порівнювати характеристики різних фотоелектричних модулів та оцінювати геліопотенціал місцевості, в якій проводяться виміри. В т.ч. розглядається питання про розташування модулів відносно сонця та спосіб їх позиціонування протягом дня.

In the article are given the results of job of collective of authors in making the automated mobile complex AIS-SM2, which allows measuring and comparing descriptions of different photo-electric modules and estimating the potential of sun radiation locality measuring are conducted in which. A question about the location of the modules in relation to the sun and method of his positioning for a day is examined.

При проектировании фотоэлектрических солнечных станций, разработчик сталкивается с необходимостью иметь данные о характеристиках фотоэлектрических преобразователей и о том количестве энергии, которое он может получить от солнца в данной местности (гелиопотенциал).

Практически все производители фотоэлектрических модулей предоставляют паспортные данные на свою продукцию, но, как показали исследования коллектива авторов, эти параметры сильно варьируются от изделия к изделию, а в некоторых случаях вообще не соответствуют заявленным. В связи с этим возникает необходимость измерения параметров непосредственно тех модулей, которые, в дальнейшем, будут использоваться.

Что касается гелиопотенциала местности, то тут дело обстоит иначе. В нашей стране были проведены многолетние исследования [1], в результате которых известно количество часов солнечного сияния в каждый месяц года во всех регионах. К сожалению, эти данные не могут быть напрямую пересчитаны в то количество энергии, которое потенциально будет вырабатывать гелиостанция. Такие сведения можно получить только на основании измерений, проведенных с использованием солнечных модулей, поскольку эффективность их работы зависит от очень многих факторов, в т.ч. температуры окружающего воздуха и наличия ветра, поэтому могут сильно варьироваться от образца к образцу и от одного дня к другому при равной освещенности.

Целью статьи является представление результатов работы, по созданию автоматизированного мобильного комплекса АИС-СМ2, позволяющего про-

водить измерения и сравнение характеристик различных фотоэлектрических модулей и оценивать гелиопотенциал местности, в которой проводятся измерения. В т.ч. рассматривается вопрос расположения модулей относительно солнца и способы их позиционирования на протяжении дня.

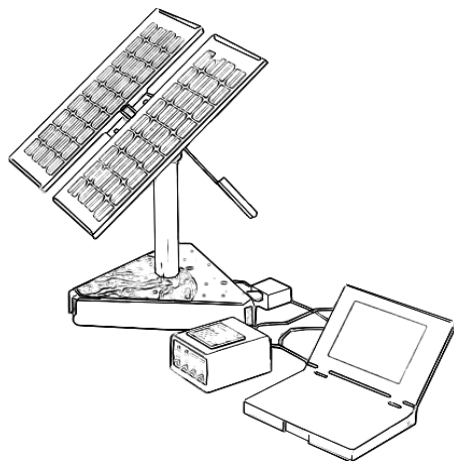


Рис.1 Общий вид комплекса АИС-СМ2

АИС-СМ2 (рис. 1) представляет собой совокупность поворотного азимутального механизма на базе высокомоментного низкооборотного двигателя с катящимся ротором, устройства слежения за расположением солнца, программно регулируемого блока электрической нагрузки (0 – 40 Вт), программируемого микропроцессорного измерительно-управляющего блока с жидкокристаллическим дисплеем и интерфейсом RS-232/RS-485, источника вспомогательного электрического питания с зарядным устройством, элементов позиционирования на местности (компас, уровень, угломер), металлического корпуса. На комплекс могут быть установлены два фотоэлектрических преобразователя пиковой мощностью от 2 до 30 Вт. Измерение параметров могут производиться как для каждого модуля в отдельности, так и для двух, включенных параллельно.

Одним из важных элементов комплекса является т.н. механизм гелиостатирования, который позволяет осуществлять слежение за расположением солнца в течение дня.

В литературе встречаются различные рекомендации по поводу расположения фотоэлектрических модулей относительно солнца, однако известно, что наиболее выгодным, с точки зрения эффективности работы, является положение, когда солнечный свет падает нормально на поверхность модуля. При расположении фотоэлектрического преобразователя под углом, отли-

чающимся от нормали, вступают в силу несколько факторов, снижающих эффективность работы. Первый из них является очевидным и снижает эффективность работы одинаково для любого модуля: количество солнечной энергии, попадающей на поверхность, уменьшается пропорционально косинусу угла её отклонения от нормали. Остальные связаны с явлением полного внутреннего отражения света от самой поверхности преобразователя и от поверхности стекла, которое защищает преобразователь от воздействия окружающей среды. Степень этого отражения зависит от структуры, состава, толщины стекла и свойств поверхности фотопреобразователя и не может быть обобщена для всех выпускаемых модулей. Именно поэтому различные источники указывают различные допустимые отклонения от нормали поверхности солнечных модулей.

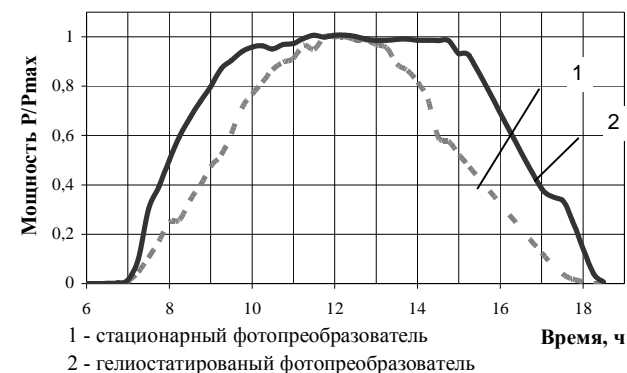


Рис. 2

В период разработки комплекса АИС-СМ2 были проведены исследования, суть которых сводилась к сравнению количества электроэнергии, выработанной за световой день, неподвижным ориентированным на юг закрепленным под углом 43° к горизонту и гелиостатированным фотопреобразователем. Для эксперимента использовались солнечные батареи производства киевского завода «Квазар» типа KV010M12, результаты представлены на рис. 2.

Поворот батареи осуществляет высокомоментный низкооборотный двигатель с катящимся ротором, который был изготовлен по методике, описанной в [2], что позволило достичь малых затрат энергии, необходимой для гелиостатирования.

Основной задачей комплекса является измерение параметров установленных на нём фотоэлектрических преобразователей. Этот процесс сводится к измерению тока и напряжения, которые обеспечивает фотопреобразователь при подключении к нему различной нагрузки и построению вольтамперных

характеристик (ВАХ), на основании полученной информации.

В АИС-СМ2 все измерения автоматизированы, благодаря использованию, в качестве измерительно-управляющего блока, ПЛК M91-2-T2C производства *Unitronics*, который снабжен интерфейсами машина-человек и человек-машина, аналоговыми и цифровыми входами и выходами и интерфейсом RS-232/RS-485, который позволяет передавать полученную в результате измерений информацию на персональный компьютер для дальнейшей обработки. Сам же ПЛК может быть оперативно перепрограммирован для решения любой поставленной задачи. Это позволяет корректировать алгоритм работы в зависимости от условий измерения.

С использованием построенного комплекса были проведены измерения характеристик солнечных батарей KV010M12 пиковой мощностью 10 Вт и АРМ36М30W63x54 пиковой мощностью 30 Вт. В результате были получены ВАХ этих батарей, что позволяет выбирать оптимальную рабочую точку батарей данного типа, и может послужить основой для инженерных расчетов при проектировании фотоэлектрических солнечных станций в конкретных географических, климатических и ландшафтных условиях.

Перспективы дальнейших исследований. В первую очередь необходимо дооснащение системы датчиком температуры окружающего воздуха и температуры фотопреобразователя, которые позволят получать более полную информацию для анализа условий опыта и написание программного обеспечения для ПК, которое позволит автоматизировать процесс обработки данных. Далее, коллектив авторов рассчитывает провести широкомасштабные измерения характеристик солнечных батарей различного типа и производства в различных регионах Украины для составления базы данных, которая может послужить основой развития гелиоэнергетики страны.

Список литературы: 1. Дячук В.А., Бабиченко В.М., за ред. Літінського В.М. Клімат України.– К.: Видництво Раєвського, 2003. 2. Лысенко В.В., Мараховский М.Б., Трохин М.В. Автоматизированный безредукторный привод трубопроводной арматуры. Вестник НТУ «ХПИ» 17' 2005.– Харьков: НТУ «ХПИ» 2005. 65 с. 3. Лысенко В.В., Мараховский М.Б., Трохин М.В. Вимірювальний комплекс для геліоенергетики. Електроінформ №3/2007.– Львів: Українська асоціація інженерів-електриків, 2007. 26 с. 4. M90 OPLC User Guide.– Unitronics 5. <http://www.solar.if.ua>. 6. <http://www.solar-battery.narod.ru>.

Поступила в редколлегию 10.12.07

УДК 621.316

Е.Н. ФЕДОСЕЕНКО

ПОПРАВКА НА КОНЕЧНЫЕ РАЗМЕРЫ ОБЪЕМА ЗЕМЛИ ПРИ РЕШЕНИИ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИДЕАЛЬНЫХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Отримано кількісні значення поправок на кінцеві розміри об'єму землі при рішенні крайової задачі для рівняння Лапласа методом кінцевих різниць з метою визначення електричних характеристик ідеальних зосереджених заземлювачів. Поправки на кінцеві розміри об'єму землі одержано для таких характеристик, як опір розтіканню й потенціали на поверхні землі.

Numerical values of corrections for finite size of ground volume for the boundary-value problem solution for Laplace's equation by the finite difference method with the object of calculation of electric descriptions of perfect concentrated groundings were got. The corrections for finite size of ground volume were got for such descriptions as resistance to spreading and potentials on a terrene.

Постановка проблемы. Расчет сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) и напряжения прикосновения и шага требует решения задачи расчета электрического поля токов, выходящих из заземлителей в землю, что составляет значительную часть теории ЗУ [1]. Закономерности поля электрического тока и электростатического поля внешне схожи между собой [2] и позволяют на основании исследования электростатического поля определять электрические характеристики заземлителей. При этом дифференциальное уравнение электростатического поля (уравнение Лапласа $\nabla^2\varphi = 0$) имеет аналитическое решение лишь в отдельных случаях (при простой форме границ поля). Во многих практических случаях прибегают к приближенным расчетам, используя, например, методы численного интегрирования. Численное решение краевой задачи для уравнения Лапласа методом конечных разностей применительно к идеальному сосредоточенному заземлителю произвольной формы в бесконечном полупространстве земли требует искусственного ограничения рассчитываемой области поля [3]. Эта процедура требует количественной оценки для внесения соответствующих поправок.

Анализ литературы. В работе [4] предложено учитывать поправки на конечные размеры электролитической ванны, стенки которой не являются поверхностью нулевого потенциала, при физическом моделировании заземлителей сложной конструкции. Работы [5, 6] содержат предложения решать краевую задачу для уравнения Лапласа в цилиндрических координатах при расположении идеального сосредоточенного заземлителя – аналогов арматурного каркаса железобетонных подножников и стоек в ограниченном объеме.

ме земли. Такие расчетные модели арматурного каркаса в ограниченном объеме земли, обеспечивающие определение электрических характеристик с заданной точностью, подтверждены результатами физического моделирования и натурных испытаний, поэтому не предполагают учета поправки на конечные размеры объема земли. Вместе с тем, полученные в последнее время технические решения [7, 8] вертикального электрода заземления, расположенного в ограниченном объеме мелкодисперсного технического углерода, т.е. в земле подвергшейся обработке с целью уменьшения ее удельного сопротивления вблизи от заземлителя, для расчета изменения потенциала на поверхности земли и сопротивления заземлителя требует учета поправок на конечные размеры земли при решении упоминавшейся выше задачи.

Целью настоящей работы является получение количественных значений поправки на конечные размеры объема земли при определении электрических характеристик идеальных сосредоточенных заземлителей.

Основная часть. Опыт эксплуатации энергообъектов подтверждает наличие электромагнитных помех и их негативного влияния на работу устройств релейной защиты и автоматики на микропроцессорной и микроэлектронной базе. В числе способов снижения электромагнитной связи между источником влияния и цепями, подверженными влиянию, рекомендовано [8], в частности, снижение сопротивления растеканию тока с ЗУ энергообъекта за счет установки дополнительных вертикальных электродов заземления или выполнения выносного заземлителя. Заглубление каждого из вертикальных электродов заземления может выполняться путем размещения его в центре скважины диаметром на более 50 диаметров электрода, которую заполняют мелкодисперсным техническим углеродом [7]; на поверхности электрода в соответствии с [8] для снижения скорости коррозии может быть сформирована твердая токопроводящая пленка. Такое решение эффективно улучшает электрические характеристики ЗУ энергообъекта.

Выполним применительно к указанному выше способу заглубления вертикальных электродов анализ необходимости учета поправки на конечные значения объема земли при решении краевой задачи для уравнения Лапласа методом конечных разностей. Будем исходить из тех же положений, которые принимались в работах [5, 6] при искусственном ограничении рассчитываемой области поля: ограниченный объем земли цилиндрической формы с размерами в 4-5 раз превышающими размеры заземлителя. При практически осуществимом решении заглубления вертикального электрода в скважине, заполненной техническим углеродом, имеем, например, такие размеры последней: диаметр равен 0,5 м, глубина – 3,0 м; ограниченный объем земли цилиндрической формы принимаем – соответственно 5,0 м и 10,0 м (поверхности нулевого потенциала). Учитывая по [9], что удельное сопротивление мелкодисперсного технического углерода в сжатом состоянии составляет 0,02 Ом·м, т.е. заведомо на несколько порядков меньше удельного сопротивления

хорошо проводящего грунта (5,0 Ом·м), рассматриваем скважину с вертикальным электродом в ее центре как идеальный сосредоточенный заземлитель с размерами равными размерам скважины. Для указанных геометрических характеристик рассчитываемой области поля и определим соответствующие поправки, причем ограничимся только случаем однородной земли. Перенос результатов на двухслойную расчетную модель земли, допустим вследствие относительно достаточной удаленности поверхностей нулевого потенциала от идеального сосредоточенного заземлителя.

Для определения поправки на конечные размеры объема земли при расчете сопротивления растеканию идеального сосредоточенного заземлителя воспользуемся выражением для полуэллипсоида вращения [1]:

$$R = \frac{\rho_0}{4\pi l_0} \ln \left[\frac{\left(\sqrt{r_0^2 + l_0^2} + l_0 \right)}{\left(\sqrt{r_0^2 + l_0^2} - l_0 \right)} \right], \quad (1)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление однородной земли; r_0 – малая полуось и l_0 – полуфокусное расстояние полуэллипсоида вращения.

Заменив, как в [1], идеальный сосредоточенный заземлитель полуэллипсоидом с $r_0 = 0,5$ м и $l_0 = 3,0$ м, а ограниченный объем земли цилиндрической формы – полуэллипсоидом с $r_0 = 5,0$ м и $l_0 = 10,0$ м, имеем их сопротивления растеканию в полупространстве однородной земли с ρ_0 соответственно: $0,169\rho_0$ и $0,023\rho_0$. Стало быть сопротивление между полуэллипсоидами составит $0,146\rho_0$, а поправка при расчете сопротивления $\varepsilon_R = 0,169/0,146 = 1,158$.

Определение поправки на конечные размеры объема земли при расчете потенциалов произведем используя принцип наложения в процессе последовательного перераспределения потенциалов до достижения с принимаемой точностью заданных значений потенциалов на границах поля ($\varphi_{\text{элл,с,з}} = 100$ и $\varphi_{\text{элл,о,з}} = 0$, где индексы «элл,с,з» и «элл,о,з» означают эллипсоиды, моделирующие сосредоточенный заземлитель и ограниченный объем земли соответственно). В частности для семейства конфокальных полуэллипсоидов вращения распределение потенциалов подчинено выражению

$$\varphi_r = \varphi_{\text{элл,с,з}} \frac{\ln \left[\frac{\left(\sqrt{r_0^2 + l_0^2} + l_0 \right)}{\left(\sqrt{r_0^2 + l_0^2} - l_0 \right)} \right]}{\ln \left[\frac{\left(\sqrt{r^2 + l_0^2} + l_0 \right)}{\left(\sqrt{r^2 + l_0^2} - l_0 \right)} \right]}, \quad (r_0 = r_{\text{элл,с,з}}), \quad (2)$$

по которому определены φ_r при $r = 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5$ и $5,0$ м. Поскольку на границах поля $\varphi_{\text{элл,с,з}} = 100$ и $\varphi_{\text{элл,о,з}} = 0$, а при расчета по выражению (2) для $r = 5,0$ м потенциал получается отличным от нуля, то на первом шаге приближения

полуэллипсоиду с этой полуосью придается рассчитанное значение потенциала со знаком «минус». По выражению, аналогичному (2) уточняем значения потенциалов в контрольных точках поля и сосредоточенного заземлителя. Ограничившись тремя итерациями ($\varphi_{\text{элл},\text{с},3} = 99,653$ и $\varphi_{\text{элл},\text{о},3} = 0$) имеем значения поправок

$$\varepsilon_{\varphi,r} \Big|_{r=0,5} = 1,033; \quad \varepsilon_{\varphi,r} \Big|_{r=0,75} = 1,068; \quad \varepsilon_{\varphi,r} \Big|_{r=1,0} = 1,108; \quad \varepsilon_{\varphi,r} \Big|_{r=1,25} = 1,152;$$

$$\varepsilon_{\varphi,r} \Big|_{r=1,5} = 1,204.$$

Используем среднее значение поправки при расчете потенциалов

$$\varepsilon_{\varphi} = 1,113.$$

Выводы. Получены численные значения поправок на конечные размеры объема земли при решении краевой задачи для уравнения Лапласа с целью определения электрических характеристик идеальных сосредоточенных заземлителей с геометрическими характеристиками близкими к практически реализуемым решениям.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении – получение расчетной совокупности линейных электродов, замещающих вертикальный электрод заземления, расположенный в ограниченном объеме мелкодисперсного технического углерода.

Список литературы: 1. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с. 2. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 463 с. 3. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с. 4. Рябкова Е.Я. Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978. – 224 с. 5. Минченко А.А., Федосеенко Е.Н. Замещение естественных сосредоточенных заземлителей совокупностью электродов при расчетах электрических характеристик сложных заземляющих устройств электроустановок // Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тем. випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №7. – С. 121-124. 6. Минченко А.А., Федосеенко Е.Н. Учет естественной проводимости растеканию тока с арматуры железобетонных стоек при расчетах сложных заземляющих устройств электроустановок с помощью совокупности вертикальных электродов // Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тем. випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №28 – С. 97-100. 7. Федосеенко О.М., Кисельов Є.Т., Мінченко А.А., Яровий В.М., Калінін Є.М. Спосіб виконання заземлювальних пристроїв електричних станцій та підстанцій // Патент України №9874. Бюл.№10. 2005. 8. Мінченко А.А., Федосеенко О.М., Мінченко Анд.А., Яровий В.М. Спосіб виконання заземлювальних пристроїв електричних станцій та підстанцій // Рішення про видачу декл. патенту на корисну модель №6555/1 від 07.03.2007. 9. Врублевский Л.Е., Зайцев Ю.В., Тихонов А.И. Силовые резисторы. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.

Поступила в редколлегию 18.05.07

УДК 621.317

А.А. ФУНТИКОВ, инж, А.П. ДАВИДЕНКО, канд. техн. наук

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГРУЗОПОРШНЕВОГО МАНОМЕТРА С ГАЗОВОЙ СМАЗКОЙ

Проведені дослідження і розрахунків невизначеності вагопоршневого манометру з газовим мастилом. Визначені основні чинники, що впливають на результат вимірювання і розрахунків оцінки невизначеності. Розглянута процедура оцінки стандартної і розширеної невизначеностей вагопоршневого манометру.

Research and calculation of uncertainty of measurement to dead-weight pressure gauge is conducted with the gas greasing. The basic, influencing on a result measuring and calculation of uncertainty of vagueness, factors are certain. Procedure of estimation standard and extended uncertainty of measurement dead-weight pressure gauge was considered.

Актуальность темы состоит в широком применении оценки неопределенности – основы прослеживаемости измерений. Цепь прослеживаемости измерений до национальных эталонов и оценка неопределенности – необходимые условия для признания компетентности и дееспособности любой измерительной, испытательной или калибровочной лаборатории

Применение понятия "неопределенность измерений" важно для выполнения проведения сличений с национальными эталонами на международном уровне и сличение рабочих эталонов региональной сети аккредитованных калибровочных лабораторий на национальном метрологическом уровне.

Материальным хранителем единицы давления является первичный и вторичный эталоны давления. Для широкого диапазона измерений давлений 100 кПа-100 МПа в качестве эталонов применяются газовые грузопоршневые манометры. Для гармонизации измерения давления необходимо проводить расчет неопределенности эталонов.

В настоящее время в Украине отсутствует нормативная документация, регламентирующая расчет неопределенности грузопоршневых манометров. В [2] определены факторы, влияющие на результат измерения. Однако в Украине не существует единой концепции учета влияющих факторов на результат измерения давления с помощью грузопоршневого манометра.

Весь процесс оценивания измеряемой величины и неопределенности может быть представлен в виде 8-ми этапов [1]:

- 1) описание измерения и составление его модели
- 2) оценивание значений и стандартных неопределенностей входных величин
- 3) анализ корреляций
- 4) составление бюджета неопределенности
- 5) расчет оценки выходной величины

- б) расчет стандартной неопределенности выходной величины
- 7) расчет расширенной неопределенности
- 8) представление конечного результата измерения.

Расчет неопределенности грузопоршневого манометра при измерении избыточного давления основан на основном уравнении, имеющем следующий вид [2]:

$$p_e = \frac{\sum m_i g (1 - \rho_a / \rho_{mi})}{A_p [1 + (\alpha_p + \alpha_c) \cdot (t - t_r)]},$$

где p_e – избыточное давление, измеренное внизу поршня; m_i – индивидуальное значение массы каждого груза, устанавливаемое на поршне, включая все плавающие элементы; g – местное ускорение свободного падения; ρ_a – плотность воздуха; ρ_{mi} – плотность каждого груза; A_p – эффективная площадь блока поршень-цилиндр при нормальных условиях; α_p – линейный коэффициент теплового расширения поршня; α_c – линейный коэффициент теплового расширения цилиндра; t – измеренная температура блока поршень-цилиндр во время измерения.

В зависимости от типа блока поршень-цилиндр и диапазона давления, эффективная площадь блока цилиндра A_p может быть выражена как:

- константа A_0 , которая равна среднему значению всех измерений;
- эффективная площадь при нулевом давлении A_0 с учетом коэффициента искажения давления первого порядка:

$$A_p = A_0(1 + \lambda \cdot p),$$

где: p – приблизительное значение измеренного давления p_e . Им может быть номинальное значение; λ – коэффициент искажения давления.

- эффективная площадь при нулевом давлении A_0 с учетом коэффициента искажения давления второго порядка:

$$A_p = A_0(1 + \lambda \cdot p + \lambda \cdot p^2).$$

В качестве среды, создающей давление, используется газ – чистый азот или сухой чистый воздух с содержанием CO_2 не более 5 ppm.

Анализируя составленную модель измерения, выявим следующие факторы, влияющие на результат измерения и вносящие неопределенность:

- 1) элементы рабочей поверхности:

- эффективная площадь;
- ТКР поршня;
- ТКР цилиндра;
- коэффициент искажения давления первого порядка;
- коэффициент искажения давления второго порядка;
- стабильность эффективной площади за 2 года;

- 2) элементы силы:

- масса грузов;
- масса поршня;

- стабильность массы грузов за 2 года;
- местное ускорение свободного падения;
- плотность воздуха;
- плотность поршня;
- плотность грузов;
- отклонение от вертикали поршня;

- 3) системные элементы:

- номинальная температура;
- плотность носителя;
- положение равновесия;
- опорное (эталонное) давление;

Оценка неопределенности будет состоять из следующих составляющих:

- неопределенность массы;
- неопределенность измерения эффективной площади;
- неопределенность из-за коэффициента искажения;
- неопределенность местной гравитации;
- неопределенность из-за температуры;
- неопределенность из-за выталкивающего свойства воздуха;
- неопределенность из-за основной поправки;
- неопределенность из-за наклона;
- неопределенность из-за скорости вращения или направления вращения
- неопределенность остаточного давления (при абсолютном режиме)

Расширенная неопределенность рассчитывается, когда оценена стандартная неопределенность каждого компонента.

Оценка основывается на процедуре измерения данных включенных в сертификаты калибровки и учета параметров окружающей среды.

Факторы, влияющие на результат измерения, изобразим с помощью диаграммы Ишикавы (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма Ишикавы

Оценку неопределенности получают путем вычисления создаваемого давления, используя значения эффективной площади при нулевом давлении и коэффициента искажения давления, взятым из свидетельства калибровки.

Все необходимые для расчетов данные – значения эффективной площади, коэффициент искажения давления блока поршень-цилиндр и индивидуальное значение массы каждого груза приведены в свидетельствах калибровки грузопоршневого манометра.

Сертификаты калибровки содержат также информацию о соответствующих расширенных неопределенностях каждого параметра.

Оценивание стандартной неопределенности по типу *A* в данной работе не ведется, т.к. для ее нахождения необходимо иметь значение дисперсии, полученное экспериментальным путем для конкретного образца [3,4].

Оценка неопределенности по типу *B* стандартной неопределенности проводится в следующем порядке:

а) оценивается неопределенность $U(X_i)$ каждого влияющего компонента. Для влияющих величин, оценка неопределенности производится по границам варьирования.

б) определяется стандартная неопределенность $u_i(X_i)$ по распределению вероятности каждого компонента.

с) определяется стандартная неопределенность $u_i(p)$ из-за величины X_i используя коэффициент чувствительности, который рассчитан как частная производная функции относительно величины X_i .

Процедура расчета стандартной, расширенной неопределенности проводится на основании РМГ 43-2001 Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений" или ЕА-4/02 "Выражение неопределенности измерений при калибровке".

В данной работе проведен анализ влияющих факторов на результат измерения избыточного давления с помощью грузопоршневого манометра с газовой смазкой. Дальнейшее исследование этой темы должно быть направлено на более тщательное изучение наиболее влияющих факторов, а также создание нормативных документов, регламентирующих единый подход к расчету неопределенности грузопоршневых манометров.

Список литературы: 1. Проненко С.В. Оценка неопределенности – основа прослеживаемости измерений// Научно-технический семинар «Основні принципи та методи забезпечення єдності та точності вимірювань». – Київ: Укрметртестстандарт, 2005. 2. ЕА-4/17 Calibration of Pressure Balances – Edition July 1997. 3. ЕА-4/02 Выражение неопределенности измерения при калибровке. 4. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. Харьков, Консум, 2002 - 256с.

Поступила в редколлегию 5.10.07

УДК 621.331.621.311.52

Г.А. ДОМАНСКАЯ, ст. преподаватель ДНУЖТ (г. Днепропетровск)

ОЦЕНКА ПЕРЕТОКОВ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СХЕМ ПИТАНИЯ

У роботі запропоновані технології енергозбереження для системи тягового електропостачання.

In work offered energy-saving technology for the system of hauling power supply.

Актуальность темы обусловлена

Предварительная оценка схемы питания тяговой сети и выбор схемы, позволяющей приблизиться к энергосберегающему режиму системы тягового электроснабжения (СТЭ), определяется моделированием перетоков мощности и потерь энергии [1,2].

Целью работы является обоснование экспертной системы реализующей энергосберегающие технологии в СТЭ.

Для достижения этой цели автором была разработана компьютерная программа «МСП» на языках программирования Turbo Basic и Visual Basic 6, позволяющая рассчитывать эффективность работы тяговой сети при различных схемах питания. Программа «МСП» на основании результатов моделирования движения поездов по двухпутному участку позволяет определить активные и реактивные расходы и потери мощности в тяговой сети. Зная полный расход электроэнергии тяговой подстанции, при помощи формул, возможно, приближенно определить величину перетока электроэнергии по тяговой сети и выбрать энергосберегающие режимы, используя различные схемы питания тяговой сети.

Расходы энергии по плечам питания тяговых подстанций на имитационной модели определяются по формуле [1,2]:

$$W = \sum_{i=1}^n \dot{I}_{ni}^* \dot{U}_{ui} \quad (1)$$

где \dot{I}_{ni} – сопряженный комплекс мгновенных значений токов плеч питания тяговой подстанции; \dot{U}_{ui} – мгновенное значение напряжения на шинах тяговой подстанции; n – количество решенных мгновенных схем за время моделирования T .

Следует отметить, что полный расход электроэнергии тяговой подстанции складывается из трех составляющих: расхода электроэнергии на тягу поездов, потерь электроэнергии в тяговой сети и перетоков электроэнергии по тяговой сети. Таким образом, возможно, приближенно определять переток

электроэнергии по тяговой сети по следующей формуле:

$$W_{nep} = W - \Delta W - W_{mn} = \sum_{i=1}^n (I_{ni} \dot{U}_{ui} - \Delta \dot{S}_i) - W_{mn} \quad (2)$$

где W – полный расход электроэнергии тяговой подстанции; W_{mn} – расход электроэнергии на тягу поездов; ΔW – потери электроэнергии в тяговой сети; n – количество решенных мгновенных схем за время моделирования T .

Расход электроэнергии на тягу поездов, возможно, определить следующим образом:

$$W_{mn} = \sum_{i=1}^m W_i, \quad (3)$$

где W_i – расход электроэнергии i -го поезда; m – количество поездов на межподстанционной зоне.

Подставляя значение W_{mn} в формулу (2) получим окончательное выражение для определения перетока электроэнергии по тяговой сети за время моделирования T :

$$W_{nep} = \sum_{i=1}^n (I_{ni} \dot{U}_{ui} - \Delta \dot{S}_i) - 2,725 \sum_{j=1}^m \int_{S_n}^{S_j} F_k(S) \eta^{-1}(S) dS \quad (4)$$

Вместе с тем реализация систем АСКУЭ практически на всех железных дорогах Украины позволяет уже сегодня использовать данные микропроцессорных счетчиков электроэнергии тяговых подстанциях и осуществлять фактическое определение расходов электроэнергии, при различных схемах питания по предложенной ниже методике. Последние модификации счетчиков «Альфа» на тяговых подстанциях (при соответствующем программном обеспечении) могут измерять и потери энергии на межподстанционной зоне.

Счетчиками «Альфа» или их аналогами измеряется расход электроэнергии $W\partial$ за некоторый период времени T_1 при схеме двухстороннего питания. Затем схема питания переводится на консольную и за такой же промежуток времени T_2 измеряется расход электроэнергии Wk . Необходимо выполнять условие $T_1=T_2=T$. Если грузопотоки Γ_K и Γ_D в промежутке времени соответственно T_1 и T_2 приблизительно равны ($\Gamma_K = \Gamma_D$), то возможно оценить экономический эффект схемы питания по формуле:

$$\Delta = (W\partial - Wk) C_3, \quad (5)$$

где C_3 – стоимость электроэнергии - грн/кВт·ч; $W\partial$ – расход электроэнергии при двухстороннем питании - кВт·ч; Wk – расход электроэнергии при консольном питании - кВт·ч.

Если $\Delta > 0$, то выгоднее консольная схема питания, если $\Delta < 0$, то выгоднее двухсторонняя схема питания.

Если же грузопотоки не одинаковы $\Gamma_K \neq \Gamma_D$ то сравнение предлагается осуществлять следующим образом:

$$\Delta a = a_d - a_k, \quad (6)$$

где $a_d = W\partial/\Gamma_D$ – удельный расход электроэнергии на тягу при двухсторонней схеме питания; $a_k = Wk/\Gamma_K$ – удельный расход электроэнергии на тягу при консольной схеме питания. Если $\Delta a > 0$, то выгоднее консольная схема питания, если $\Delta a < 0$, то выгоднее двухсторонняя схема питания.

Известно, что при изменении грузопотока изменяется выгодность различных схем питания. Может возникнуть задача проверить выгодность выбранной по выражению (5) схемы питания в том случае, если ожидается изменение грузопотока при сохранении тех же условий перетока мощности по тяговой сети. Предлагается следующий путь решения этой задачи. В качестве исходных данных требуется знать величины электропотребления W_i , грузопотока Γ_i и удельного расхода электроэнергии на тягу $a_i = W_i/\Gamma_i$ за n периодов интервала времени T . Значения W_i и Γ_i возможно получить, используя счетчики «Альфа» и зная график движения поездов.

При наличии исходных данных за n периодов интервала времени T возможно составить следующую регрессионную модель:

$$a = b_0 + b_1 \Gamma, \quad (7)$$

где $a = W/\Gamma$ – кВтч/ткм – удельный расход электроэнергии на тягу; Γ – ткм – грузопоток.

Константы b_0 и b_1 определяются из временного ряда с использованием метода наименьших квадратов, в соответствии с которым находятся значения этих констант, доставляющих минимум сумме квадратов разностей между наблюдаемыми и вычисленными величинами.

Определим сумму квадратов отклонений между наблюдаемыми и вычисленными величинами:

$$S = \sum_{i=1}^n (a_i - b_0 - b_1 * \Gamma_i)^2 \quad (8)$$

Значения коэффициентов b_0 и b_1 определяются из соответствующих условий минимума функции S , которые представимы в виде следующих уравнений:

$$\frac{\partial S}{\partial b_0} = -2 \sum_{i=1}^n (a_i - b_0 - b_1 * \Gamma_i) = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b_1} = -2 \sum_{i=1}^n (a_i - b_0 - b_1 * \Gamma_i) * \Gamma_i = 0 \quad (10)$$

После алгебраических преобразований получаем следующее решение данных уравнений:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i V_i - n \bar{a} \bar{\Gamma}}{\sum_{i=1}^n V_i^2 - n \bar{\Gamma}^2}, \quad b_0 = \bar{a} - b_1 * \bar{\Gamma} \quad (12)$$

$$\bar{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma_i}{n}, \quad \bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

где $\bar{\Gamma}$ и \bar{a} — средние значения. Приведенные соотношения показывают, что сначала необходимо вычислить b_1 , а затем величину коэффициента b_0 . Вычисленные значения b_0 и b_1 имеют силу при любом вероятностном распределении случайных величин a_i .

Чтобы проверить насколько линейная модель (7) соответствует исходным данным, необходимо вычислить коэффициент корреляции r согласно формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ki} \Gamma_{ki} - n * \bar{a}_k * \bar{\Gamma}_k}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \Gamma_{ki}^2 - n * \bar{\Gamma}_k^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n a_{ki}^2 - n * \bar{a}_k^2 \right)}} \quad (12)$$

где $-1 \leq r \leq 1$. Если $r = \pm 1$, тогда линейная модель идеально подходит для описания зависимости между y и t . В общем случае, чем ближе $|r|$ к 1, тем лучше подходит линейная модель. Считается, как правило, что линейная модель подходит для исходных данных если $0.75 \leq |r| \leq 1$.

Коэффициенты b_0 , b_1 и r для величин a_{ki} и a_{di} определяются аналогичным образом. На основе формул (5)–(12) автором разработана компьютерная программа «PM-05» на языках программирования Turbo Basic и Visual Basic 6, позволяющая рассчитывать экономическую целесообразность работы тяговой сети при различных схемах питания.

Практически, как отмечалось в первом разделе и подтверждено в третьем, переток мощности при сохранении двухстороннего питания межподстанционной зоны есть всегда. Максимальное его значение будет, если тяговые подстанции, питающие межподстанционную зону, получают энергию от разных энергосистем. Действительно перетоки мощности по тяговым сетям на стыке Юго-Западной и Львовской железных дорог (питание тяговых подстанций осуществляется от разных энергосистем) достигают предельных значений и неизбежно требуют деления сети низшего напряжения 27,5 кВ.

Так режимы работы СТЭ пяти тяговых подстанций Львовской железной дороги при существующих грузопотоках с консольными схемами питания энергоэффективны и позволяют уменьшать суммарное электропотребление тяговых подстанций примерно на 500 тыс. кВт·ч ежемесячно. Эффективность перехода на консольные схемы питания согласно формуле (5):

$$\Delta E = (W_d - W_k) C_3 = 500000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} * 0.2896 \text{ грн/кВт} \cdot \text{ч} = 144800 \text{ грн.}$$

Таким образом, при определенных грузопотоках и перетоках энергии экономически выгодными для железных дорог являются консольные схемы питания тяговых сетей.

Выводы:

Предложена и обоснована экспертная система реализации энергосберегающих технологий работы СТЭ, позволяющая повысить энергетическую эффективность и оперативность управляющих воздействий путем сочетания эвристических, ретроспективных и каузальных знаний в локальных и глобальных системах управления устройствами электроснабжения по обобщенному критерию минимума стоимости электроэнергии.

Получила развитие методика автоматизированного формирования баз знаний экспертная система для выбора энергосберегающих режимов работы СТЭ на основе обработки данных имитационного моделирования и эксплуатационных наблюдений в форме таблиц условной классификации.

Исследованы суточные активные и реактивные расходы и потери энергии межподстанционной зоны двухпутного участка при различных способах изменения грузопотока: интенсификации массы поездов и увеличения количества поездов при ритмичном графике. Установлено, что увеличение перевозимой по двухпутному участку массы с 391,5 тыс.т до 699 тыс.т в сутки при различных способах реализации графика движения поездов и интенсификации их веса приводит к существенно разным потерям энергии. При ритмичном графике и соответствующих типах поездов потери энергии снижаются минимум в 3 раза.

Создана и реализована в виде компьютерной программы «МСП» методика оценки экономической целесообразности схем питания на основе данных об электропотреблении и объемах перевозок. Установлено, что при малых грузопотоках и больших перетоках энергии экономически выгодными для железных дорог являются консольные схемы питания, которые позволяют ликвидировать перетоки мощности и снизить потери энергии, например на одной межподстанционной зоне переменного тока в пределах от 250 до 500 тыс. кВт·ч в год.

Предложен способ регулирования режимов работы СТЭ на базе нечетких моделей и методов управления. Для обеспечения энергосберегающих режимов работы СТЭ с учетом питающих их энергосистем построена база нечетких правил, которая позволяет энергодиспетчеру выбрать уровни напряжений на шинах тяговых подстанций и схемы питания тяговых сетей минимизирующие перетоки мощности и потери энергии в тяговой сети.

Список литературы: 1. Корниенко В.В., Доманская Г.А. Методы расчета и моделирования режимов работы систем тягового электроснабжения и питающих их энергосистем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/3 (29). – С. 31 – 37. 2. Доманская Г.А. Энергосберегающие технологии тягового электроснабжения железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем // Тезисы докладов четвертого международного симпозиума «Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте» (Eltrans'2007). – С.-Петербург. -2007. – С. 35 – 36.

Поступила в редколлегию 5.10.07

Б.Г. ЛЮБАРСКИЙ, канд. техн. наук,
Д.Ю. ЗЮЗИН, канд. техн. наук,
А.В. ДЕМИДОВ,
Т.В. ГЛЕБОВА,
Е.С. РЯБОВ

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВОГО ПРИВОДА
 НА ОСНОВЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ
 ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ**

В роботі розглянута цифрова імітаційна модель тягового приводу на основі синхронного двигуна із збудженням від постійних магнітів і системою живлення на основі просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції.

In work a digital simulation model is considered of hauling drive on the basis of synchronous engine with excitation from the permanent magnets and system of feed on the basis of spatial-vectorial latitudinal-impulsive modulation.

Важнейшей частью подвижного состава является система преобразования энергии – тяговый электропривод. Поэтому работа, направленная на определение параметров и характеристик, тягового привода с такого рода двигателями, нам представляется актуальной.

На современном подвижном составе ряда зарубежных стран начато применение синхронных тяговых двигателей с возбуждением от постоянных магнитов[1...3].

Цель работы: разработать цифровую имитационную модель синхронного тягового привода для электропоезда.

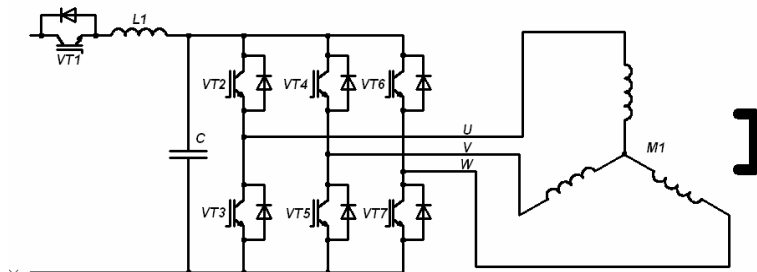


Рис.1. Схема силовой цепи тягового привода

На рис.1 представлена схема силовой цепи тягового привода. Она состоит из импульсного прерывателя, собранного на транзисторе VT1 звена постоянного тока с индуктивным фильтром L1 автономного инвертора напряжения, собранного на транзисторах VT2-VT7 и обратных диодах, а

также тягового двигателя M1. Система управления транзисторами VT2-VT7 реализует пространственно-векторную широтно-импульсную модуляцию. Для регулирования напряжения в звене постоянного тока используется импульсный регулятор. Для упрощения цифрового регулирования работа импульсного регулятора в модели не рассматривается, он заменен регулируемым источником напряжения. Также в работе приняты следующие допущения: транзисторы VT2-VT7 идеальные ключи, обратные диоды – идеальные диоды, источник регулируемого напряжения имеет внутренне сопротивление 10-7 Ом.

Модель тягового привода на основе синхронного тягового двигателя роздана в среде Matlab-Simulink . На рис. 2 представлена общая блочная схема цифровой модели привода.

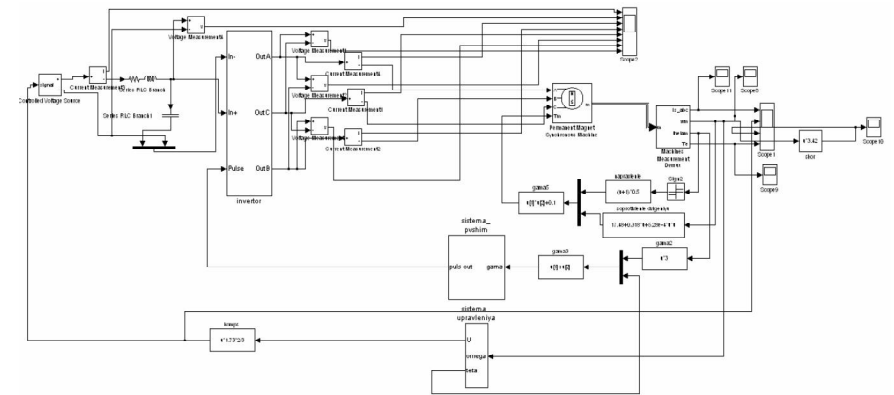


Рис. 2. Общая блочная схема цифровой модели привода

Рассмотрим основные блоки. Блок Controlled Voltage Source реализует регулируемый источник напряжения (импульсный прерыватель). Блок Series RLC Branch внутреннее сопротивление источника питания и индуктивный фильтр звена постоянного тока. Блок-подсистема Invertor – мостовой трехфазный инвертор напряжения. Блок-подсистема sistema-pvshim реализует алгоритм пространственно-векторной модуляции ключей инвертора напряжения. Блок-подсистема sistema upravleniya реализует алгоритм управления напряжением питания двигателя и задания угла коммутации в зависимости от частоты вращения. Блок Permanent Magnet Synchronous Machine – синхронный двигателя с возбуждением от постоянных магнитов. Блок Machines Measurement Demux – блок индикации рабочих параметров тягового двигателя. Блок soprotivlenie dvigeniyu определяет момент сопротивления двигателя в зависимости от частоты его вращения. Блоки napravlenie и Sign2 определяют направление момента сопротивления в зависимости от знака угловой координаты.

достижения поездом заданной скорости величина момента снижается, и держится в пределах 2000 Нм. Максимальное обратное напряжение перехода коллектор-эмиттер в режиме разгона составило 622 В

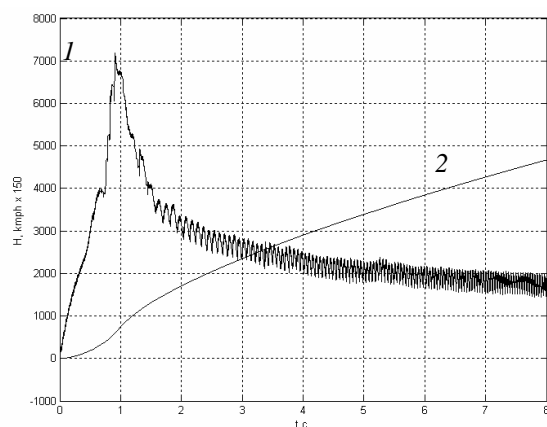


Рис. 5. 1- момент, развиваемый тяговым двигателем, 2- скорость электропоезда.

Выводы.

Разработана цифровая модель тягового привода на основе синхронного тягового двигателя с возбуждением от постоянных магнитов в среде Matlab-Simulink. Особенностью модели является формирование фазных токов тягового двигателя по алгоритму пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции.

Предложен алгоритм управления напряжением питания двигателя и задания угла коммутации в зависимости от частоты его вращения.

Проведено цифровое моделирование режима разгона электропоезда на ровном участке пути. По результатам цифрового моделирования определено максимальное обратное напряжение 622 В, максимальный фазный ток 657 А, максимальный момент, развиваемый двигателем 7107 Н·м.

Список литературы: 1. Тяговый двигатель с возбуждением от постоянных магнитов // Железные дороги мира, 2004. – №9. С. 31-36. 2. Тяговый двигатель с возбуждением от постоянных магнитов // Железные дороги мира. – 2004. – № 9. (Т. Klockow et al. *Elektrische Bahnen*, 2003, № 3, S. 107 – 112.). 3. Непосредственный тяговый привод локомотива // Железные дороги мира – 2004 – №1. с. 24 – 31.

Поступила в редколлегию 5.10.07

СОДЕРЖАНИЕ

Дорошенко Ю. И., Ивашко А.В., Шостак А.В., Сомхиева О.С. Алгоритм генерации структур древовидных псевдомедианных фильтров на основе теории разбиений.....	3
Дербунович Л.В., Бережная М.А., Суздаль В.С., Герасимчук Л.И., Епифанов Ю.М., Тавровский И.И. Отказоустойчивая система управления процессом выращивания крупногабаритных монокристаллов.....	9
Балев В.Н., Суцек А.Н. Использование LabView для обучения специалистов в области измерительной техники	19
Борисенко А.Н., Литвиненко С.А. Вопросы выбора информативных параметров и диагностических признаков для систем управления и диагностики дизель-генераторов.....	23
Бусяк Ю.М. К вопросу классификации и периодизации объектов бронетанковой техники	29
Гапон А.И., Исмаилова Э.С. Прибор для обнаружения металлических объектов в биотканях	35
Гунбин М. В., Дудник А. В., Ивашко А. А., Вуялкина С. А., Ярмола Е.А. Автоматизированная система электростимуляции точек акупунктуры стопы.....	39
Загайнова А.А. Тестирование статистических моделей старения трансформаторных масел по результатам ускоренных испытаний.....	44
Ивашко А.В., Лунин Д.А., Переход В.В. Сравнительная оценка ПЛИС-реализаций устройств оценивания автокорреляционных функций с использованием теоретико-числовых преобразований	48
Качанов П.А., Зуев А.А. Компрессия полей высот при помощи полиномов .52	
Клитной В.В. Численные исследования управления колебаний печатного узла бортовой аппаратуры.....	56
Константинова Л.В., Бондаренко Н.Ю. О развитии технического регулирования в Украине	64
Константинова Л.В., Rogov M.Ф., Коновалова О.В. Мониторинг удовлетворенности качеством образовательных услуг в высшем учебном заведении	68
Мащенко Т.Г., Васькив Н.Б. Оценка чувствительности и быстродействия устройства контроля наличия металлов в воде.....	72
Мащенко Т.Г., Шматок Т.А. Использование временных и частотных методов анализа при диагностике нарушений сердечного ритма	78
Мигуценко Р.П., Кропачек О.Ю., Малько М.Н., Гайдаш А.М. Измерение влажности сыпучих материалов	84

<i>Тверитникова О.Є.</i> Розвиток мережі підготовки інженерних кадрів для електротехнічного промислового комплексу (80 рр. XIX ст. – початок XX ст.)	90
<i>Трохин М.В., Лысенко В.В., Мараховский М.Б., Острожский А.О., Снитко Н.Н.</i> Автоматизация измерений параметров фотоэлектрических модулей с использованием мобильного комплекса АИС-СМ2	94
<i>Федосеенко Е.Н.</i> Поправка на конечные размеры объема земли при решении краевой задачи для уравнения Лапласа с целью определения электрических характеристик идеальных сосредоточенных заземлителей ...	98
<i>Фунтиков А.А., Давиденко А.П.</i> Анализ неопределенности грузопоршневого манометра с газовой смазкой	102
<i>Доманская Г.А.</i> Оценка перетоков мощности и выбор энергосберегающих схем питания.....	106
<i>Любарский Б.Г., Зюзин Д.Ю., Демидов А.В., Глебова Т.В., Рябов Е.С.</i> Цифровое моделирование тягового привода на основе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов.....	121

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ “ХПІ”

Збірник наукових праць
Тематичний випуск
Автоматика та приладобудування
№37

Науковий редкатор: проф. Качанов П.О.
Технічний редактор: Ярмола О.О.
Відповідальний за випуск: к.т.н. Обухова Г.Б.

Обл. вид. №
Підписано до друку . Формат 60× 84 1/16. Папір Copy Paper.
Друк-ризографія. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 6,3.
Облік. вид. арк. 5,9. Наклад 300 прим. 1 – й завод 1-65. Зам. №
Ціна договірна.

НТУ ”ХПІ”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Надруковано в типографії ТОВ “Сучасний друк” на цифровому лазерному
видавничому комплексі Rank Xerox Docutech 135
м. Харків, вул. Лермонтівська, 27, тел. (057)752-47-90