

*Донецкий национальный технический университет*

*Технологический институт  
Южного федерального университета в г. Таганроге*

*К 90-летию ДонНТУ*

**«ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ ПАРТНЕРСТВА  
В СФЕРЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ»**

**Материалы**

**Двенадцатого международного научно-практического семинара**

*12 – 14 апреля 2011 года*

*г.Донецк*

**ТОМ 2**

**Донецк – Таганрог 2011**

УДК 378.008.8

«Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы»: Материалы двенадцатого международного научно-практического семинара. г.Донецк, 12-14 апреля 2011г. В 2-х томах. Т.2 – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 373 с.

Сборник содержит доклады ученых и специалистов России и Украины по вопросам повышения эффективности научно-методической работы в сфере высшей школы.

Сборник предназначен для ученых, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Збірник містить доповіді вчених і фахівців Росії та України з питань підвищення ефективності науково-методичної роботи у сфері вищої школи.

Збірник призначений для науковців, викладачів, аспірантів, магістрантів і студентів вищих навчальних закладів.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н. проф. Минаев А.А., д.т.н. проф. Захаревич В.Г., д.ф.-м.н. проф. Сухинов А.И., д.т.н. проф. Башков Е.А., д.т.н. проф. Обуховец В.А., к.и.н. проф. Навка И.П., д.ф.-м.н. проф. Пашаев А.М., д.т.н. проф. Троянский А.А., д.т.н. проф. Курейчик В.М., д.т.н. проф. Михайлов А.Н., д.т.н. проф. Бутенко В.И., д.т.н. проф. Суслов А.Г., к.т.н. доц. Василовский В.В., к.т.н. доц. Селивра С.А., д.т.н. проф. Зори А.А., д.п.н. проф. Стефаненко П.В., к.т.н. доц. Турупалов В.В., к.п.н. проф. Левченко Г.Г., к.т.н. доц. Панычев А.И., к.т.н. доц. Грубка Р.М., к.т.н. доц. Шаповалов Р.Г., ст. преп. Голубов Н.В.

Рекомендовано к публикации ученым советом Донецкого национального технического университета. Протокол № 3 от 18 марта 2011г.

© ДонНТУ, ТТИ ЮФУ 2011 г.

## СЕКЦИЯ №3

### **Компьютерное моделирование, компьютерная техника, техническая кибернетика и системы управления.**

УДК 502.45

#### **ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Авдюшина А.Е., Звягинцева А.В.** *(Воронежский государственный технический университет, г.Воронеж, Россия)*

Современная наука часто сталкивается с ситуациями, когда необходимо организовать длительное наблюдение за некоторой областью пространства, с целью изучения появляющихся в этой области объектов. Примером может быть наблюдение за поведением животных и птиц в их естественной среде обитания. Часто при этом необходимо не только делать видеозаписи, но и определять координаты наблюдаемых объектов, строить траектории их перемещения и т.п. Когда речь идет о военных целях, то для этого используют специальную технику – радиолокационные станции, пеленгаторы и т.п. Однако применение таких средств в научных целях невозможно как в силу их высокой стоимости, так и в силу недоступности большинству исследовательских центров.

Рассматриваемая система предназначена для организации видеонаблюдения за природными объектами в их естественной среде. Система строится на основе модулей, находящихся в свободном доступе на современном рынке.

Структурно система состоит из центрального поста (сбора и обработки данных) и двух или более необслуживаемых периферийных постов (видеонаблюдения), объединенных в единую сеть (Рис.1). Связь между постами может осуществляться как по проводному, так и по радио каналу. После разворачивания системы для работы с ней достаточно присутствия одного человека на центральном посту.

Периферийные посты отвечают за получение изображения интересующего оператора сектора пространства. Каждый из этих постов представляет

собой видеокамеру, закрепленную на поворотном устройстве, позволяющем поворачивать ее на 360 градусов в горизонтальной плоскости и на 180 градусов в вертикальной. Сигнал с выхода видеокамеры передается на центральный пост. Оттуда, в свою очередь, производится управление поворотным устройством.

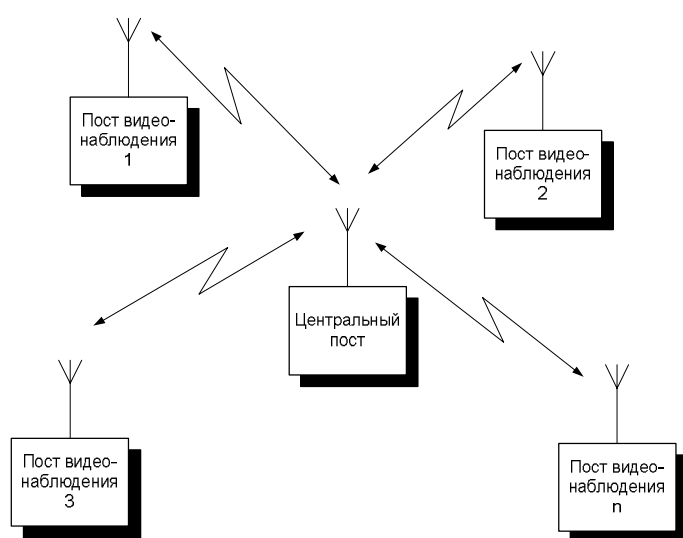


Рис. 1. Структурная схема системы

Более подробно принцип работы системы рассмотрен в [1]. В данной же статье основное внимание будет уделено ее центральному посту.

Центральный пост системы представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, обеспечивающее ему оперативный доступ ко всем функциям системы. С технической

точки зрения оно представляет собой ПЭВМ, снабженную большим монитором (или несколькими), позволяющим одновременно выводить изображения со всех периферийных постов системы, и мощным процессором, обеспечивающим вычисление местоположения заинтересовавшего оператора объекта (далее «цели») в реальном времени.

Ядром АРМ является специальное программное обеспечение (СПО), установленное на ПЭВМ. Это СПО обеспечивает:

- вывод на экран и запись на жесткий диск ПЭВМ видеопотока с одного или нескольких периферийных постов системы;
- управление положением камеры каждого из периферийных постов;
- указание оператором цели и определение ее местоположения;



- отображение местоположения периферийных постов системы и цели на интерактивной карте местности;
- формирование отчетов по результатам работы системы, содержащих фотографии цели и ее положение на карте местности.

Окно программы в режиме «Наблюдение» приведено на рис. 2.

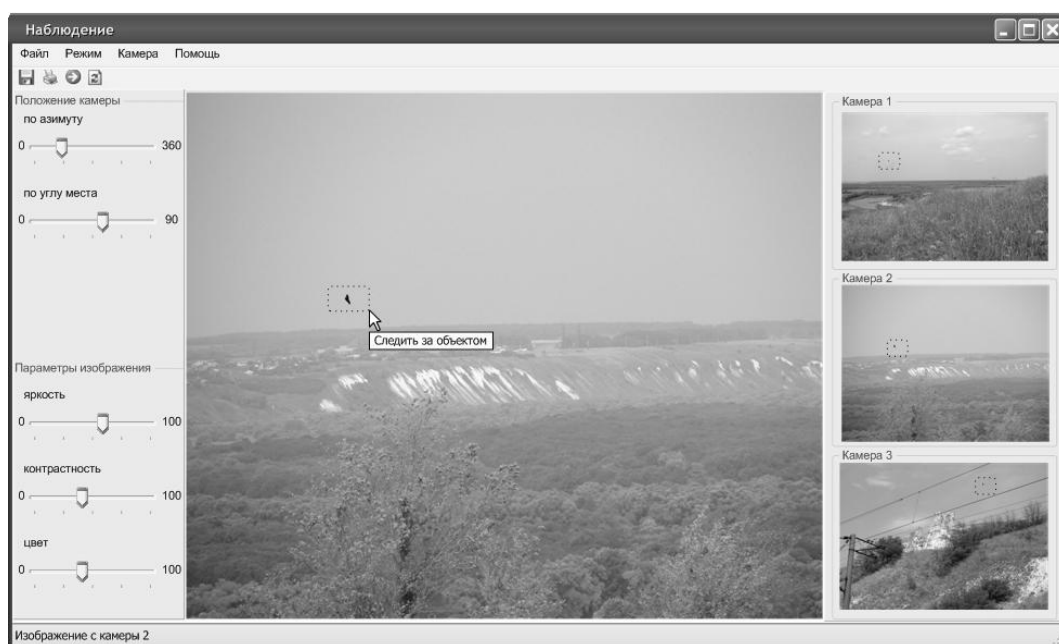


Рис. 2. Окно программы в режиме «Наблюдение»

Это «дежурный» режим работы системы. В этом режиме оператору предоставляется возможность самостоятельно наблюдать за изображениями с периферийных постов и вручную управлять положением камер. Оператор может выбрать заинтересовавший его объект, выделить его на изображении и выбрать пункт меню «Следить за объектом». После этого программа переходит в режим «Слежение». Производится автоматический поиск объекта, указанного оператором на одном из изображений, на изображения с других камер. Далее производится расчет местоположения объекта, он отображается на интерактивной карте местности. Камеры поворачиваются вслед за перемещением объекта автоматически, периодически производится перерасчет его ко-

ординат. На карте местности отображается траектория перемещения цели (рис.3).

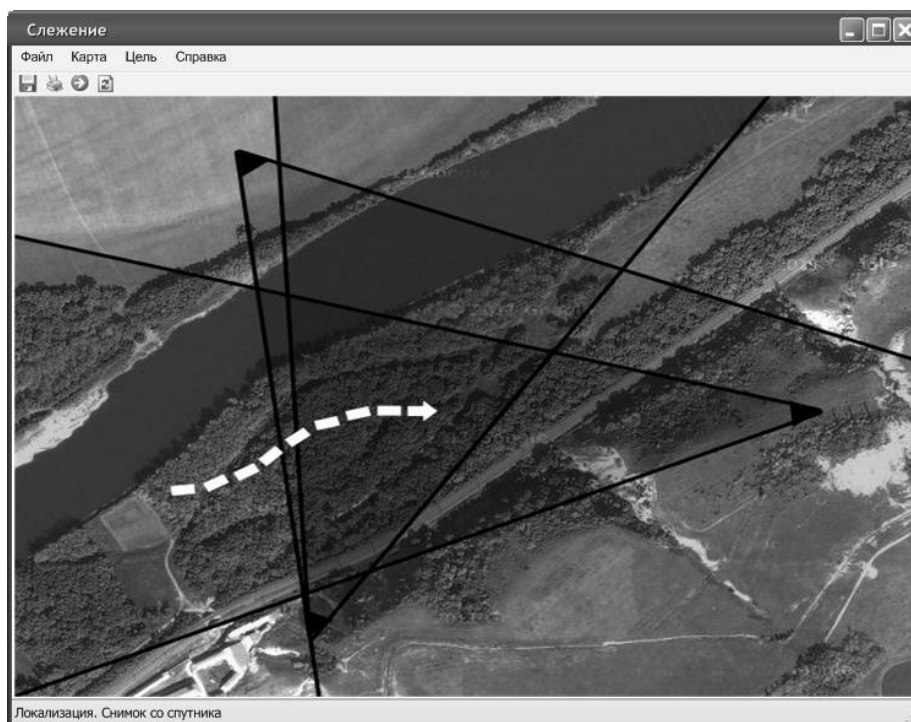


Рис. 3. Отображение трека цели на интерактивной карте местности

Так как режим «Слежение» подразумевает автоматический поворот камер за объектом, то в этом режиме цель может быть лишь одна: попытка следить за несколькими объектами может привести к тому, что камеру будет нужно поворачивать в противоположные стороны.

Кроме ручного управления, программа предоставляет возможность автоматической регистрации изображений, координат и треков всех объектов в пределах контролируемой зоны. Режим «Регистрация» предназначен для автономной работы без участия оператора. Оператор при этом устанавливает положение камер, задавая контролируемую зону на интерактивной карте местности. Автоматический поворот камеры за целью в режиме «Регистрация» не предусмотрен, и программа может контролировать несколько целей одновременно. Данные о каждой из целей (время, изображение, трек) при этом со-



## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЗАМЕНЫ ЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ В СХЕМЕ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ С РАЗДЕЛЕНИЕМ КОДОВ

Баркалов А. А.<sup>1</sup>, Лаврик А.С.<sup>2</sup>, Мирошкин А. Н.<sup>3</sup>(<sup>1</sup>University of Zielona Gora, Zielona Gora, Poland, <sup>2</sup>ДонНТУ, Донецк, Украина, <sup>3</sup>Max Planck Institute for Dynamics of Complex Technical Systems, Magdeburg, Germany)

<sup>1</sup>A.Barkalov@iie.uz.zgora.pl, <sup>2</sup>[AlexandrLavrik@cs.donntu.edu.ua](mailto:AlexandrLavrik@cs.donntu.edu.ua),

<sup>3</sup>[MiroshkinAN@gmail.com](mailto:MiroshkinAN@gmail.com)

**Abstract:** *The method of hardware reduction is proposed oriented on compositional microprogram control units and CPLD chips. The method is based on a wide fan-in of PAL macrocells allowing using more than one source of microinstruction address. Such approach permits to minimize the number of PAL macrocells used for transformation of microinstruction address. The method of logical condition replacement is used for optimization of microinstruction addressing block.*

**Key words:** *CPLD, КМУУ, Замена логических условий, Разделение кодов.*

### Введение

В настоящее время для реализации схем устройств управления (УУ) [1] широко используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) типа CPLD (Complex Programmable Logic Device). Такие ПЛИС включают в себя макроячейки с широкой входной шиной, которые могут выполнять логическую функцию от большого числа переменных (несколько десятков) [5, 6]. Однако высокая стоимость данного базиса порождает актуальную задачу уменьшения числа корпусов ПЛИС в схеме. При синтезе УУ необходимо учитывать особенности, как интерпретируемого алгоритма управления, так и используемых элементов. Так, при интерпретации линейных граф-схем алгоритмов (ГСА) целесообразно использовать модель композиционного микропрограммного устройства управления (КМУУ) с разделением кодов [4]. Особенности ПЛИС, можно использовать для увеличения числа источников кодов классов псевдоэквивалентных операторных линейных цепей (ОЛЦ) [2, 3]. В настоящей работе предлагается метод синтеза КМУУ, учитывающий эти особенности ПЛИС, а также использующий метод замены логических условий [1].

Целью исследования является уменьшение аппаратных затрат в схеме КМУУ за счёт одновременного использования нескольких источников кодов классов псевдоэквивалентных ОЛЦ и замены логических условий. Задачей исследования является разработка метода, позволяющего уменьшить аппаратные затраты в схемах адресации микрокоманд и преобразователя адреса микрокоманды.

### **Особенности КМУУ с разделением кодов**

Пусть ГСА  $\Gamma$  представлена множествами вершин  $V$  и дуг  $E$ , соединяющих эти вершины. При этом  $V = \{b_0, b_E\} \cup E_1 \cup E_2$ , где  $b_0$  - начальная вершина ГСА,  $b_E$  - конечная вершина ГСА,  $E_1$  - множество операторных вершин, где  $|E_1| = M$ ,  $E_2$  - множество условных вершин. В вершинах  $b_q \in E_1$  записаны наборы микроопераций  $Y(b_q) \subseteq Y$ , где  $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$  - множество микроопераций. В вершинах  $b_q \in E_2$ , записаны элементы множества логических условий  $X = \{x_1, \dots, x_L\}$ . Пусть ГСА  $\Gamma$  является линейной, то есть включает более 75% операторных вершин [2].

Сформируем множество ОЛЦ  $C = \{\alpha_1, \dots, \alpha_G\}$  ГСА  $\Gamma$ , где каждая из ОЛЦ является последовательностью операторных вершин и каждой паре её соседних компонент  $b_i, b_j$  соответствует дуга  $\langle b_i, b_j \rangle \in E$ . Каждая ОЛЦ имеет только один выход  $O_g$  и произвольное число входов ( $g = 1, \dots, G$ ). Формальные определения ОЛЦ, их входов и выходов можно найти в [4]. Каждая вершина  $b_q \in E_1$  соответствует микрокоманде  $MI_q$ , хранимой в управляющей памяти (УП) КМУУ по адресу  $A(b_q)$ . Для адресации микрокоманд достаточно

$$R = \lceil \log_2 M \rceil \quad (1)$$

бит. Пусть ОЛЦ  $\alpha_g \in C$  включает  $F_g$  компонент и пусть  $Q = \max(F_1, \dots, F_G)$ . Закодируем ОЛЦ  $\alpha_g \in C$  двоичными кодами  $K(\alpha_g)$  разрядности  $R_G$ , а каждый компонент ОЛЦ  $\alpha_g \in C$  двоичными кодами  $K(b_q)$  разрядности  $R_Q$ , где

$$R_G = \lceil \log_2 G \rceil \quad (2)$$

$$R_Q = \lceil \log_2 Q \rceil \quad (3)$$

Пусть компоненты закодированы таким образом, что

$$K(b_{gi+1}) = K(b_{gi}) + 1 \quad (4)$$

где  $i = 1, \dots, F_g - 1$ ,  $g = 1, \dots, G$ . Пусть для кодирования компонент ОЛЦ используются переменные  $T_r \in T$ , а для кодирования ОЛЦ – переменные  $\tau_r \in \tau$ , где  $|\tau| = R_G, |T| = R_Q$ . В случае, если выполняется условие

$$R_G + R_Q = R \quad (5)$$

ЛГСА  $\Gamma$  может быть представлена моделью КМУУ с разделением кодов  $U_1$ .

Принцип работы КМУУ  $U_1$  и псевдоэквивалентных ОЛЦ (ПОЛЦ) подробно описан в [7].

Отметим, что аппаратные затраты в логической схеме САМ могут быть уменьшены введением специального блока преобразователя кодов (ПК), преобразующего коды ОЛЦ в коды классов ПОЛЦ [4,7].

В данной работе предлагается метод синтеза КМУУ  $U_2$ , в котором используется два источника кодов классов ПОЛЦ, что позволяет снизить аппаратные затраты, потребляемые блоком ПК вплоть до нуля. Для уменьшения сложности блока САМ предлагается использовать стратегию замены логических условий [4].

#### **Основная идея предлагаемого метода**

Отметим, что схемы блоков САМ, СТ, Рг и ТВ реализуются в составе ПЛИС, а для реализации УП требуются ППЗУ, имеющие  $t$  выходов ( $t = 1, 2, 4, 8, 16$ ). Выполним адресацию ОЛЦ  $\alpha_g \in C_1$  таким образом, чтобы выполнялось (4) и максимально возможное число классов  $B_i \in \Pi_C$  выражалось одним обобщённым интервалом  $R$ -мерного булева пространства. Для этого может быть использован широкоизвестный алгоритм ESPRESSO [8].

Пусть  $\Pi_C = \Pi_A \cup \Pi_B$ , где  $B_i \in \Pi_A$ , если классу соответствует один интервал, иначе  $B_i \in \Pi_B$ .

Если выполняется условие

$$\Pi_B = \emptyset, \quad (8)$$

то блок ПК отсутствует и регистр Рг является источником всех кодов  $K(B_i)$  для классов  $B_i \in \Pi_C$ . В противном случае преобразованию подлежат только адреса выходов ОЛЦ, входящих в классы  $B_i \in \Pi_B$ . Для кодирования этих классов достаточно

$$R_B = \lceil \log_2(|\Pi_B| + 1) \rceil \quad (9)$$

Единица добавляется к  $|P_B|$  для обозначения ситуации  $B_i \notin P_B$ . Отметим, что часть кодов может быть реализована на ППЗУ. Пусть для кодирования микроопераций используется стратегия унитарного кодирования [2], тогда слово УП имеет  $N+2$  разрядов. Для реализации УП требуется

$$R_0 = \left\lceil \frac{N+2}{t} \right\rceil \quad (10)$$

микросхем с числом ячеек, не меньшим  $M$ . При этом

$$R_3 = R_0 * t - N - 2 \quad (11)$$

выходов ППЗУ являются свободными. Если

$$R_3 \geq R_B \quad (12)$$

то источниками кодов классов  $B_i \in P_B$  является УП и блок ПК отсутствует. Такой подход позволяет уменьшить число макроячеек в схеме блока САМ и число ППЗУ, используемых для преобразователя адреса.

Дальнейшая оптимизация схемы САМ возможна за счёт замены логических условий [1], когда множество  $X$  заменяется множеством  $P = \{p_1, \dots, p_Q\}$ , где  $Q \ll L$ . В этом случае для интерпретации ГСА  $\Gamma$  предлагается КМУУ  $U_2$ .

В КМУУ  $U_2$  коды  $K_A(B_i)$  классов  $B_i \in P_A$  представляются переменными  $\tau_r \in \tau$ , коды  $K_B(B_i)$  классов  $B_i \in P_B$  - переменными  $v_r \in V$ , где  $|V| = R_B$ . В отличие от КМУУ  $U_1$  здесь блок ПК отсутствует, а блок САМ реализует функции

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi(\tau, V, P), \\ \Psi &= \Psi(\tau, V, P). \end{aligned} \quad (13)$$

Переменные  $p_q \in P$  формируются блоком логических условий (БЛУ) в виде системы

$$P = P(\tau, V, X). \quad (14)$$

В настоящей работе предлагается метод синтеза КМУУ  $U_2$ , включающий следующие этапы: формирование множеств  $C$ ,  $C_1$ ,  $P_C$  для ГСА  $\Gamma$ , адресация микрокоманд, формирование множеств  $P_A$ ,  $P_B$ , кодирование классов  $B_i \in P_B$ , формирование содержимого управляющей памяти, замена логических условий, формирование таблицы переходов КМУУ, формирование таблицы блока БЛУ, синтез логической схемы КМУУ.

### Заключение

Предлагаемый в работе метод оптимизации схемы КМУУ с разделением кодов, ориентирован на уменьшение числа макроячеек ПМЛ в схеме блока САМ

за счёт использования нескольких источников кодов классов псевдоэквивалентных ОЛЦ и метода замены логических условий.

Однако этот выигрыш в аппаратуре сопровождается уменьшением быстродействия за счёт введения блока замены логических условий БЛУ. Кроме того, этот блок потребляет некоторые ресурсы кристалла. Таким образом, использование предложенного метода имеет смысл, если суммарные затраты в блоках САМ и БЛУ меньше аппаратурных затрат в блоке САМ эквивалентного КМУУ  $U_1$ .

Научная новизна предложенного метода заключается в одновременном использовании особенностей базиса ПЛИС для уменьшения аппаратурных затрат в схеме ПК и метода замены логических условий для оптимизации схемы САМ. Отметим, что при выполнении условия (12) блок ПК вообще отсутствует. Практическая значимость этого метода заключается в уменьшении числа микросхем при реализации схемы КМУУ, что позволяет получить схемы, обладающие меньшей стоимостью по сравнению с известными из литературы аналогами.

Дальнейшие исследования направлены на проверку эффективности данного метода при реализации схемы в базисе FPGA [8].

**Список литературы:** 1. Baranov S. Logic Synthesis for Control Automata. – Kluwer Academic Publishers, 1994. – 312 pp. 2. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем с использованием микросхем программируемой логики. – СПб: БХВ. – Петербург, 2002. – 608 с. 3. Соловьев В.В. Проектирование цифровых схем на основе программируемых логических интегральных схем. – М.: Горячая линия-ТЕЛЕКОМ, 2001. – 636 с. 4. Barkalov A., Titarenko L. Logic Synthesis for Compositional Microprogram Control Units. – Berlin: Springer, 2008. – 272 pp. 5. Электронный ресурс. Altera devices overview. [http://www.altera.com/products/devices/common/dev-family\\_overview.html](http://www.altera.com/products/devices/common/dev-family_overview.html). 6. Электронный ресурс. Xilinx CPLDs [http://www.xilinx.com/products/silicon\\_solutions/cplds/index.htm](http://www.xilinx.com/products/silicon_solutions/cplds/index.htm). 7. Баркалов А.А., Зеленёва И.Я., Лаврик А.С. Уменьшение аппаратурных затрат в схеме адресации микрокоманд устройства управления с разделением кодов. / Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Випуск 5 (46) – Харьков: ХАИ. – 2010. С. 124-129. 8. Maxfield C. The Design Warrior's Guide to FPGAs. – Amsterdam: Elsevier, 2004. – 541 pp.



## СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ В СХЕМЕ КМУУ С ЭЛЕМЕНТАРНЫМИ ЦЕПЯМИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НА ЗАКАЗНЫХ МАТРИЦАХ

Баркалов А.А., Цололо С.А., Биайрак Х. (Университет Зеленогурский, Дон-НТУ, г. Зелёная Гура, г. Донецк, Польша, Украина)

E-mail: [A.Barkalov@iie.uz.zgora.pl](mailto:A.Barkalov@iie.uz.zgora.pl)

**Abstract:** *The structures of compositional microprogram control unit with elementary operational linear chains are proposed. Structures allow reducing the complexity of the matrix realization in the device's circuit. The proposed method is based on using two codes sources. Theoretical background and practical approach of synthesis are given.*

**Keywords:** *CMCU, elementary OLC, matrix realization, gate array*

Важной задачей современной микроэлектроники является уменьшение площади, занимаемой схемой устройства управления (УУ) в системах на кристалле [1, 2]. Решение этой задачи предусматривает рассмотрение особенностей алгоритма управления, реализуемого УУ [3]. Для интерпретации линейного [3, 4] алгоритма управления, представленного граф-схемой алгоритма (ГСА) целесообразно использовать модель композиционного микропрограммного устройства управления (КМУУ) [4]. Одним из путей такой реализации является использование модели с разделением кодов и элементарными операторными линейными цепями (ЭОЛЦ) [5]. В работе рассматривается способ уменьшения площади блока адресации КМУУ, который основан на использовании двух источников кодов псевдоэквивалентных ЭОЛЦ (ПЭОЛЦ).

### Принципы реализации КМУУ на заказных матрицах

Пусть ГСА  $\Gamma$  представлена множествами вершин  $V$  и дуг  $E$ , соединяющих эти вершины, тогда при этом  $V = \{b_0, b_E\} \cup E_1 \cup E_2$ , где  $b_0$  – начальная вершина ГСА,  $b_E$  – конечная вершина ГСА,  $E_1$  – множество операторных вершин, где  $|E_1| = M$ ,  $E_2$  – множество условных вершин. В вершинах  $b_q \in E_1$  записаны наборы микроопераций  $Y(b_q) \subseteq Y$ , где  $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$  – множество микроопераций. В вершинах  $b_q \in E_2$  записаны элементы множества логических условий  $X = \{x_1, \dots, x_L\}$ . Пусть ГСА  $\Gamma$  является линейной, то есть включает более 75% операторных вершин [4].

Пусть для ГСА  $\Gamma$  сформировано множество ЭОЛЦ  $C = \{\alpha_1, \dots, \alpha_G\}$ . ЭОЛЦ является такой последовательностью операторных вершин, в которой для каждой из пары соседних компонент  $b_i, b_j \in E_1$  существует дуга  $\langle b_i, b_j \rangle \in E$  [4]. При этом цепь является элементарной, если она имеет только один вход. Каждая

вершина  $b_q \in E_1$  соответствует микрокоманде  $MI_q$ , которая хранится в ячейке управляющей памяти (УП), имеющей адрес  $A(b_q)$ . Для адресации  $M$  микрокоманд достаточно

$$R = \lceil \log_2 M \rceil \quad (1)$$

адресных переменных. Поставим в соответствие каждой ЭОЛЦ  $\alpha_g \in C$  двоичный код  $K(\alpha_g)$  разрядности

$$R_C = \lceil \log_2 G \rceil. \quad (2)$$

Используем для кодирования ЭОЛЦ переменные  $\tau_r \in \tau$ , где  $|\tau| = R_C$ . Пусть ЭОЛЦ  $\alpha_g \in C$  имеет  $F_g$  компонент и пусть  $Q = \max(F_1, \dots, F_G)$ . Тогда любая компонента ЭОЛЦ может быть представлена двоичным кодом  $K(b_q)$  разрядности

$$R_0 = \lceil \log_2 Q \rceil. \quad (3)$$

Используем для кодирования ЭОЛЦ переменные  $T_r \in T$ , где  $|T| = R_0$ . В этом случае адрес  $A(b_q)$  может быть представлен выражением:

$$A(b_q) = K(\alpha_g) * K(b_q). \quad (4)$$

Закодируем компоненты каждой ЭОЛЦ так, чтобы первая компонента имела вид, десятичный эквивалент которого равен 0, вторая – 1 и так далее. В результате выполняется естественная адресация микрокоманд [3], соответствующих компонентам каждой ЭОЛЦ  $\alpha_g \in C$ .

Если для ГСА  $\Gamma$  выполняется условие

$$R_0 + R_C = R, \quad (5)$$

то для реализации соответствующего алгоритма управления целесообразно использовать модель КМУУ  $U_1$  (рис. 1).

Предлагаемый метод ориентирован на уменьшение площади блока БАМ. Поэтому рассмотрим его матричную схему (рис. 2).

*КМУУ  $U_1$*

Эта схема включает конъюнктивную матрицу  $M_1$  и дизъюнктивную матрицу  $M_2$ . Матрица  $M_1$  реализует  $N$  термов  $F_h \in F$  из функции (6).

При этом терм  $F_h$  определяется следующим образом:

$$F_h = \left( \bigwedge_{r=1}^{R_C} \tau_r^{lgr} \right) \cdot X_h \quad (h = \overline{1, N}). \quad (7)$$

Матрица  $M_2$  реализует функции (6), определяемые как

$$D_r = \bigvee_{h=1}^N C_{rh} F_h \quad (r = \overline{1, R_C}) \quad (8)$$

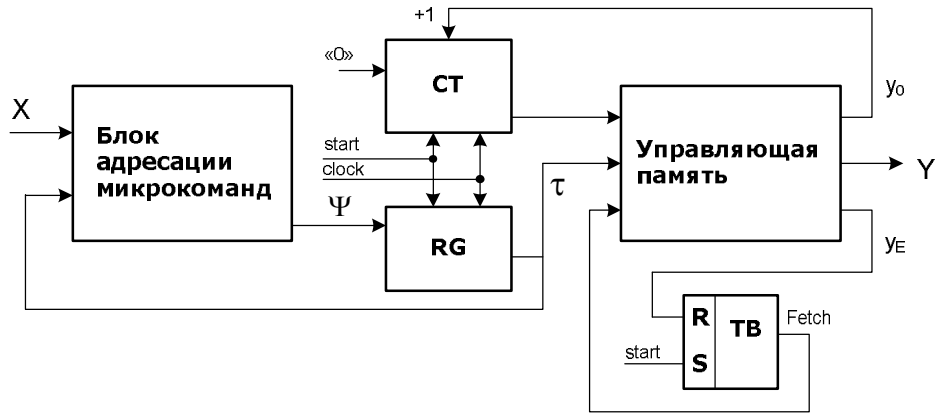


Рис. 1. Структурная схема КМУУ  $U_1$

В формуле (8)  $C_{rh} \in \{0,1\}$  и  $C_{rh} = 1$ , если и только если терм  $F_h$  входит в функцию  $D_r \in \Psi$ .

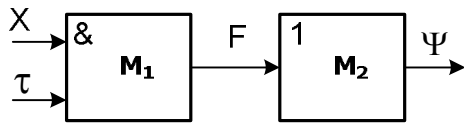


Рис. 2. Матричная схема блока БАМ

Площадь блока БАМ определяется суммой площадей  $S(M_1)$  и  $S(M_2)$  матриц  $M_1$  и  $M_2$ . Площади принято определять в условных единицах [6]:

$$\begin{cases} S(M_1) = 2(L + R_C)H; \\ S(M_2) = HR_C. \end{cases} \quad (9)$$

Из анализа формулы (9) следует, что параметр  $L$  не может быть уменьшен, так как он определяется ГСА  $\Gamma$ . Следовательно, площадь блока БАМ можно уменьшить путем минимизации числа термов в системе (8) и числа переменных. Этого можно достичь благодаря наличию ПЭОЛЦ [3].

### Основная идея предлагаемого метода

ЭОЛЦ  $\alpha_i, \alpha_j \in C$  называются ПЭОЛЦ, если их выходы связаны со входом одной и той же вершины ГСА  $\Gamma$ . Так как БАМ не формирует переходы для ЭОЛЦ, связанных с конечной вершиной  $b_E$ , то построим множество  $C_1 \subseteq C$ . Пусть ЭОЛЦ  $\alpha_g \in C_1$ , если ее выход не связан дугой с вершиной  $b_E$ . Найдем разбиение  $\Pi_C = \{V_1, \dots, V_l\}$  множества  $C$  на классы ПЭОЛЦ. Закодируем ЭОЛЦ  $\alpha_g \in C$  кодами  $K(\alpha_g)$  так, чтобы для максимального возможного числа классов  $V_i \in \Pi_C$  выполнялось условие

$$n_i = 1. \quad (10)$$

В (10) параметр  $n_i$  определяется числом обобщенных интервалов  $R_C$  - размерного булева пространства, содержащих ЭОЛЦ класса  $V_i \in \Pi_C$ .

Представим множество  $\Pi_C$  в виде объединения множеств  $\Pi_C^1$  и  $\Pi_C^2$ . Пусть  $B_i \in \Pi_C^1$ , если условие (10) выполняется. В противном случае  $n_i > 1$  и  $B_i \in \Pi_C^2$ . Пусть  $G_2 = |\Pi_C^2| + 1$ . Закодируем классы  $B_i \in \Pi_C^2$  кодами разрядности

$$R_B = \lceil \log_2 G_2 \rceil \quad (11)$$

и используем для кодирования переменные  $z_r \in Z$ , где  $|Z| = R_B$ .

Построим следующую систему функций для классов  $B_i \in \Pi_C^2$ :

$$B_i = \bigvee_{g=1}^G C_{gi} \alpha_g. \quad (12)$$

В (12) булева переменная  $C_{gi} = 1$ , если  $\alpha_g \in B_i$ . Система (12) является основой для построения таблицы преобразователя кодов ЭОЛЦ в коды классов  $B_i \in \Pi_C^2$ . Из таблицы может быть получена система термов  $A_0$ , где терм  $A_g$  соответствует некоторому интервалу, включающему ЭОЛЦ  $\alpha_g \in B_i$ :

$$A_g = \bigwedge_{r=1}^{RC} \tau_r^{1gr}. \quad (13)$$

В (13)  $1_{gr} \in \{0,1,*\}$  – значение  $g$ -го разряда соответствующего интервала,  $\tau_r^0 = \bar{\tau}_r$ ,  $\tau_r^1 = \tau_r$ ,  $\tau_r^* = 1$  ( $r = \overline{1, R_C}$ ). Терм (13) входят в функции  $z_r \in Z$ , кодирующие классы  $B_i \in \Pi_C^2$ :

$$z_r = \bigvee_{g=1}^G C_{gr} A_g \quad (r = \overline{1, R_B}). \quad (14)$$

В (14)  $C_{gr} \in \{0,1\}$  и  $C_{gr} = 1$ , если терм  $A_g$  входит в функцию  $z_r \in Z$ . Число термов  $A_g$  зависит от результата оптимального кодирования ЭОЛЦ.

Рассмотренный метод приводит к КМУУ  $U_2$  (рис. 3).

В КМУУ  $U_2$  блок БАМ состоит из трех матриц:

– матрица  $M_1^1$  реализует термы  $F_h \in F^1$ , определяющие переходы из ЭОЛЦ классов  $B_i \in \Pi_C^1$ :

$$F_h = F_h(x^1, \tau) \quad (h = \overline{1, H_1}); \quad (15)$$

– матрица  $M_1^2$  реализует термы  $F_h \in F^2$ , определяющие переходы из ЭОЛЦ классов  $B_i \in \Pi_C^2$ :

$$F_h = \left( \bigwedge_{r=1}^{RB} z_r^{1ir} \right) \cdot X_h \quad (h = \overline{1, H_2}); \quad (16)$$

– матрица  $M_2$  реализует систему функций  $\Psi$ , зависящую от термов вида (15) и (16). Эта матрица имеет  $H_1 + H_2 = H_0$  входов, что дает площадь  $S(M_2) = H_0 R_C$ .

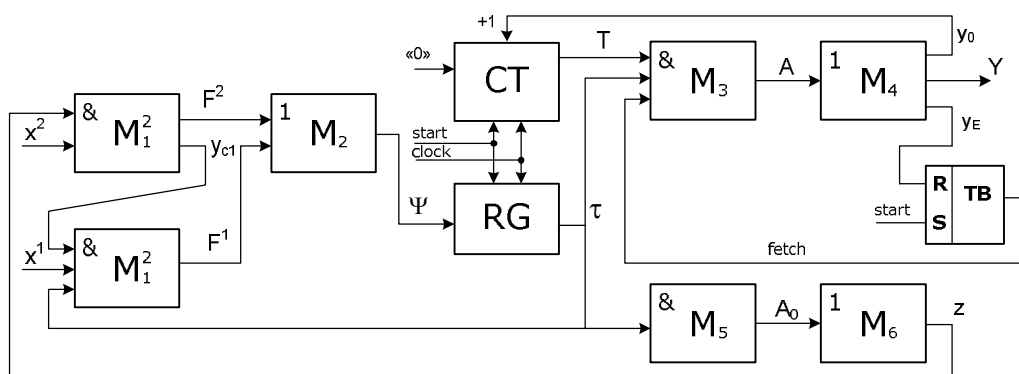


Рис. 3. Структурная схема КМУУ  $U_2$

Кроме того, матрица  $M_1^2$  формирует переменную  $y_{c1}$ . Если  $y_{c1}=1$ , то все термы (16) равняются нулю и функции  $\Psi$  зависят от термов (15).

Матрица  $M_3$  реализует термы системы  $Y \cup \{y_0, y_E\}$ , а матрица  $M_4$  – сами функции этой системы. Матрица  $M_5$  реализует термы (13), а матрица  $M_6$  – функции (14).

### Выводы

Предложенный способ позволяет уменьшить площадь блока адресации микрокоманд. При этом суммарная площадь матриц  $M_1^1$  и  $M_1^2$  может быть меньше, чем в эквивалентном автомате Мили. Этот способ основан на использовании двух источников кодов классов элементарных ОЛЦ. При этом матрица термов схемы адресации КМУУ разбивается на две части.

Предложенный способ применим только для линейных граф-схем алгоритма при выполнении условия (5). Если условие (5) не выполняется, то это приводит к резкому увеличению площадей матриц  $M_3$  и  $M_4$ , и применение способа становится нецелесообразным.

**Список литературы:** 1. Baranov S. Logic Synthesis for Control Automata. – Kluwer Academic Publishers, 1994. – 312 pp. 2. Smith M. Application-Specific Integrated Circuits. – Boston: Addison-Wesley, 1997. 3. Barkalov A.A., Titarenko L.A. Synthesis of operational and control automata. – Donetsk: DonNTU, TechPark DonNTU UNITECH, 2009. – 256 pp. 4. Barkalov A., Titarenko L. Logic Synthesis for Compositional Microprogram Control Units. – Berlin: Springer, 2008. – 273pp. 5. Баркалов А.А., Титаренко Л.А. Синтез микропрограммных автоматов на заказных и программируемых СБИС. – Донецк: ДонНТУ, Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2009. – 336 с. 6. Баркалов А.А. Разработка формализованных методов структурного синтеза композиционных автоматов. Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук. – Киев, 1995. – 301 с.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГИБРИДНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПОМОЩИ NTC ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Беляев А.О. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел.: +7(8634)328025; E-mail: [alexys@pisem.net](mailto:alexys@pisem.net)

**Abstract:** *The implementation of new approaches in building of measuring circuits is an important aspect of an engineering education. Knowledge of current trends of designing analog and digital parts of measuring instruments and systems enables to find effective solutions of specific measurement tasks. This paper describes the method of hybrid computations, with respect to the electronic temperature meter on the basis of NTC thermistors.*

**Key words:** *hybrid computations, NTC thermistors, measurements circuits, dynamic range narrowing.*

Основным недостатком полупроводниковых терморезисторов с отрицательным ТКС (NTC термисторов) является нелинейность их R-T характеристик. Согласно [1], наиболее точно реальную температурную зависимость сопротивления терморезистора описывается полиномом 3- степени:

$$T = \left[ a + b \cdot [\ln(R_T)] + c \cdot [\ln(R_T)]^2 + d \cdot [\ln(R_T)]^3 \right]^{-1} \quad (1)$$

где  $T$  – температура терморезистора,  $R_T$  – сопротивление терморезистора при температуре  $T$ ,  $a, b, c, d$  – коэффициенты.

Как видно из выражения (1) в качестве аргумента полинома используется натуральный логарифм сопротивления терморезистора. Вычисление натурального логарифма в микроконтроллерных системах реализуется программно, и соответственно, качество её выполнения зависит от разрядности вычислителя и его быстродействия, что накладывает определенные требования к вычислительной платформе.

Кроме этого, существует ещё одна существенная проблема: широкий динамический диапазон выходного сигнала NTC терморезисторов. Который, например, при использовании NTC термистора номинальным сопротивлением 10 кОм, с ТКС -4%/°C для измерения температуры в интервале -50°C ÷

+150°C приводит к тому, что динамический диапазон выходного напряжения измерительной цепи составляет 102 дБ. Для сравнения, динамический диапазон 16-и битного АЦП составляет 98 дБ. Поэтому согласование электрических параметров измерительной цепи и цифровой части, в данном, случае, так же является одним из вопросов подлежащих решению.

В последние годы, при разработке интеллектуальных датчиков, имеющих на выходе сигнал с широким динамическим диапазоном [2,3] предлагаются методы его сужения, основанные на применении гибридных вычислителей. Гибридный вычислитель представляет собой совокупность аппаратных (аналоговых) и цифровых методов обработки сигнала. В [4] были рассмотрены различные варианты решения проблемы широкого динамического диапазона выходного сигнала пьезокерамических виброакселерометров. Этот же подход может быть использована и для проектирования электронных измерителей температуры на основе NTC терморезисторов.

Избежать увеличения требований к системе цифровой обработки данных можно, если использовать аппаратное (аналоговое) логарифмирование. На данный момент промышленностью выпускаются логарифмирующие усилители [5,6], так же он может быть изготовлен из дискретных элементов [7,8].

Динамический диапазон входной величины для логарифмических усилителей в основном не превышает 120 дБ (у некоторых моделей он составляет 160 дБ), поэтому его применение позволит снизить требования к разрядности АЦП и существенно упростить сложность вычислений, а соответственно и требования к вычислительной части измерителя температуры.

В общем случае передаточная функция логарифмического усилителя [5,6,9] описывается выражением:

$$U_{LOG} = K \cdot \ln\left(\frac{X_{IN}}{A}\right) \quad (2)$$

где  $K$  и  $A$  - постоянные коэффициенты.

Большинство логарифмирующих усилителей в качестве входного сигнала  $X_{IN}$  используют ток  $I_{IN}$ , в таком случае, выражение (2) можно переписать, относительно логарифма тока  $I_{IN}$ , в виде:

$$\ln(I_{IN}) = \frac{U_{LOG} + K \cdot \ln(A)}{K},$$

но поскольку, нас интересует логарифм сопротивления терморезистора  $R_T$ , то, выразив ток через напряжение и сопротивление, получим:

$$\ln(R_T) = \ln(U_{REF}) - \ln(A) - \frac{U_{LOG}}{K}. \quad (3)$$

Учитывая, что в выражении (3) все компоненты, кроме  $U_{LOG}$ , являются постоянными, то для дальнейших вычислений, его удобнее преобразовать к виду:

$$\ln(R_T) = A' + K' \cdot U_{LOG}. \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что процедура вычисления логарифма сопротивления терморезистора сводится к одному умножению и одному сложению, что существенно проще чем вычисление логарифма напрямую. Таким образом, можно выделить два основных преимущества использования в составе измерительной цепи логарифмирующего усилителя:

- существенное снижение требований к АПЦ;
- снижение вычислительной сложности для цифровой части.

Функциональная схема электронного измерителя температуры, построенного с использованием логарифмирующего усилителя показана на рис. 1.

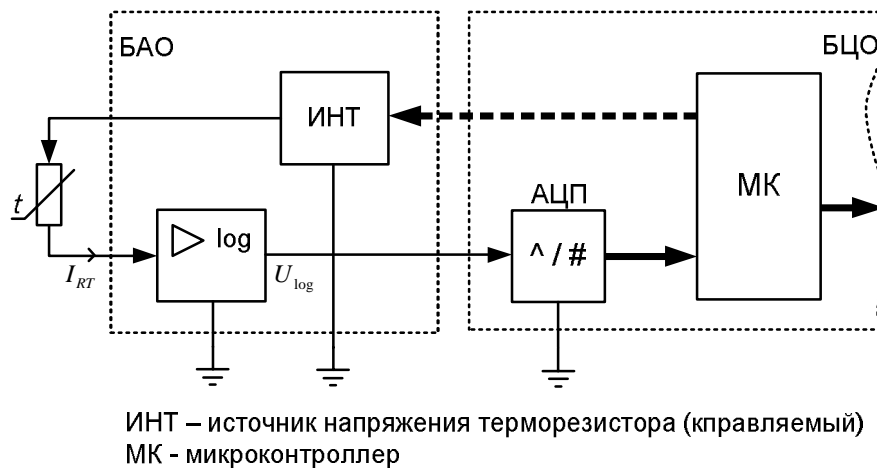


Рис. 1. Фрагмент функциональной схемы измерителя температуры с логарифмирующим усилителем в составе блока аналоговой обработки

В функциональной схеме изображенной на рис. 1, термистор является преобразователем напряжения ИНТ в ток, поскольку напряжения источника является постоянным, то ток на входе логарифмирующего усилителя обратно пропорционален сопротивлению термистора. На рис. 1 пунктирной линией



показано управляющее воздействие для ИНТ (в качестве ИНТ может выступать ЦАП).

Рассмотренный в данной статье подход позволяет, при использовании в составе измерительной части логарифмирующего усилителя, сузить динамический диапазон сигнала и снизить сложность математической модели за счет использования метода «гибридных» (аналого-цифровых) вычислений. Несмотря на явные преимущества перед другими методами используемыми на широких интервалах температур (от 100°C и выше), данный подход обладает существенным ограничением: выпускаемые промышленностью интегральные логарифмирующие усилители имеют достаточно высокие значения ошибки соответствия логарифмическому закону, кроме того логарифмические усилители имеют ограничение по динамическому диапазону входного сигнала.

**Список литературы:** 1. Steinhart, J. S. and S. R. Hart, "Calibration curves for thermistors", Deep Sea Res., 15, 497-503 (1968). 2. Доля В.К., Гибридные вычислители для интеллектуальных пьезоэлектрических преобразователей – Принята к изданию (Датчики и системы). 3. Синютин С.А., Круглов А.К., Доля В.К., Интеллектуальный многофункциональный датчик виброскорости с цифровым выходом. Труды VI международной научно-технической конференции «Инновационные процессы пьезоэлектрического приборостроения и нанотехнологий», 22 – 26 сентября 2008 г., г. Анапа, стр.111 – 117. 4. Беляев А.О. Интеллектуальный датчик виброскорости с аналоговым интегратором и цифровой коррекцией. Известия ЮФУ. Технические науки. № 2, 2008, стр. 130-135. 5. Analog Devices official site. [www.analog.com](http://www.analog.com). 6. Maxim official site. [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com). 7. Хоровиц П., Хилл У., Искусство схемотехники: В 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. Изд. 2-е, стереотип. – М.: Мир, 1984. – 598 с., ил. 8. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с., ил. 9. Integrated DC Logarithmic Amplifiers. Maxim engineering journal. Volume Fifty-Six. <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ej/EJ56.pdf>. 10. Analog-Digital Conversion. Walt Kester. Newnes, 2005. 953 p. 11. Vishay official site. [www.vishay.com](http://www.vishay.com).

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В СОЦИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ ИНТЕРНЕТ

Беляков С.Л., Коломийцев Я.А. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел: +79289075426; E-mail: kolomiytsevy@gmail.com

**Abstract:** *This article focuses on the application of risk management when using the mapping information. The paper examines the main types of risks and their characteristics. Encouraged to use risk assessment when selecting sources of cartographic information. To evaluate the usefulness and the level of risk is proposed to use the experience of Internet user communities.*

**Keywords:** *GIS, cartographic information, risk management, risk levels, the Internet community.*

Сегодня картографические материалы используются как информационный ресурс, питающий процесс решения задачи. При этом предполагается, что информационный ресурс не содержит сам ответ, а задача решается в диалоге, то есть пользователь получает материал, изучает, генерирует гипотезы и проверяет их на этих же моделях данных.

При этом возникает риск того, что качество рабочей области для анализа может быть неудовлетворительным.

Цель настоящей статьи – проанализировать принципы риск-менеджмента при использовании картографических материалов.

Под риск-менеджментом будем понимать выбор стратегии отбора картографических материалов в зависимости от количества и уровня рисков, которые присутствуют в процессе работы.

Весь риск-анализ, выявление источников, оценка уровня риска происходит в условиях неопределенности. Таким образом, задача риск-анализа при работе с геопространственными данными является нетривиальной задачей.

Основной целью является получение оценок уровня рисков для разнородных источников данных и использование оценок при формировании области анализа по запросу пользователя.

Первым этапом такого анализа является выявление и классификация источников риска. Источники риска можно разделить на следующие группы:

1. Риск, связанный с актуальностью данных. Важность информации для решения конкретной задачи может отличаться в зависимости от характера данных, предоставляемых различными источниками.

2. Риск достоверности, полноты, непротиворечивости. Наличие большого количества разнородных источников пространственных данных создает сложности в оценках этих параметров. Могут возникать ситуации, когда источник содержит неполный набор необходимых данных, данные искажены, отсутствуют, не соответствуют реальным пространственным объектам.

3. Риск границы рабочей области. В рабочую область входит пространственная область поиска, набора используемых данных, временные характеристики. В зависимости от того, каким образом был сформирован этот массив данных, могут быть получены совершенно разные результаты.

4. Риск генерализации. При представлении реальных пространственных данных в картографии практически невозможно избежать возникновения погрешностей и упрощений, определяемых потребностями в точности решения той задачи, для которой собиралась информация. Но при дальнейшем использовании информации, такие погрешности становятся существенным риском при анализе данных.

Перечисленные риски могут оказать существенное влияние на качество решения, принятого пользователем. Таким образом, оценка рисков при выборе источников пространственной информации является актуальной задачей. Важно отметить, что решение разных типов задач требует учитывать и снижать различные уровни рисков.

Оценка рисков осуществляется в условиях неопределенности. Для полноценного анализа данных требуется перейти к количественным оценкам. В этой ситуации уровень риска рассматривается как сочетание величины события (последствия события) и меры возможности его наступления, то есть  $R=A \cdot P$ , где  $R$  – уровень риска,  $A$  – последствие события,  $P$  – вероятность наступления неблагоприятного события. В нечетком виде данная формула может быть переписана следующим образом[2]:

$$R = A \otimes P \Leftrightarrow \mu_R(z) = \vee(\mu_A(x) \wedge \mu_P(y)).$$

$$z = x \cdot y$$

Для решения задач риск-менеджмента в данной области можно предложить следующую концепцию. Модель данных для анализа строится на основании опыта пользователей. Пользователь, которому требуется получить данные

для анализа, формирует запрос. В случае если подобная задача уже решалась пользователями, формирование рабочей области осуществляется согласно существующему опыту и на основе данных о возникающих рисках. Если же задача является новой, то запрос пользователя является эталоном, и в качестве решения необходимо выбрать рабочие области, наиболее близкие к нему. В этом случае оценка рисков становится более сложной и важной целью, поскольку неизвестно какие из них и насколько сильно могут повлиять на решение задачи пользователя. Поиск данных с минимальным уровнем рисков теоретически обеспечивает лучшее решение. На практике может оказаться, что для решения пользовательской задачи полученные данные неприменимы. В этом случае пользователю предлагаются источники с большим уровнем риска, но более близкие к классу решаемой задачи. Посредством интеллектуального анализа возможно подбирать необходимую информацию, управляя количеством и уровнем различных рисков.

После того, как область представлена пользователю, он может провести работу и оценить полученные результаты. В зависимости от оценки формируются новые представления о близости решаемой задачи к сходным проблемам.

При таком подходе к решению проблемы наиболее сложным вопросом является непосредственно оценка уровня рисков. В качестве одного из методов возможно определение оценок самими пользователями картографической информации. В процессе применения формируется пользовательский опыт, отражающий оценку уровня рисков при решении конкретной прикладной задачи с применением тех или иных источников.

Таким образом, предлагаемая модель позволяет производить оценку качества и рисков использования картографической информации при помощи самих пользователей, задействовать их опыт как ресурс. Полученные таким образом данные позволят предоставлять пользователю картографические данные, необходимые для решения его задачи, оценивая и контролируя возникающие в процессе риски.

**Список литературы:** 1. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Геоинформатика – М.: МАКС Пресс, 2001. 2. Костерев В.В., Аверкин А.Н. Формальное описание риска в нечетких моделях // Сборник докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-2001, Санкт - Петербург, 25 - 27 июня, 2001. С.170-173.

## УСТРОЙСТВО АНАЛИЗА ПЕРЕКРЫТИЙ КАНАЛОВ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОДПРОГРАММ В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Бобынцев Д.О., Борзов Д.Б. (ЮЗГУ, Курск, Россия)

Тел./факс: +7(4712)587105; Email: [borzovdb@kursknet.ru](mailto:borzovdb@kursknet.ru); [daniel8728@yandex.ru](mailto:daniel8728@yandex.ru)

*Abstract: The device of the analysis of overlappings of channels is offered at allocation of parallel subprograms in multiprocessing systems*

*Key words: allocation, processor, program, multiprocessing system*

Планирование оптимального размещения подпрограмм по множеству обрабатывающих процессоров – важный этап в процедурах подготовки комплекса взаимодействующих программ к параллельной обработке в мультиконтроллерах. Оно выполняется с целью минимизации величин коммуникационных задержек, обусловленных способом обмена данными между подпрограммами в ходе их обработки путем передачи сообщений между процессорами. Неудачное распределение подпрограмм между процессорами может привести к появлению длинных составных и перекрывающихся маршрутов транзитной передачи данных, возрастанию коммуникационных задержек и существенному снижению степени ускорения обработки, ожидаемой от распараллеливания [1].

Планирование размещения параллельных подпрограмм в матричных мультиконтроллерах в работе [2] выполняется по специальному алгоритму целенаправленной перестановки строк и столбцов в матрице обмена информацией (МОИ)  $M = \|m_{ij}\|_{N \times N}$ ,  $N = n^2 = |X|$ , описывающей граф  $G$  исходного алгоритма, где элемент  $m_{ij}$  – количество байт, которое передается между подпрограммами  $x_i$  и  $x_j$  в процессе их выполнения. Математическая постановка задачи поиска описана в работе [2].

В работе [2] предложен минимаксиминный критерий оценки качества размещения подпрограмм, позволяющий более точно оценивать качество размещения по сравнению с другими известными критериями поиска наилучшего

варианта размещения. Минимаксиминный критерий описывается следующей формулой:

$$T_{\beta^*} = \min_{\varphi \text{ no } S} \left\{ \max_{\beta_S \in \varphi \text{ no } k} \left\{ \min_{\text{no } t} \left\{ \sum_{Z_t=1}^{n_{kt}} T_{\beta_S}^{(Z_t)}(P_i, P_j) \right\} \right\} \right\}$$

где  $S$  – номер очередной перестановки задач в МОИ в процессе поиска;

$\varphi = \{\beta_S\}$  – множество всевозможных отображений вершин графа  $G$  на множество идентификаторов процессоров;  $\beta_S$  – отображение, соответствующее  $S$ -й перестановке задач в МОИ;  $k$  – номер кратчайшего пути (канала) между процессорами  $P_i$  и  $P_j$ ;  $t$  – номер избыточного пути длиной, равной кратчайшему каналу между процессорами  $P_i$  и  $P_j$ ;  $Z_t$  – номер кратчайшего пути в любой паре процессоров длиной  $d^{(Z_t)} \leq d^{(k)}$ , меньшей или равной  $k$ -му кратчайшему пути между процессорами  $P_i$  и  $P_j$ , перекрывающегося с  $k$ -м каналом;  $n_{kt}$  – число кратчайших путей с длинами  $d^{(Z_t)} \leq d^{(k)}$ , в том числе и основной  $k$ -й путь, перекрывающихся с  $k_t$ -м избыточным путём длины  $d^{(k)}$ ;  $T_{\beta_S}^{(Z_t)}(P_i, P_j) = d_{ij}^{(Z_t)} \cdot m_{ij} \cdot c \neq 0$  при  $m_{ij} \neq 0$  – задержка при передаче данных в паре процессоров по  $Z_t$ -му кратчайшему пути в  $\beta_S$ -м варианте отображения после  $S$ -й перестановки задач в МОИ, в том числе и задержка в  $k$ -м кратчайшем пути по матрице кратчайших расстояний (ММР) при  $Z_t = k$ :  $T_{\beta_S}^{(k)}(P_i, P_j) = d_{ij}^{(k)} \cdot m_{ij} \cdot c$ ;  $\sum_{Z_t=1}^{n_{kt}} T_{\beta_S}^{(Z_t)}(P_i, P_j)$  – суммарная задержка на  $t$ -м избыточном пути, равном по длине  $k$ -му кратчайшему каналу  $d^{(t)} = d^{(k)}$ , с учётом перекрытия  $t$ -го пути другими  $Z_t$ -ми путями длины  $d^{(Z_t)} \leq d^{(k)}$ . Если перекрытий нет, то суммарная задержка на любом  $t$ -м избыточном пути  $k$ -го канала равна задержке на  $k$ -м кратчайшем пути:  $T_{\beta_S}^{(k)}(P_i, P_j) = d_{ij}^{(k)} \cdot m_{ij} \cdot c$ .

Данные об избыточных кратчайших путях, необходимые для вычисления величины критерия, содержатся в специальной базе данных, предварительно создаваемой программно по матрице смежности физической топологии мультиконтроллера. В базе данных рассмотрены только кратчайшие маршруты передачи данных между всеми парами процессоров. Избыточным кратчайшим путём называется любой из вариантов таких кратчайших маршрутов.

База данных представляет собой составной список всех избыточных кратчайших путей в мультиконтроллере. Каждый избыточный путь представляет со-

бой последовательность номеров процессоров, входящих в данный путь. Для каждого избыточного пути в базе данных хранится специальный идентификатор кратчайшего канала передачи данных, которому принадлежит данный путь. Идентификатор представляет собой номер начального и конечного процессора данного избыточного пути и служит для группировки вычисленных суммарных задержек на избыточных путях при определении минимальной суммарной задержки.

Для вычисления суммарных задержек каждый избыточный путь в базе данных имеет список перекрытий, представляющий собой список идентификаторов кратчайших каналов, которые можно выделить в данном избыточном пути. Список перекрытий включает также идентификатор кратчайшего канала, которому принадлежит данный избыточный путь.

Матрица коммуникационных задержек без учёта перекрытий вычисляется посредством поэлементного произведения МОИ и ММР. Так как идентификатор кратчайшего канала фактически является адресом элемента в этой матрице, при вычислении каждой суммарной задержки выбираются элементы, соответствующие идентификаторам кратчайших каналов из списка перекрытий.

После определения всех минимальных суммарных задержек выбирается максимальная из них, которая и является величиной минимаксиминного критерия, минимизируемой в ходе перестановочного алгоритма.

Так как описанная задача анализа базы данных избыточных кратчайших путей является вычислительно сложной, предлагается освободить ведущую ЭВМ мультиконтроллера от данной задачи и решать её в специализированном акселераторе. Функциональная схема соответствующего акселератора представлена на рисунке 1.

В предлагаемом устройстве (рис. 1) ОЗУ5 моделирует базу данных перекрытий каналов; ОЗУ3 – база избыточных кратчайших путей, составленная по матрице смежности физической топологии мультиконтроллера; ОЗУ НСМ представляет собой список максимальных из каждой строки базы ОЗУ5 избыточных кратчайших путей; ОЗУ НMIN отражает список минимальных значений из множества максимумов ОЗУ НСМ. Конечным значением является максимальное значение из множества ОЗУ НСМ.

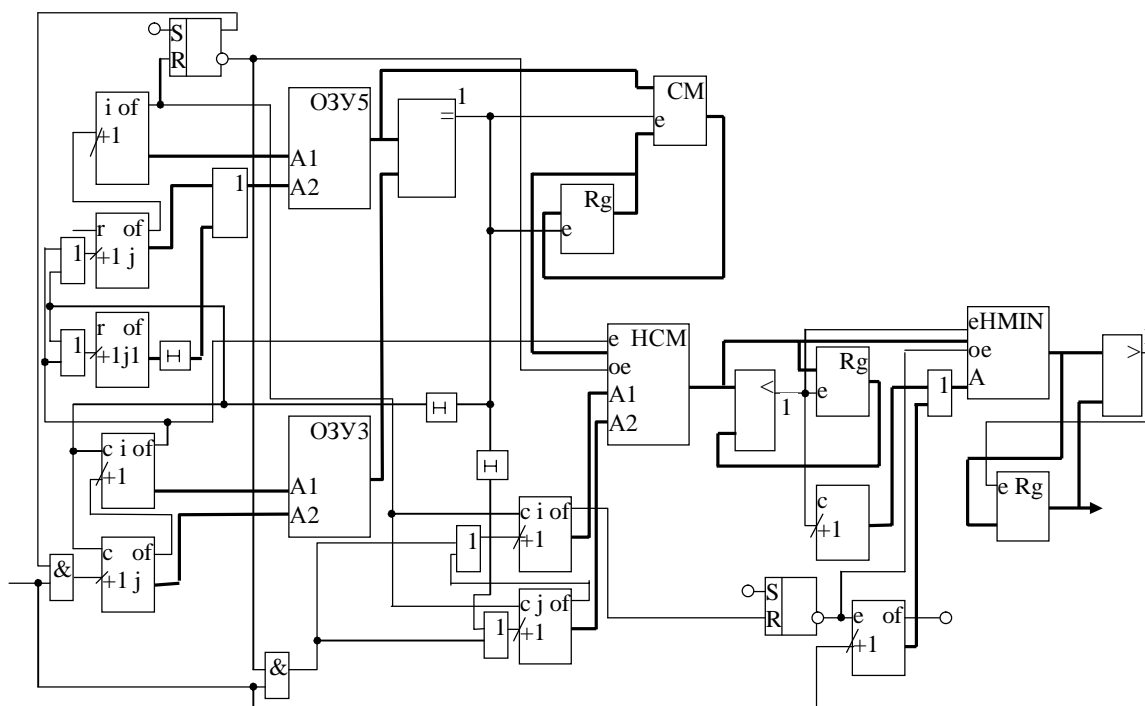


Рис. 1. Устройство анализа перекрытий каналов при размещении параллельных подпрограмм в многопроцессорных системах

Таким образом, конвейерно-параллельная структурная организация акселератора позволяет загружать данные по следующим вариантам размещения подпрограмм, пока акселератор вычисляет величину минимаксиминного критерия.

**Список литературы:** 1. Зотов И.В. Организация и синтез микропрограммных мультимикроконтроллеров. / И.В. Зотов // Курск.: Изд-во «Курск», 1999. – 368 с. 2. Борзов, Д.Б. Метод снижения коммуникационной задержки путем субоптимального размещения задач в матричных базовых блоках кластера / Д.Б. Борзов, Б.И. Аль-Мараят, А.С. Масолов // Телекоммуникации. – Ежемесячный научно-технический, информационно-аналитический и учебно-методический журнал. – 2008, – №4. С. 21-25.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ВОДА-ВОЗДУХ ДЛЯ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

Волощенко В. Ю., Волощенко А. П., Тарасов С. П. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел.: (8634) 371-795, (8634) 371-794; Факс (8634) 310-635, E-mail: [vig-corp@mail.ru](mailto:vig-corp@mail.ru), [tarasov@fep.tti.sfedu.ru](mailto:tarasov@fep.tti.sfedu.ru)

**Abstract:** Results of experimental researches of features of transmission of acoustic waves through water-air interface are discussed. It is known that sound transmission through water-air interface is usually very small. However there is a mathematical model proving that transparency of interface considerably increases on low frequencies. For this purpose the source should be located within a fraction of the wavelength from the interface. Experimental researches were spent in the muffled hydroacoustic pool in a pulse mode. As a result of researches acknowledgement of an anomalous transparency of water-air interface has been received. At reduction of depth of an arrangement of a source there is an increase in factor of passage. Frequency and spatial dependences of factor of transmission are received.

**Key words:** Anomalous transparency, cylinder antenna, low frequencies, water-air interface, wavelength.

Принято считать, что в случае падения волны из воды на границу раздела вода-воздух ее можно рассматривать как идеально отражающую. Объяснение данного факта дается лучевой теорией для точечного источника. Расчет коэффициентов отражения и прохождения плоских волн подробно представлен в [1]. Между тем, в [2] выдвинута гипотеза о том, что на низких частотах возможно аномальное увеличение прозрачности границы для неоднородных волн. Важным условием проявления данного эффекта является то, что источник должен располагаться от границы раздела на расстояниях сопоставимых с длиной волны излучения [3].

Для проверки существования этого эффекта было проведено несколько экспериментов [4] в гидроакустическом бассейне кафедры электрогидроакустической и медицинской техники ТТИ ЮФУ. Часть поверхности цилиндрической антенны, с помощью которой обеспечивалось излучение акустического сигнала, закрывалась экраном, и излучение в импульсном режиме происходило в направлении стороны границы раздела вода-воздух. В качестве измерительного гидрофона использовался разработанный высокочувствительный герметичный пьезоэлектрический приемник с предварительным усилителем. Данный приемник позволяет производить измерения, как в воздушной, так и в водной среде (заглубление до 3 см), что существенно облегчает проведение эксперимента. Эксперимент включал в себя измерение уровней электрических сигналов с помощью осциллографа при вертикальных и горизонтальных перемещениях приемника как в воздушной, так и в водной средах вдоль границы раздела. Заглубление излучающей антенны относительно границы раздела вода-воздух изменялось в диапазоне от 25 см до 1 см.

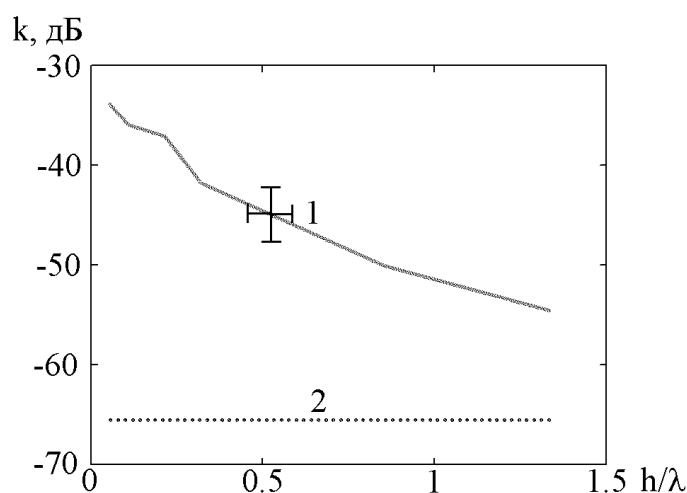


Рис. 1. Графики зависимостей коэффициентов прохождения (1-эксперимент, 2 – «классическая» теория) от нормированных глубин расположения источника и частоте излучения 8 кГц

Результаты экспериментов для цилиндрической антенны с резонансной частотой 8 кГц представлены на рис.1. Сплошная линия 1 - экспериментальная зависимость коэффициента прохождения  $k$  из воды через границу раздела вода-воздух для звуковых волн с частотой 8 кГц от глубины  $h$  расположения источника. На горизонтальной оси отложены нормированные по длине волны сигнала ( $h/\lambda$ ) глубины источника относительно границы

раздела. В ходе эксперимента сначала проводились измерения как в водной, так и воздушной средах вблизи границы раздела при максимальном заглублении антенны, после чего аналогичные измерения осуществлялись при заглублениях - 25 см, 16 см, 8 см, 4 см, 2 см, 1 см (h). Измерения в воздухе проводились на расстоянии 10 см. от границы раздела. Горизонтальная линия (2, .....): по уровню (-65) дБ - расчетный коэффициент прохождения границы раздела вода-воздух, рассчитанный по формуле

$$K_{\text{отр}} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1}, \quad (1)$$

где  $\rho_1$  - плотность воды,  $c_1$  - скорость звука в воде,  $\rho_2$  - плотность воздуха,  $c_2$  - скорость звука в воздухе [1].

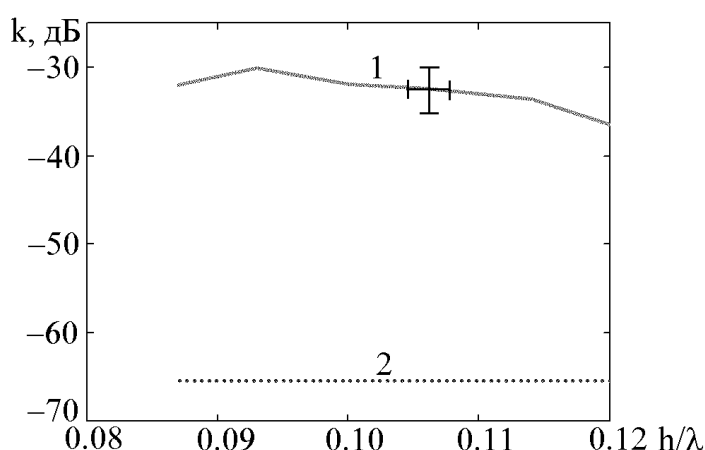


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициентов прохождения (1-эксперимент, 2 – «классическая» теория) в диапазоне частот (6.5 – 9) кГц для нормированной глубины (h=2см) расположения источника

Для цилиндрической антенны также проводились измерения при фиксированном заглублении антенны ( h=2 см от границы раздела вода-воздух), но изменении частоты ее возбуждения в диапазоне от 6.5 кГц до 9 кГц. Результаты экспериментов для цилиндрической антенны в указанной полосе частот представлены на рис. 2. Сплошная линия 1 - эксперимен-

тальная зависимость коэффициента прохождения k из воды через границу раздела вода-воздух для звуковых волн в полосе частот, по горизонтальной оси отложены нормированная по длине волны сигнала (h/λ) глубина источника относительно границы раздела. Измерения в воздухе проводились на расстоянии 10 см. от границы раздела. Для сопоставления полученных результа-

тов на рис.2 нанесена горизонтальная линия (2, .....): по уровню (-65) дБ - расчетный коэффициент прохождения границы раздела вода-воздух, рассчитанный по формуле (1).

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что полученные в описанных выше условиях экспериментальные зависимости существенно расходятся с классической теорией. При уменьшении глубины расположения источника происходит увеличения коэффициента прохождения (рис.1). К примеру, если источник находится на расстоянии  $0.05\lambda$  от границы раздела, то разница измеренного экспериментально и расчетного по формуле (1) коэффициентов составила порядка 30 дБ, однако, при  $1.5\lambda$  разница снижается до 15 дБ. Полученные результаты для диапазона частот (6.5-9 кГц) подтверждают наличие существенного прохождения волн из воды через границу раздела вода-воздух (рис.2), однако, выраженной частотной зависимости не установлено. В целом экспериментальные результаты качественно совпадают с теорией, представленной в [2], но проведение исследований в более низкочастотном диапазоне (до 1 кГц) требует модернизации измерительной установки и проведения натурного эксперимента.

**Список литературы:** 1. Лепендин Л. Ф. Акустика. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с. 2. Годин О. А. Прохождение низкочастотного звука из воды в воздух // Акустический Журнал, Т. 53. – 2007. - № 3. – С. 353-361. 3. Бреховских Л. М., Годин А. О., Акустика неоднородных сред. В 2 т. Т. 1. Основы теории отражения и распространения звука. – М.: Наука, 2007. – 443 с. 4. Волощенко А. П., Волощенко В. Ю., Тарасов С. П. Особенности проведения экспериментальных измерений акустической прозрачности границы раздела вода-воздух // Известия ТТИ ЮФУ-ДонНТУ. Материалы Девятого Международного научно-практического семинара “Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы”. В 3-х кн. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010, Кн. 3, №10. – С. 67-70.

## ЛОКАТОР ДЛЯ ЭХОПОИСКА НА МЕЛКОВОДЬЕ

Волощенко В.Ю. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

E-mail: [igkd@egf.tsure.ru](mailto:igkd@egf.tsure.ru); [Vigcorp@mail.ru](mailto:Vigcorp@mail.ru)

**Abstract:** *The short-range parametric sonar for the hydroacoustic surveillance at the offshore shallow-water seadrome for an amphibian aircraft's safety take-off and water landing regimes is suggested*

**Key words:** *the parametric transmitting and receiving arrays, the seadrome.*

Режим параметрического излучения зондирующих сигналов разностной частоты  $F = |f_1 - f_2|$  позволяет применять малогабаритные электроакустические преобразователи, в полосу пропускания которых входят частоты  $f_{1,2} (f_{1,2} \gg F)$  волн накачки, однако их использование в режиме приема снижает помехоустойчивость локатора на мелководье вследствие малости волновых размеров апертур [1]. Для увеличения помехозащищенности используют параметрический прием низкочастотных эхосигналов [3], недостатком которого является наличие боковых лепестков (с уровнями до 20%) характеристики направленности, по которым производится прием переотраженных сигналов.

На рис.1 показана структурная схема параметрического эхоимпульсного локатора, обладающего более высокой помехозащищенностью [2]. Генератор 1 синусоидальных колебаний вырабатывает электрический сигнал  $U_1$  с частотой  $f_1$ , поступающий на первый вход хронизатора - модулятора 5 и входы  $n$  делителей частоты 6, ...7 ( $n \geq 2$ ) с коэффициентами деления  $a, \dots b$  (величины каждого из которых больше 1, но меньше 2), а также на вход второго акустического преобразователя 3. С выходов делителей частоты 6, ...7 электрические гармонические сигналы  $U_2, \dots, U_3$  с частотами  $f_2 = f_1/a, \dots, f_3 = f_1/b$  подаются на  $n$  дополнительных входов хронизатора - модулятора 5, на выходе которого сформирован радиоимпульс  $U_4$ , высокочастотное заполнение которого представляет сумму электрических сигналов ( $U_1 + U_2 + U_3$ ), т.е.

$$U_4(t) = U_{1\max} \cos \omega_1 t + U_{2\max} \cos(\omega_1 / a)t + U_{3\max} \cos(\omega_1 / b)t. \quad (1)$$

Радиоимпульс  $U_4$  через усилитель мощности 8 и коммутатор 9 поступает на вход первого электроакустического преобразователя 4, полоса пропускания которого позволяет излучать в нелинейную водную среду акустиче-

ский сигнал  $U5$ , состоящий из трех гармонических составляющих с частотами  $f_1, f_2, f_3$ . При распространении в среде, обладающей нелинейностью упругих свойств, происходит взаимодействие указанных высокочастотных составляющих, результатом которого является параметрическая генерация «новых» компонент спектра в области как высоких, так и низких частот, в частности, нескольких акустических волн разностных частот  $F_{12} = |f_1 - f_2|, F_{13} = |f_1 - f_3|, F_{23} = |f_2 - f_3|$ , угловое распределение амплитуд звуковых давлений которых определяется произведением характеристик направ-

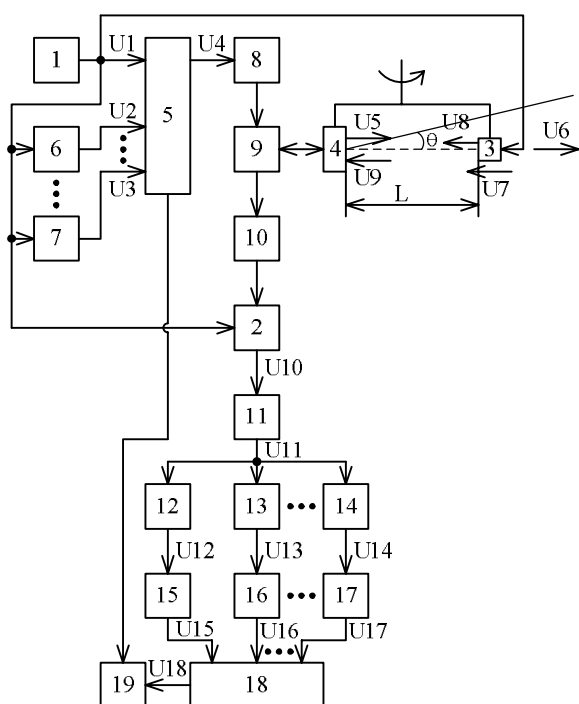


Рис.1. Структурная схема локатора [2]

ленности первого акустического преобразователя 4 для исходных волн накачки с частотами  $f_1, f_2, f_3$ . Полигармонический акустический сигнал  $U6$ , состоящий из трех компонент с разностными частотами  $F_{12}, F_{13}, F_{23}$ , распространяется до объекта лоцирования, отражается от него и, распространяясь обратно, достигает (сигнал  $U7$ ) участка водной среды длиной  $L$  между акустическим преобразователем 4, находящимся в режиме приема, и вторым преобразователем 3, излучающим в сторону преобразователя 4 вспомогательную волну накачки  $U8$  с частотой  $f_1$ . При совместном распространении в пределах базы  $L$  происходит фазовая модуляция акустического сигнала накачки  $U8$  отраженным от объекта многокомпонентным сигналом  $U7$ . Промодулированный акустический сигнал  $U9$  достигает электроакустического преобразователя 4, преобразуется им в соответствующий электрический сигнал, который через коммутатор 9, усилитель 10 поступает на первый вход фазового детектора 2, второй вход которого соединен с выходом генератора 1. С выхода фазового детектора 2 электрический сигнал  $U10$ , идентичный акустическому эхо-импульсу  $U7$ , через усилитель низкой частоты ( $U11$ ) поступает на входы  $(n+1)$  параллельно включенных цепочек из последовательно соединенных полосового фильтра (12, 13, ..., 14) и амплитудного детектора (15, 16, ..., 17).

ленности первого акустического преобразователя 4 для исходных волн накачки с частотами  $f_1, f_2, f_3$ . Полигармонический акустический сигнал  $U6$ , состоящий из трех компонент с разностными частотами  $F_{12}, F_{13}, F_{23}$ , распространяется до объекта лоцирования, отражается от него и, распространяясь обратно, достигает (сигнал  $U7$ ) участка водной среды длиной  $L$  между акустическим преобразователем 4, находящимся в режиме приема, и вторым преобразователем 3, излучающим в сторону преобразователя 4 вспомогательную

На выходах полосовых фильтров 12,13,14 выделяются электрические сигналы:  $U_{12}, U_{13}, U_{23}$  с частотами  $F_{12}, F_{13}, F_{23}$  соответственно, амплитуды которых от угла  $\theta$  между волновыми векторами регистрируемых волн разностных частот и накачки  $f_1$  описываются аналогичными соотношениями [3]

$$U_i(\theta) = (p_{Fi} p_{f1} \omega_1 L / 4 \rho c^3) \{ \sin[(\pi L / c) \cdot F_i (1 - \cos \theta)] / (\pi L / c) \cdot F_i (1 - \cos \theta) \} (7 + 2 \cos \theta), \quad (2)$$

где  $p_{Fi}, p_{f1}$  – амплитуды звуковых давлений взаимодействующих волн разностных  $F_i = F_{12}, F_{13}, F_{23}$  и исходной частот  $f_1$ ,  $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$ ,  $L$  – расстояние между преобразователями 3 и 4 (база параметрического приема),  $\rho, c$  – плотность воды и скорость распространения звука в ней. С выходов детекторов 15, 16, ...17 электрические сигналы  $U_{15}, U_{16}, U_{17}$  поступают на входы перемножителя 18, с выхода которого результирующее напряжение  $U_{18} = U_{15} \times U_{16} \times U_{17}$  подается на первый вход индикатора 19, второй вход которого соединен с дополнительным выходом хронизатора-модулятора 5. Если первый сомножитель в (2) обозначить  $D$ , отношение  $(\pi L / c) \cdot M$ , выражение в круглых скобках  $(1 - \cos \theta) - N$ , и учесть что  $p_{F12} \approx p_{F13} \approx p_{F23}$ , а  $F_{12} = |f_1 - f_2| = f_1 \cdot |1 - 1/a|$ ,  $F_{13} = |f_1 - f_3| = f_1 \cdot |1 - 1/b|$ ,  $F_{23} = |f_2 - f_3| = f_1 \cdot |1/a - 1/b|$ , то результирующая характеристика направленности  $K(\theta) = |U_{15}(\theta) \cdot U_{16}(\theta) \cdot U_{17}(\theta)|$  приемной параметрической антенны рассматриваемого устройства будет описываться соотношением

$$K(\theta) = [D(7 + 2 \cos \theta)]^3 \times | \sin[Mf_1(1 - a^{-1})N] / Mf_1(1 - a^{-1})N | \times \\ \times | \sin[Mf_1(1 - b^{-1})N] / Mf_1(1 - b^{-1})N | \times | \sin[Mf_1(a^{-1} - b^{-1})N] / Mf_1(a^{-1} - b^{-1})N |. \quad (3)$$

Как следует из (3), оператор параметрического эхо-импульсного локатора имеет возможность формирования практически однолепестковой характеристики направленности параметрической приемной антенны за счет подбора значений коэффициентов деления  $a$  и  $b$  частоты сигнала  $f_1$  при фиксированной базе  $L$  параметрического приема, что увеличивает величину отношения сигнал/шум на входе усилителя 10 примерно в

$$k \geq \int_0^\pi U(\theta) d\theta / \int_0^{\theta_0} U(\theta) d\theta$$

раз. Здесь  $U(\theta)$  – аналитическое выражение (2), описывающее характеристику направленности параметрического приемника для одной из трех спектральных компонент низкочастотного спектра излучения (например,  $F_{13}$ ). На рис. 2 представлены расчетные характеристики направленности (ХН) прием-

ных параметрических антенн (ППА) для «одночастотной» приемно-излучающей системы [1] ( $\theta_{0,7} = 7,5^\circ$ ;  $P_{БП} = -14$  дБ) и «трехчастотного» лоатора [2] ( $\theta_{0,7} = 6,2^\circ$ ;  $P_{БП} = -40$  дБ). В расчетах использовались численные значения: частота  $f_1=200$ кГц, база приема  $L=1,4$ м, коэффициенты деления  $a=1,3$  и  $b=1,4$  ( $f_2=153,85$ кГц,  $f_3=142,86$ кГц,  $F_{12}=46,15$ кГц,  $F_{13}=57,14$ кГц,  $F_{23}=11$ кГц).

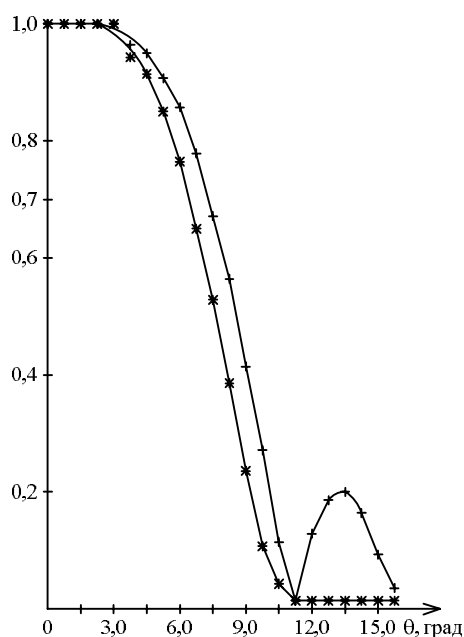


Рис.2. ХН ППА: [2] \* [1]

Для рассмотренного примера увеличение отношения сигнал/шум на входе усилителя 10 составляет  $k \approx 1,7$ , что повышает дальность лоирования и помехоустойчивость в 1,15 и 2,9 раз соответственно при одинаковых мощностях излучения обоих устройств. Параметрическая генерация «новых» компонент спектра в области высоких частот – сигналов суммарных частот  $f_{+12}=353,85$  кГц,  $f_{+13}=342,86$  кГц,  $f_{+23}=296,71$  кГц, а также высших гармоник сигналов накачки  $nf_1, nf_2, nf_3$ , где  $n=2,3, \dots$ , существенно расширяет диапазон рабочих частот рассматриваемого лоатора, что позволяет его использовать для «частотно окрашенного» эхопоиска при отсутствии помех взаимного влияния в составе гидроакустической системы подводного наблюдения на мелководной акватории взлетно-посадочной полосы гидроаэродрома [1].

**Список литературы:** 1. Волощенко В.Ю., Тимошенко В.И. Параметрические гидроакустические средства ближнего подводного наблюдения (ч.1)–Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 294 с. 2. А.с. 1436656 СССР МКИ G01S 15/08 Параметрический эхо-импульсный лоатор /Волощенко В.Ю. и др. №4035635/40-22; Заявл.10.03.86. Оpubл.27.12.99. Бюл.36. – 6 с. 3. Гидроакустическая энциклопедия /Под общ. ред. В.И. Тимошенко. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. - 788 с.



**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ  
ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СГЛАЖИВАЮЩЕГО  
ВРЕМЕННОГО РЯДА НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

**Клевцов С.И.** (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. (8634)328025; E-mail: [sergkmps@mail.ru](mailto:sergkmps@mail.ru)

**Abstract:** *The scheme of forecasting of physical size by means of adaptive polynomial models of a time series of the first order is developed. The scheme is focused on realization in the microcontroller.*

**Key words:** *time series, model, forecasting, microcontroller, physical quantity*

Для прогнозирования значений параметров технических объектов и физических переменных в реальном времени с помощью микроконтроллерного модуля сбора и обработки информации датчиков, работающего в составе системы мониторинга, можно использовать временные ряды. Однако при этом необходимо учитывать особенности съема информации для прогнозирования, связанные с цифровой обработкой сигналов. Поскольку шаг дискретизации при съеме данных можно установить небольшим, таким, что изменение параметра в течение нескольких последовательных шагов будет незначительным, при построении модели временного ряда для усреднения можно использовать многократное экспоненциальное сглаживание [1,2]. Это позволит повысить точность прогнозирования. Причем, данным процессом, в отличие от временных рядов в экономике, можно управлять.

Пусть значения контролируемого параметра технического объекта  $y = f(t)$  измеряются микроконтроллерным модулем в дискретные моменты времени с постоянным шагом  $h$ . В результате получим массив  $Y = \{y_i\}_{i=0}^n$  измеренных значений параметра  $y_i = f(t_i)$  в точках  $t_0, t_1, \dots, t_n$ ;  $t_n = T$ ;  $t_i = t_{i-1} + h$ . Необходимо определить значение параметра  $y$  в точках  $\tau = T + kh$ ,  $k = 1, K$ , где  $K$  – число, определяющее диапазон прогнозирования.

В качестве прогнозирующего ряда использовалась модель сглаживающего временного ряда первой степени [1]. Этот ряд обладает хорошими адаптивными свойствами, алгоритм его реализации не столь сложен, как у адаптивной

модели временного ряда второй степени и поэтому может быть реализован в микроконтроллерном модуле в режиме реального времени без ущерба для выполнения функций модуля по сбору и обработке данных с датчиков физических величин.

В рамках принятой модели для аппроксимации изменения параметра  $y$  во времени будем использовать полином 1-ой степени вида:

$$X(t) = a_1 + a_2 t. \quad (1)$$

Тогда прогнозное значение  $y$  в точках  $\tau$ :

$$X(\tau) = (2 + \frac{\alpha}{\beta} \tau) S_T - (1 + \frac{\alpha}{\beta} \tau) S_T^{[2]}, \quad (2)$$

где  $S_T$  и  $S_T^{[2]}$  – экспоненциальные средние, которые определяются по формулам:

$$S_T = \alpha y_t + \beta S_{t-1}, \quad S_T^{[2]} = \alpha S_t + \beta S_{t-1}^{[2]}, \quad (3)$$

$\alpha$  – постоянная сглаживания, которую необходимо подбирать,  $\beta = 1 - \alpha$ .

Для того, чтобы запустить процесс расчета необходимо задать начальные значения  $S_0$  и  $S_0^{[2]}$ :

$$S_0 = \bar{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0}, \quad S_0^{[2]} = \bar{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha} \bar{a}_{2,0} \quad (4)$$

Здесь  $\bar{a}_{1,0}$  и  $\bar{a}_{2,0}$  – начальные оценки коэффициентов  $a_1$  и  $a_2$  в формуле (1). Для их определения необходима еще одна выборка значений параметра  $y$ :  $Y^0 = \{y_1^0, y_2^0, \dots, y_L^0\}$ , где  $y_l^0 = f(t_l^0)$ ,  $l = 1, 2, \dots, L$  и  $y_L^0 = y_0$ . На временном участке  $[t_l^0, t_L^0]$ , используя массив значений параметра  $Y = \{y_l^0\}_{l=1}^L$ , с помощью метода наименьших квадратов формируется аппроксимация  $y(t) = \bar{a}_{1,0} + \bar{a}_{2,0}t$  и, следовательно, определяются начальные значения коэффициентов аппроксимации  $\bar{a}_{1,0}$  и  $\bar{a}_{2,0}$ .

После определения  $\bar{a}_{1,0}$  и  $\bar{a}_{2,0}$  определяем  $S_0$  и  $S_0^{[2]}$  по формуле (4). Затем в каждой точке  $t_i \in [t_1, \dots, t_n]$  рассчитываем реальное значение параметра  $y_i = f(t_i)$ , здесь функции  $f(t)$  задается (вид ее представлен ниже), и рассчитываем прогнозное значение по формулам (3) {т.е. сначала считаем  $S_t$  и  $S_t^{[2]}$ } и (2) {собственно прогнозное значение  $x_i(t_{i-1} + h)$ }.

Исследование влияния параметров настройки полиномиальной модели сглаживающего временного ряда на точность прогнозирования изменения физической величины проводилось с использованием модели исходной функции  $f=A*\sin(t)$ .

Адаптивные модели временного ряда характеризуются рядом параметров настройки, которые существенно влияют на результаты прогнозирования. Это сглаживающий коэффициент  $\alpha$  и коэффициенты  $a1$  и  $a2$  начального представления  $F=a1+a2*t$  исходной функции, в рассматриваемом случае  $f=A*\sin(t)$ .

Исходные данные для моделирования: интервал моделирования  $0 \leq t \leq \pi$ ; шаг моделирования (интервал дискретности)  $h_m = \pi/400$ ; амплитуда синусоидального сигнала  $A = 1$ . Рассмотрим поведение адаптивной модели временного ряда первой степени при шаге прогнозирования  $h = h_m$ .

Коэффициенты  $a1$  и  $a2$  начального представления  $F=a1+a2*t$  исходной функции существенно влияют на длительность и амплитуду этапа адаптации модели к поведению прогнозируемой функции. Поскольку при малых углах для синуса угла справедлива аппроксимация  $\sin(t) \approx t$ , то для снижения этого влияния установим следующие значения коэффициентов  $a1 = 0,0$ ;  $a2 = \pi/400$ . Абсолютная погрешность аппроксимации начального представления функции в этом случае пренебрежимо мала (порядка  $10^{-8}$ ), относительная погрешность составляет  $10^{-5}$  или 0,001%.

Анализ влияния сглаживающего коэффициента  $\alpha$  на погрешность прогнозирования показывает, что изменение  $\alpha$  не оказывает существенного влияния на погрешность прогнозирования на начальном участке (в диапазоне  $0 \leq t \leq 0,7$ ). Однако, с увеличением  $\alpha$  снижается погрешность в центральной части диапазона прогнозирования (на участке  $0,7 \leq t \leq 1,8$  погрешность изменяется от 0,008 при  $\alpha=0,09$  до 0,0015 при  $\alpha=0,3$ ) и имеется тенденция к небольшому увеличению погрешности на краю диапазона (от 0,014 при  $\alpha=0,09$  до 0,016 при  $\alpha=0,3$ ).

Рассмотрим влияние коэффициентов  $a1$  и  $a2$  начального представления  $F=a1+a2*t$  исходной функции. Если при определении этих коэффициентов использовать линейную аппроксимацию на интервале, большем  $\pi/400$ , то коэффициенты будут отличаться от ранее определенных. Возьмем точки  $t = \pi/400$  и  $t = \pi/40$ . Тогда коэффициенты принимают следующие значения:  $a2 = 0,99$ ;  $a1 = 8,8E-06$ . Шаг прогнозирования  $h$  прежний. Погрешность аппроксимации начального представления функции в этом случае значительно больше погрешности предыдущего представления (на 3 порядка) и составляет  $3 \cdot 10^{-5}$  (максимальное значение), относительная погрешность составляет величину 0,0007 или 0,07%.

Сглаживающий коэффициент  $\alpha$  менялся от минимального значения  $\alpha = 0,09$  до величины  $\alpha = 0,29$ . На рисунке 2 представлено характерное поведение временного ряда на этапе адаптации.

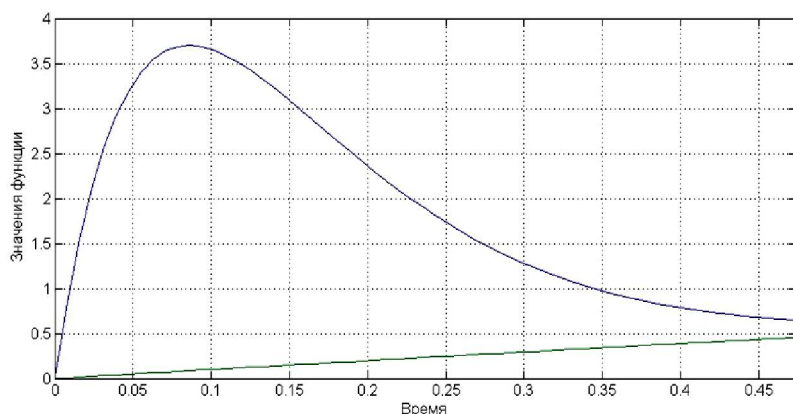


Рис. 2. График изменения функции и прогнозирующего временного ряда при условии:  $a_1 = 0,0$ ;  $a_2 = 1$ ;  $\alpha = 0,09$ ; временная шкала  $0 \leq t < 0,5$

значению функции также уменьшается (от 3,7 и 37 при  $\alpha = 0,09$  до 0,8 и 27 при  $\alpha = 0,29$  соответственно). Приведенная и относительная погрешности также уменьшаются (от 0,007 и 0,008 при  $\alpha = 0,09$  до 0,002 и 0,002 при  $\alpha = 0,29$  соответственно). Однако на краях диапазона прогнозирования наблюдается рост погрешностей до единиц процентов.

Таким образом, анализ показывает, что для обеспечения хорошей точности прогнозирования с помощью временных рядов необходимо выбрать постоянную сглаживания, соответствующую динамике прогнозируемого процесса, а также для устранения или максимального сокращения участка настройки адаптации временного ряда и расширения участка прогнозирования следует точно задать начальные значения коэффициентов аппроксимации исходной функции.

**Список литературы:** 1. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416с. 2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 197с.

Моделирование показало, что в условиях неточного задания значений функции на начальном этапе прогнозирования период настройки адаптации временного ряда уменьшается с ростом  $\alpha$  (от 0,6 при  $\alpha = 0,09$  до 0,15 при  $\alpha = 0,29$ ). При этом амплитуда всплеска и отношение амплитуды всплеска к

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МИКРОПРОГРАММНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ С КЭШ-ПАМЯТЬЮ

**Ковалёв С.А., Шишко С.Н., Клименко К.В.** (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

*E-mail: kovalev@dgtu.donetsk.ua*

Современные цифровые устройства чаще всего построены с использованием принципа микропрограммного управления, предполагающего наличие в системе управляющего автомата, координирующего работу всех операционных блоков.

Управляющий автомат может быть реализован как композиция автоматов с «жёсткой» и «программируемой» логикой [1,2]. Такие автоматы получили название композиционные микропрограммные устройства управления (в дальнейшем КМУУ). Эффективность схемы КМУУ определяется минимально возможной ёмкостью управляющей памяти и максимальным быстродействием.

Управляющая память обычно реализуется на базе постоянных запоминающих устройств (ПЗУ), обладающих относительно низким быстродействием, поэтому проблема увеличения быстродействия КМУУ за счет уменьшения времени, затрачиваемого на выборку микрокоманд, является актуальной.

Одним из уровней иерархической памяти в вычислительных устройствах может выступать *кэш-память* (cache-memory, cache). Структурно она расположена между вычислительным устройством (ВУ) и основной памятью и используется для хранения команд и данных, которые требуются ВУ на протяжении текущего интервала времени.

Увеличение быстродействия системы обусловлено тем, что около 90% всех запрашиваемых данных обычно находится в кэш-памяти. Если ВУ находит нужную ему информацию в кэш-памяти, это называется *кэш-попаданием*, иначе происходит поиск информации в основной памяти с большими затратами времени и такая ситуация называется *кэш-промахом*. Кэш-память также предполагает наличие *кэш-контроллера*, управляющего ее работой [1,3]. Тогда структура КМУУ с использованием кэш-памяти может иметь вид, представленный на рисунке 1.

Здесь КК – кэш-контроллер, предназначенный для управления процессом выбора микрокоманды из памяти; КП – модуль кэш-памяти, время доступа для которого значительно меньше, чем для управляющей памяти УП. Кэш-

контроллер, помимо управления УП и КП, также управляет подачей синхронизации на входы счетчика СЧАМК и регистра РП.

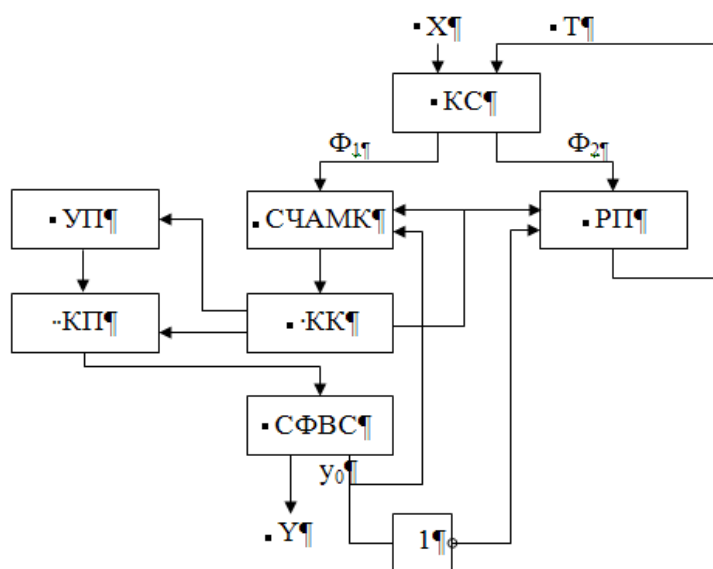


Рис. 1. Структурная схема КМУУ с кэш-памятью

ассоциативная кэш-память. В такой памяти любой блок может быть размещен в любой ее строке. Такая организация позволяет увеличить эффективность использования кэш-памяти, однако связана со значительными затратами аппаратуры, поскольку в каждом такте работы устройства поиск запрашиваемых данных должен производиться во всех строках одновременно [3].

Алгоритм, по которому выбирается замещаемая строка, определяется различной стратегией замещения данных. Алгоритм замещения обычно реализуется аппаратно и является важнейшей характеристикой кэш-памяти полностью ассоциативного типа. В работе был выбран алгоритм замещения Random, который заключается в случайном выборе замещаемой строки [4].

В настоящее время не существует точных аналитических методов, определяющих оптимальные значения таких характеристик кэш-памяти, как ее размер, длина строки, архитектурная организация. Их значения во многом определяются областью использования цифровых устройств, характером реализуемых алгоритмов, элементной базой, и обычно подбираются опытным путем. Поскольку КМУУ содержит в своей структуре автомат с жесткой логикой, синтезируемый для конкретного алгоритма, то возникает необходимость в разработке методики оценки эффективности применения кэш-памяти при определенных ее параметрах для заданного алгоритма.

Предлагается метод аналитического определения вероятности кэш-попаданий для заданного алгоритма, который основывается на выявлении ситуаций, приводящих к возникновению кэш-попаданий или кэш-промахов, и на

Комбинационная схема КС необходима для реализации функций возбуждения и адресов перехода к началу линейной цепочки микрокоманд, а схема формирования выходных сигналов СФВС в зависимости от способа кодирования производит дешифрацию выходных сигналов.

Одним из основных способов архитектурной организации кэш-памяти является полностью ассо-

подсчете частоты возникновения таких ситуаций в процессе выполнения алгоритма. Практической реализацией разработанного метода, является программная имитационно-аналитическая модель КМУУ с кэш-памятью микрокоманд. Структурно программа состоит из 2 модулей.

Модуль 1 реализует экспериментальное определение вероятности кэш-попаданий для КМУУ с кэш-памятью полностью ассоциативного типа при использовании алгоритма замещения Random. Время, затрачиваемое на эксперимент, зависит как от среднего количества МК, выполняющихся за один проход алгоритма, так и от количества строк в кэш-памяти, и возрастает с их увеличением.

Модуль 2 реализует метод аналитического определения точного значения вероятности кэш-попаданий по граф-схеме алгоритма для КМУУ с кэш-памятью полностью ассоциативного типа при использовании алгоритма замещения Random.

Для более точного определения вероятности кэш-попаданий и кэш-промахов алгоритм должен быть выполнен достаточно большое количество раз (порядка 10000). Это связано с тем, что переходы по ветвям логических условий выбираются каждый раз случайным образом и при каждом проходе алгоритма может выполняться разное количество микрокоманд.

Определялось, насколько эффективнее с точки зрения быстродействия оказывается разработанный метод по сравнению с экспериментальным подсчетом вероятности кэш-попаданий. При этом использовалась программная имитационно-аналитическая модель.

Для оценки эффективности разработанного метода аналитического определения вероятности кэш-попаданий с точки зрения быстродействия сравнивается время, затрачиваемое на моделирование с использованием программной имитационно-аналитической модели, со временем аналитического расчета. Подобные сравнения проведены для различных размеров кэш-памяти при неизменных характеристиках алгоритма. Все временные значения получены на компьютере с процессором iP-III 733 МГц под управлением операционной системы Windows XP в оконном режиме при отсутствии других выполняющихся задач.

Результаты приведены в таблице 1, где показаны временные затраты на экспериментальное и аналитическое определение вероятности кэш-попаданий. При этом в верхней части ячейки указано количество секунд, затраченное на экспериментальное определение вероятности, а в нижней части – на её аналитический расчет.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- увеличение числа строк кэш-памяти приводит к увеличению длительности эксперимента;

Таблица 1 - Временные затраты при экспериментальном и аналитическом определении вероятности кэш-попаданий для кэш-памяти полностью ассоциативного типа

Ns	2	4	8	16	32	64	128	256
2	318 0,3	316 0,3	302 0,2	315 0,2	342 0,2	320 0,2	326 0,2	359 0,2
3	329 0,4	321 0,3	309 0,2	339 0,2	315 0,2	335 0,2	324 0,2	
4	329 0,4	339 0,3	317 0,3	326 0,3	319 0,3	345 0,3	300 0,3	
5	360 0,5	350 0,3	369 0,3	324 0,3	326 0,3	335 0,3		
8	377 0,8	361 0,6	362 0,5	353 0,4	358 0,5	353 0,7		
10	394 1,0	352 0,7	368 0,6	378 0,6	344 0,8			
14	454 1,5	385 1,1	400 1,0	363 1,2	371 1,8			
16	476 1,8	413 1,3	407 1,2	421 1,6	357 2,5			

- увеличение числа слов в строке не оказывает существенного влияния на длительность эксперимента.;

- увеличение слов в строке кэш-памяти сначала приводит к уменьшению времени анализа, а затем – к его увеличению. Оптимальным числом слов является 8-16;

Оценки быстродействия при использовании кэш-памяти в композиционных микропрограммных устройствах управления показали, что предложенный метод аналитического определения значения вероятности кэш-попаданий по граф-схеме алгоритма позволяет получить результат в общем случае в несколько раз быстрее, чем при использовании экспериментальных методов.

**Список литературы:** 1.Баркалов А.А. Синтез устройств управления на программируемых логических устройствах. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 262 с. 2. Баркалов А.А., Титаренко Л.А. Синтез микропрограммных автоматов на заказных и программируемых СБИС. – Донецк, ДонНТУ, Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2009. – 336 с. 3.Cheremisinova L. Synthesis of single-level circuits in programmable array logic basis. / In: Computer Aided. – Design of Discrete Devices. VI. – Minsk, 1997. – P. 81-85. 4.Hill Mark Donald. Aspects of Cache Memory and Instruction Buffer Performance. – Ph. D. Dissertation, Computer Science Division (EECS), University of California, Berkeley, November 1987.



## ПОДХОД К УНИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА МПА МУРА ДЛЯ FPGA

Ковалев С.А., Зеленева И.Я., Татолов Е.Р. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

E-mail: irina.zeleneva@gmail.com, tatolov@bk.ru

**Abstract:** *Synthesis process to the implementation of Moore FSM in FPGA is proposed. This process is oriented to using algorithmic and hardware-specific methods of optimization of FSM. The example of synthesis process is given and results of experiments are considered. Also, the short classification of digital integrated circuits is shown.*

**Key words:** *Integrated circuits, FPGA, Moore FSM, synthesis, minimization, area optimization.*

Интегральные схемы (ИС) широко используются при реализации цифровых систем различного функционального назначения [1, 2]. Известно, что цифровые ИС разделяются на стандартные и специализированные. Стандартные ИС имеют практически «жесткую» внутреннюю структуру и пользователь может влиять на характер их функционирования только программированием (если оно возможно). Специализированные ИС проектируются по конкретному заказу и требуют значительных средств и длительного периода разработки.

К классу стандартных ИС относятся программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), которые включают в себя программируемые логические устройства (ПЛУ) и программируемые пользователем вентильные матрицы (FPGA – Field-Programmable Gate Arrays) [1, 3].

Описанные виды стандартных и специализированных ИС широко используются при проектировании микропрограммных автоматов (МПА), которые применяются, главным образом, для создания устройств управления [3].

Практическая реализация МПА и структур их оптимизации для FPGA базируется на применении языков описания аппаратуры (HDL – Hardware Description Language) [2], а также средств синтеза и имплементации. Практически каждый производитель FPGA предоставляет соответствующую систему автоматизированного проектирования (САПР), поддерживающую подобный сквозной процесс проектирования [2].

### Подход к унификации процесса синтеза МПА Мура

Современные неоптимизированные проекты цифровых устройств могут иметь значительную избыточность, что ведет к неэффективному использованию ресурсов FPGA-микросхемы [3]. Следовательно, актуальной является задача аппаратурной оптимизации, которая, в контексте FPGA, сводится к снижению

процента использования тех или иных внутренних блоков: LUT-элементов (LUT – Look-Up Table), памяти, схем синхронизации.

Сущность предлагаемого процесса синтеза заключается в следующем. На первом этапе представление МПА сводится к унифицированной форме – таблице переходов. Этот шаг связан с тем, что спецификация автомата Мура может быть проведена путем использования различных форм представления: граф-схем, диаграмм состояний, ASM-диаграмм (ASM – Algorithmic State Machine) [4]. Затем, в зависимости от особенностей конкретного МПА (полностью определенный или частичный), вы-

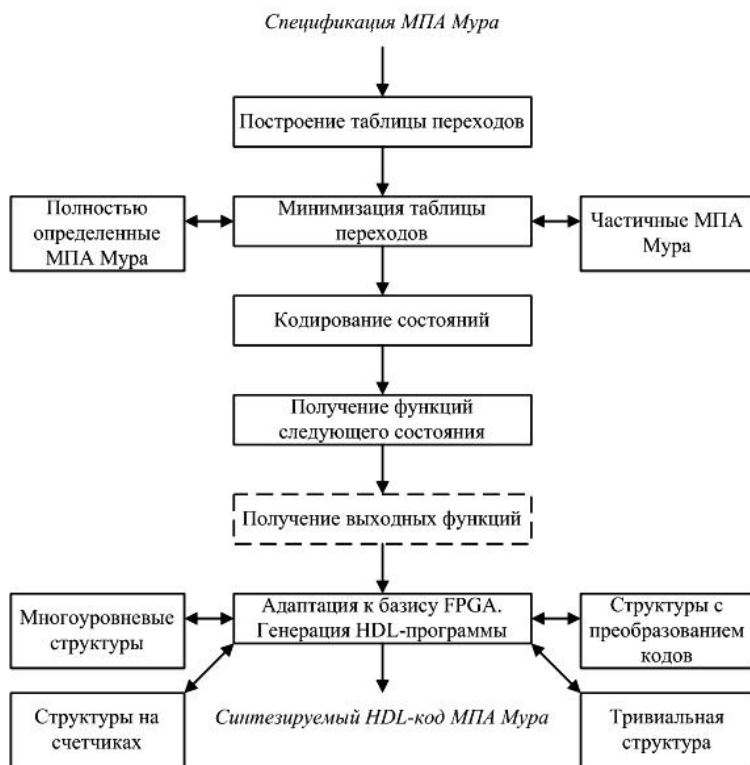


Рис. 1. Подход к унификации процесса синтеза МПА Мура для FPGA

полняется минимизация таблицы переходов и кодирование ее состояний. Далее формируются функции следующего состояния и, при необходимости, выходные функции автомата. Этап адаптации предполагает использование приемов построения логической схемы МПА, направленных на уменьшение аппаратных затрат целевой микросхемы [5].

Таким образом, предлагаемый процесс синтеза МПА Мура (рис. 1) включает в себя последовательное применение алгоритмических и схемных оптимизационных приемов с учетом базиса FPGA. Такой подход может быть с успехом реализован в САПР и предполагать только управленческие функции пользователя: описание МПА и выбор используемых алгоритмов и структур.

Для оценки эффективности применения предлагаемого процесса синтеза к конкретному примеру, были разработаны пять Verilog-программ, реализующих заданный МПА Мура (рис. 2) различными способами:

1. Реализация неминимизированного МПА Мура с помощью встроенного анализатора XST (Xilinx Synthesis Technology) [6] (эксперимент 1).

2. Реализация минимизированного МПА Мура с помощью встроенного анализатора XST (эксперимент 2).

3. Реализация минимизированного МПА Мура по РУ-схеме [5]. Использование ПЗУ с асинхронным чтением [6] (эксперимент 3).

4. Реализация минимизированного МПА Мура по РУ-схеме. Использование ПЗУ с синхронным чтением [6] и дополнительного сигнала синхронизации (эксперимент 4).

5. Реализация минимизированного МПА Мура по РУ-схеме. Использование ПЗУ с синхронным чтением и заднего фронта основного сигнала синхронизации (эксперимент 5).

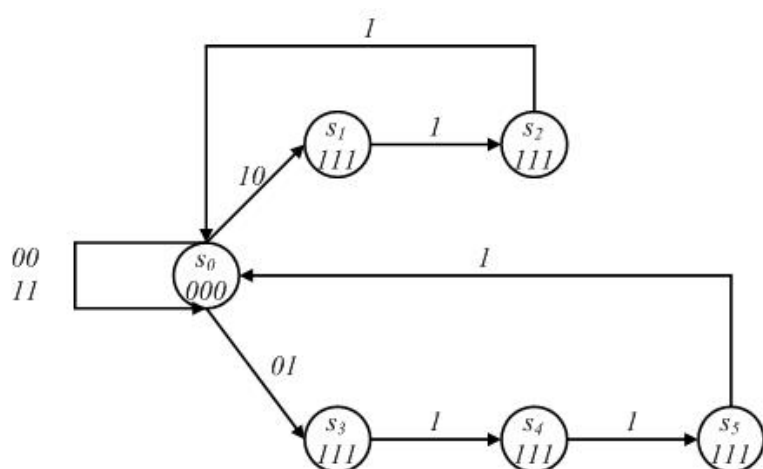


Рис. 2. Диаграмма состояний заданного МПА Мура

Все исследования проводились с помощью Xilinx ISE 9.2i для семейства FPGA Xilinx Spartan-3, а именно для микросхемы XC3S200. Результаты совокупных аппаратных затрат для пяти вариантов реализации графически показаны на рис. 3.

Если целью оптимизации являлось количество LUT-ячеек, то лучший результат

синтеза был получен при использовании РУ-реализации автомата Мура с синхронным ПЗУ и двумя сигналами синхронизации (эксперимент 4). По сравнению с экспериментом 1, количество слайсов уменьшилось в 3 раза, количество триггеров – в 1,5 раза, а количество LUT-ячеек – в 2,5 раза. Однако, в этом случае увеличилось общее количество выводов схемы, количество сигналов синхронизации и было задействовано одно оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).

## Выводы

Предлагаемый подход к унификации процесса синтеза автоматов Мура для FPGA направлен на уменьшение уровня аппаратных затрат в целевой микросхеме. Такая оптимизация достигается за счет применения алгоритмических (минимизация таблицы переходов, кодирование внутренних состояний) и схемных (адаптация логической схемы МПА) методов.

Направления дальнейших исследований направлены на рассмотрение двух аспектов – научно-теоретического и экспериментального.

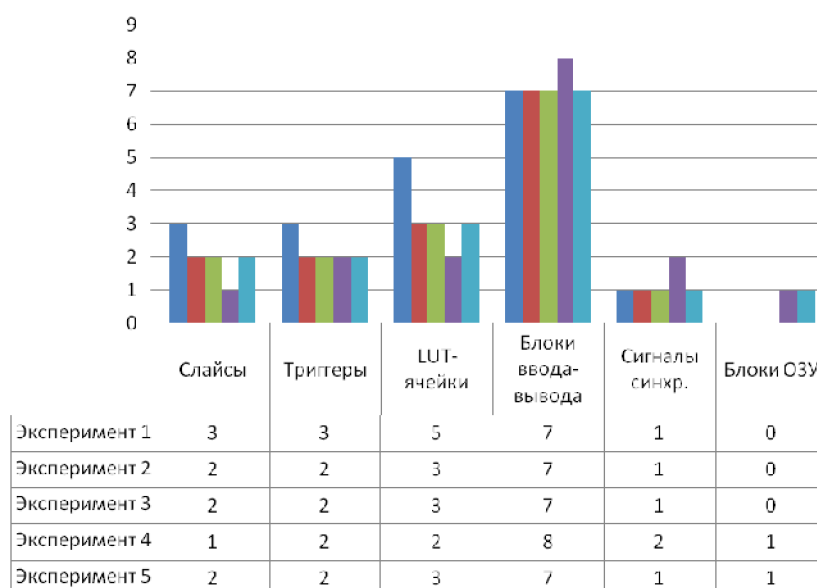


Рис. 3. Результаты исследований

В рамках научно-теоретических исследований планируется осуществить: поиск множества альтернативных алгоритмов для основных этапов методики синтеза; оценку и обоснование условий целесообразности использования тех или иных вариантов основных этапов синтеза; адаптацию

известных методов и структур синтеза к базису FPGA и используемым программным средствам; предложение новых или улучшение известных алгоритмов, методов, подходов.

Экспериментальные исследования предполагают: программную реализацию разработанной методики синтеза автоматов Мура для FPGA (система автоматизированного проектирования автоматов Мура – САПРАМ); разработку в рамках САПРАМ интерфейса для добавления и исследования новых алгоритмов для основных этапов синтеза; использование конкретного целевого базиса FPGA – семейства микросхем Xilinx Spartan-3.

**Список литературы:** 1. Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с. 2. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 408 с. 3. Баркалов А.А., Титаренко Л.А. Синтез микропрограммных автоматов на заказных и программируемых СБИС. – Донецк: ДонНТУ, Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2009. – 336 с. 4. Nelson V., Nagle H., Carroll B., Irwin D. Digital logic circuit analysis and design. – Prentice Hall, 1995. – 842 p. 5. Баркалов А.А. Синтез устройств управления на программируемых логических устройствах. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 262 с. 6. XST User Guide (9.2i), Xilinx.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ  
ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В СРЕДЕ LABVIEW ДЛЯ  
ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ ЧАСТОТНЫХ СКРЕМБЛЕРОВ  
РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ**

**Корниенко В.Т., Шостак А.Н. ( ТТИ ЮФУ, г.Таганрог, Россия)**

*тел./факс 8 (8634) 371637*

***Abstract:** The design of LabVIEW's virtual devices of frequency scrambler and descrambler is considered*

***Key words:** frequency scrambler, descrambler, inverse spectrum, virtual device, elliptical filter*

При изучении разделов дисциплин «Физико-математические основы системотехники», «Инженерно-техническая защита информации», «Теория электрической связи» на кафедре РТС радиотехнического факультета ТТИ ЮФУ важным аспектом является получение студентами практических навыков о принципах построения технических средств, обеспечивающих надежную защиту информации в системах радиосвязи. Эту задачу помогает решить технология создания виртуальных приборов в среде LabVIEW. По сравнению со средствами цифровой радиосвязи, где применимы методы криптографии получивших широкое распространение, обеспечивая достаточно высокую степень защиты информации от несанкционированного доступа, в аналоговых радиостанциях, гарантированная защита информации обеспечивается неразборчивость передаваемой информации при прослушивании ее посторонними с помощью обычных аналоговых радиостанций или сканирующих приемников. Оптимальным решением этой задачи является использование аналоговых скремблеров. Однако в системах подвижной радиосвязи практическое применение нашли в основном частотные и временные преобразования сигнала, а также их комбинации.

При частотных преобразованиях сигнала в средствах подвижной радиосвязи чаще всего используются следующие виды скремблирования: частотная инверсия сигнала; разбиение полосы частот речевого сигнала на несколько поддиапазонов и частотная инверсия спектра в каждом относительно средней частоты поддиапазона; разбиение полосы частот речевого сигнала на несколько поддиапазонов и их частотные перестановки.

Целью работы является создание лабораторного практикума на основе технологии виртуальных приборов LabVIEW для выполнения следующих задач:

- записи речевых сигналов, вводимых в компьютер с помощью микрофона, и анализа их временных и спектральных свойств;
- осуществление различных видов скремблирования/дескремблирования речевых сигналов.

Используя среду LabVIEW для создания виртуальных приборов, проанализирован созданный виртуальный прибор для осуществления заданного вида частотного скремблирования речевого сигнала с отображением временных реализаций сигналов и их спектров, как до скремблирования, так и после осуществления скремблирования и дескремблирования.

Лицевая панель виртуального прибора для осуществления скремблирования речевого сигнала в частотной области в диапазоне частот от 300Гц до 3400Гц приведена на рис.1, а диаграммная панель – на рис.2. На лицевую панель прибора выведены: спектр входного сигнала, отфильтрованного от 300Гц до 3400Гц; спектр скремблированного сигнала и все необходимые регулировочные ручки для настроек параметров скремблера. Как видно, на диаграммной панели использованы вложенные приборы для чтения звукового файла с диска, для осуществления преобразования частоты, для расчета спектра, для осуществления частотной фильтрации и для записи скремблированного сигнала в файл. Скремблер состоит из трёх последовательно соединённых смесителей с подключёнными регулировочными ручками.

В качестве фильтра выбран эллиптический фильтр 6-го порядка из-за высокой крутизны АЧХ, сопровождающейся колебательным характером плоской вершины в полосе пропускания, и наличием боковых лепестков в полосе заграждения.

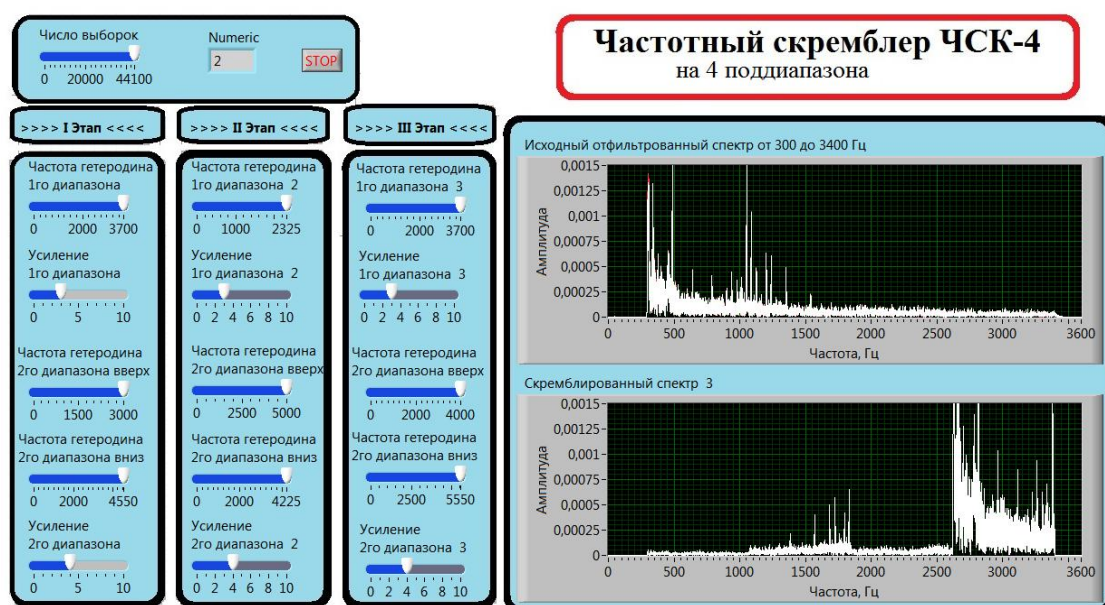


Рис.1. Лицевая панель виртуального прибора частотного скремблирования речевого сигнала

Каждый смеситель делит входной сигнал на два диапазона частот. На I этапе сигнал делится по 1550Гц. Первый диапазон (300Гц-1850Гц) инвертируется и перемещается (1850Гц-3400Гц), с помощью гетеродина с частотой 3700Гц. Второй диапазон (1850Гц-3400Гц) перемещается (300Гц-1850Гц) без инвертирования, с помощью двух гетеродинов с частотами 3000Гц и 4550Гц. На выходе 1-го смесителя два диапазона складываются. В результате получается скремблированный сигнал I этапа на частотах от 300Гц до 3400Гц. Далее сигнал поступает на вход второго смесителя, где делится на два диапазона. Первый диапазон (2625Гц-3400Гц) перемещается (300Гц-1075Гц) без инверсии, с помощью гетеродина с частотой 2325Гц. Второй диапазон (300Гц-2625Гц) перемещается (1075Гц-3400Гц) без инверсии, с помощью двух гетеродинов с частотами 5000Гц и 4225Гц. На выходе 2-го смесителя два диапазона складываются. В результате получается скремблированный сигнал II этапа на частотах от 300Гц до 3400Гц. Далее сигнал поступает на вход третьего смесителя, где делится на два диапазона. Первый диапазон (300Гц-1850Гц) перемещается (1850Гц-3400Гц) с инверсией, с помощью гетеродина с частотой 3700Гц. Второй диапазон (1850Гц-3400Гц) перемещается (300Гц-1850Гц) без инверсии, с помощью двух гетеродинов с частотами 4000Гц и 5550Гц. На выходе 3-го смесителя два диапазона складываются.

ся. В результате получается скремблированный сигнал III этапа на частотах от 300Гц до 3400Гц – спектр результирующего скремблированного сигнала. Для восстановления скремблированного речевого сигнала был спроектирован частотный дескремблер (см. рис. 3.). На лицевую панель прибора выведены: спектр входного сигнала, отфильтрованного от 300Гц до 3400Гц; спектр дескремблированного сигнала и все необходимые регулировочные ручки для настроек параметров дескремблера.

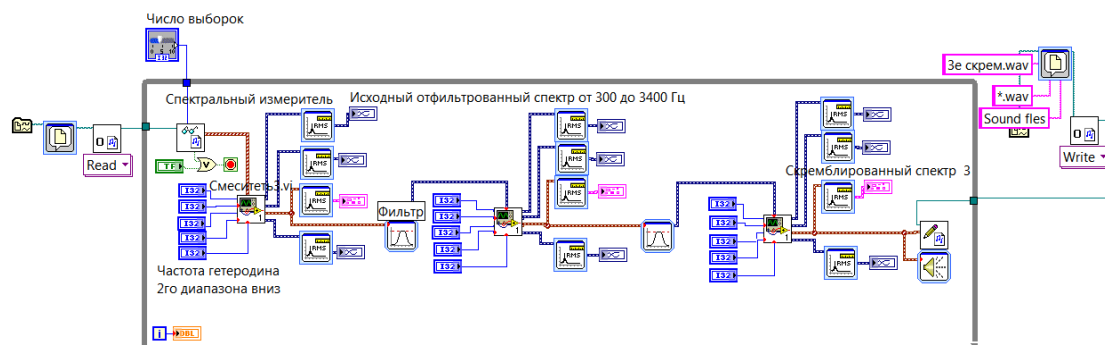


Рис.2. Диаграммная панель виртуального прибора частотного скремблирования речевого сигнала

Дескремблер состоит из трёх последовательно соединенных разделителей с подключенными регулировочными ручками.

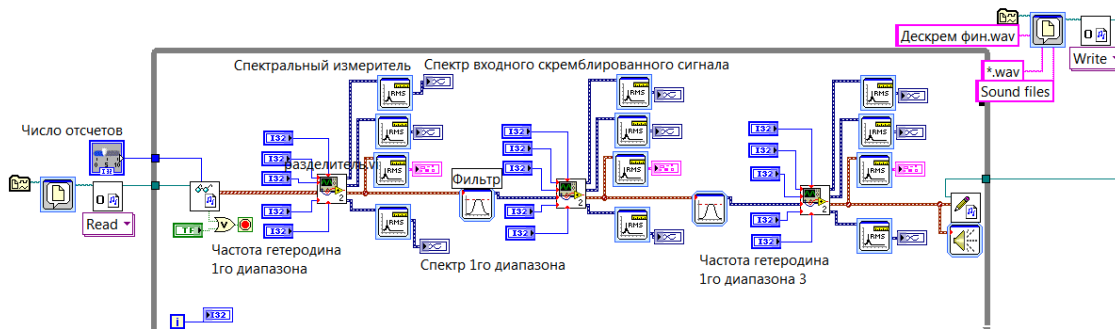


Рис. 3. Диаграммная панель виртуального прибора частотного дескремблера

Каждый разделитель делит входной сигнал на два диапазона частот. Сигнал поступает на вход первого разделителя, где первый диапазон (1850Гц-3400Гц) инвертируется и перемещается (300Гц-1850Гц) с помощью гетеродина с частотой 3700Гц. Второй диапазон (300Гц-1850Гц) перемещается (1850Гц-3400Гц) без инвертирования при помощи двух гетеродинов с частотами 5550Гц и 4000Гц. На выходе 1-го разделителя два диапазона складываются. В результате



получается дескремблированный сигнал I этапа на частотах от 300Гц до 3400Гц. Дальнейшие два этапа обработки позволяют получить дескремблированный сигнал.

В результате проделанной работы были созданы виртуальные приборы, осуществляющие аналоговое частотное скремблирование речевых сигналов, а также библиотечные модули (вложенные виртуальные приборы) для частотного скремблирования и дескремблирования с перестановками и инверсией, позволяющие при каскадном наращивании смесителей и разделителей, реализовать код скремблирования любой сложности.

- Даже при разделении сигнала на четыре поддиапазона, скремблированный сигнал имеет низкую словесную разборчивость, что указывает на сильное закрытие информации виртуальным прибором.

- Так как в данном устройстве используются гетеродины, к ним должны предъявляться жесткие требования, иначе в следствие нестабильности их частоты полезный сигнал будет подавлен фильтром, что снизит качество восстанавливаемого сигнала.

- В результате гетеродинного преобразования полезный сигнал теряет часть энергии, в виду этого необходимо производить усиление в каждом диапазоне на всех этапах скремблирования и дескремблирования.

- Необходимо учитывать при разработке прибора, что скремблирование и дескремблирование вносит задержки в передаче речевого сигнала.

- Основным источником шума при скремблировании и дескремблировании являются эллиптические фильтры из-за неравномерности АЧХ в полосе пропускания и наличия боковых лепестков в полосе задерживания.

- Также при проектировании прибора необходимо учитывать, что фильтр с высоким порядком является высокодобротной системой и имеет долгий незатухающий отклик - «звон», что влечет за собой появление помехи.

Таким образом, использование новых информационных технологий в инженерном образовании позволило реализовать лабораторный практикум для исследования принципов построения аналоговых скремблеров речевых сигналов.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В СРЕДЕ LABVIEW ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ ВРЕМЕННЫХ СКРЕМБЛЕРОВ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

Корниенко В.Т., Шостак А.Н. ( ТТИ ЮФУ, г.Таганрог, Россия)

тел./факс 8 (8634) 371637

**Abstract:** *The design of LabVIEW's virtual devices of time scrambler and descrambler is considered*

**Rey words:** *time scrambler, descrambler, time shifting, inverse waveform, virtual device*

При временных преобразованиях сигнала в средствах подвижной радиосвязи чаще всего используются следующие виды скремблирования: временная инверсия сигнала; разбиение фрагмента речевого сигнала на несколько сегментов и временная инверсия отдельных сегментов; разбиение фрагмента речевого сигнала на несколько сегментов и их перестановки во времени.

Целью работы является создание лабораторного практикума на основе технологии виртуальных приборов LabVIEW для выполнения следующих задач:

- записи речевых сигналов, вводимых в компьютер с помощью микрофона, и анализа их временных и спектральных свойств;
- осуществление различных видов временного скремблирования/дескремблирования речевых сигналов.

Используя среду LabVIEW для создания виртуальных приборов, проанализирован созданный виртуальный прибор записи речевого сигнала, выбор и осуществление заданного вида временного скремблирования полученного сигнала с отображением временных реализаций сигналов, как до скремблирования/дескремблирования так и после осуществления скремблирования/дескремблирования. Осуществление записи скремблированного речевого сигнала и отображение его временных реализаций позволяет осуществить с помощью созданного виртуального прибора анализ качества закрытия речи в канале радиосвязи.

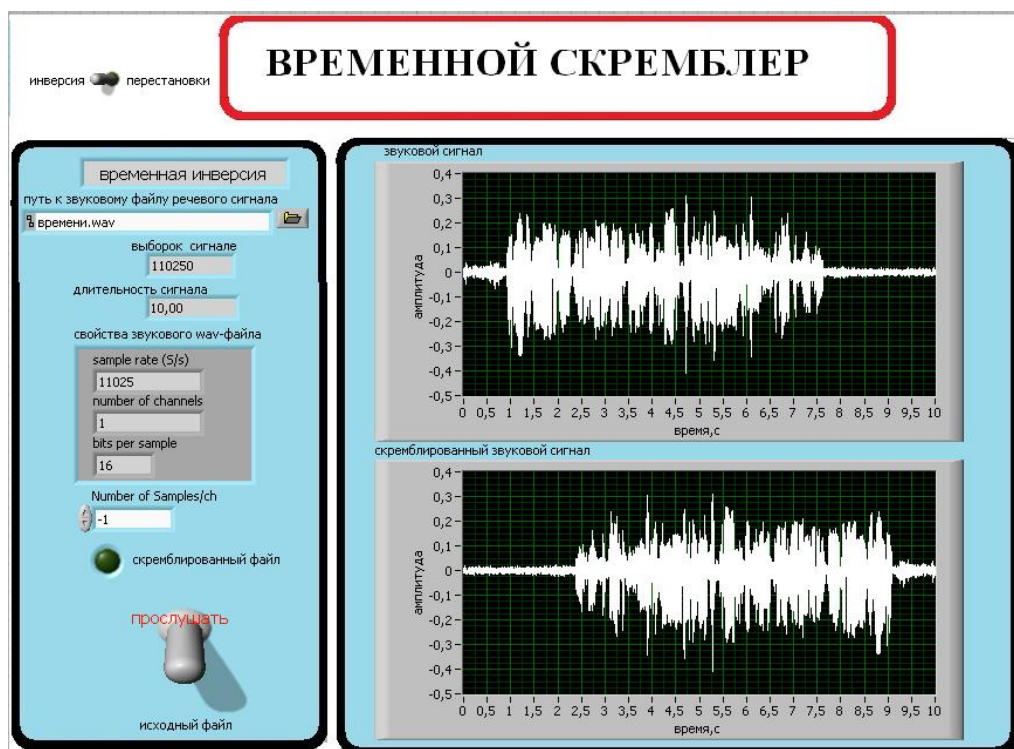


Рис.1. Лицевая панель виртуального прибора для осуществления скремблирования речевого сигнала на основе временной инверсии

Аналогично представленному в предыдущей статье частотному скремблеру/дескремблеру был разработан виртуальный прибор для осуществления временных видов скремблирования/дескремблирования. Лицевая панель виртуального прибора для осуществления скремблирования речевого сигнала во временной области на основе его инверсии приведена на рис.1, а фрагмент диаграммной панели – на рис.2. На лицевую панель прибора выведены: временные диаграммы входного сигнала, скремблированного сигнала, все необходимые регулировочные ручки для настроек параметров скремблера и органы индикации параметров речевого сигнала. Как видно, на диаграммной панели использованы вложенные приборы для чтения звукового файла с диска и для записи скремблированного сигнала в файл, а также блоки для преобразований типов данных для осуществления временной инверсии. Лицевая панель виртуального прибора при переключении тумблера для осуществления скремблирования речевого сигнала во временной области на основе перестановок временных сегментов сигнала приведена на рис.3, а фрагмент диаграммной панели – на рис.4. Как видно, на диаграммной панели использованы вложенные приборы для чтения звукового файла с диска, осуществления временных перестановок с фиксированным ключом и для записи скремблированного сигнала в файл. При программировании

алгоритма на диаграммной панели использована case-структура для выбора временной инверсии и временных перестановок. Дальнейшая модернизация скремблера предусматривает задание ключей скремблирования при перестановке временных сегментов с помощью case-структуры. Это же касается и модели дескремблера.

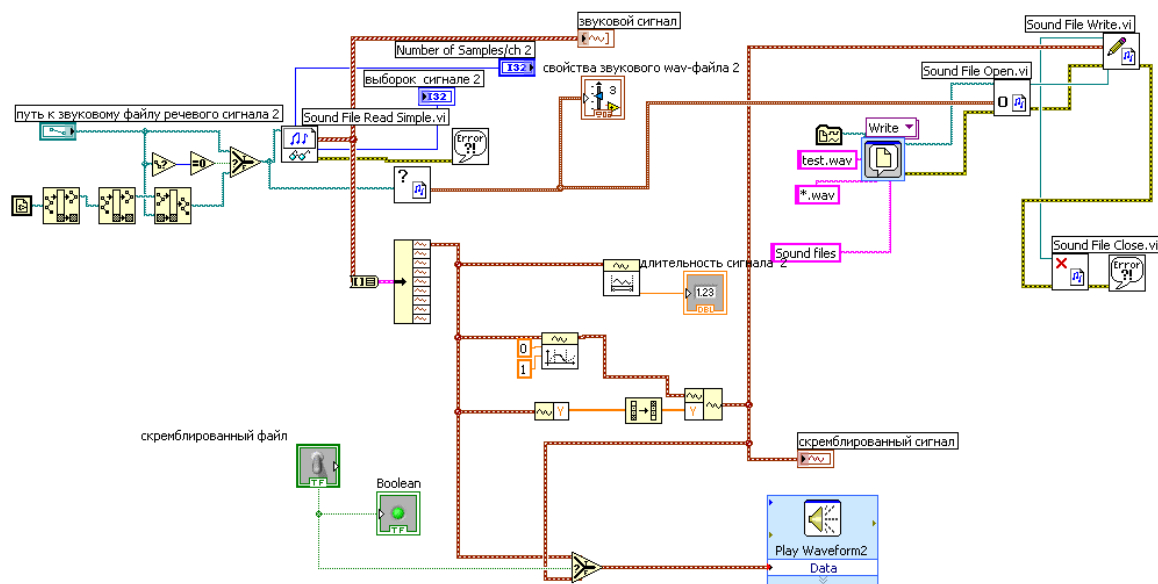


Рис.2. Диаграммная панель для осуществления временного скремблирования речевого сигнала на основе инверсии фрагмента сигнала

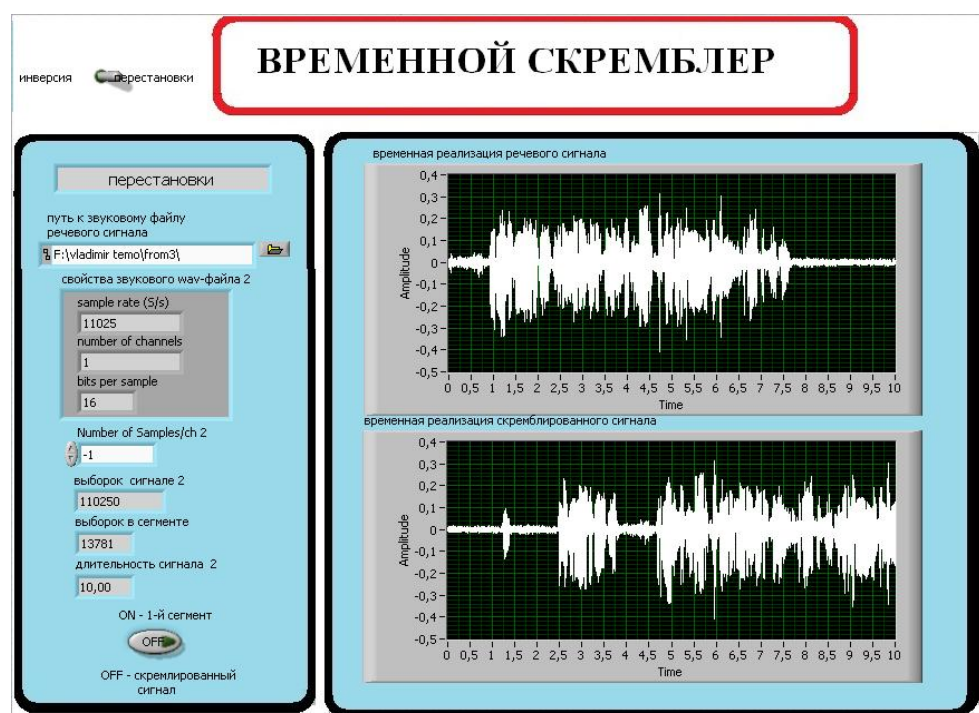


Рис.3. Лицевая панель виртуального прибора для осуществления временного скремблирования речевого сигнала с перестановками

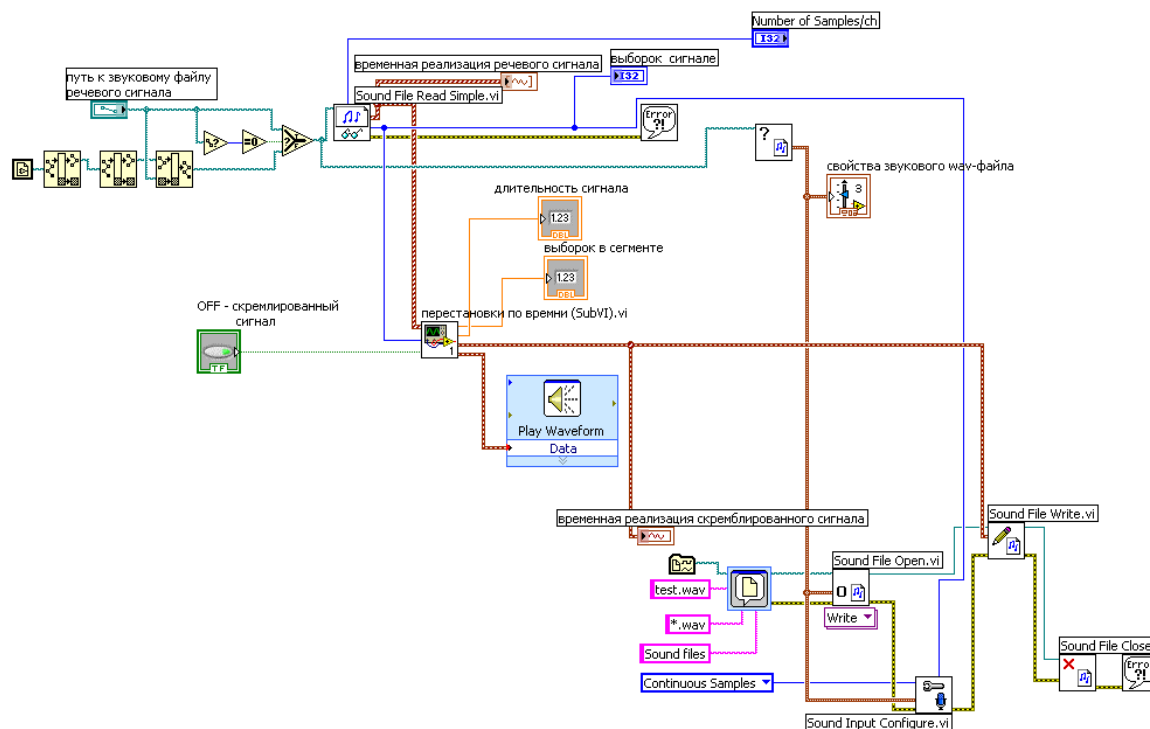


Рис.4. Диаграммная панель виртуального прибора для осуществления временного скремблирования речевого сигнала с перестановками

В результате проделанной работы был создан виртуальный прибор, позволяющий, при каскадном наращивании разработанных библиотечных модулей временного скремблирования/дескремблирования, реализовать код скремблирования любой сложности.

- Необходимо учитывать при разработке прибора, что скремблирование и дескремблирование вносит задержки в передаче речевого сигнала.
- Основным источником шума при скремблировании и дескремблировании является длительность элементарного временного сегмента при разбиении, которая в пределе равна шагу дискретизации речевого сигнала.
- При учете всех выше сказанных особенностей и должных настроек элементов виртуального прибора, обеспечивается хорошее закрытие информации, а затем её восстановление при дескремблировании с хорошей словесной разборчивостью.

Таким образом, использование новых информационных технологий в инженерном образовании позволило реализовать лабораторный практикум для исследования принципов построения аналоговых скремблеров речевых сигналов.

## МЕТОД УСРЕДНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН С КОМПЕНСАЦИЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Кузнецов Ф.И. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

E-mail: [kafmps@ttpark.ru](mailto:kafmps@ttpark.ru)

**Abstract:** *In this article organization of smoothing by averaging noises in least significant bits has been considered with extrapolation of variable value at the  $K$  steps for a compensation dynamic error.*

**Key words:** *smoothing, microcontroller, dynamic error, extrapolation.*

В общем случае на линию связи между датчиком и модулем и на сам модуль действуют электромагнитные помехи. Так же присутствуют собственные шумы операционных усилителей, АЦП, резисторов, микропроцессорной части модуля и т.п. [1]. Аналоговая обработка подавляет высокочастотные помехи, но пропускает помехи с частотным диапазоном полезного сигнала. На низких частотах (ниже 100 Гц), на которых работает большинство датчиков, преобладает фликкер-шум. Указанные причины приводят к появлению случайной составляющей в результатах измерений. Эта случайная составляющая может быть снижена путем усреднения результатов измерения. В работе рассмотрен модернизированный метод усреднения, который организован как метод скользящего среднего [2].

Целью работы является описание метода усреднения с последующей экстраполяцией результата, обеспечивающей компенсацию динамической погрешности.

Сигналы датчика оцифровываются через одинаковые промежутки времени равные  $\Delta T$ . На каждом шаге на основе сформированных на предыдущих  $(M - 1)$  шагах и на текущем шаге достоверных значений сигнала рассчитывается величина

$$\bar{u}_i^{(cp)} = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} \bar{u}_{i-j}. \quad (1)$$

В процессе усреднения вычисляется результат не в точке  $t_i$ , а в точке  $t_l$ , где

$$l \approx i - \frac{1}{2}(M-1). \quad (2)$$

Когда  $M$  – четное,  $M = 4, 6, 8, \dots, 16, \dots$ ,  $l = i - 3/2, l = i - 5/2, l = i - 7/2, \dots, l = i - 15/2, \dots$

Точка лежит на интервале

$$l \in [i - \frac{1}{2}(M-1); i - \frac{1}{2}M]. \quad (3)$$

Это порождает неопределенность и погрешность привязки среднего к близлежащим точкам дискретизации. Выбор четного значения  $M$ , кратного 2

$$M = 2^a \quad (a = 2, 3, 4, \dots)$$

позволяет заменить процедуру деления в (1) на сдвиг суммы, однако не устраняет погрешность, порожденную неопределенностью (3).

Ситуация изменяется, когда  $M$  – не четное. Например, если  $M = 3, 5, 7, 9, \dots$ , то соответственно  $l = i - 1, i - 2, i - 3, i - 4, \dots$

При этом среднее значение (1) привязано к точке (2), являющейся средней точкой на интервале

$$t_l \in [t_{i-(M-1)}, t_i],$$

в то время как искомым является значение в точке  $t_i$ .

В результате усреднения среднеквадратическое отклонение случайной составляющей уменьшается в  $\sqrt{M}$  раз:

$$\sigma_\Sigma = \frac{\sigma_{шф}}{\sqrt{M}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{шф}$  – среднеквадратическое отклонение случайной составляющей до усреднения (среднеквадратическое отклонение после аналогового фильтра).

$\sigma_\Sigma$  – среднеквадратическое отклонение случайной составляющей после усреднения.

На практике редко удастся снизить случайную составляющую более чем в 2...3 раза с помощью усреднения [1]. В связи с этим появляется дополнительное условие:

$$\sqrt{M} \leq 3,$$

или

$$M \leq 9. \quad (5)$$

Для компенсации погрешности, порожденной временным сдвигом, предлагается использовать метод экстраполяции значения переменной [3]. В соответствии с этим методом приближенное текущее значение  $\bar{u}_{l+k}^{*(cp)}$  вычисляется в результате экстраполяции на

$$k = \frac{1}{2}(M - 1) \text{ шагов,} \quad (6)$$

соответственно, на 1, 2, 3, 4, шага.

Чем больше берем точек для усреднения, тем на большее шагов точек необходимо экстраполировать. С другой стороны, чем на большее число шагов производится экстраполяция, тем больше погрешность экстраполяции. С учетом этих факторов необходимо найти оптимальное значение точек  $M$  для усреднения.

Для реализации вычислений усредненных экстраполированных значений по нечетному количеству точек в микроконтроллере, в котором отсутствует команда деления, деление заменяется на умножение со сдвигом.

Например, чтобы избавиться от операции деления, коэффициент  $1/5$  представляется в виде:

$$\frac{1}{5} \approx \frac{819}{2^{12}}.$$

Тогда выражение (1) преобразуется в вид:

$$\bar{u}_i^{(cp)} = \frac{819}{2^{12}} \sum_{j=0}^4 \bar{u}_{i-j}$$

Для прогнозирования на  $k$  шагов результатов обработки оцифрованных значений сигнала аналогового датчика могут использоваться формулы, построенные на основе полинома Лагранжа (таблиц 1) [4]. Погрешность вычисления экстраполированного значения зависит от методической погрешности формулы экстраполяции  $\mu^*$ , от погрешности, связанной с квантованием входной переменной в АЦП и обработкой данных в целочисленном формате и флуктуации в младших разрядах операндов формул экстраполяции.

Частные формулы многошаговой экстраполяции первого типа и их методические погрешности приведены в таблице 1 соответственно.



Таблица 1 - Частные формулы экстраполяции первого типа.

$r$	Формулы экстраполяции значений переменных	Методические погрешности
1	$\bar{u}_{11(i+k)}^{*(cp)} = 2\bar{u}_i^{(cp)} - \bar{u}_{(i-k)}^{(cp)}$	$\mu_{11(i+k)}^* = (kh)^2 u^{[2]}(\xi)$
2	$\bar{u}_{12(i+k)}^{*(cp)} = 3(\bar{u}_i^{(cp)} - \bar{u}_{(i-k)}^{(cp)}) + \bar{u}_{(i-2k)}^{(cp)}$	$\mu_{12(i+k)}^* = (kh)^3 u^{[3]}(\xi)$
3	$\bar{u}_{13(i+k)}^{*(cp)} = 4\bar{u}_i^{(cp)} - 6\bar{u}_{(i-k)}^{(cp)} + 4\bar{u}_{(i-2k)}^{(cp)} - \bar{u}_{(i-3k)}^{(cp)}$	$\mu_{13(i+k)}^* = (kh)^4 u^{[4]}(\xi)$

Для практического применения выбираются формулы, у которых суммарные погрешности экстраполяции не превышают задаваемую предельно допустимую погрешность  $\varepsilon_\chi$ .

Оценим максимальную погрешность формул экстраполяции первого типа с учетом случайной составляющей и погрешности квантования.

$$\varepsilon_{1r(i+k)}^* = (kh)^{r+1} u^{[r+1]}(\xi_i) + \left( \sigma_\Sigma + \frac{1}{2^N - 1} \right) \cdot \sum_{j=0}^r |C_j|, \quad (7)$$

где  $C_j$  – коэффициенты в формуле экстраполяции.

$$C_j = (-1)^{r-j} \frac{(r+1)!}{j!(r+1-j)!}.$$

Подставим выражения (4) и (6) в формулу (7), получим:

$$\varepsilon_{1r(i+k)}^* = ((0,5M - 0,5)h)^{r+1} u^{[r+1]}(\xi_i) + \left( \frac{\sigma_{\text{шф}}}{\sqrt{M}} + \frac{1}{2^N - 1} \right) \cdot \sum_{j=0}^r |C_j|. \quad (8)$$

Задача поиска оптимального значения точек усреднения  $M$  заключается в поиске минимального значения погрешности (8) с учетом неравенства (5), при различных значениях степени формулы экстраполяции  $r$ .

**Список литературы:** 1. Денисенко В. В. Компьютерное моделирование технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с. 2. Пьявченко О.Н. Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с. 3. Кузнецов Ф.И. Влияние сглаживания входной переменной на результат многошаговой экстраполяции значения переменной. Неделя науки – 2009: Материалы научных работ. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 16-20.

## ВНЕШНЯЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

Ли В.Г., Комар А.В. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

e-mail: lgkd@egf.tsure.ru

**Abstract:** *To ensure the reliability of man-machine system information most must be substantial, both in terms of the specific functions of the operator and the specific situations in the system (including critical). Researched supplement simulation environment elements of artificial intelligence.*

**Keywords:** *operator, reliability, decision-making*

Характерной особенностью труда операторов автоматизированных роботизированных систем (РТС) в среде виртуальной реальности (СВР) является то, что они имеют дело не непосредственно с самими управляемыми объектами, а с их информационными моделями. В этих условиях для обеспечения надежности человеко-машинной системы должна воспроизводиться информация наиболее существенная, как с точки зрения конкретных функций оператора, так и с точки зрения конкретных функциональных ситуаций в системе (в том числе критических). Ранее [1,2] были освещены вопросы оценки эффективности деятельности оператора РТС.

Надежность является интегральной внешней оценкой деятельности оператора, учитывающей в совокупности следующие критерии:

- уровень сложности задания (параметр  $k_{сл}$ );
- выполнено ли задание в полном объеме (параметр  $k_{итог}$ );
- соблюдение временных ограничений (параметр  $k_{вр}$ );
- усредненная оценка эффективности деятельности за сеанс (параметр  $k_{эфф}$ );
- наличие фактов коллизий (параметр  $k_{колл}$ );
- оптимальность принимаемых решений при включении конкретных двигателей (параметр  $k_{реш}$ ).

Параметр  $k_{сл}$  – действительное число, пропорциональное уровню сложности (от 0,5 для первого уровня, до 1,0 – для самого сложного).

Параметр  $k_{итог}$  – учитывает положение рабочей точки в момент окончания времени сеанса испытания в случае, если точка-цель не достигнута. Если цель достигнута, то коэффициент равен 1,0. Иначе коэффициент принимает значение соответствующее отношению итогового расстояния к исходно заданному.

Параметр  $k_{вр}=1+$ действительное число, определяемое отношением сэкономленного времени (в случае его наличия) к исходно заданному времени сеанса. В случае отсутствия такового коэффициент принимает значение 1,0.

Параметр  $k_{эфф}$  – средневзвешенное значение эффективности деятельности

(в относительных единицах) оператора за все время сеанса, то есть среднее значение текущих эффективностей, учитывающее продолжительность действия каждого из них, за время сеанса (но без учета пауз на принятие решений).

Параметр  $k_{реш}$  – средневзвешенное значение эффективности деятельности оператора в моменты принятия решений во время сеанса, то есть учитывающее продолжительность интервалов движения манипулятора (без учета периодов анализа ситуаций до принятия очередных решений).

Текущее значение параметра  $k_{реш}$  определяется по следующему алгоритму. Пусть в данный момент оператор должен принять решение о включении того или иного двигателя (двигателей). При этом известно, что «идеальный оператор» определил необходимость включения 3-х двигателей (в одном из двух направлений для каждого), то есть возможны 6 вариантов действий реального оператора. Тогда в зависимости от принятого решения  $k_{реш}$  может принять одно из следующих значений, приведенных в таблице 1 (выделенные ячейки соответствуют решению «идеального оператора»).

Таблица 1 – Значения параметра  $k_{реш}$  для варианта 3-х одновременно включаемых двигателей

Вариант принятия решения	Включить 1-й двигатель		Включить 2-й двигатель		Включить 3-й двигатель		Значение $k_{реш}$
	Угол +	Угол -	Угол +	Угол -	Угол +	Угол -	
0 прав. решений			*			*	0
И т.д.							0
1 прав. решение	*					*	0,16
И т.д.							0,16
2 прав. решения	*			*		*	0,32
	*			*		*	0,48
И т.д.							0,80
3 прав. решения	*			*	*		1,0

Интегральная надежность деятельности оператора за сеанс определяется (в процентах) произведением вида

$$K_{над} = k_{сл} \times k_{итог} \times k_{вр} \times k_{эфф} \times k_{реш} \times 100\%.$$

Оценка эффективности деятельности оператора в момент принятия решения может быть осуществлена по следующей методике.

Все возможные действия оператора в момент принятия решения представим в виде матрицы  $M = \{a_{ij}\}$ , где  $a$  – возможное действие оператора;  $i = 0 \dots n$ , где  $n$  – число работающих двигателей;  $j = 0 \dots m$ , где  $m$  – число возможных действий оператора (включений/выключений двигателей).

Пример матрицы решений для 3-х двигателей:

	+	-	х
<b>1</b>	а 00	а 01	а 02
<b>2</b>	а 10	а 11	а 12
<b>3</b>	а 20	а 21	а 22

Решение идеального оператора представляется в виде строки:

$$\{a_{0XI}, a_{1YI}, a_{2ZI}\}, XI, YI, ZI \in \{0 \dots m\}.$$

Решение реального оператора представля-

ется в виде строки:

$$\{a_{0XR}, a_{1YR}, a_{2ZR}\}, XR, YR, ZR \in \{0 \dots m\}.$$

Начальные условия представляется в виде строки:

$$\{a_{0XS}, a_{1YS}, a_{2ZS}\}, XS, YS, ZS \in \{0 \dots m\}.$$

Оценка эффективности деятельности оператора (F) в момент принятия решения определяется по формуле:

$$F = (F_x + F_y + F_z) \times k,$$

где  $F_x, F_y, F_z$  – оценка эффективности по каждому двигателю;  $k$  – коэффициент, зависящий от количества вариантов действий для оператора.

$F_x = 0.33$ , если  $XR = XI$ .

$F_x = 0$ , если  $XR \neq XI$ .

$F_y, F_z$  – аналогично.

Пример вычисления коэффициента  $k$  для 3-х двигателей (выделенные ячейки – начальные условия).

	+	-	x
1	a 00	a 01	<b>a 02</b>
2	a 10	a 11	<b>a 12</b>
3	a 20	a 21	<b>a 22</b>

Начальные условия:  $\{a_{02}, a_{12}, a_{22}\}$  (все двигатели выключены):

а) решение «идеального» оператора: необходимо включить только один двигатель.

Количество вариантов для реального оператора – 6;

б) решение идеального оператора: нужно включить два двигателя.

Количество вариантов для реального оператора, вычисляется по формуле:

$$C = C_m^l - n = m! / (l! \times (m-l)! - n,$$

где  $l$  – количество включенных двигателей. Для нашего примера:  $C = 6! / (2! \times 4!) - 3 = 12$ ;

в) решение «идеального» оператора: необходимо включить три двигателя. Количество вариантов для реального оператора вычисляется по формуле  $m^n$ . Для нашего примера  $2^3 = 8$ .

Коэффициент  $k$  назначается из таблицы 2.

Таблица 2 – Корректирующие коэффициенты оценки принятия решений оператором

Количество вариантов	Вероятность (р) того, что оператор выберет единственно правильный вариант	Значение $k$
6	0,2	0,8
12	0,08	1
8	0,1	0,9

Экспериментальные исследования разработанной системы имитационного моделирования ВКД с элементами искусственного интеллекта проводились в форме сравнительного анализа и количественной оценки разработанных технологий управления РТС по следующим качественным критериям:

- точность позиционирования рабочей точки манипулятора;

- оперативность включения/выключения двигателей манипулятора;
- общее время выполнения задания (миссии ВКД);
- количество безошибочных действий (решений) оператора;
- суммарное количество работы двигателей (косвенная оценка энергетических затрат механизмов РТС).

Применялась следующая шкала относительной (по сравнению с «идеальным» оператором) оценки деятельности человека-оператора:

- |                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| • «+++» – высокая; | • «+» – низкая;       |
| • «++» – средняя;  | • «-» – очень низкая. |

Управление осуществлялось с клавиатуры компьютера, манипулятором-мышью и/или микрофоном. Обратная связь в виде выдачи «подсказок» интеллектуальной подсистемой моделирования не применялась.

Все эксперименты проводились для одинаковых начальных условий и положением конечной точки-цели при заведомо известных оптимальных последовательностях принятий управляющих решений. Последнее достигалось предварительной отработкой оптимальной безопасной траектории движения РТС и ее записи в управляющий протокол для двух вариантов, а именно:

- на каждом этапе принятия решений «идеальный» оператор мог одновременно включить до двух двигателей манипулятора;
- на каждом этапе принятия решений «идеальный» оператор мог включить только один из двигателей.

Результаты экспериментального исследования двух вариантов управления приведены в табл. 3 и 4.

Основной задачей эксперимента было определение степени функциональной полноты интеллектуальной компоненты программного обеспечения стенда в части определения надежности действий оператора. Моделирование осуществлялось для режима управления РТС с помощью голосовых команд. На рис. 1-4 представлены отдельные кадры видеоряда эксперимента.

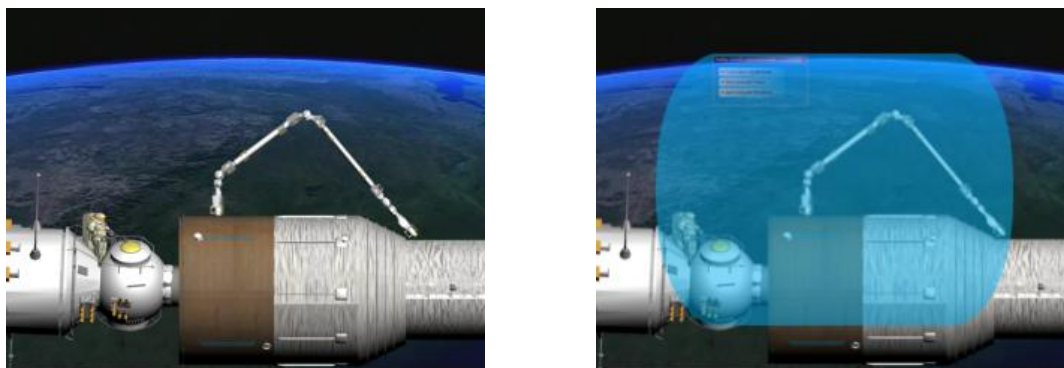


Рис.1. Начальная сцена ВКД (режим наблюдения из внешней точки). Включение виртуального экрана и главного меню дистанционного управления, выбор способа управления – голосовое управление

Таблица 3 - Качественные оценки способов дистанционного управления  
РТС (для случая одного включаемого двигателя)

Способ управления	Критерии качественной оценки				
	Точность позиционирования рабочей точки манипулятора	Оперативность включения/выключения двигателей	Общее время выполнения задания ВКД	Количество безошибочных действий оператора	Суммарное количество работы двигателей
Управляющим протоколом («идеальный»)	+++	+++	+++	+++	+++
Виртуальная модель автономного пульта	+++	++	++	++	++
Виртуальный пульт (голосовое управление)	++	+	-	++	+
Виртуальный пульт (клавиатурное управление)	++	++	+	++	++

Таблица 4 - Качественные оценки способов дистанционного управления  
РТС (для случая двух одновременно включаемых двигателей)

Способ управления	Критерии качественной оценки				
	Точность позиционирования рабочей точки манипулятора	Оперативность включения/выключения двигателей	Общее время выполнения задания ВКД	Количество безошибочных действий оператора	Суммарное количество работы двигателей
Управляющим протоколом («идеальный»)	+++	+++	+++	+++	+++
Виртуальная модель автономного пульта	++	+	+	+	++
Виртуальный пульт (голосовое управление)	+	+	-	+	-
Виртуальный пульт (клавиатурное управление)	++	+	-	+	+

Полученные экспериментальные данные, позволяют сделать следующие выводы:

- наиболее технологичным и безопасным способом управления РТС с применением технических средств виртуальной реальности является работа с управляющим протоколом, однако такое управление требует предварительной отработки траектории, что зна-

чительно увеличивает общее время выполнения задания;

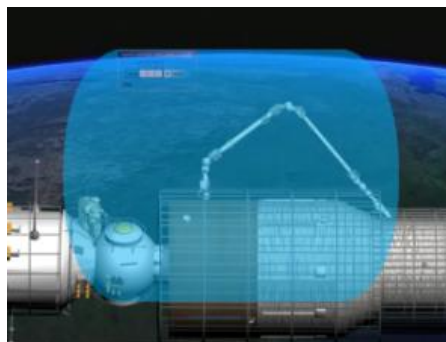
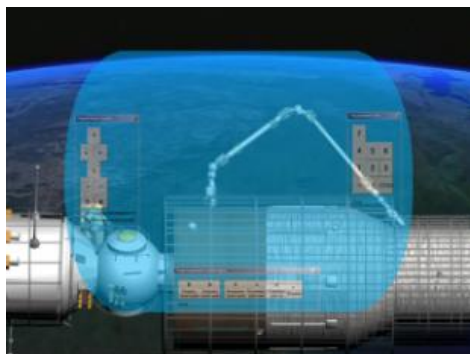


Рис.2. Включение эквидистантной решетки для поверхностей МКС. Ввод координат точки-цели с помощью панели голосового управления

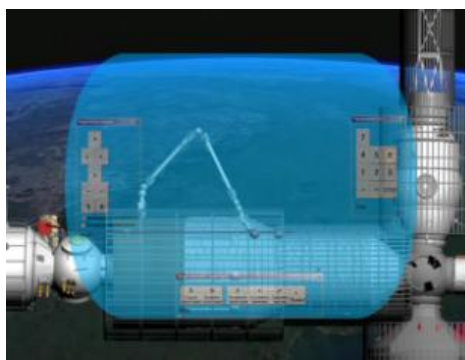
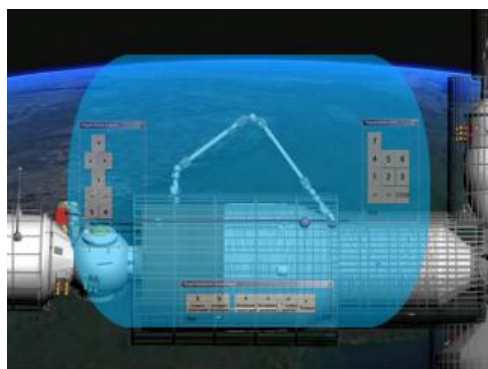


Рис.3. Движение по неоптимальной траектории; достижение второй точки коллизии

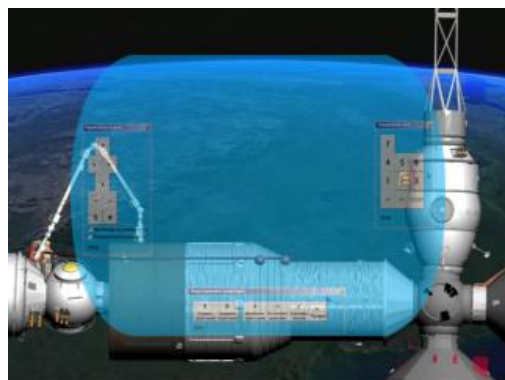


Рис.4. Достижение цели. Автоматическое выключение двигателей по команде интеллектуальной компоненты

- без предварительного моделирования траектории движения РТС наиболее предпочтительным является применение виртуальной модели автономного пульта дистанционного управления;

- ухудшение показателей надежности деятельности человека-оператора становится значительным, если «идеальный» оператор одновременно использует два и более двигателей.

**Список литературы:** 1. Ли В.Г., Комар А.В. Компьютерный стенд оценки ПФС человека-оператора в виртуальной среде имитационного моделирования деятельности. Материалы 10-го н.-п. семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 2-х томах. Т. 1. Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2009. С.254-262. 2. Ли В.Г., Комар А.В. Оценка эффективности и надежности деятельности оператора РТС с использованием протоколов сеансов испытаний. Материалы 11-го н.-п. семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х томах. Т. 2. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. С.137-148.

тационного моделирования деятельности. Материалы 10-го н.-п. семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 2-х томах. Т. 1. Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2009. С.254-262. 2. Ли В.Г., Комар А.В. Оценка эффективности и надежности деятельности оператора РТС с использованием протоколов сеансов испытаний. Материалы 11-го н.-п. семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х томах. Т. 2. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. С.137-148.

## ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РТС

Ли В.Г., Сапрунов В.Н., Комар А.В. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)  
e-mail: lgkd@egf.tsure.ru

**Abstract:** *Provided software modeling technology of robotic operator system*

**Keywords:** *interpretation, governance, operator*

Имитационное моделирование дистанционного управления движением робототехнической системы (РТС) в виртуальной среде решается следующими способами:

- ввод управляющих воздействий с помощью клавиатуры управляющего компьютера;
- ввод управляющих воздействий с помощью виртуальных пультов управления, не имеющих реальных аналогов;
- голосовой ввод управляющей информации;
- ввод информации с помощью виртуальной перчатки;
- ввод управляющих воздействий с протоколов движений РТС.

Под интерпретацией воздействий на приборы управления движением РТС понимается однозначное распознавание команд, вводимых различными способами (голосовые команды, команды с виртуального пульта или команды, полученные от сенсорных датчиков на виртуальной перчатке) и отображение результатов этих воздействий на модели РТС. Воздействие на приборы управления сопровождается расшифровкой введенной команды на полупрозрачном дисплее шлема космонавта. Структура взаимодействия оператора с системой показана на рис. 1.



Рис. 1. Функциональная схема взаимодействия оператора с системой

После запуска программы на выполнение (по голосовой команде) на стекло шлема космонавта-оператора выводится полупрозрачный дисплей и главное меню, с помощью которого он может выбрать один из способов воздействия на механизмы РТС (рис. 2):

- голосовое управление;
- управление с помощью виртуального пульта;
- управление с помощью перчатки виртуальной реальности.



В зависимости от выбора оператора на дисплее отобразится одна из трех имеющихся панелей (пультов) управления (рис. 3).

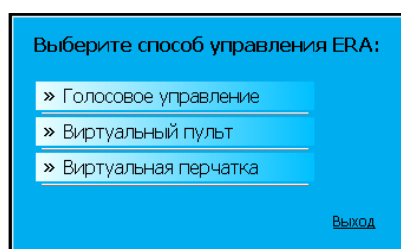


Рис. 2. Главное меню выбора управляющих на РТС воздействий

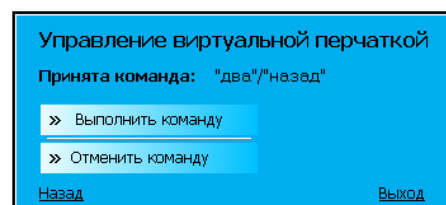
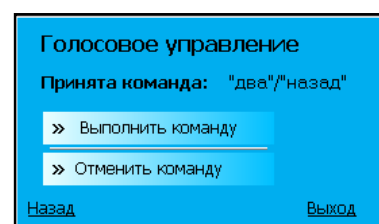


Рис. 3. Варианты применяемых пультов дистанционного управления РТС

После выбора способа управления, оператору предоставляется возможность задания координат точки-цели (соответствующая панель показана на рис. 4).

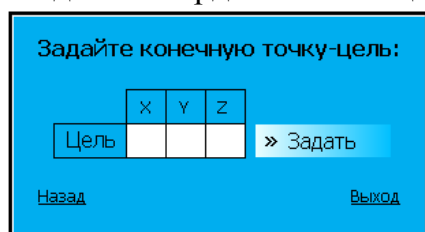


Рис.4. Панель интерактивного задания точки-цели

Задание цели облегчает работу оператора, а именно:

- автоматически инициируется вычисление оптимальной траектории движения рабочей точки манипулятора;
- во время работы вычисляется текущее расстояние до цели;
- автоматически определяются и отображаются точки коллизий;

- возможно отображение цилиндров безопасности на модели МКС.

Оператор может не задавать конечную точку-цель, оставив пустыми поля ввода координат.

Во время работы космонавта-оператора с системой, за его действиями может наблюдать и, при необходимости, корректировать инструктор тренажа внекорабельной деятельности (ВКД) космонавта-оператора. Рабочее окно инструктора имеет такой же вид, как и у оператора, за исключением наличия/отсутствия информационной панели (рис. 5). На этой панели отображается информация о текущем состоянии РТС:

- координаты рабочей точки манипулятора, координаты цели;
- расстояние от рабочей точки манипулятора до точки-цели;
- протокол действий оператора (номер действия, время включения двигателя, номер двигателя, угол поворота и др.);
- состояние двигателей манипулятора (включен/выключен, поворот);
- общее и текущее время сеанса.

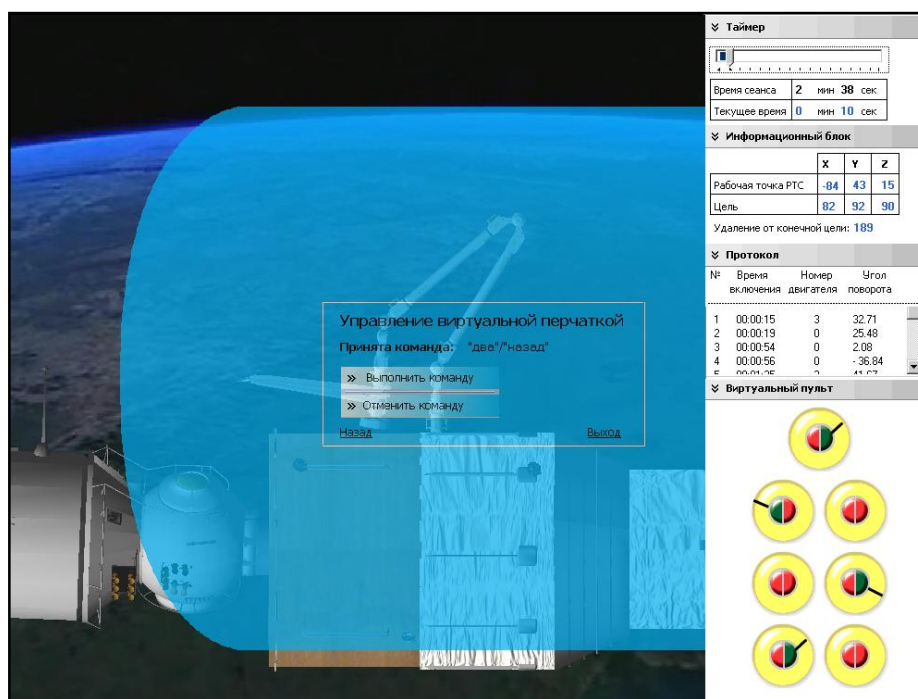


Рис. 5. Рабочее окно инструктора тренажа ВКД

Во время имитации ВКД космонавтом-оператором выполняется контроль безопасного перемещения РТС. В случае возникновения угрозы столкновения манипулятора с поверхностью станции – в верхней части окна виртуального

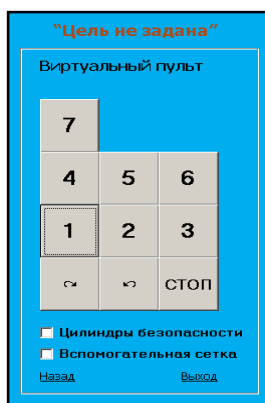


Рис. 6. Сообщение интеллектуальной системы

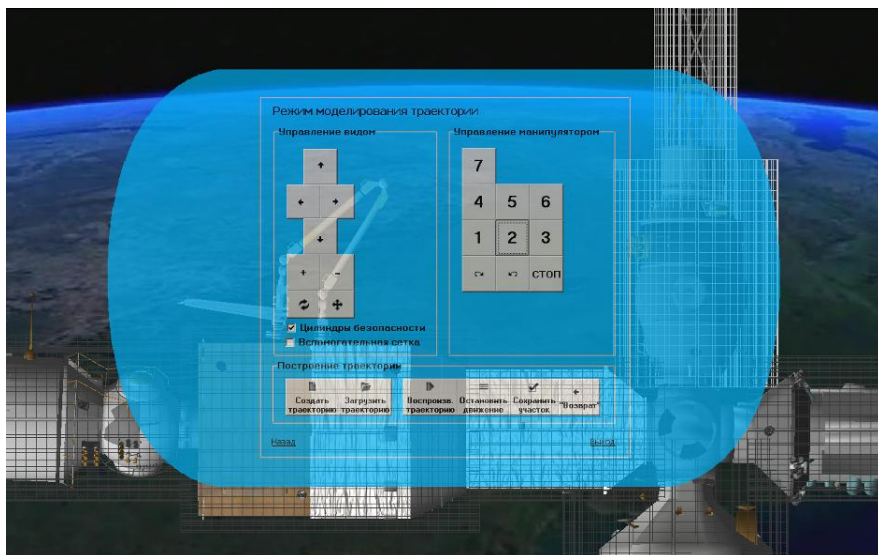
пульта появляется соответствующее предупреждающее сообщение от интеллектуальной компоненты системы (на рис. 6 – верхнее поле). Одновременно визуальное сообщение дублируется по звуковому каналу связи.

Интеллектуальная компонента программного обеспечения тренажно-моделирующего стенда (ТМС) реализует обратную связь в форме выдачи специальных сообщений-«подсказок». Такие сообщения упрощают оператору реализации безопасности деятельности при управлении РТС.

На данном этапе исследования ТМС в порядке эксперимента предлагается использование следующей библиотеки подсказок трех типов: советующие, предупреждающие, приказывающие.

Для повышения точности позиционирования и целеуказания в виртуальной среде ВКД оператор может прибегнуть к помощи вспомогательной координатной решетки (радиального сектора с настраиваемой разрешающей способностью от 0,2 до 1,0 метра). Вспомогательная координатная решетка (рис. 7) представляет собой продольный сегмент цилиндрического пространства. Для того, чтобы не загромождать пространство лишней информацией сетка отображается только в пространстве от цели до рабочей точки манипулятора. Также на сетке всегда визуально выделены два сектора, указывающие положение цели и рабочей точки захвата манипулятора.

Программные средства, реализующие интерпретацию воздействий на приборы управления движением РТС условно можно разделить на 4 части:



- описание оконной функции программы;
- описание пульта управления РТС;
- собственно головная программа, дополненная кодом обработчиков сообщений для расширения функциональности приложения;
- описание структуры строки протокола и функций для работы с протоколом.

[illegible]

71

## ПРИМЕНЕНИЕ СТРОЧНОЙ МЕЖПИКСЕЛЬНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ТРАССИРОВАНИЯ ЛУЧЕЙ

Мальчева Р.В., Мохаммад Юнис (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел.: +38(062)3010735; E-mail: [raisa@cs.dgtu.donetsk.ua](mailto:raisa@cs.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *The method of row interpixel interpolation to improve the image generation based on Ray-tracing is discussed. The hardware support of proposed method are done.*

**Keywords:** *Ray-Tracing, rendering, interpolation, algorithm, hardware realization.*

Метод трассировки лучей (Ray-Tracing) используется в компьютерной графике для рендеринга трехмерных сцен фотографического качества. Он позволяет интегрировать значительное количество оптических эффектов, что предоставляет прекрасную возможность для реализации блестящих и прозрачных объектов. При этом ключевым является требование к производительности системы. Как показали исследования [1], от 75% до 95% времени формирования изображения приходится на поиск пересечения луча с элементами сцены.

Существуют аппаратные решения, позволяющие ускорить анализ пересечения «луч-объект», в т.ч. за счет распараллеливания этапов алгоритма и данных. В приложениях, для которых скорость отображения существенно важнее, чем детальность отображения обстановки, увеличение частоты генерации кадров достигалось, в основном, за счет понижения качества.

В данном исследовании предлагается аппаратный метод ускорения трассирования лучей, являющийся, по сути, нахождением компромисса между качеством изображений и производительностью системы.

В работе [2] предложен метод межпиксельной интерполяции, основанный на предположении, что смежные пиксели трассируемого изображения имеют приблизительно одинаковые цветовые параметры. Метод эффективен для сцен средней загруженности, содержащих до 70% *пиксельных сегментов* (области пикселей, которые различаются по цвету менее чем на 1 %) и приблизительно 8% *крайних областей* (области пикселей, которые различаются по цвету более чем на 25 %).

Основная идея состоит в следующем:

- выполнять трассировку пикселей с некоторым шагом, зависящим от требований к качеству изображения;
- для получения значений нетрассируемых пикселей применять интерполяцию цветовых компонент;
- при получении существенных расхождений в параметрах пикселей, выполнять корректировку шага.

В данной работе выполнен анализ некоторых подходов к реализации этого метода.

**Строчная межпиксельная интерполяция.**

Рассмотрим фрагмент строки, содержащий 8 пикселей. Введем соглашение по структуре аппаратного обеспечения: каждому трассируемому пикселю изображения назначен свой процессорный элемент (PE) (возможно виртуальный); два смежных PE вычисляют крайние пиксели одного сегмента; у каждого PE есть идентификатор, который изменяется в пределах от 0 до максимального количества трассируемых пикселей строки  $N_{max}$ ; все процессорные элементы имеют идентичную структуру.

При применении алгоритма трассировки с фиксированным шагом пиксели будут обработаны следующим образом (рис.1).

Рассмотрим последовательность выполняемых операций.

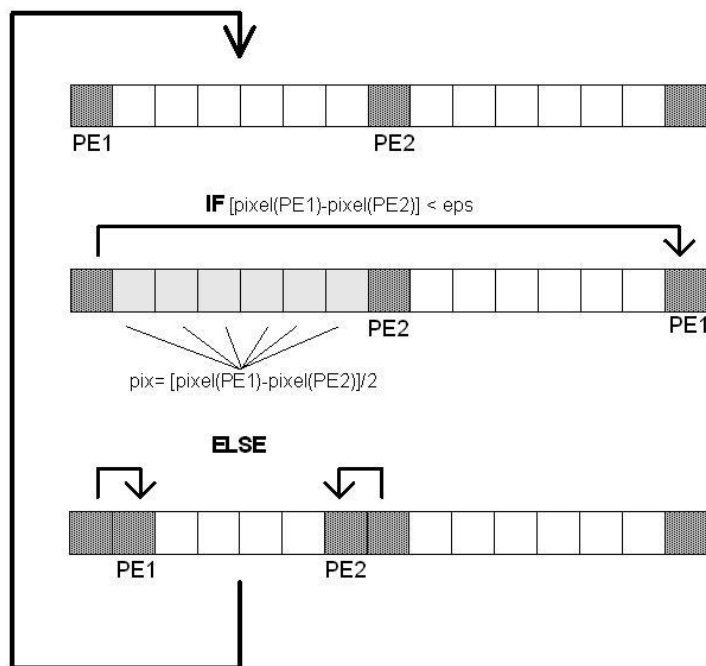


Рис. 1. Последовательность обработки пикселей

ных элементов и пересчет соответствующих пикселей сегмента, обычно, через центральный пиксель.

4. Операция завершается по  $InterpolOK=1$ .

#### **Аппаратная поддержка.**

Описанная организация данных подразумевает, что каждая смежная пара процессорных элементов имеет дополнительные схемные решения (рис.2), собственно обеспечивающие реализацию алгоритма.

Общее количество процессорных элементов для трассировки одной строки при использовании строчной межпиксельной интерполяции может быть рассчитано как:

$$N_{PEr} = \left\lceil \frac{X_{max}}{L_{segm} + 1} \right\rceil,$$

где  $X_{max}$  - разрешение экрана, пикселей;

1. PE1 и PE2 трассируют соответствующие пиксели и посылают два 24 битных значения цветовых параметров на шину данных. Полученные значения помещают во временную пару регистров.

2. При сравнении цветовых параметров генерируется флаг  $InterpolOK$ , который принимает значение 1 при их допустимом различии, иначе - 0.

3. Если флаг установлен, то выполняется переход на интерполяцию. Иначе производится перезагрузка пары процессорных элементов.

$L_{\text{segm}}$  - размер сегмента строки или шаг интерполяции, пикселей.

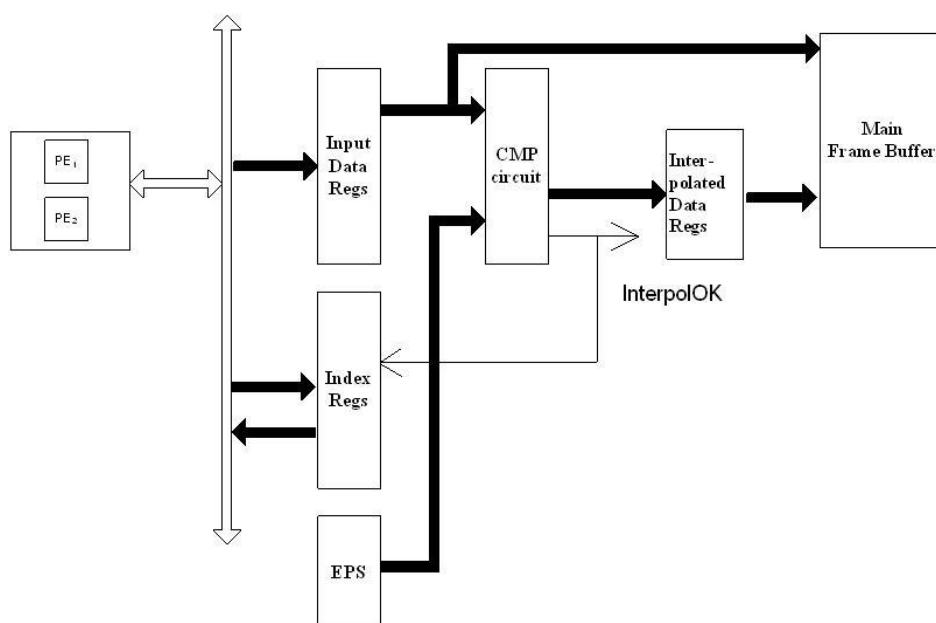


Рис. 2. Функциональная организация блока интерполяции

Таким образом, для изображения растром 1024x1024 ( $X_{\text{max}}=1024$ ), трассируемого сегментами по 6 пикселей ( $L_{\text{segm}}=6$ ) общее количество процессорных элементов уменьшается в 7 раз.

Шаг интерполяции может быть как постоянным (рис.3), так и переменным. Для аппаратной реализации применение постоянного шага является более простым.

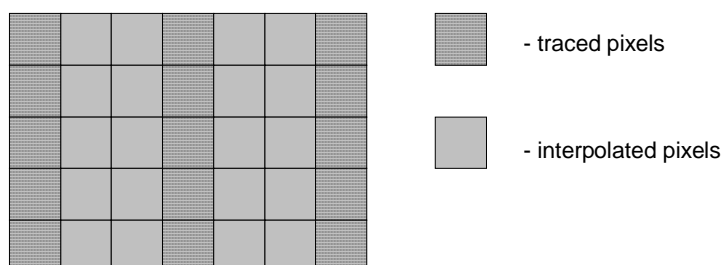


Рис. 3. Пример успешного применения строчной межпиксельной интерполяции с постоянным шагом

### **Выводы и направления дальнейших исследований.**

Очевидным преимуществом предложенной структуры является возможность использования сегментов переменной длины. Однако, следует заме-

тить, что не только внутри строки пиксели имеют близкие цветовые параметры, но и в соседних строках, поэтому направлением дальнейших исследований является анализ использования блочной интерполяции.

**Список литературы:** 1. Plunkett D.J. The Vectorization of a Ray-Tracing Algorithm for Improved Execution Speed / D.J. Plunkett, M.J. Bailey // IEEE Computer Graphics and Application, 1985. - Vol.5, № 8. – pp. 53-60. 2. Malcheva R.V. The problems of modeling and rendering of the realistic complex scenes // Proceedings of ECCPM 2002. - Portoroz, 2002. - pp.537-538.

## ТРАССИРОВКА ЛУЧЕЙ СТАНЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ВНУТРИ СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Панычев А.И., Саградов Т.Г. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел./Факс: +7 (8634) 371733; E-mail: airpu@tti.sfedu.ru

**Abstract:** The results of modeling multipathing spreading of differential correction stations signals inwardly engineering building with carrying design are presented. In calculations under discussion a rays of the one-shot reflection are taken into.

**Key words:** geometric optometrists method, mirror source method, rays tracking, multipathing spreading.

Для решения многих прикладных задач, стоящих перед глобальными навигационными системами, в частности, обеспечения местопределения автомобильного транспорта при отсутствии прямой видимости спутников, необходим анализ эффективности работы станций дифференциальной коррекции в условиях многолучевого распространения. Типичными случаями полного затенения навигационных спутников является расположения автомобиля на подземной парковке, в гаражном ангаре или в тоннеле.

Вопросы распространения сигналов дифференциальных поправок в тоннелях рассмотрены, например, в [1, 2]. В этих работах используется модель «пустого» тоннеля с гладкими внутренними поверхностями. Наличие конструктивных элементов усложняет картину формирования покрытия внутреннего объема сигналами станции дифференциальной коррекции. В данной работе моделью инженерного сооружения, учитывающей наличие несущих конструкций, выбран прямоугольный параллелепипед с расположенным внутри телом также в форме прямоугольного параллелепипеда (рис. 1). Начало декартовой системы координат совмещено с одной из вершин внешнего параллелепипеда. Габаритные размеры объекта обозначены  $X, Y, Z$ ; положение внутреннего препятствия произвольное и задается координатами диагонально противоположных вершин  $(x_b, y_b, z_b)$  и  $(x_e, y_e, z_e)$ . Передатчик расположен в точке с координатами  $(x^t, y^t, z^t)$ , приемник – в точке  $(x^r, y^r, z^r)$ . Внутренние отражающие поверхности на гранях внешнего параллелепипеда обозначены:  $z=0$  – «Поверхность 1»,  $z=Z$  – «Поверхность 2»,  $x=0$  – «Поверхность 3»,  $x=X$  – «Поверхность 4»,  $y=0$  – «Поверхность 5»,  $y=Y$  – «Поверхность 6».

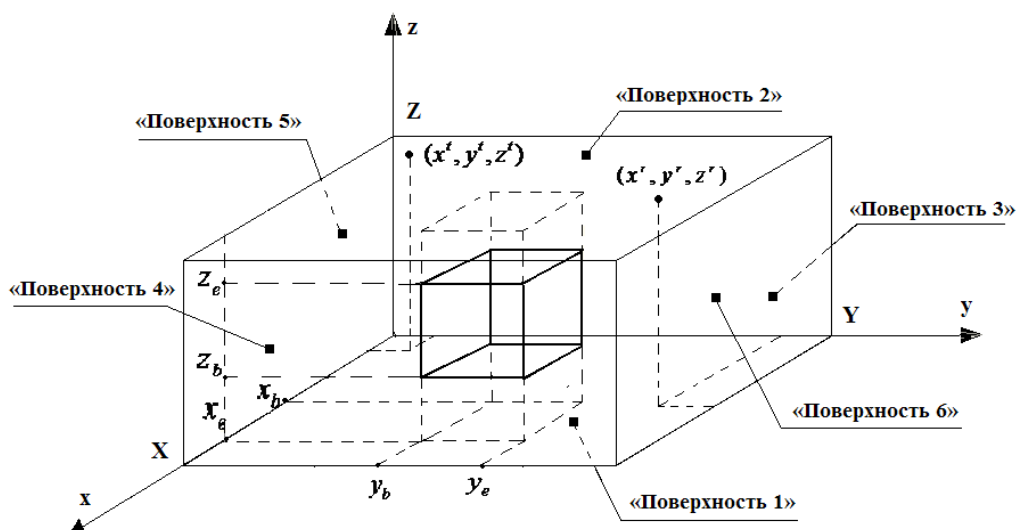


Рис. 1. Постановка задачи

Трассировка лучей выполнена в приближении геометрической оптики с использованием метода зеркального изображения. Рассмотрен случай двумерной трассировки в одном из горизонтальных сечений, проходящих через препятствие:  $z_b \leq z' = z'' \leq z_e$ . Составлены системы неравенств, определяющие области существования прямого луча, лучей однократного отражения от поверхностей внешнего и внутреннего параллелепипеда при последовательном расположении передатчика в одной из восьми характерных зон (рис. 2).

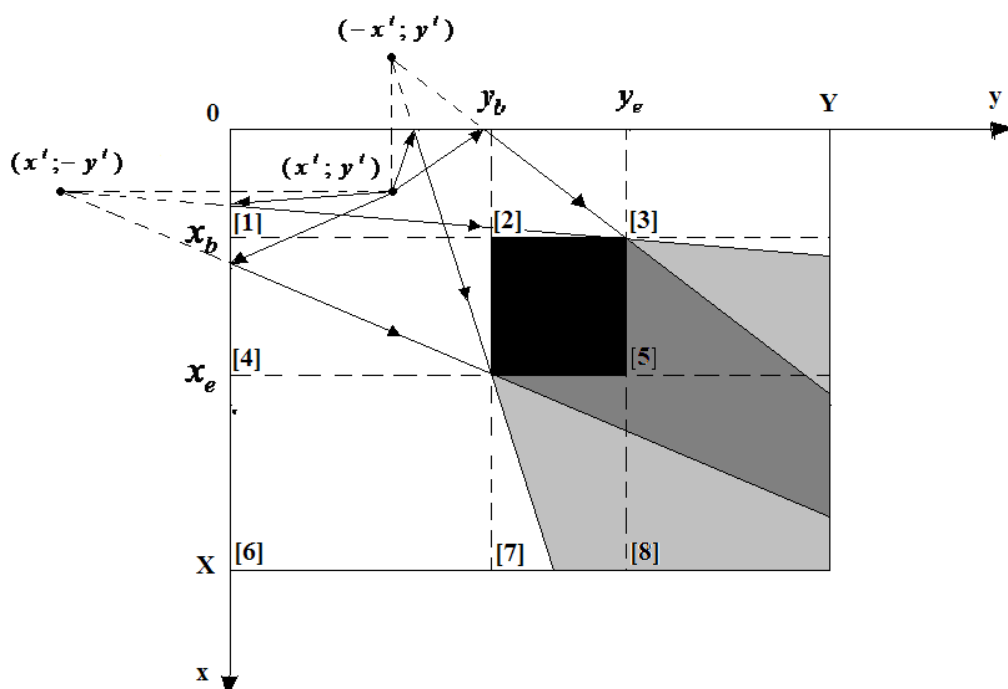


Рис. 2. Пример определения области существования некоторых лучей однократного отражения



Системы неравенств, определяющие область тени прямого луча представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Область тени, формируемая прямыми лучами

Зона	Условия формирования тени	Зона	Условия формирования тени
<b>[1]</b>	$y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_b - x')}, y \geq y_b$ $y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_e - x')}, x \geq x_b$	<b>[5]</b>	$y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_b - x')}, y \leq y_e$ $y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_e - x')}$
<b>[2]</b>	$y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_b - x')}, x \geq x_b$ $y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_b - x')}$	<b>[6]</b>	$y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_b - x')}, y \geq y_b$ $y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_e - x')}, x \leq x_e$
<b>[3]</b>	$y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_b - x')}, y \leq y_e$ $y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_e - x')}, x \geq x_b$	<b>[7]</b>	$y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_e - x')}, x \leq x_e$ $y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_e - x')}$
<b>[4]</b>	$y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_b - x')}, y \geq y_b$ $y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_e - x')}$	<b>[8]</b>	$y \leq y' + \frac{(x-x')(y_e - y')}{(x_b - x')}, x \leq x_e$ $y \geq y' + \frac{(x-x')(y_b - y')}{(x_e - x')}, y \leq y_e$

Пример условий формирования тени для лучей однократного отражения от граней внешнего параллелепипеда приведен в табл. 2.

Аналогично составляются условия тени для лучей, отраженных от внутреннего препятствия (табл. 3).

В качестве иллюстрации использования полученных выражений на рис. 3 приведена трассировка лучей для трех случаев: а – учитываются только прямые лучи, б – наряду с прямыми учитываются лучи однократного отражения от внешних стенок, в – учитываются прямые лучи, а также лучи однократного отражения от стенок и препятствия. Первый горизонтальный ряд рисунков соот-

ветствует расположению источника (указан точкой) в зоне [1], нижний ряд – в зоне [2].

Таблица 2 - Область тени, формируемая лучами однократного отражения от внешних граней, (передатчик расположен в зоне [1])

Поверх- ность	Условия формирования тени	Поверх- ность	Условия формирования тени
<b>3</b>	$y \leq y^t + \frac{(x+x^t)(y_e - y^t)}{(x_b + x^t)}$ $x \geq x_b$ $y \geq y^t + \frac{(x+x^t)(y_b - y^t)}{(x_e + x^t)}$ $y \geq y_b$	<b>4</b>	$y \leq y^t + \frac{(x-2X+x^t)(y_e - y^t)}{(x_e - 2X + x^t)}$ $x \leq x_e$ $y \geq y^t + \frac{(x-2X+x^t)(y_b - y^t)}{(x_b - 2X + x^t)}$ $y \geq y_b$
<b>5</b>	$y \leq -y^t + \frac{(x-x^t)(y_e + y^t)}{(x_b - x^t)}$ $x \geq x_b$ $y \geq -y^t + \frac{(x-x^t)(y_b + y^t)}{(x_e - x^t)}$ $y \geq y_b$	<b>6</b>	$y \leq 2Y - y^t + \frac{(x-x^t)(y_e - 2Y + y^t)}{(x_e - x^t)}$ $y \leq y_e$ $y \leq 2Y - y^t + \frac{(x-x^t)(y_b - 2Y + y^t)}{(x_b - x^t)}$ $x \geq x_b$

Таблица 3 - Область тени, формируемая лучами однократного отражения от препятствия (передатчик расположен в зоне [1])

Поверх- ность	Условия формирования тени	Поверх- ность	Условия формирования тени
<b>3'</b>	$y \geq -y_b + \frac{(x-x_b)(y^t - y_b)}{((2x_b - x^t) - x_b)}$ $x \leq x_b$ $y \leq -y_e + \frac{(x-x_b)(y^t - y_e)}{((2x_b - x^t) - x_b)}$	<b>5'</b>	$y \geq -y_b + \frac{(x-x_b)((2y_b - y^t) - y_b)}{(x^t - x_b)}$ $y \leq y_b$ $y \leq -y_b + \frac{(x-x_e)((2y_b - y^t) - y_b)}{(x^t - x_e)}$

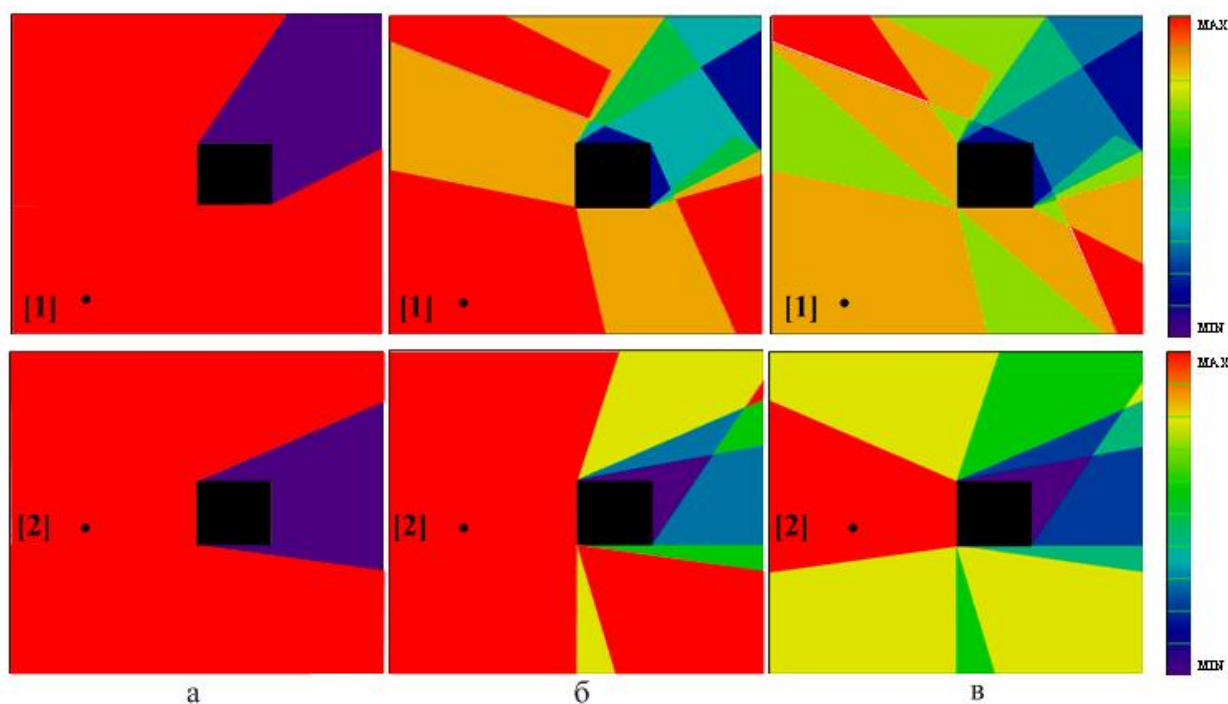


Рис. 3. Распределение интенсивности сигналов

Отличительной особенностью изложенного подхода в трассировке лучей является предварительное аналитическое описание областей тени, что позволяет избежать «холостых выстрелов», характерных для наиболее часто используемого для трассировки метода «стрельбы», и благодаря этому существенно сократить время расчета покрытия зоны обслуживания станции дифференциальной коррекции навигационных определений.

**Список литературы:** 1. Панычев А.И. Моделирование распространения сигнала в условиях отсутствия прямой видимости навигационных спутников // Перспективы развития навигационных систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Материалы Международной научно-технической конференции в г. Донецке 15 декабря 2010 г. – Донецк: ДонНТУ, 2010. –174 с. С. 96-101. 2. Панычев А.И., Саградов Т.Г. Анализ эффективности дифференциального режима навигации в тоннелях // Там же. С. 102-107.

## ПЕРЕДАЧА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВОК ПРИ ПОЛНОМ ЗАТЕНЕНИИ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ

Панычев А.И. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел./Факс: +7 (8634) 371733; E-mail: airpu@tti.sfedu.ru

**Abstract:** In approach of geometric optometrists and the mirror source method spreading the differential adjustments to satellite navigation, sent telecommunication stations different frequency range in car subway, is considered.

**Key words:** geometric optometrists, satellite navigation, differential adjustments.

Требуемую точность навигационных определений наиболее сложно обеспечить в условиях ограниченной видимости навигационных спутников или их полного затенения, что характерно как для естественных природных образований (горный рельеф, лесные массивы), так и для инженерных сооружений (высотная городская застройки, подземные и многоуровневые парковки, торговые центры, склады, портовые терминалы, тоннели).

В функциональных дополнениях к глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС), основанных на дифференциальной коррекции и обеспечивающих точность местоопределения 0,5...1 м, используются наземные телекоммуникационные сети и системы различных частотных диапазонов: станции радиосвязи и вещания LW (30...300 кГц), MW (275...2000 кГц), SW (3...30 МГц), UHF (390...1550 МГц и 3...300 ГГц), технология передачи цифровых данных RDS (87...108 МГц), каналы мобильной GSM связи (900/1800/1900 МГц), дециметровые каналы регионального эфирного телевидения, «псевдоспутники»-ретрансляторы (L-диапазон спутниковой связи), каналы передачи данных в сети Internet и др.

Известные приближенные методы расчета поля в условиях многолучевого распространения радиоволн [1] в ряде случаев не могут быть применены без существенной корректировки, иногда означающей практически полную переработку подхода к расчету интенсивности поля. Так, для анализа распространения дифференциальной навигационных поправок в инженерных сооружениях с внутренним объемом в форме прямоугольного параллелепипеда удобнее использовать упрощенную модель, описанную в [2].

Выражение для комплексного коэффициента передачи линии связи

$$h = \sqrt{D^t D^r} F^t(\theta_0^t, \varphi_0^t) F^r(\theta_0^r, \varphi_0^r) L_0 L^{pol} L^t L^r V$$

получено на основе известной модели радиолинии при наличии плоской отражающей поверхности [3, 4]. Индекс «0» относится к прямому геометрическому лучу, «t» обозначает передающую антенну станции дифференциальной коррек-

ции, «r» – приемную антенны потребителя услуг ГНСС. Элементы этого выражения подробно обсуждены в [2].

Величина  $h$  в основном определяется множителем влияния среды  $V$ , учитывающим многолучевой характер распространения сигнала. С учетом явлений отражения от внутренних поверхностей, прохождения сквозь конструкции сооружения и из соседних строений, дифракции на изломах:

$$V = 1 + \sum V^{refl} + \sum V^{pass} + \sum V^{difr}.$$

В случае, когда учитываются только лучи, отражающиеся от внутренних поверхностей сооружения  $s, p, q$ , множитель влияния среды записывается так:

$$\begin{aligned} V = 1 + \sum V^{refl} = 1 + \sum_{s=1}^6 R_s(\vartheta_s) \xi_s \frac{F^t(\theta_s^t, \varphi_s^t)}{F^t(\theta_0^t, \varphi_0^t)} \frac{R_0}{R_s} e^{-jk \Delta R_s} \frac{F^r(\theta_s^r, \varphi_s^r)}{F^r(\theta_0^r, \varphi_0^r)} + \\ + \sum_{s=1}^6 \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq s}}^6 R_s(\vartheta_{sp}) R_p(\vartheta_{sp}) \xi_{sp} \frac{F^t(\theta_{sp}^t, \varphi_{sp}^t)}{F^t(\theta_0^t, \varphi_0^t)} \frac{R_0}{R_{sp}} e^{-jk \Delta R_{sp}} \frac{F^r(\theta_{sp}^r, \varphi_{sp}^r)}{F^r(\theta_0^r, \varphi_0^r)} + \\ + \sum_{s=1}^6 \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq s}}^6 \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^6 R_s(\vartheta_{spq}) R_p(\vartheta_{spq}) R_q(\vartheta_{spq}) \xi_{spq} \frac{F^t(\theta_{spq}^t, \varphi_{spq}^t)}{F^t(\theta_0^t, \varphi_0^t)} \frac{R_0}{R_{spq}} e^{-jk \Delta R_{spq}} \frac{F^r(\theta_{spq}^r, \varphi_{spq}^r)}{F^r(\theta_0^r, \varphi_0^r)} + \dots \end{aligned}$$

Геометрические построения, позволяющие проанализировать ход некоторых лучей трехкратного отражения, приведены на рис. 1. В трехмерном случае трассировка лучей является громоздкой и сложной процедурой, составляющей одну из главных проблем детерминистических методов анализа многолучевого распространения.

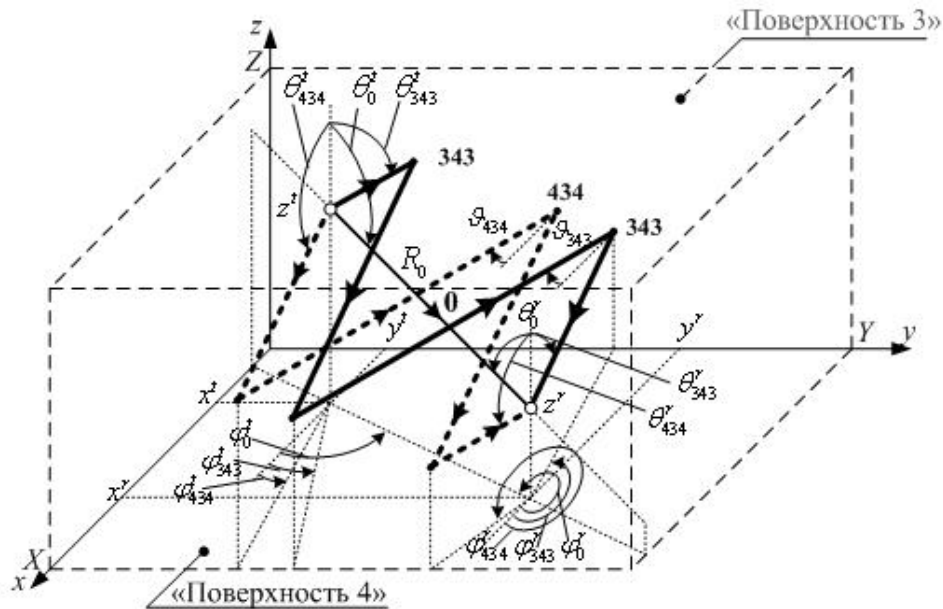


Рис. 1. Модели распространения некоторых лучей трехкратного отражения

Для расчетов использована модель автомобильного тоннеля в виде прямоугольного параллелепипеда с габаритами  $X = 10$  м,  $Z = 10$  м,  $Y = 300$  м без торцевых граней. Внутренние поверхности сооружения выполнены из бетона (относительная

диэлектрическая проницаемостью  $\varepsilon = 6,1-1,2j$ ). Высота подвеса антенны станции дифференциальных поправок выбрана на расстоянии 1,5 м от потолка, приемная антенна потребителя услуг ГНСС перемещается в горизонтальной плоскости на высоте 3,0 м. Обе антенны – турникетные из полуволновых вибраторов.

Использовались следующие значения несущей частоты дифференциальной станции: 0,1 ГГц (диапазон вещания FM-радиостанций), 0,6 ГГц (диапазон дециметрового телевидения), 0,9 ГГц (диапазон GSM связи), 1,5 ГГц (диапазон L навигационных спутников), 2,4 ГГц (диапазон WiFi), 3,5 ГГц (диапазон WiMax).

На рис. 2 приведены распределения интенсивности сигналов поправок, когда антенна станции дифференциальной коррекции расположена у входа в тоннель в середине проема.

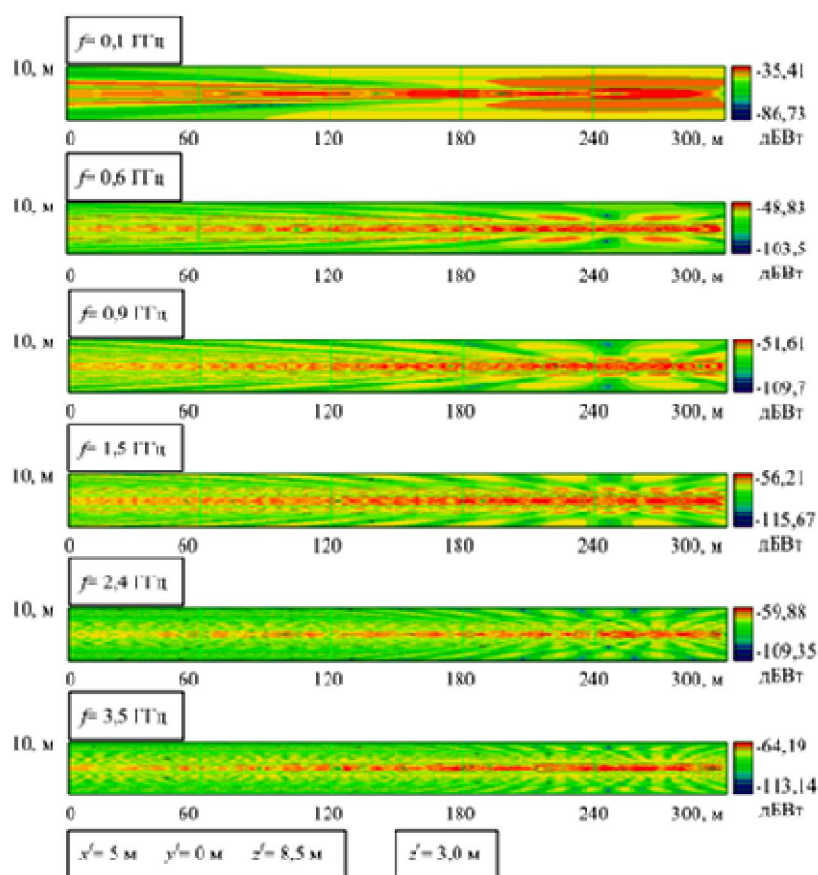


Рис. 2. Распределение интенсивности дифференциальных поправок разных частот в тоннеле, антенна станции дифференциальной коррекции расположена в середине проема

На рис. 3 представлены распределения интенсивности сигналов, когда антенна станции дифференциальной коррекции расположена у входа в тоннель в верхнем углу проема, что часто обусловлено требованиями безопасности дорожного движения и особенностями инженерных коммуникаций.

В обоих рассмотренных случаях интенсивность сигналов на полосах движения транспорта составляет  $-60...-90$  дБВт. Для приемников ГНСС со стандартной чувствительностью порядка  $-160...-165$  дБВт достаточные условия для приема и

сопровождения навигационных поправок обеспечивается уже при мощности передатчика дифференциальной станции порядка нескольких десятков милливольт.

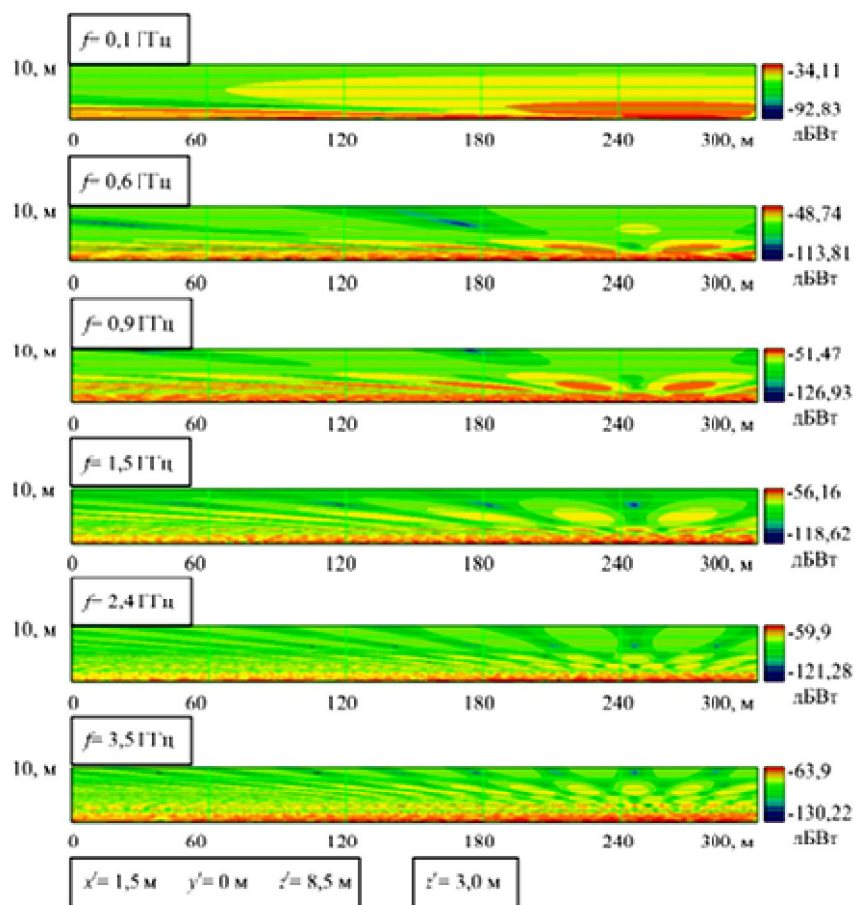


Рис. 3. Распределение интенсивности дифференциальных поправок разных частот в тоннеле, антенна станции дифференциальной коррекции расположена в углу проема

Однако наличие провалов в распределении радиоволн до  $-120$  дБВт может вызвать кратковременные сбои в приеме сигналов дифференциальных поправок. И поскольку во втором случае эти провалы сосредоточены вдоль одной из полос движения, а в первом – вблизи центральной части дорожного полотна, следует по возможности размещать передающую антенну станции дифференциальных навигационных поправок ГНСС посередине верхней части проема тоннеля.

**Список литературы:** 1. Милютин Е.Р. и др. Методы расчета поля в системах связи дециметрового диапазона. - СПб.: Триада, 2003. – 159 с. 2. Панычев А.И. Моделирование распространения сигнала в условиях отсутствия прямой видимости навигационных спутников // Перспективы развития навигационных систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Материалы Международной научно-технической конференции в г. Донецке 15 декабря 2010 г. – Донецк: ДонНТУ, 2010. –174 с. С. 96-101. 3. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с. 4. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: М.: Радио и связь, 2000. – 559 с.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ

Петров Н.С. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

E-mail: [nazpetrov@mail.ru](mailto:nazpetrov@mail.ru)

**Abstract:** In this work the computer model of wireless network system of gathering and processing of the information of gages with topology "star", modeling of this system for the purpose of definition of the basic time parameters of system for the optimum organization of work of the network channel is considered.

Целью работы является построение модели беспроводной сетевой системы сбора и обработки информации датчиков (БСС СОИД) с топологией «звезда», моделирование этой системы с целью определения основных временных параметров системы для оптимальной организации работы сетевого канала.

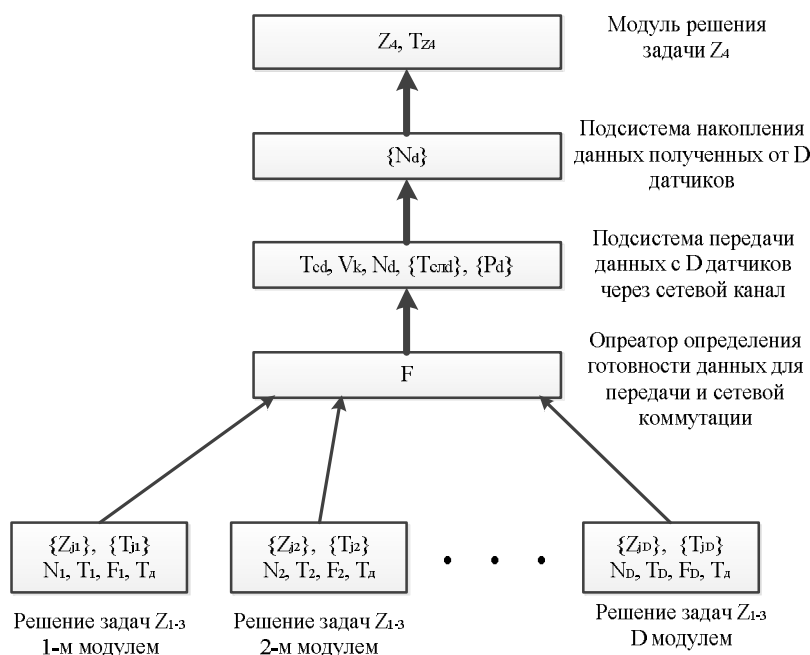


Рис. 1. Структура модели БСС СОИД

В качестве параметров моделирования используются следующие:

1) постоянные:

$D$  – количество используемых в системе датчиков (интеллектуальных датчиков, модулей);

$N_d$  – объём информационного пакета  $d$ -датчика для передачи данных через канал;

$T_k$  – время передачи пакета данных длиной  $N_d$  со скоростью  $V_k$ ;



2) переменные:

$d$  – порядковый номер датчика,  $d \in [1, 2, \dots, D]$ ;

$T_d$  – суммарное время выполнения всех задач  $\{Z_{dj}\}$   $d$ -датчика;

$F_d$  – флаг готовности датчика  $d$  выдать данные;

$F$  – флаг готовности всех датчиков;

$\{T_{слд}\}$  – служебное время, связанное с установлением соединений, проверкой пакетов на ошибки, временем ожидания ответа и прочими задержками имеющими вероятностный характер;

$\{P_d\}$  – прочие параметры сетевого канала, в т. ч. частотные и вероятностные характеристики, тип модуляции, пропускная способность, длина связей, мощности приёмопередатчиков и т. д.;

$T_p$  – суммарное время решения задач  $Z_{1-4}$  системой;

$n$  – количество циклов моделирования.

$Z_{1d}$  – задача аналоговой обработки (АО) и аналого-цифровых преобразований (АЦП),  $Z_{2d}$  – задача первичной цифровой обработки (ПЦО) сигналов датчиков физических величин,  $Z_{3d}$  – задача первого уровня вторичной цифровой обработки (1ВЦО), к которым отнесены измерения значений физических величин в соответствующих единицах, определения состояний физических величин и их оценки и т.д.,  $Z_4$  – задачи второго уровня вторичной цифровой обработки (2ВЦО) [1].

На рис. 1 представлена схема модели БСС СОИД. На нижнем уровне этой модели располагаются модули, которые выполняют задачи  $Z_{1-3}$  и характеризуются такими параметрами, как  $T_{dj}$ ,  $T_d$ ,  $N_d$ ,  $F_d$ . Далее следует оператор определения готовности всех датчиков для начала последовательной передачи данных  $F$ . Следующий уровень – это подсистема передачи данных с  $D$  датчиков через сетевой канал, при этом в качестве основных рассматриваемых параметров выступают скорость передачи данных, объём передаваемых данных, суммарное время передачи данных, включающее в себя время коммутации, время непосредственной передачи по каналу, время проверки на ошибки пакетов и т.п. Далее следует подсистема накопления данных во временной памяти в процессе последовательной передачи данных с  $D$  датчиков. После сбора пакетов со всех  $D$  датчиков, они поступают в модуль решения задачи  $Z_4$ , где проходят окончательную обработку.

Суммарное время решения задач  $Z_{1-4}$  системой, можно определить так:

$$T_p = \max_d T_d + \sum_{d=1}^D T_{cd} + T_{Z4},$$

где  $T_p$  – время решения всех задач  $Z_{1-4}$  для всех датчиков  $d=[1..D]$ ,  $T_{cd}=T_k+T_{слд}$  – суммарное время передачи данных по сетевому каналу.

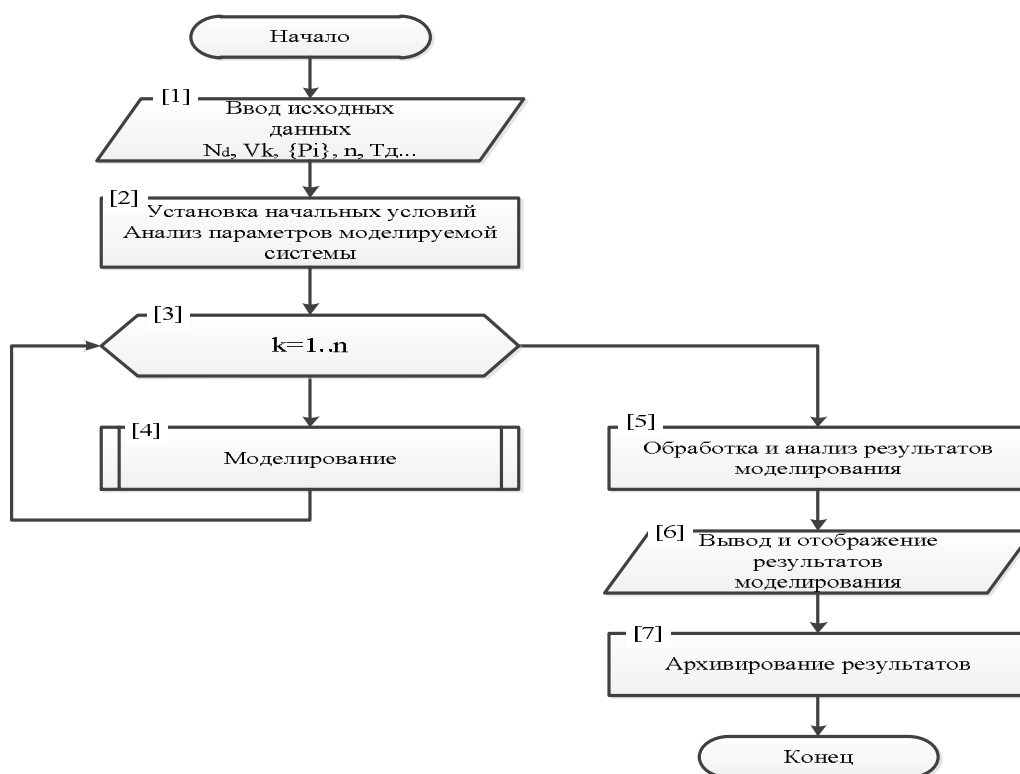


Рис. 2. Общий алгоритм моделирования БСС СОИД

Описание общего алгоритма моделирования БСС СОИД (рис. 2):

- 1) Ввод необходимых исходных данных.
- 2) Установка начальных условий, в основном характеризующих синхронизацию работы отдельных элементов системы. Анализ параметров моделируемой системы проводится для проверки достоверности введенных данных, удовлетворяющих заранее заданным границам изменения этих параметров и соответствия реальным характеристикам системы.
- 3) Старт  $n$  циклов моделирования.
- 4) Подпрограмма «Моделирование» выполняется по алгоритму соответствующему схеме модели, изображенной на рис. 2.
- 5) После выполнения непосредственного моделирования системы проводится статистическая обработка полученных данных, на основе которых проводится анализ параметров и характеристик системы, влияющий на выбор параметров реальной системы.
- 6) Далее обработанные данные передаются на устройства вывода для оценки их человеком.

7) Архивирование результатов производится для возможности в дальнейшем использовать результаты моделирования [1].

На рис. 3 представлен результат компьютерного моделирования системы в виде графика зависимости производительности БСС СОИД от количества используемых датчиков.

Основные параметры:

$D \in [1; 50]$ ;  $N=128$  бит;  $V_k=10$  кбит/с;  $T_{cd}=(1,3 \pm 0,2)T_k$ ;  $T_d=(150 \pm 50)$  мс;  $T_{z4}=(100+5 \cdot D)$  мс,  $w=1/T_p$  – производительность системы,  $\bar{w}=w/w_{\max}$  – нормированная производительность системы.

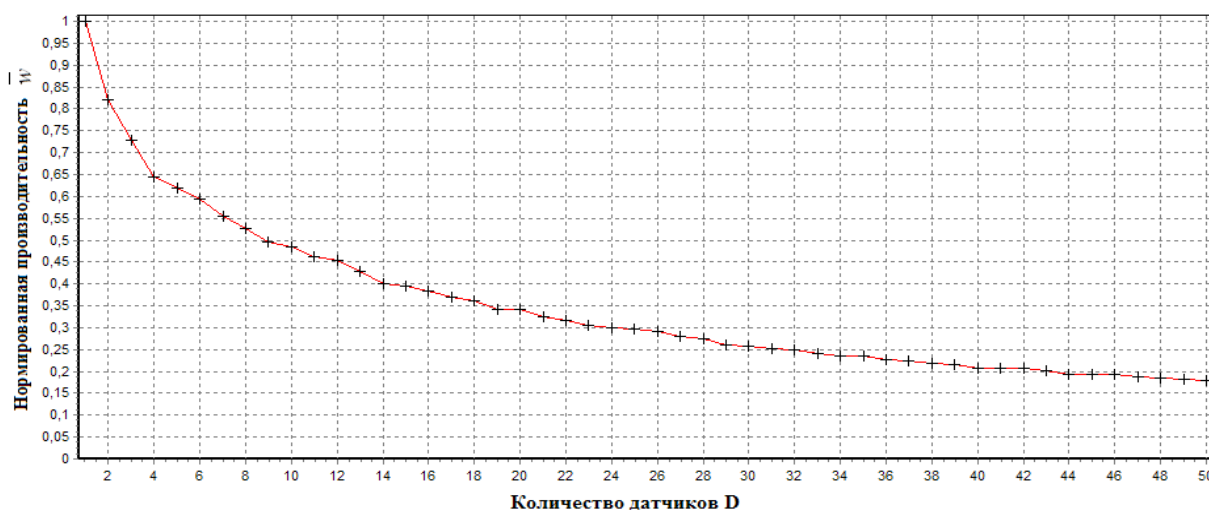


Рис. 3. Нормированная производительность БСС СОИД в зависимости от количества используемых датчиков

Таким образом, промоделировав систему с изменением параметра  $D$ , можно сделать вывод, что с увеличением количества датчиков в системе, производительность этой системы резко падает. Но при этом она остаётся выше, чем у системы с последовательным решением задач  $Z_{dj}$ . Так же, используя разработанную модель, можно моделировать поведение системы при изменении других параметров, а также усложнять её путём введения в неё реальных физических характеристик сетевого канала.

**Список литературы:** 1. Пьявченко О. Н. Проектирование локальных микрокомпьютерных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 238 с. 2. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. Учеб. для вузов – 3-е изд. – М.: Высш. школа., 2001 – 343 с.: ил.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА КАНАЛЬНОМ УРОВНЕ МОДЕЛИ OSI

Приходько. Т.О. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

E-mail: [pr.tatyana@gmail.com](mailto:pr.tatyana@gmail.com)

**Abstract:** Network attack and defense experiments have always been the important practices in courses of network security. In this paper, we consider different kinds of network attacks and analyze some technologies of their detection.

**Key words:** LAN security, Data Link Layer, Spanning tree protocol, Network attack and defense.

## Актуальность

Уязвимость локальных сетей в большой степени основана на почти повсеместном использовании сетей, построенных на принципе использования разделяемой среды передачи данных. Знание стека протоколов TCP/IP и принципов работы коммутаторов и маршрутизаторов вполне достаточно для организации атак на канальном и сетевом уровнях OSI.

Опасность уязвимости протоколов канального уровня OSI заключается в том, что, взломав сеть на канальном уровне, атакующий может перешагнуть через средства защиты на более высоких уровнях.

**Целью** данного исследования анализ уязвимостей протоколов канального уровня модели OSI и методов борьбы с сетевыми атаками. Моделирование атак на протокол Покрывающего дерева (STP – spanning tree protocol), определение возможных мер защиты, т.к. современные комплексные средства защиты (за исключением отдельных производителей коммутаторов) не охватывают этот протокол.

## Атаки на канальном уровне локальных вычислительных сетей

Атаки можно разделить на пассивные и активные (приведенные типы атак не охватывают все возможные атаки [1,2,3]):

### А) Пассивные:

- **Подслушивание (sniffing) и анализ сетевого трафика [1,2,3]**, используя какие-то недостатки в протоколах и сетевом оборудовании, а также ввиду того, что некоторые сетевые приложения передают данные в текстовом формате (Telnet, FTP, SMTP, POP3 и т. д.), с помощью сниффера можно узнать полезную, а иногда и конфиденциальную информацию (например, имена пользователей и пароли).

Примеры: Атаки на STP — отправка сообщений BPDU для изменения текущей топологии STP.

VLAN hopping — **несанкционированное** получение доступа к VLAN;

- **Подмена доверенного субъекта.** Большая часть сетей и ОС используют IP-адрес компьютера, для того чтобы определять, тот ли это адресат, который нужен. В некоторых случаях возможно некорректное присвоение IP (либо MAC)-адреса (подмена IP (MAC) -адреса отправителя другим адресом). Такой способ атаки называют фальсификацией адреса (*IP (MAC)-spoofing*). Как вариант - *ARP-spoofing (ARP-poisoning)*. Атака «Человек в середине» (*Man-in-the-middle*) — злоумышленник встраивается в процесс обмена данными между двумя хостами таким образом, чтобы весь обмен данными проходил через него.

В) Активные:

- **Отказ в обслуживании (Denial of Service, DoS).** Эта атака в отличие от атак других типов не нацелена на получение доступа к сети или на получение из этой сети какой-либо информации. Атака DoS делает сеть организации недоступной для обычного использования за счет превышения допустимых пределов функционирования какого-либо ресурса сети, ОС или приложения. Она парализует работу сети и лишает обычных пользователей доступа к общим ресурсам организации. При этом используются протоколы TCP и ICMP.

- **Нарушение работы сети или её участков.** Недостатки протоколов канального уровня предоставляют возможность вмешаться в алгоритм их нормального функционирования и таким образом нарушить работу участка сети или всей сети.

Пример: Переполнение таблицы коммутации — атака основана на том, что таблица коммутации в коммутаторах имеет ограниченный размер. После заполнения таблицы, коммутатор не может более выучивать новые MAC-адреса и начинает работать как хаб, отправляя трафик на все порты.

Хотелось бы обратить внимание на уязвимости протокола STP. *Spanning Tree Protocol* - сетевой протокол, работающий на втором уровне модели OSI. Основной его задачей является приведение коммутируемой сети Ethernet с резервными связями к древовидной топологии, исключающей циклические связи. Происходит это путём автоматического блокирования избыточных на данный момент связей с образованием покрывающего дерева (неизбыточного графа).

Наиболее интересное и глубокое исследование стандартов [4] было проведено авторами [5], что привело к обнаружению огромного набора уязвимостей данного протокола.

1. И первая основана на отсутствии в протоколе Spanning Tree механизмов аутентификации, что позволяет без труда организовать атаку против сети на базе коммутаторов.

2. Кроме того, это протокол без установления соединения и без фильтрации ложных пакетов, что усиливает его уязвимость. Особенности алго-

ритма STP позволяют инициировать постоянную переконфигурацию STP-дерева с последующим частичным DoS, среди которых возможны: STP DoS: "вечные выборы" корневого коммутатора, DoS: алгоритм "исчезновения корня" и др [5];

3. Еще один вид возможной атаки - Провокационный сниффинг - это атака, направленная на перевод коммутатора в режим концентратора путем переполнения его динамической таблицы адресов, либо использования ситуации ее обнуления в случае изменения STP-дерева с целью дальнейшего подслушивания трафика.

### **Выявление сетевых атак**

Механизмы, применяемые в современных системах обнаружения атак IDS (Intrusion Detection System), основаны на нескольких общих методах, которые не являются взаимоисключающими. Во многих системах используются их комбинации. Эти механизмы включают:

- Методы анализа сетевой информации и в частности статистический метод, который подразумевает, что сначала для всех субъектов анализируемой системы определяются профили. Любое отклонение используемого профиля от эталонного считается несанкционированной деятельностью.
- Экспертные системы.
- Нейронные сети.

### **Заключение и перспективы**

Данная статья является обзорной, но предполагает дальнейшее исследование в области безопасности локальных сетей: автором статьи разрабатывается алгоритм выявления STP атак путем обнаружения аномального поведения (anomaly-based) сетевых коммутаторов (широковещательный шторм) и анализа BPDU статистическими методами. Предполагается провести моделирование с использованием принципа обнаружения атак на уровне сети (network-based). Этот принцип предполагает прослушивание трафика в сети по типу сниффера для определения возможных действий злоумышленников.

**Список литературы:** 1. Биячуев Т.А. / под ред. Л.Г.Осовецкого Безопасность корпоративных сетей. – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2004.- 161 с. 2. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов 4-е изд. / В.Г.Олифер, Н.А.Олифер. – СПб: Издательство «Питер», 2011.- 944с.:ил. 3. Анализ угроз сетевой безопасности <http://ypn.ru/138/analysis-of-threats-to-network-security/>. 4. MEDIA ACCESS CONTROL (MAC) BRIDGES ANSI/IEEE Std 802.1D, 1998 Edition. 5. О.К. Артемьев, В.В. Мяснянкин. Введение в недокументированное применение протокола Spanning Tree.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ МОДУЛЕЙ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

**Пьявченко О.Н.** (ТТИ ЮФУ, г.Таганрог, Россия)

Тел./Факс: 8(8634) 328052; E-mail: [kafmps@ttpark.ru](mailto:kafmps@ttpark.ru)

**Abstract:** *Questions of construction of intellectual microprocessor modules of gathering and processing of the information of gauges are considered.*

**Key words:** *microprocessor, module, construction.*

В основе построения как распределенных, так и сосредоточенных информационных микрокомпьютерных систем мониторинга и управления динамических объектов (процессов) лежит принцип модульной организации [1]. Техноэкономические характеристики модулей непосредственно влияют на архитектуры систем и их характеристики.

Одним из основных направлений развития функциональных возможностей и совершенствования характеристик модулей является увеличение в них уровня обработки данных (применение более развитых вычислительных методов, методов математической логики и методов искусственного интеллекта), которое поддерживается развитием элементной базы и использованием более совершенных архитектурных решений.

В работе кратко рассматриваются вопросы построения интеллектуальных микропроцессорных модулей (ИММ) СОИД, представляющих собой функционально и конструктивно завершенные микропроцессорные системы, аппаратные и программные средства которых обеспечивают ввод и сбор информации датчиков физических величин, ее сохранение, развитую вычислительную и логическую обработку, выдачу результатов в сетевые каналы.

Успешные модели высокопроизводительных ИММ могут быть получены, когда их блочные структуры наиболее полно отражают особенности процессов решения задач. Для определения и сравнения основных версий организации вычислений воспользуемся обобщенной схемой решения задач СОИД, которая отражает упорядоченную декомпозицию задач  $Z_1$ - $Z_4$  по 4-м уровням в зависимости от очередности их реализации [2]. Задачи  $Z_1$ - $Z_4$  характеризуют различные целевые функции, математические методы, возрастающая снизу вверх вычислительная сложность, завершенность, заключающаяся в полной реализации соответствующей целевой функции.

На ярусах  $j = 1, 2, 3$  допускаются реализации:

1) последовательной схемы S1, в которой на каждом ярусе  $j$  решаются последовательно задачи  $Z_{jd}$  ( $d = \overline{1, D}$ ) (схема S1);

2) параллельной схемы решения на каждом ярусе  $G=D/n$  групп задач, в каждую из которых входят  $n$  решаемых последовательно задач (схема S2).

Для упрощения оценок времени решения задач предположим, что в ИММ информация обрабатывается пакетами, содержащими по  $n \geq 1$  задач. 2.3 На передачу данных между ярусами по последовательным внутримодульным каналам связи требуется время

$$T_K^{S1} = \sum_{j=1}^3 T_{Kj}^{(S1)} = \sum_{j=1}^3 \frac{N_j B_j}{V_j q_j}, \quad (2)$$

где  $N_j$  – количество данных в передаваемом информационном объекте  $j$ -го яруса;  $B_j$  – количество бит, отведенное для представления одного данного с учетом служебных бит и рассчитываемое как сумма результатов решения задач  $Z_{jd}$  ( $d = \overline{1, D}$ );  $V_j$  – скорость передачи бит между  $j$  и  $(j+1)$  ярусами;  $q_j$  – число одновременно передаваемых бит.

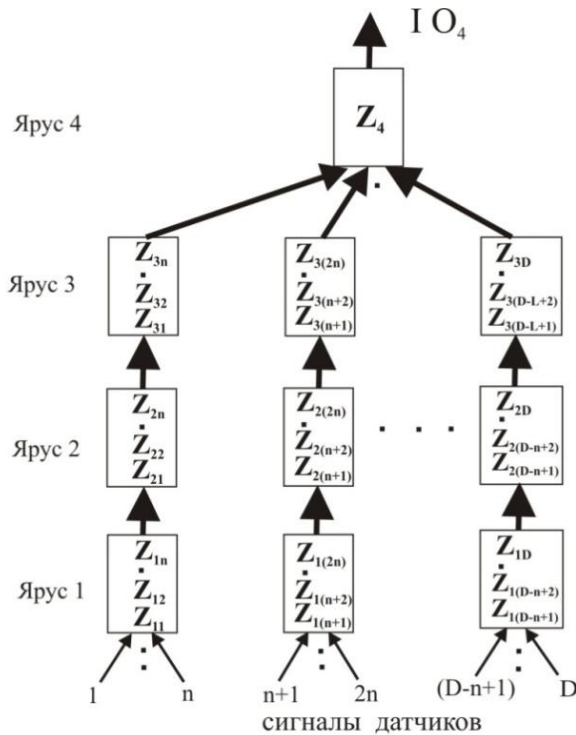


Рис. 1. Параллельно-последовательная схема S2 решения групп задач

Обобщенная параллельно-последовательная схема S2 решения задач СОИД приведена на рис.1.

В схеме S2 реализуются  $G$  ветвей, в каждой из которых обрабатывается информация  $n$  датчиков. На каждом ярусе  $j$  вошедшие в  $g$  группу ( $g = \overline{1, 2, \dots, G}$ ) задачи  $Z_{jd}$  ( $d = [(g-1)n+1, (g-1)n+2, \dots, gn]$ ) решаются последовательно. Результаты решений передаются с яруса  $j$  на  $(j+1)$ -ярус  $G$  пакетами. Каждый пакет ярусов 1, 2 содержит минимум  $N_j = n$  ( $j=1, 2$ ) данных. Формируемые на ярусе 3 пакеты включают  $N_3 \geq n$  данных.

Для передачи информационных объектов между ярусами используются однонаправленные сетевые каналы. Организация передачи данных между ярусом 3 и ярусом 4 отличается тем, что на ярус 4 одновременно поступают  $G$  пакетов. Поэтому для построения подсистемы сбора данных могут ис-



пользоваться принципиально различные решения, имеющие разные технические характеристики.

Время решения задач  $Z_1$ - $Z_4$  по схеме S2 (рис. 1) составляет

$$T_{S2} = \max_g \left[ \sum_{j=1}^3 \left( \sum_{d=(g-1)n+1}^{gn} T_{Z_{jd}} + T_{Kj}^{(S2)} \right) \right] + T_{Z4}. \quad (3)$$

В формуле учтено, что на ярусе  $j$  в различных ветвях  $g$  могут решаться задачи  $Z_{jd}$  за разное время  $T_{Z_{jd}}$  ( $T_{Z_{jd}} = \text{var}$ ). Когда на ярусе  $j$  во всех  $g=1,2,\dots,G$  ветвях решаются задачи  $Z_{jd}$  за одинаковое время, т.е.  $T_{Z_{jd}} = \text{const}$ , а параметры в (1)  $B_j=B$ ,  $V_j=V$ ,  $q_j=q$ , время решения (3) описывается выражением

$$T_{S2} = n(T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + (2 + C_3^{(S2)})n \frac{B}{Vg} + T_4, \quad (4)$$

где  $C_3^{(S2)}$  – коэффициент увеличения затрат времени при реализации схемы S2 на сбор результатов обработки на ярусе 3 в  $G$ -канальном сетевом коммутаторе по сравнению с реализацией одного канала в последовательной схеме S1.

Организация решения задач СОИД по схеме S2 позволяет обеспечить соотношение  $T_{S1} > T_{S2}$  в широком диапазоне изменения количества групп  $G$  при выполнении условия

$$(D - n)(T_{Z1d} + T_{Z2d} + T_{Z3d}) + [3D - (2 + C_3^{(S2)})n] \frac{B}{Vg} > 0, \quad (5)$$

которое истинно, если коэффициент

$$C_3^{(S2)} < (3G - 2).$$

Блочная структура ИММ, в котором реализуется параллельно-последовательная схема вычислений S2, представлена на рис. 2.

В состав ИММ входят:  $\text{БАО}_g$  – блоки аналоговой обработки БАО ( $g = \overline{1, G}$ ), фильтрующие и масштабирующие сигналы датчиков физических величин, которые в установленной очередности подвергаются аналого-цифровому преобразованию (задачи  $Z_{1d}$  ( $d = [(g-1)n+1, (g-1)n+2, \dots, gn]$ ));  $\text{БМК}_g$  – блоки микроконтроллеров, в которых осуществляется первичная цифровая обработка сигналов, в том числе проверка на достоверность, подавление импульсных помех, сглаживание (задачи  $Z_{2d}$ ), а также сигналы измеряются в единицах физических величин, опре-

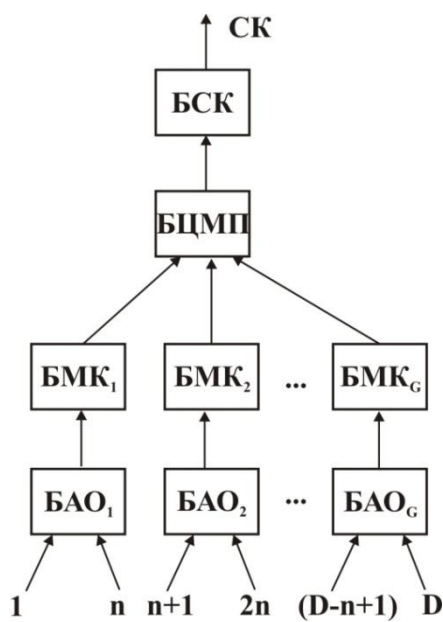


Рис. 2. Блочная структура

ИММ параллельно-последовательного типа

ров, в которых осуществляется первичная цифровая обработка сигналов, в том числе проверка на достоверность, подавление импульсных помех, сглаживание (задачи  $Z_{2d}$ ), а также сигналы измеряются в единицах физических величин, опре-

деляются и оцениваются состояния физических величин (задачи  $Z_{3d}$  ( $d = [(g-1)n+1, (g-1)n+2, \dots, gn]$ )); БЦМП – блок центрального микропроцессора, в котором рассчитываются значения траектории изменения состояния объекта наблюдения, оцениваются состояния объекта, формируется информационный объект, включающий результаты обработки информации в ИММ; БСК – блок сетевого канала, в качестве которого может быть как сетевой интерфейс, например RS-405, так и специализированное микроконтроллерное устройство сопряжения, обеспечивающее сетевой обмен в режиме «master-slave», например, по протоколу MODBUS.

Время решения задач на шаге дискретизации  $T_i$  оценивается

$$T_p = (T_{\text{БАО}} + T_{\text{БМП}}) \frac{D}{G} + T_{\text{КМ}} + T_{\text{БЦМП}} + T_{\text{БСК}}, \quad (6)$$

где время обработки сигнала датчика в БАО  $T_{\text{БАО}} \approx T_{\text{АК}} + T_{\text{АЦП}}$  определяется временем настройки аналогового коммутатора  $T_{\text{АК}}$  и временем  $T_{\text{АЦП}}$  аналого-цифрового преобразования;  $T_{\text{БМК}}$  – время решения задач  $Z_{2d}$ ,  $Z_{3d}$  в БМК;  $T_{\text{КМ}}$  – время работы модульного коммутатора, обеспечивающего сбор входных данных БЦМП;  $T_{\text{БОК}}$  – время решения задач  $Z_4$  в БЦМП;  $T_{\text{БСК}}$  – затраты времени на отправку данных в сетевой канал.

Из выражения (6) следуют основные направления повышения производительности ИММ параллельно-последовательного типа: применение высокопроизводительных БМК, БЦМП, модульного коммутатора; совмещение процессов обработки в БМК и БЦМП; совмещение процессов СОИД с процессом посылки данных в сетевой канал; приближение распараллеливания к уровню параллельной обработки всех  $D$  датчиков ( $G \rightarrow D$ ).

Успехи в создании и применении микросхем, в корпусах которых реализуются системы на кристалле с высокими техническими характеристиками, служат убедительными аргументами в пользу построения и распространения в недалеком будущем высокопроизводительных параллельно-последовательных ИММ СОИД, в архитектурах которых сконцентрируются достижения в вышеперечисленных направлениях.

**Список литературы:** 1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с. 2. Пьявченко О.Н. Модули интеллектуальных систем сбора и обработки информации датчиков Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010, №5(106). – С.141-150.

## АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Самойленко А.П., Петренко Е.Б. (ТТИ ЮФУ, Таганрог, Россия)

тел. +79094330826, e-mail: [kattag@rambler.ru](mailto:kattag@rambler.ru).

**Abstract:** *The article describes distributed applied network for the decentralized gathering, processing and wireless data transmission with an ability to adapting. The offered network is intended for gathering of the measuring information. The sequence and frequency of sensors' poll is defined by the sensors' indication and the dynamics of its changing; system polls only "active sensors", which fixes an exceeded established normal level value. The method of etalonless classification of values of homogeneous parameters is also described.*

**Key words:** *cyclic polling, priority, wireless networks, ZigBee, etalonless classification, telemetry.*

Появление датчиков состояния объекта, позволяющих обеспечивать связь с центром сбора и обработки телеметрической информации, способствовало созданию телеметрических сетей большой емкости, выполняющих задачи контроля и диагностики технологических объектов и процессов, например, состояние газо- и нефтепроводов, прочностной контроль состояния летательных аппаратов при натурных испытаниях, контроль состояния подвижных железнодорожных составов, экологический мониторинг, и т.д.

Наиболее распространенными являются сети, где применяются методы упорядоченного опроса датчиков, получившие название поллинга [2]. Алгоритм поочередного опроса, когда за цикл опрашиваются все датчики, эффективен для сетей малой емкости, контролирурующих вялотекущие процессы. Ему свойственны следующие недостатки: непрерывная регистрация измерительной информации, необходимая для достижения высокой точности и достоверности при контроле параметров, приводит к её значительной избыточности и неоправданно большим аппаратным и временным затратам на ее хранение, поиск и обработку; реализация централизованного контроля на основе

циклического опроса датчиков делает систему инерционной, приводит к «старению» информации за цикл и снижению достоверности контроля.

В данной работе с целью устранения указанных недостатков предложен эскизный проект распределенной прикладной сети для децентрализованного сбора, обработки и беспроводной передачи измерительной информации, в которой частота и порядок опроса датчиков определялись бы значениями и динамикой изменения контролируемых параметров.

Топологические области покрывают объект контроля, объединяя точки для измерения однородных по направлениям, характеристам и диапазонам изменения параметров. В каждой топологической зоне размещается микропроцессорный тракт контроля состояния фрагмента контролируемого объекта. В состав каждого контролера входит СБИС микро-ЭВМ, содержащая вычислительный и релейный процессоры, трансивер (приемопередатчик), сетевой адаптер, адаптер запуска контроллера на передачу. Первый процессор выполняет логико-вычислительные функции, второй - предназначен для формирования упорядоченного ряда. Базы данных (БД) упорядоченных массивов показаний датчиков с их адресами фиксируются в ОЗУ микроконтроллеров. Массивы БД отражают соответствующие состояния топологических областей объекта.

Очевидно, что не вся поступающая от датчиков информация является одинаково ценной. Каждый контролируемый параметр имеет определенную область значений, при которых не существует опасности аварии (безопасный интервал). Информация о значении параметра в пределах безопасного интервала имеет избыточный характер. Для уменьшения информационной избыточности, сигнал с датчика поступает на пороговое устройство (ключ, открывающийся при минимальном напряжении, связанном с максимальным допустимым значением контролируемого параметра). Таким образом, сигнал на входе микропроцессорного тракта появляется только в случае выхода значения контролируемого параметра за пределы безопасного интервала (рис.1).

Интервал значений параметра сигнала от максимального допустимого до аварийного разбивается на  $k$  участков, в соответствии с которыми датчику присваивается определенный приоритет. Для его обозначения введем пере-

менную  $\Pi$ .  $\Pi=0$ , если датчик неактивен,  $\Pi=1$ , если значение контролируемого параметра попадает в первый интервал разбиения,  $\Pi=k$ , если значение параметра попадает в интервал, непосредственно прилегающий к аварийному уровню, и т.д.



Рис. 1.

Все совокупности микропроцессорных трактов объединены в беспроводную серверную локальную сеть по технологии ZigBee с не лицензируемым 2.4 ГГц ISM диапазоном. Физический и МАК уровни описаны открытым стандартом

IEEE802.15.4. Таким образом, RadioEthernet является сетевой технологией с вариантами непосредственной связи узлов и точками доступа. Она обеспечивает возможность построения сетей с топологией в виде дерева или сетки узлов, распределенных по поверхности контролируемого объекта. Связность сети достигается за счет ретрансляции пакетов данных узлами или динамической маршрутизацией. Предусмотрен широковещательный режим работы сети, когда передача-прием инициируются со стороны АРМ-технолога путем передачи адресов контроллерам топологических зон.

Сам диапазон 2,4 ГГц имеет 16 частотных каналов с шагом 5 МГц, что дает возможность опроса контроллеров по нескольким каналам одновременно. Пусть  $\Pi$  принимает значения от 0 до 14, тогда опрос, происходящий согласно приоритету, может быть реализован следующим образом:  $\Pi=0$  - датчик опрашивается по каналу №1;  $\Pi=1$  - датчик опрашивается по каналам №1 и №2;  $\Pi=2$  - по каналам №1, №2, №3; ... ;  $\Pi=14$  - по каналам №1 - №15

Последний канал следует зарезервировать для случая превышения значением параметра аварийного уровня, чтобы показания и адрес аварийного датчика были переданы вне очереди.

Входящий в состав каждого звена реляторный процессор предназначен для упорядочивания поступающих от датчиков массивов данных при помощи

основанного на элементах прикладной теории порядковой логики и статистики безэталонного метода классификации однородных параметров[1]. Данные, представленные в двоичном коде, записываются в виде матриц. Таким образом, задача состоит в взаимном упорядочивании элементов различных строк. Суть метода заключается в поиске максимального элемента двоичного массива, путем поразрядного анализа с последующим исключением из рассмотрения строк, содержащих нуль в рассматриваемом столбце, для чего используется математический аппарат алгебры-логики. Те же операции в инверсном коде позволяют найти наименьшее значение.

Очевидно, указанный метод целесообразно использовать для упорядочивания больших массивов данных (когда  $N \gg n$ , где  $N$  – число элементов;  $n$  – разрядность кода). К достоинствам метода следует также отнести отсутствие потери адреса элемента, характерного для упорядочивания методами порядковой логики.

Таким образом, получаем малоинерционную адаптивную систему контроля технологического объекта, в которой порядок и частота опроса датчиков определяется их приоритетом, меняющимся вместе со значением контролируемого параметра.

**Список литературы:** 1. Самойленко А.П., Усенко О.А. Способ централизованного контроля  $n$  объектов. Патент РФ №2198418, 7G 05 B2 3/02, бюл.№4, - 2003. 2. Маликова Е.Е., Цитович И.И. Задачи обеспечения группового поллинга в сетях мониторинга. – Проектирование и технология электронных средств №2, 2009. – с.35. 3. Самойленко А.П., Булавина Т.Г. Синтез систем автоматического контроля работоспособности технологических объектов. – Вопросы специальной радиоэлектроники, выпуск 2. – 2005. – с.147. 4. Петренко Е.Б., Крупко П.И., Прибыльский А.В. Разработка и исследование принципов построения беспроводной системы контроля и диагностики прочностного состояния фюзеляжа летательного аппарата. – Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: сб. тр. в 5 т. Том 3/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2010.-352с.

## ОСОБЕННОСТИ ТРАФИКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВХОДНЫМ ПОТОКОМ

Самойленко А. П., Рудь Д. Е. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7-988-584-73-26; E-mail: vacuum1987@mail.ru

**Abstract.** *In this article it is noted that incoming pulsating stream of packets can be present by randomized Poisson stream. It is shown that randomized model of network can be reflected by generative queuing system with random parameters. Description of statistic properties of packets stream by distribution of time slots between packets is interesting. One of the features of telecommunication traffic with pulsating stream is “heavy tail” distribution which doesn’t depend on input information stream distribution law.*

**Key words:** *distribution law, randomized Poisson stream, generative queuing system, “heavy tail” distribution.*

Активное внедрение информационных технологий во все сферы народного хозяйства порождает спрос на телекоммуникационные системы различного назначения. Большая часть исследовательских ресурсов крупных производителей вычислительной техники направлена на разработку аппаратной части и ПО выпускаемых решений, но при этом мало внимания уделяется методам проектирования сетей и математическим моделям их функционирования. Существующие телекоммуникационные сети имеют слишком большие различия между собой, и зачастую инженерам-проектировщикам приходится опираться на эвристические методы и свою интуицию, чем на математику. В связи с этим можно выделить важнейшие задачи, возникающие при проектировании: обоснование характеристик применяемого оборудования, формирования структуры сети, расчета (оптимизации пропускной способности канальной инфраструктуры и показателей качества обслуживания - QoS). Для проведения расчетов предполагается использование классических моделей СМО с простейшими потоками. Это, напомним, обусловлено преобразованием потоков при передаче по сети (мультиплексирования, просеивания) и подтверждается предельной теоремой о сходимости к простейшему потоку суперпозиции независимых ординарных стационарных (нестационарных) потоков с различным последствием. Кроме того, имеют место дополнительные исследования для определения характеристик телекоммуникационной сети (Т-сети) при использовании модели самоподобного трафика.

Самоподобные процессы обладают рядом характерных признаков – наличием корреляции между состояниями, выражающейся, в частности, в группировании сообщений в пачки, «длинными (тяжелыми) хвостами» функции распределения интервалов между запросами.

В [5] предлагается модель, отражающая статистические свойства пульсирующего входного потока, так называемый обобщенный (рандомизированный) пуассоновский поток (ОПП), параметр которого является случайной величиной с соответствующей  $F(\lambda)$  - функцией распределения ( $\lambda$  - интенсивность потока).

Распределение вероятностей числа заявок в ОПП, поступивших в этих интервалах, определяется выражением:

$$P_k(\vec{t}) = P\{N(t_1) = k_1, \dots, N(t_n) = K_n\} = \int_0^\infty \prod_{i=1}^n \frac{(\lambda t_i)^{k_i}}{k_i!} e^{-\lambda t_i} dF(\lambda), \quad (1)$$

где  $\vec{k} = \{k_1, \dots, k_n\}$ ;  $\vec{t} = \{t_1, \dots, t_n\}$ .

Модели ОПП позволяют учитывать зависимость между заявками не только внутри интервала  $t_i$ , но и между интервалами, а также процесс группирования заявок в пакки.

Как следует из [4], модели ОПП описывают распределение числа ошибок в дискретных каналах связи.

В частности, для тропосферного канала соответствующая вероятность:

$$P_0(t) = (a/(a+t))^\lambda \quad (2)$$

имеет вид гиперболы. Исходя из этого, функция распределения интервалов между заявками может быть описана функцией Пальма-Хинчина

$$\varphi(t) = (a/(a+t))^{\lambda+1}, \quad (3)$$

где  $a$  и  $\lambda$  - параметры потока. Частным случаем функции (3) является распределение Парето. Рекуррентная формула, описывающая распределение числа ошибок  $P_k(t)$  для канала связи, имеет вид [5]:

$$P_{k+1}(t) = [(\lambda + k)t/(k+1)] [a/(a+t)] P_k(t), \quad k \geq 0 \quad (4)$$

где  $P_k(t) = (-1)^k \left( \frac{d^k P_0(t)}{dt^k} \right) \left( \frac{t^k}{k!} \right)$ .

При  $n = 128$  бит,  $t = nT$ ;  $T^{-1}$  - скорость канала,  $P_{out} = 9 \cdot 10^{-4}$ ,  $\lambda = 0,0004$ ,  $a = 0,00354$  представлен вероятностный ряд распределения ошибок в канале связи.

Таблица 1 - Распределение вероятности  $P_k(t)$ .

Модель ОПП	k								
	0	1	2	3	4	6	8	11	15
$P_k$	0,996	0,003	0,0017	0,0011	0,0008	0,0005	0,0003	0,0002	0,00015

Из табл. 1 видно, что распределение вероятностей числа ошибок в пакете имеет «длинный хвост».

Наличие статистической зависимости между сообщениями, передаваемыми по каналу связи, не дает возможности непосредственно использовать резуль-



таты теории СМО, требующей взаимной независимости этих сообщений (пакетов, заявок, ячеек, ошибок в пакете).

А теперь рассмотрим модель СМО, где допускается произвольная зависимость между случайными величинами, образующими циклы занятости (промежуток времени между периодом простоя и следующим за ним периодом занятости).

Однако, циклы занятости между собой независимы. Такие СМО классифицируют как регенерирующие системы, а исходную СМО (с фиксированными параметрами) назовем порождающей.

Вероятность того, что в рандомизированной СМО находится  $i$  заявок оценивается:

$$q_i = q_0 \int_{\rho_0}^{\rho} q_i^*(\rho) [q_0^*(\rho)]^{-1} dF(\rho), \quad (5)$$

где  $\rho$  - коэффициент загрузки системы;  $q_i^*(\rho)$  - соответствующая вероятность для порождающей СМО;  $q_0(\rho)$  - определяется из условий нормировки;  $F(\rho)$  - функция распределения случайного параметра, определяющего цикл занятости СМО.

Пусть порождающая СМО будет классифицирована индексом Кендала  $M|M|n$  с соответствующей дисциплиной обслуживания. Для СМО с ограниченной очередью вероятности обслуживания можно представить

$$q_i^*(\rho) = \begin{cases} \frac{\rho^i}{i!} q_0(\rho), & 0 \leq i \leq n, \\ \frac{\rho^i}{n! n^{i-n}} q_0^*(\rho), & n \leq i \leq (n+k), \end{cases} \quad (6)$$

где  $\rho = \lambda \tau$  - загрузка системы;  $\lambda$  - интенсивность входящего потока;  $n$  - число процессорных каналов маршрутизатора;  $k$  - размер буфера памяти.

Допустим, что случайным является только параметр входящего потока, а его функция распределения имеет вид (4), а параметр  $\tau$  остается фиксированной величиной. Тогда из (5) и (6) получаем:

$$q_i(\rho) = \begin{cases} \frac{q_0 \rho^i \Gamma(v+i)}{\Gamma(v)}, & i \leq n, \\ \frac{q_0 \rho^i \Gamma(v+i)}{n! n^{i-n} \Gamma(v)}, & n \leq i \leq (n+k), \end{cases} \quad (7)$$

где  $\rho = v\tau/\alpha$  - загрузка системы.

При  $n=1$ ;  $\Gamma(i+1)=i!$  из (7) получим

$$q_{1+k} = \rho^{1+k} \frac{\Gamma(v+k)}{\Gamma(v)} \left[ \sum_{i=0}^{k+1} \rho^i \frac{\Gamma(v+i)}{\Gamma(v)} \right]^{-1} \quad (8)$$

и при  $v=1$  и  $\Gamma(i+1)=i!$  из (7) получим:

$$q_i = \begin{cases} i! \rho^i q_0, & 0 \leq i \leq n, \\ \frac{i! \rho^i q_0}{n! n^{i-n}}, & n \leq i \leq (n+k). \end{cases} \quad (9)$$

Окончательно из (9) при  $n=1$  вероятность того, что в буфере, как рандомизированной СМО, находится  $i$  заявок от приемников:

$$q_i = \frac{i! \rho^i}{\sum_{s=0}^{k+1} s! \rho^s}. \quad (10)$$

Обозначим вероятности отказа в обслуживании заявок из-за переполненного буфера рандомизированной СМО  $p_{отк} = q_{1+k}$  по формуле (10) и классической СМО

$$p_{отк}^* = q_{1+k}^* = \frac{\rho^{1+k}}{\sum_{i=1}^{k+1} \rho^i}.$$

Таблица 2 - Значения вероятностей отказов в приеме заявок СМО (соответственно рандомизированной и порождающей) при  $\rho = 0,25$

Модели	$k$						
	0	1	2	3	4	5	6
$p_{отк} = q_{1+k}$	0,200	0,091	0,064	0,06	0,069	0,094	0,142
$p_{отк}^* = q_{1+k}^*$	0,2	0,048	0,012	0,002	0,001	0,00	0,00

Из табл. 2 очевидно, что наличие статистической зависимости может резко снизить пропускную способность системы, а увеличение емкости буфера очереди не всегда приводит к снижению вероятности отказа, хотя загрузка системы  $\rho < 0,5$ .

Рассмотрим однопроцессорную СМО с неограниченной очередью, на вход которой поступает пуассоновский поток с фиксированным параметром  $\lambda$ . Время обслуживания распределено по показательному закону, но его параметр  $\tau$  (среднее время обслуживания) является случайной величиной, принимающей значения  $\tau_j$  с вероятностью  $p_j$ .

Таким образом, функция распределения времени обслуживания может быть представлена гиперэкспонентой со случайными параметрами  $\tau_j$

$$p\{t_{обс} > t\} = H(t) = \sum_{j=1}^k p_j e^{-\mu_j t}, \quad \mu_j^{-1} = \tau_j. \quad (11)$$

В результате имеем порождающую СМО в виде классической СМО с индексом Кендала  $M|M|1$ , но с неограниченной очередью, для которой распределение вероятностей состояния определяется известной формулой:

$$q_j^* = \rho^j (1 - \rho); \quad \rho = \lambda \tau.$$

Затем, с помощью (5) получаем распределение вероятностей состояний для рандомизированной СМО:

$$q_j = q_0 \sum_{j=1}^k p_j \rho_j^i; \quad q_0 = \left[ \sum_{j=1}^k \frac{p_j}{1 - \rho_j} \right]^{-1}; \quad \rho_j = \lambda \tau_j; \quad j = \overline{1, k}. \quad (12)$$

Отсюда определяем среднее количество заявок в системе:

$$\bar{q} = \sum_{i=0}^{\infty} i q_i = q_0 \sum_{j=1}^k p_j \frac{\rho_j}{(1 - \rho_j)^2}; \quad \rho_j < 1; \quad j = \overline{1, k}. \quad (13)$$

При частном случае  $k = 2$

$$\bar{q} = \left[ \frac{p_1}{1 - \rho_1} + \frac{p_2}{1 - \rho_2} \right]^{-1} \left[ \frac{\rho_1 p_1}{(1 - \rho_1)^2} + \frac{\rho_2 p_2}{(1 - \rho_2)^2} \right]; \quad p_1 + p_2 = 1. \quad (14)$$

Уравнение (14) определяет среднее количество заявок в буфере, когда времена обслуживания последовательности заявок не являются независимыми (как это обычно принимается) и связаны статистической зависимостью.

Сравним результаты, полученные по (14), с аналогичными результатами, определяющими среднее количество заявок в классической СМО с неограниченной очередью  $M|G|1$ , где времена обслуживания описываются гиперэкспоненциальным распределением (11), но, заметим, статистически независимы. Используя известную в теории СМО (3) формулу Поллячека-Хинчина и гиперэкспоненту (11), получим:

$$\bar{q} = \frac{\rho + p_1 p_2 (\rho_1 - \rho_2)^2}{1 - \rho}; \quad \rho = \rho_1 p_1 + \rho_2 p_2; \quad \rho_i = \lambda \tau_i; \quad i = 1, 2. \quad (15)$$

Задаваясь значением интегральной загрузки системы  $\rho$ , определим численные значения среднего количества заявок в рандомизированной СМО  $\bar{q}_R$  по формуле (14), и  $\bar{q}_H$  - в классической СМО с гиперэкспоненциальным распределением времени обслуживания, определенного по (15), а также - порождающей системе СМО  $M|M|1$ , рассчитанные по формуле:

$$q_M = \frac{\rho}{1 - \rho}.$$

При расчетах приняты значения:  $p_1 = 0,25$ ;  $\rho = 0,4$ .

Таблица 3 - Значения средних количеств заявок для соответственно трех моделей СМО

Модели	$\rho$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85
$\bar{q}_R$	0,235	0,322	0,457	0,667	1,044	1,790	3,670	6,120	13,67	$\infty$
$\bar{q}_H$	0,144	0,267	0,433	0,667	1,050	1,530	2,430	3,160	4,27	6,110
$\bar{q}_M$	0,111	0,250	0,428	0,667	1,000	1,500	2,330	3,000	4,000	5,670

Из табл. 3 и рис. 1 следует, что наличие статистической зависимости между временами обслуживания заметно ухудшает качество обслуживания по сравнению с такой же системой, где эта зависимость отсутствует.

Выводы:

1. Модели телетрафика для телекоммуникационной системы, имеющей пульсирующий входной поток заявок и оценивающийся признаками самоподобности, могут быть описаны рандомизированным пуассоновским потоком.
2. Рандомизированная модель, отображающая функционирование сети, представляет собой порождающую СМО со случайными значениями ее параметров (коэффициента загрузки, интенсивностью потока).
3. Законы распределения случайных параметров порождающей модели СМО могут быть определены, в частности, с помощью обратного преобразования Лапласа-Стильтьеса функций распределения случайных величин, описывающих регенерирующую систему, хотя приходится преодолевать вычислительные затруднения по нахождению оригиналов.
4. Статистические свойства потоков заявок определяются полностью распределением интервалов времени между ними.
5. Преобразование битового потока в поток пакетов заявок сопровождается появлением распределений с «тяжелыми хвостами».
6. Распределение с «тяжелыми хвостами» возникают независимо от того, какой закон распределения вероятностей имеет входной преобразуемый битовый поток.

**Список литературы:** 1. Самойленко А. П., Рудь Д. Е. Модели функционирования дифференциальной станции в составе навигационной телекоммуникационной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. 2. Самойленко А. П., Рудь Д. Е. Анализ прикладной значимости математических моделей трафика телекоммуникационных систем навигационного назначения // сборник материалов международной научно-технической конференции «Перспективы развития навигационных систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo». – Донецк, 2010. 3. Фомин Л. А., Липец Г. И., Шлаев Д. В., Калашников С. В. Причины самоподобности в сетевом трафике // Электросвязь, №2, 2008, с. 20-23. 4. Александров А. М. Рандомизированные модели цифрового телетрафика // Электросвязь, №6, 2010, с 41-43. 5. Аксенов Б. Е., Александров А. М., Баканов А. Н. Применение обобщенного пуассоновского потока к исследованию методов повышения достоверности // Проблемы передачи информации. – 1973, №3, с 80-86. 6. Нейман В. И. Самоподобные процессы и их применение в теории телетрафика // Электросвязь, 1999, №1, с. 11-14.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЛЕНТ. 1. МОДЕЛЬ ФОРМОВАНИЯ

Сербиновский М.Ю., Состина Е.В., Сербиновский А.М. (ТТИ ЮФУ,

г. Таганрог, Россия)

Тел +7(8634)37-16-97, la@tsure.tu)

**Abstract:** *Optimum technologies of formation of the composite tapes providing increase of productivity and stability of characteristics of composite tapes are offered. Process of continuous formation of tapes in which operations of removal of a moisture from the formed layer of a disperse material with binding and its consolidation, and also rolling installation with Skating rinks, absorbing a moisture of materials are combined is developed.*

**Key words:** *Mathematical model, Formation of composites, Composit tapes.*

Широкую реализацию в производстве технологии непрерывного формования композиционных лент со слоем/слоями дисперсного материала на сетчатой или тканевой подложке из водных паст сдерживают: 1) необходимость обеспечения целостности малопрочного слоя пасты и композиционной ленты в целом при его изготовлении; 2) обеспечение стабильных характеристик лент при большом количестве операций и последовательно проводимых процессов (формирование слой дисперсной массы определенной толщины, накатка на подложку, удаление избыток влаги, сушка и термообработка). Кроме этого осложняет формирование лент высокая тиксотропность водных паст. Преодолеть эти трудности можно лишь в случае механизации процесса формования композиционных лент.

С целью реализации технологии формования композиционных лент из водных паст была разработана специальная прокатная установка с валками, которые имели оболочки из впитывающих влагу материалов, обеспечивающая: формирование слоев пасты определенной толщины на поверхности валков большого диаметра; накатку этих слоев на сетчатую (тканевую) подложку при одновременном удалении части влаги за счет впитывающих влагу оболочек валков и уплотнении активной массы; дальнейшее удаление влаги и одновременное уплотнение дисперсного слоя при прохождении ленты через зазоры последующих валков; сушку ленты и ее калибровку в валках; термообработку композиционной ленты. Влага из тканевых оболочек валков удалялась за счет нагрева и сушки оболочек при помощи специальных нагревателей, охватывающих валки. В отличие от прокатки в гладких валках валки с тканевыми оболочками сдерживают течение пасты вдоль оси прокатки, поэтому нет отставания или опережения активного слоя [2]. Нет также усадки дисперсного слоя вдоль оси прокатки, которая подавляется за счет обжата слоя валками с тканевыми оболочками. Альтернативный вариант – ленты фильтровальной бумаги, которые использовали один раз,

необходимость в нагреве оболочек валков отпадает.

Рассмотрим условия формования лент в установке непрерывного формования на примере формования оксидномедных электродных лент литиевых источников тока [3].

При двухсторонней накатке пасты валки формируют слои пасты толщиной  $h_{л0}$ . Так как водная паста несжимаема, а отставание материала при накатке слоев на подложку полностью исключено, то толщина ленты на входе в зазор первых уплотнительных валков будет равна:  $h_{эл0} = 2h_{л0} + h_{э.с.}$ , где  $h_{э.с.}$  – эффективная толщина сетки-токоотвода,  $h_{э.с.} = h_c(1 - K)$ , где  $K$  – коэффициент открытия сетки [1]. Далее идут уплотнительные обжаты ленты в валках, обернутых тканевыми лентами. Толщина электрода  $h_{эл n}$  после  $n$  уплотнительных проходов будет равна:

$$h_{эл n} = 2h_{л0} - \sum_{j=1}^m h_{об j} \cdot P_{об j} + h_c \cdot (1 - K),$$

где  $m$  – число оболочек валков или число уплотнительных валков в установке;  $h_{об j}$  и  $P_{об j}$  – соответственно, толщина и пористость оболочек на  $j$ -том валке. Толщина активного слоя электрода равна  $h_{ac} = h_{эл} - h_c(1 - K)$ .

В производственных условиях задается влажность пасты активной массы (начальная влажность)  $W_0$ , конечная толщина электродной ленты  $h_{эл}$ , пористость  $P$  или плотность сухого активного слоя  $\rho_{ac}$ . При этом:  $W_0 = m_{ж} / m_{ам} = (V_{ж} \cdot \rho_{ж}) / (V_{ам} \cdot \rho_{ам})$ ,  $P = (V - V_{ам}) / V = V_{пор} / (V_{пор} + m_{ам} / \rho_{ам})$ , где  $W_0$  и  $P$  выражены в долях единицы,  $m_{ж}$  – масса жидкости в пасте,  $m_{ам}$  – масса активной массы в пасте,  $V_{ж}$  и  $V_{ам}$  – объем жидкости и активной массы в пасте,  $\rho_{ж}$  и  $\rho_{ам}$  – плотность жидкости и активной массы,  $V$  – объем активного слоя ленты  $V = V_{пор} + V_{ам}$ ,  $V_{пор}$  – объем пор в активном слое ленты после ее уплотнения. Истинная плотность активной массы  $\rho_{ам}$ , т.е. беспористой компактной смеси, равна:

$$\rho_{ам} = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\rho_i}, \text{ где } C_i \text{ – содержание } i\text{-того компонента активной массы в долях еди-}$$

ницы,  $\rho_i$  – истинная плотность  $i$ -того компонента активной массы. При отсутствии уширения ленты и отставания пасты при обжатии:  $h_0 = h_{ж} + h_{ам} = (V_{ж} + V_{ам}) / (b \cdot v \cdot \Delta\tau)$ , где  $h_0$  – суммарная толщина слоя пасты при накатке на токоотвод;  $h_{ж}$  и  $h_{ам}$  – условная толщина слоя жидкости и активной массы в слое пасты;  $b$  – ширина ленты,  $v$  – линейная скорость поверхности валков,  $\Delta\tau$  – любой малый промежуток времени формования ленты. Абсолютное обжатие ленты

$\Delta h_0$  составляет:  $\Delta h_0 = h_0 - h_{ac}$ , где  $h_{ac}$  – толщина активного слоя электрода после уплотнения. Обжатие ленты происходит за счет «вдавливания» избытка жидкости из пасты в поры тканых оболочек валков, поэтому переходя от к объемам:  $\Delta V_{ж} = (V_{ж} + V_{ам}) - (V_{пор} + V_{ам}) = V_{ж} - V_{пор}$ , где  $\Delta V_{ж}$  – объем жидкости, удаленной из пасты за время уплотнения;  $V_{пор}$  – объем пор в активном слое ленты после ее уплотнения, который заполняет оставшаяся в ленте жидкость, или  $\Delta V_{ж} = V_{ам} [W_0 \cdot \rho_{ам} / \rho_{ж} - P / (1 - P)]$ , для абсолютного обжатия  $\Delta h = h_{ам} [W_0 \cdot \rho_{ам} / \rho_{ж} - P / (1 - P)]$ , или  $\Delta h = h_{эл} (1 - P) \cdot [W_0 \cdot \rho_{ам} / \rho_{ж} - P / (1 - P)]$ . Если задана плотность активного слоя  $\rho_{ac}$ , его пористость  $P$  равна:  $P = (\rho_{ам} - \rho_{ac}) / \rho_{ам}$ . Требуемое суммарное относительное обжатие электродных лент:  $\varepsilon_{\Sigma} = \Delta h / h_0$ .

Из условия постоянства массы:  $\rho_{ac0} \cdot h_{ac0} \cdot b_0 \cdot l_0 = \rho_{acn} \cdot h_{acn} \cdot b_n \cdot l_n$ , где  $\rho_{ac0}$  и  $\rho_{acn}$  – плотность активного слоя до уплотнения и после  $n$  проходов;  $h_{ac0}$  и  $h_{acn}$  – толщина активного слоя до уплотнения и после  $n$  проходов;  $b_0$ ,  $l_0$ , и  $b_n$ ,  $l_n$  – соответственно, ширина и длина электродной ленты до уплотнения и после  $n$  проходов. Учитывая, что при уплотнении лент в валках с тканевыми оболочками ширина и длина лент не изменяется ( $b_n = b_0$  и  $l_n = l_0$ ), для суммарного обжатия получаем:

$$\varepsilon_{\Sigma} = 1 - \rho_{ac0} / \rho_{acn}. \quad \text{Учитывая, что} \quad h_{acn} \cdot \rho_{acn} = h_{ac0} \cdot \rho_{ac0} \quad \text{и}$$

$$h_{эл} = h_{эл n} = 2h_{лн} + h_c \cdot (1 - K), \quad \text{получаем требуемое число проходов } n: \\ n = \frac{(\rho_{acn} / \rho_{ac0} - 1) \cdot [h_{эл n} - h_c (1 - K)]}{k_m h_{об} P_{об}}, \quad \text{где } k_m \text{ – среднее число слоев ткани на каждой паре}$$

валков или требуемое число валков или оболочек  $m$ :

$$m = \frac{(\rho_{acn} / \rho_{ac0} - 1) \cdot [h_{эл n} - h_c \cdot (1 - K)]}{h_{об m} \cdot P_{об m}}, \quad \text{где } h_{об m} \text{ и } P_{об m} \text{ – средние значения } h_{об j}$$

и  $P_{об j}$  для данной установки. Средние значения параметров назначают при проектировании, а  $n$  и  $m$  округляют до больших целых чисел. Для реальной установки формования, имеющей  $n$  пар валков или  $m$  валков с оболочками, максимально возможная толщина формуемых электродных лент равна

$$h_{эл n} = \frac{\sum_{j=1}^m h_{об j} \cdot P_{об j}}{\rho_{acn} / \rho_{ac0} - 1} + h_c \cdot (1 - K). \quad \text{Максимально возможное обжатие } \varepsilon_{n \max} \text{ для}$$

данной установки:  $\varepsilon_{n \max} = \frac{\sum_{j=1}^m h_{об j} \cdot P_{об j}}{h_{эл n} + \sum_{j=1}^m h_{об j} \cdot P_{об j} - h_c \cdot (1 - K)}$ . Толщина электрода  $h_{эл i}$

и плотность активного слоя  $\rho_{aci}$  после  $i$ -того прохода равны:

$$h_{эл i} = h_{эл i-1} - \sum_{j=1}^{l_i} h_{пр j} \cdot P_{пр j}, \quad \rho_{aci} = \rho_{aci-1} / (1 - \varepsilon_{i \max}),$$

а обжатие  $\varepsilon_i$  в  $i$ -том проходе равно:  $\varepsilon_i = 1 - h_{aci} / h_{aci-1}$ , где  $k_i$  и  $l_i$  – число слоев ткани и число оболочек в  $i$ -том проходе. Наибольшее обжатие в  $i$ -том проходе  $\varepsilon_{i \max}$ :

$$\varepsilon_{n \max} = \frac{\sum_{j=1}^m h_{об j} \cdot P_{об j}}{h_{эл n} + \sum_{j=1}^m h_{об j} \cdot P_{об j} - h_c \cdot (1 - K)}.$$

Толщина электродной ленты  $h_{эл i-1}$  на входе в уплотнительные валки при заданных  $h_{эл i}$  и  $\varepsilon_i$  равна:  $h_{эл i-1} = \frac{h_{эл i} - h_c(1 - K)}{(1 - \varepsilon_i)} + h_c(1 - K)$ . Толщина слоя пасты  $h_n$  на формующих валках:

$$h_n = h_{л0} = 0,5 \left[ h_{эл n} + \sum_{j=1}^m (h_{об j} \cdot P_{об j}) - h_c(1 - K) \right], \quad h_n = h_{л0} = 0,5 \left[ h_{эл 0} - h_c \cdot (1 - K) \right].$$

Суммарное число слоев  $k_\Sigma$  на уплотнительных валках равно:

$$k_\Sigma = [h_{эл i} - h_c(1 - K)] \cdot (\rho_{acn} / \rho_{ac0} - 1) / (h_{об} P_{об})$$

Полученное значение округляется до целого числа. Толщина получаемого электрода определяется по формуле (1) или по формуле:

$$h_{эл n} = h_{эл 0} - \sum_{j=1}^m h_{об j} \cdot P_{об j}.$$

Приведенная модель дает возможность рассчитать и оптимизировать как параметры процесса формования, так и параметры формующей установки, решить все прямые и обратные задачи при расчете параметров процесса формования.

**Список литературы:** 1. Сербиновский М.Ю. Формование электродных лент прокаткой / Рос. гос. ун-т. – Ростов-н/Д: РГУ, 2001. – 85 с. 2. Сербиновский М.Ю., Волощук В.Г., Шкураков В.Л. Опережение при формовании лент активной массы // Изв. вузов. Сев. Кавк. регион. Техн. науки. 2001. – № 4. – С. 25–29. 3. Сербиновский М.Ю., Галкин С.А., Иванова Ю.Б., Состина Е.В. Расчет параметров уплотнения активного слоя при формовании ленточных электродов химических источников тока // Изв. Вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. Спецвыпуск. Композиционные материалы. – С. 59-65.



**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ  
ЧИСТОГО ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЛЕНТ.  
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТКАНЕВЫХ ОБОЛОЧЕК И  
ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ**

**Сербиновский М.Ю., Состина Е.В., Сербиновский А.М.**

*(ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия.)*

*Тел +7(8634)37-16-97, la@tsure.tu*

**Abstract:** *The technique of definition of effective absorbing ability of fabric covers of Skating rinks is offered, parameters for a number of materials and results of realization of mathematical model are defined.*

**Key words:** *Moisture absorption of fabric materials, Formation of composites, Composit tapes.*

В сообщении «Математическое моделирование экологически чистого процесса формования композиционных лент. 1 Модель формования» была предложена модель процесса формования композиционных лент их водных паст различных дисперсных материалов. Однако в ходе экспериментальных исследований было показано, что тканевые оболочки валков в процессе прокатки впитывают влаги заметно меньше, чем те же материалы в свободном состоянии, поэтому экспериментально определена эффективная пористость материалов для оболочек валков. Образец ленты из исследуемого материала оболочки смачивали жидкостью и обжимался в валках вместе с композиционной лентой, помещенной в чехол из полиэтиленовой пленки. Тем самым обеспечивались геометрия зоны обжатия и давление обжатия, близкие к реальным, наблюдаемым при формовании композиционных лент. «Эффективную» пористость материалов оболочек рассчитывали по объему влаги, которую впитывал материал под давлением. Определяли массу сухого образца, массу влажного образца после обжатия в валках, объем образца, а также плотность пропитывающей жидкости. Массу определяли взвешиванием на

аналитических весах марки ВЛР-200. Объем образца получали перемножением его длины, ширины и толщины. Длину и ширину образцов измерили с помощью инструментальных линеек и штангенциркуля, толщину – микрометром типа

МК 0-25. Расчет проводили по формуле:

$$P = \left[ (m_L - m_S) / (\rho_L \cdot V) \right] \cdot 100\%,$$

где  $P$  – эффективная пористость оболочки, %;  $m_L$  – масса влажного образца после обжаривания;  $m_S$  – масса сухого образца;  $\rho_L$  – плотность пропитывающей жидкости;  $V$  – объем образца. Максимальная влажность материалов  $W_{\max}^c$ , %, определяли как:

$$W_{\max}^c = \left[ (m_{L_{\max}} - m_S) / m_S \right] \cdot 100\%,$$

где  $m_{L_{\max}}$  – максимальная масса влажного образца при свободной пропитке в жидкости;  $m_S$  – масса сухого образца. Максимальную массу влажного образца при свободной пропитке в жидкости  $m_{L_{\max}}$  определяли после выдержки 10-15 с в жидкости, выдержки образца в вертикальном положении в течение 1 мин и удаления капель на нижнем конце образца. Влажность материалов при прокатке  $W_{red}^c$ , %, определяли как:

$$W_{red}^c = \left[ (m_{L_{red}} - m_S) / m_S \right] \cdot 100\%,$$

где  $m_{L_{red}}$  – масса влажного образца после пропитки в жидкости и прокатки;  $m_S$  – масса сухого образца. На рис. 1 приведены значения эффективной пористости для ряда используемых материалов.

Рассмотрим условия формования лент в установке непрерывного формования на примере формования оксидномедных электродных лент литиевых источников тока [3].

Приведенная модель дает возможность рассчитать и оптимизировать как параметры процесса формования, так и параметры формирующей установки, решить все прямые и обратные задачи при расчете параметров процесса формования. Пример реализации расчетных параметров при формовании оксидномед-

ных электродов (состав активной массой, масс. % :  $\text{CuO}$  : сажа : связующее – 85:5:10, начальная влажность 55,6%, конечная плотность активного слоя электродов  $2,6 \text{ г/см}^3$ , токовый коллектор – просечная сетка толщиной 0,1 мм,  $K = 0,67$ ): толщина электрода 0,5 мм, оболочки валков 2 и 5 – по 1 слою стеклоткани толщиной 0,2 мм,  $P = 0,65$ , оболочка валка 13 – 1 слой стеклоткани толщиной 0,2 мм,  $P = 0,65$ , 2 слоя ткани лен+х/б толщиной 0,3 мм,  $P = 0,627$ , оболочки валков 14 и 15 – по 1 слою стеклоткани толщиной 0,2 мм,  $P = 0,65$  и по 1 слою ткани лен+х/б толщиной 0,3 мм,  $P = 0,627$ .

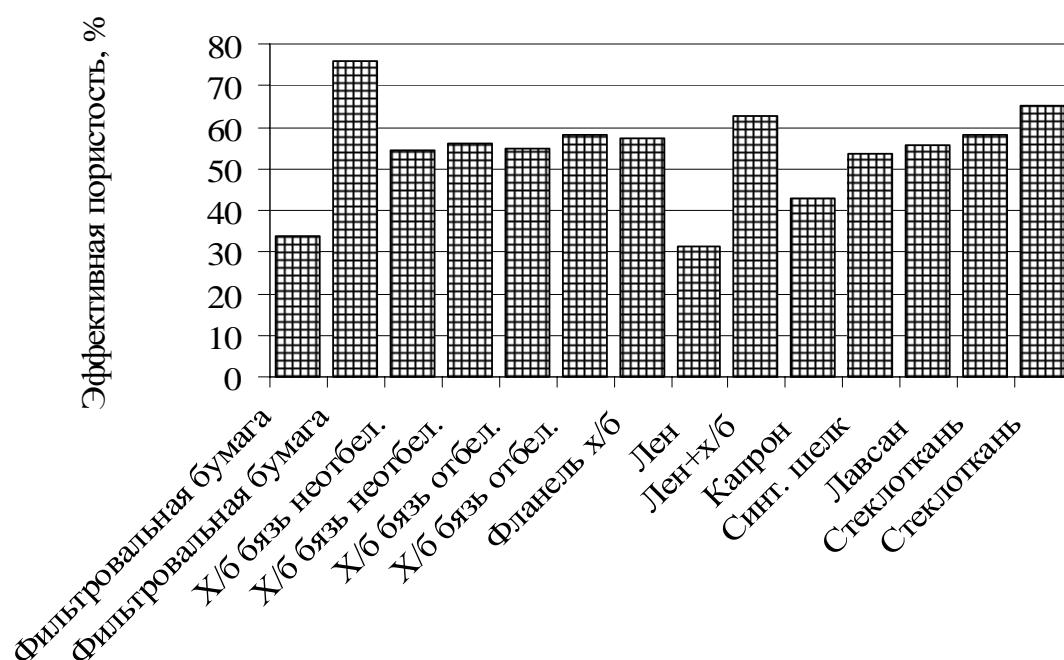


Рис. 1. Эффективная пористость материалов оболочек валков

Расчеты, произведенные по предложенной математической модели, и экспериментальная проверка результатов расчета показали, что для формирования электродов толщиной не более 0,5 мм можно использовать в качестве слоев, впитывающих влагу, ленты фильтровальной бумаги либо тканевые оболочки. При формировании электродов большей толщины применять ленты фильтровальной бумаги нецелесообразно, т.к. в этом случае либо нужно увеличивать число прокатных клетей, либо увеличивать число слоев фильтровальной бумаги более 3-х на каждом валке. Первое приводит к росту габаритов и металлоемкости установок, второе – ухудшает качество электродов, т.к. резко возрастает погрешность толщины электрода вдоль оси прокатки.

## ШАРЖИРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ДВИГАТЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Скубилин И.М., Скубилин М.Д. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 37 16 89; E-mail: [favt.sau@tsure.ru](mailto:favt.sau@tsure.ru)

**Abstract:** substantiate use for variable direction drive manipulation objects.

**Key words:** electric motor on constant current, variable direction.

В электромашинных исполнительных устройствах находят применение электрические двигатели постоянного и переменного тока, а также шаговые электродвигатели. Двигатели постоянного тока обычно используются в системах совместно с электромашинными усилителями. Обычно для управления такими двигателями применяют тиристорные преобразователи.

Из двигателей постоянного тока используются двигатели с независимым возбуждением а управление может осуществляться или со стороны якоря (якорное управление), или со стороны обмотки возбуждения (полюсное управление). Изменение направления и частоты вращения ротора двигателя осуществляется при полюсном управлении путем изменения полярности и значения напряжения  $U_{вх}=U_{в}=varia$ , при этом на якорь через балластное сопротивление  $r_б$  подается постоянное напряжение  $U_{я}=const$ . При управлении со стороны якоря на обмотку возбуждения подается постоянное напряжение  $U_{в}=const$ , а управление скоростью и направлением вращения ротора двигателя осуществляется путем изменения значения и полярности напряжения на якоре:  $U_{вх}=U_{я}=varia$ .

Полюсное управление, по сравнению с якорным, позволяет уменьшить мощность усилительного устройства, но при этом ухудшается инерционность. Поэтому управление со стороны якоря используется шире.

Вращающий момент  $M_{вр}$  двигателя возникает в результате взаимодействия полей возбуждения и якоря; он пропорционален потоку возбуждения  $\Phi_{в}$  и току якоря  $I_{я}$ :

$$M_{вр}=c_1 I_{я} \Phi_{в}, \quad (1)$$

где  $c_1$  – коэффициент пропорциональности.

При постоянном потоке возбуждения  $\Phi_{в}$  вращающий момент

$$M_{вр}=c_1 I_{я}. \quad (2)$$

Если момент нагрузки  $M_{н}=0$ , то момент (2) расходуется на преодоление инерции якоря и приводимого в движение органа регулирования, т. е.

$$M=J(d\omega/dt), \quad (2)$$

где  $J$  – приведенный момент инерции,  $H \cdot m \cdot c^2$ ;  $\omega$  – угловая скорость вала двигателя,  $рад/с$ .

Уравнение цепи якоря представимо выражением

$$U_{\text{я}} = I_{\text{я}} R_{\text{я}} + L_{\text{я}} (dI_{\text{я}}/dt) + e, \quad (3)$$

где  $L_{\text{я}}$  и  $R_{\text{я}}$  – индуктивность и активное сопротивление якоря, а  $e = c_2 \omega$  – противо-ЭДС.

Совместное решение уравнений двигателя (1) – (3), составляет дифференциальное уравнение двигателя, связывающее скорость вращения вала с напряжением управления  $U_{\text{я}}$ :

$$T_{\text{я}} T_{\text{м}} (d^2 \omega / dt^2) + T_{\text{м}} (d\omega / dt) + \omega = k_{\text{д}} U_{\text{я}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{я}} = L_{\text{я}} / R_{\text{я}}$  – постоянная времени цепи якоря;  $T_{\text{м}} = IR_{\text{я}} / (c_1 c_2) = I(\omega_{\text{х.х}} / M_{\text{п}})$  – электромеханическая постоянная времени ( $\omega_{\text{х.х}}$  – угловая скорость холостого хода, рад/с;  $M_{\text{п}}$  – пусковой момент двигателя);  $k_{\text{д}} = 1 / c_2 = \omega_{\text{х.х}} / U_{\text{я.ном}}$  – коэффициент передачи.

На основании уравнения (4) передаточная функция двигателя принимает вид

$$W(s) = \omega(s) / U_{\text{я}}(s) = k_{\text{д}} / (T_{\text{я}} T_{\text{м}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1). \quad (5)$$

Если за выходную величину двигателя считать угол поворота  $\Theta$  его вала, то

$$W(s) = \Theta(s) / U_{\text{я}}(s) = k_{\text{д}} / [s(T_{\text{я}} T_{\text{м}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1)]. \quad (6)$$

Постоянная цепи якоря находится в пределах  $(2 \div 5) \cdot 10^{-2}$  с, а электромеханическая постоянная –  $(2 \div 15) \cdot 10^{-2}$  с. Так как  $T_{\text{я}} < 10 T_{\text{м}}$ , то (6) принимает вид

$$W(s) = \omega(s) / U_{\text{я}}(s) = k_{\text{д}} / (T_{\text{м}} s + 1). \quad (7)$$

При этом двигатель эквивалентен аperiodическому звену [1].

Управление асинхронным двигателем переменного тока, паяльником или лампой накаливания, с питанием от сети переменного тока, допустимо с использованием микросхемы (МС), например КР1182ПМ1 (рис. 1).

МС КР1182ПМ1 состоит из двух тринисторов, собранных по схеме транзисторного аналога тринистора (VT1, VT2 и VT3, VT4), включенных встречно-параллельно, и узла управления (VT5 ÷ VT17), выход узла управления связан с управляющими входами тринисторов через разделительные диоды (VD6 и VD7). Во внешней цепи элементы С3, R1 и SB1 предназначены для плавного включения и выключения нагрузки, например осветительной лампы накаливания EL1.

Узел управления питается от диодного моста (рис. 2), подключенному по  $\sim U$  к выводам 10, 11 и 14, 15 МС. Он включает источник питания на VT7 ÷ VT9, генератор тока на VT11 и VT12, время задающий С3, преобразователь напряжение-ток на VT13 ÷ VT15, «токовое зеркало» на VT16 и VT17 и устройство тепловой защиты на VT10, R5 и R7.

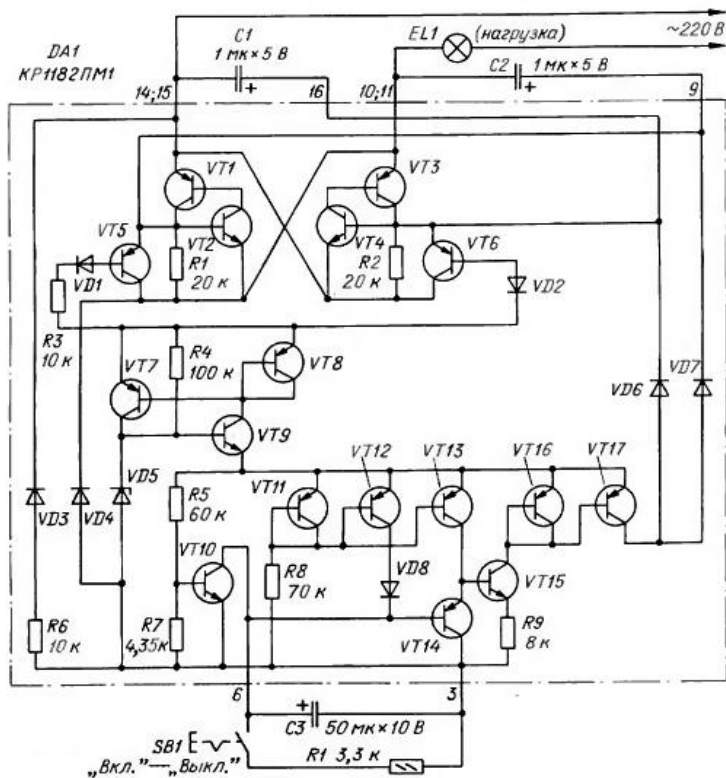


Рис. 1. Регулятор. (Принципиальная и типовая схема его включения)

лечения от источника питания поступает  $U=+6,3$  В, на коллекторе VT17 генерируется  $I_{\text{вых}} > 0$ , если в  $t$  на выводах 14 и 15 положительная полуволна  $\sim U$ , а на выходах 10 и 11 – отрицательная, то  $I_{\text{вых}}$  узла управления МС, через VD7 заряжается C2. С задержкой  $\tau$  напряжение  $U$  на C2 возрастает до уровня открывания VT1 и VT2.

С этого момента и до конца полупериода  $\sim U$  через EL1 протекает ток нагрузки  $I_{\text{н}}$ , а мост, питающий узел управления, шунтируется открытым тринистором, C1 остается разряженным.

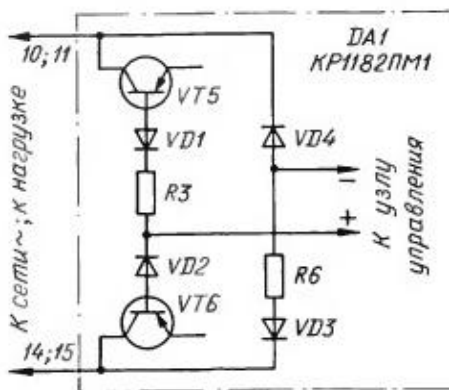


Рис. 2. Мост питания узла управления

Здесь R3 и R6 исполняют роль балластной нагрузки, а внешние C1 и C2 обеспечивают задержку включения тринисторов на каждой полуволне сетевого напряжения относительно его перехода через «ноль», кроме того, C1 и C2 не позволяют тринисторам открываться в момент подачи  $\sim U$ .

Регулятор мощности работает следующим образом.

До подачи  $\sim U$  транзисторы VT1, VT2, VT3 и VT4 закрыты. В момент  $t$  подачи  $\sim U$  на узел управ-

После смены полярности  $\sim U$  заряжается C1 и с той же  $\tau$  открываются VT3 и VT4, а C2 через R1 и VT5 разряжается.

На рис. 3 изображены временные диаграммы  $U$  на C1 и C2. Здесь сплошными линиями показаны описанные выше процессы. Открывание тринисторов происходит при  $U=0,7$  В на C1 и C2.

Задержка включения тринисторов  $\tau=0,7C2/I_{\text{вых}}$ ,  $C1=C2$ , мкФ,  $I_{\text{вых}}$ , мкА.

При  $I_{\text{вых}}=\text{const}$  изменяется  $\tau$  в каждом

полупериоде  $\sim U$ , тогда изменяется и мощность в нагрузке (отмечено жирными штриховыми линиями).

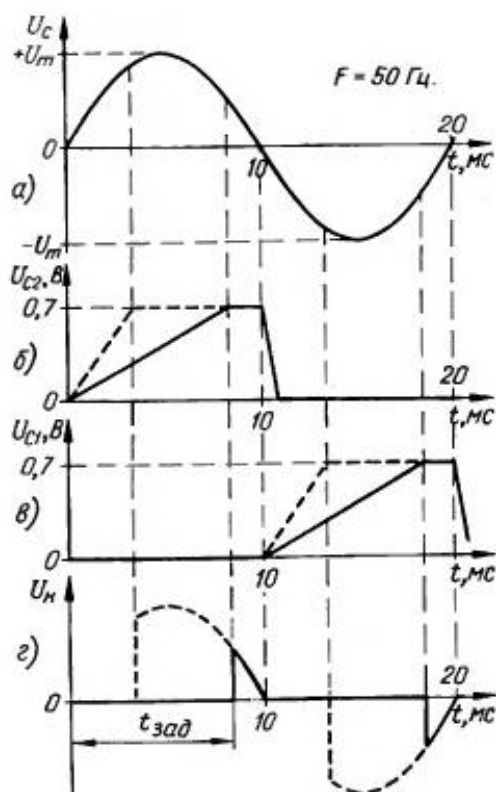


Рис. 3. Зависимости  $U_C=f(t)$ ,  $U_{C1}=f(t)$ ,  $U_{C2}=f(t)$  и  $U_M=f(t)$

В течение первых нескольких полупериодов  $\sim U$  СЗ замыкает выводы 3 и 6 МС, поэтому  $I_{\text{вых}}=I_{\text{вых min}}$ . Однако, генератор тока на VT11, VT12, R8 и VD8 обеспечивает  $I_{\text{вых}}=\text{const}$  через вывод 6, а СЗ плавно заряжается, что приводит к росту напряжения на базе VT14, открыванию VT15 и увеличению мощности, выделяемой на EL1, от 0 до  $\text{max}$ .

В таблице 1 приведены основные характеристики, а на рис. 4÷8 представлены основные зависимости эксплуатационных характеристик МС серии KP1182ПМ1.

Использование МС для управления электроприводом на двигателе постоянного тока позволяет отказаться от громоздких, массо- и энергоемких машинных и др. усилителей.

Таблица 1 - Основные характеристики МС KP1182ПМ1

Показатель	Размерность	Значение
Потребляемый ток при $\sim U=400$ В и $U_{\text{упр}}=0$ В	мА	2
Потребляемый ток при $\sim U=400$ В и $U_{\text{упр}}=6$ В	мА	5
Напряжение насыщения открытого тринистора при $I_n \approx 0,5$ А	В	2
Входной ток на управляющем входе	мкА	40÷150
Выходной ток узла управления тринистором при $\sim U=100$ В и $U_{\text{упр}}=0$ В	мА	0,2
Выходной ток узла управления тринистором при $\sim U=100$ В и $U_{\text{упр}}=3$ В	мА	0,15÷0,9
Выходной ток узла управления тринистором при $\sim U=100$ В и $U_{\text{упр}}=6$ В	мА	0,4÷1,2
Ток утечки управляющего входа при $U_{\text{упр}}=6$ В	мкА	<30
Частота $\sim U$	Гц	40÷70
Тепловое сопротивление для кристалл - теплоотводящие выводы	°С/Вт	14
Тепловое сопротивление для кристалл – окружающая среда	°С/Вт	80
Температура окружающей среды	°С	-40÷+70

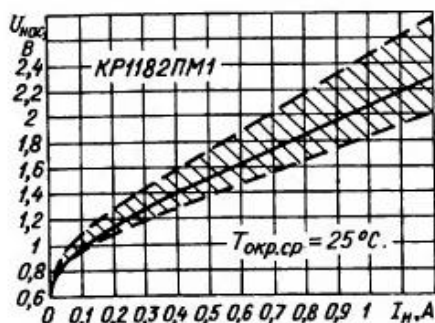


Рис. 4. Зависимость  $U_{\text{нас}}=f(I_{\text{н}})$

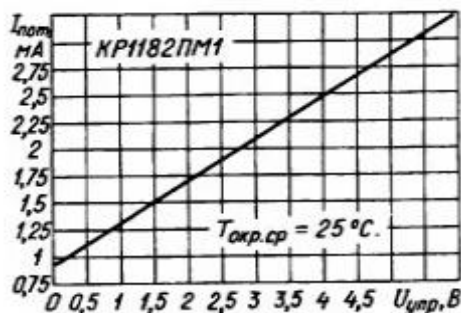


Рис. 5. Зависимость  $I_{\text{упр}}=f(U_{\text{упр}})$

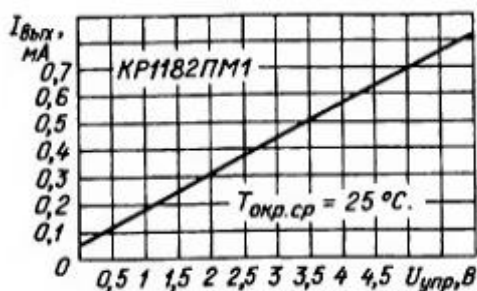


Рис. 6. Зависимость  $I_{\text{вых}}=f(U_{\text{упр}})$

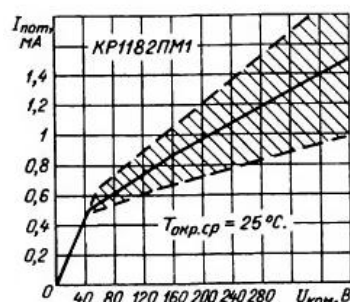


Рис. 7. Зависимость  $I_{\text{н}}=f(U_{\text{ком}})$

Зависимость насыщения тринисторов МС от  $I_{\text{н}}$  изображена на рис. 5. на рис. 5 и 6 приведены зависимости  $I_{\text{н}}$  и  $I_{\text{упр}}$  тринисторами от  $U_{\text{упр}}$  на выводе 6 МС. Рис. 7 отражает зависимость  $I_{\text{н}}$  от коммутируемого  $U_{\text{ком}}$ , а на рис. 8 – температурные характеристики  $U$  насыщения тринисторов и  $I_{\text{упр}}$  ими. Заштрихованная зона отражает технологический разброс.

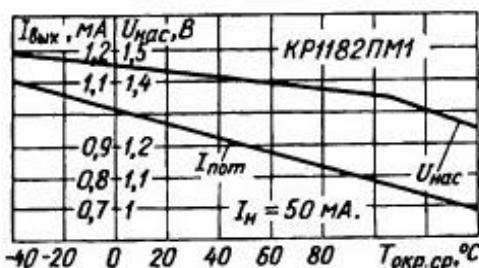


Рис. 8. Зависимость  $I_{\text{вых}}=f(T, ^\circ\text{C})$

При варьировании емкостью С3 от 20 до 100 мкФ изменяется  $\tau$  от долей с. до 1÷2 с. время выключения обеспечивается варьированием R1 от 47 Ом до нескольких кОм.

На рис. 9 приведена схема ручного управления мощностью  $W_{\text{н}}$ , выделяемой в нагрузку, здесь сетевой выключатель SA1 желательно совместить с R1, причем, контакты SA1 должны срабатывать после установки движка R1 в положение  $R1=R1_{\text{min}}$ , с чего следует включать схему управления в сеть.

Устройство управления по рис. 10 способно работать с  $W_{\text{н}} \leq 300 \text{ Вт}$ , а при  $W_{\text{н}} \leq 1000 \text{ Вт}$  элемент SA1 желательно перенести, как это показано на рис. 11 штриховыми линиями, в этом случае регулятор оказывается выключенным при



замкнутых контактах SA1 и в положении  $R1 = R1_{\min}$ . Перед выключением регулятора желательно обеспечить  $R1 = R1_{\min}$ .

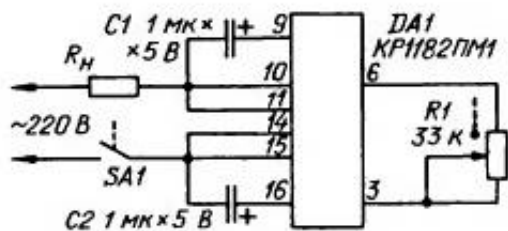


Рис. 9. Ручной регулятор мощности нагрузки

Увеличение  $W_n \leq 1000 \text{ Вт}$  достигается введением в регулятор дискретного симистора VS1 (рис. 11) [2].

Однако выше приведенные регуляторы в автоматическом режиме работы не способны плавно, при подходе к окрестностям точки манипулирования объекта управления, снижать скорость перемещения последнего.

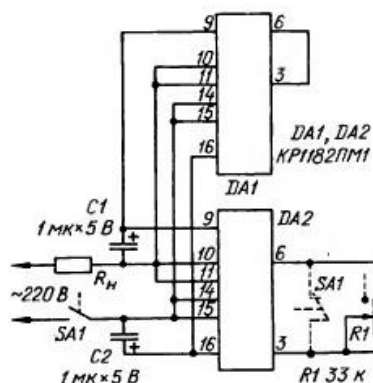


Рис. 10. Регулятор для  $W_n \leq 300 \text{ Вт}$

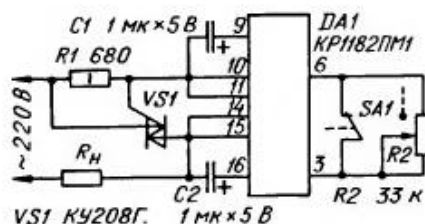


Рис. 11. Регулятор для  $W_n \leq 1000 \text{ Вт}$

Автоматически плавное снижение скорости перемещения объекта манипулирования при срабатывании концевого выключателя вызывается недопустимостью резкого торможения, что например, требуется при манипулировании с жидкостями или расплавами веществ [3].

Достижение автоматизации плавного торможения в точке манипулирования объектом управления обеспечивается устройством по рис. 12 за счет шунтирования выводов 3 и 6 ключом  $K_p$  [4].

**Список литературы:** 1. Макаров И.М. и др. Основы автоматизации управления производством. – М.: Высшая школа, 1983. – 504 с. 2. Немич А.Р. Микросхема KP1182PM1 – фазовый регулятор мощности. – М.: Радио, № 7, 1999. – С. 44–46. 3. Скубилин М.Д. Устройство направленной кристаллизации расплава. //Патент RU 2331722, G06F 15/46, G05B 23/02, G01J 5/58, бюл. № 23, 10.08.2008. 4. Скубилин И.М. Моделирование систем автоматики. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. – 158 с.



## К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРОПУНКТУРНОЙ РЕФЛЕКСОТЕРАПИИ

Скубилин М.Д. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 37 16 89; E-mail: [favt.sau@tsure.ru](mailto:favt.sau@tsure.ru)

**Abstract:** *Artificial stimulation functional human organs impulses electrical current by way of his skin with reverse coupling by tachycardia.*

**Key words:** *biological stimulation, impulses, electrical current, reverse coupling*

В соответствии с современной концепцией развития здравоохранения и медицинской науки в Российской Федерации все большее развитие получает профилактическое направление, названное восстановительной медициной. Основной целью, которую преследует это направление, является восстановление функциональных резервов человека, сниженных в результате неблагоприятного воздействия факторов среды и деятельности или в результате болезни (на этапе выздоровления или ремиссии), путем применения, преимущественно немедикаментозных методов.

К немедикаментозным методам относятся психологические и некоторые физиологические методы. Среди последних наиболее перспективными считаются нейроэлектростимулирующие, вызывающие генерализованные реакции организма посредством стимуляции электрическими импульсами разнообразной формы через участки кожного покрова.

При работе с кожным покровом человека необходимо учитывать два основных фактора. Первый фактор – это локализация участка обработки; на котором определяется: какими свойствами обладает данный участок кожи, с какими нервными волокнами он связан, какая из систем организма способна реагировать на воздействия? Второй фактор тесно связан с проблемой дозировки, здесь уточняются: интенсивность и продолжительность стимулирующих воздействий на данном участке.

Электропроводность кожи формируется под действием многих факторов, среди которых возбуждение или торможение нервной системы, интенсивность наполнения кровью и лимфой сосудов в исследуемой области, близость к акупунктурным точкам и т.д. Доказано, что возрастание частоты и амплитуды зондирующего воздействия, а также продолжительность воздействий повышает электропроводность кожи.

С учетом вышеуказанных обстоятельств подбирается оптимальный режим стимуляции и устанавливается, при каких исходных данных и какая именно система организма проявляет наивысшую чувствительность к вызванным в организме изменениям.

После подбора параметров стимуляции, на которую реагирует определенная система, связанная с регуляцией внутренней среды организма, становится возможным получать характеристики именно этой системы.

Перечень необходимых параметров достаточно обширен: артериальное давление, частота пульса, электропроводность стимулируемой зоны, вегетативный индекс Керго (ВИК), идентифицирующий тонус вегетативной нервной системы и ЭКГ. Сердечнососудистая система является индикатором, системообразующим фактором и по этому она реагирует с минимальными временными задержками.

Для оценки всех вышеперечисленных параметров рекомендуется использовать программно-аппаратный комплекс, назначение которого сбор и обработка данных о состоянии внутренних органов человека.

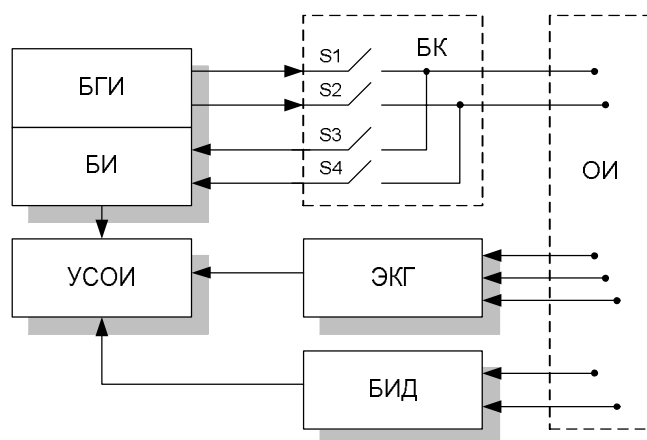


Рис. 1. РИСТА, блок-схема

Диагностический комплекс аппаратуры РИСТА (рис. 1 и 2), разработан на основе выдвинутых выше соображений, он содержит: БГИ – блок генерации импульсов; БК – блок коммутации; ЭКГ – электрокардиограф; БИ – блок идентификации модели кожного покрова; БИД – блок измерения давления; ОИ – область исследования; УСОИ – устройство сбора и обработки информации.

Этот комплекс позволяет выполнить ряд экспериментов, позволяющих отследить показатели гемодинамики во времени и соотнести их с ранее выбранными параметрами стимуляции.

Современные сведения о реакциях организма человека на электроимпульсы дают основание полагать, что мультиэлектродное устройство для электростимуляции электростимулятор (рис. 3), содержащий блоки автономного питания, контроля питания, ключей управления, визуальной и звуковой индикации, выносной пульт, управляемых электродов, анализа сигнала



Рис. 2. РИСТА, внешний вид

звучовой индикации, выносной пульт, управляемых электродов, анализа сигнала

лов, индикации выходных сигналов, сопряжения и процессорный блок, и его упрощенная версия СКЭНАР (рис. 4) оказывают нормализующее влияние на функциональное состояние системы регуляции физиологических функций организма, что, по-видимому, допустимо считать важным фактором его эффективности в лечении разнообразных заболеваний.

По методике Фоля определена зона, соответствующая вегетативной нервной системе (ВНС) в состоянии дисбаланса и

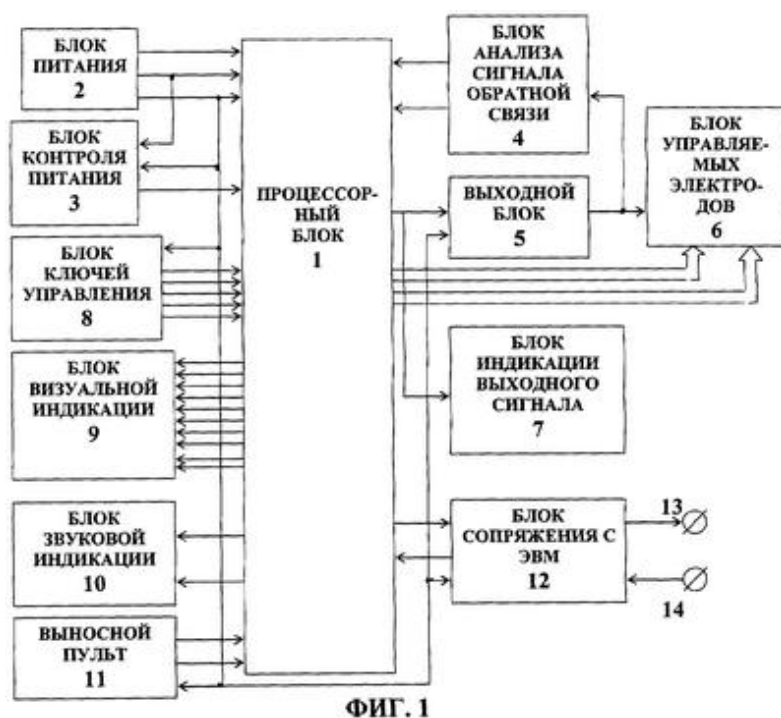


Рис. 3. Мультиэлектродное устройство для электро- стимуляции, блок-схема

сторону ваготонии.

Показатели электропроводности, превышающие верхнюю границу коридора физиологической нормы, свидетельствуют о недопустимом повышении активности соответствующих меридиану комплексов вегетативных функций, а значения, меньшие, чем нижняя граница коридора физиологической нормы, указывают на недопустимое снижение.



Рис. 4. СКЭНАР, внешний вид

нормальной системе (ВНС) в состоянии дисбаланса и установлено, что с её ограничением, в пределах коридора физиологической нормы, оказывается более сбалансированной функция ВНС. Среднее значение электропроводности по всем измерениям является косвенной характеристикой тонуса ВНС. Считается, что высокое значение тонуса характерно для смещения баланса в сторону симпатикотонии, а низкое – в

Чаще всего, отклонений электропроводности бывает достаточно много. Поэтому целесообразно выбирать из множества меридианов максимально влияющие в количественном отношении на сбалансированность функции ВНС, при этом рассчитывают-

ся показатели асимметрии, которые количественно оценивают меру этого влияния. К тому же, необходимо учитывать, что максимальное отклонение от коридора условной нормы не всегда указывает на то, что данный меридиан вносит максимальный вклад в общий функциональный дисбаланс.

С уверенностью можно утверждать о влиянии сигнала электростимулятора ЧЭНС (СКЭНАР) на функционирование системы регуляции вегетативной функции организма. Существенный интерес представляет переходный процесс, отражающий динамику этого влияния и позволяющий оценить параметры стимуляции в рамках поставленной оптимизационной задачи.

Таким образом, созданный диагностический комплекс, включая электростимулятор, позволяют врачу, учитывающему начальное состояние центральной нервной системы (ЦНС), воздействовать на механизмы приводящие ЦНС к норме.

Использование, в качестве измерителя электропроводности и показателей гемодинамики комплекса РИСТА (рис. 1 и 2) и тонометра, а в качестве электростимулятора ЧЭНС (СКЭНАР) (рис. 4), связано со значительными неудобствами в использовании в силу значительных габаритно-весовых характеристик и энергоёмкости.

Одним из важнейших показателей состояния организма человека является работа его сердца. Частота сокращений сердца, его тахикардия и аритмия, артериальное давление крови человека характеризуют как его физическое, так и психическое состояние. Кроме того, динамика выше перечисленных характеристик сердечной деятельности служит предвестником изменения физического состояния организма.

Для оценки сердечной деятельности находят применение различные аналоговые и цифровые средства, зачастую громоздкие, энергоёмкие и с ограниченными функциональными возможностями. Кроме того, быстроедействие, репрезентативность и достоверность получаемой на выходе информации ряда устройств часто оказываются недостаточными.

Так, в практике терапевта имеют место субъективные погрешности, вносимые зашумленностью пространства мониторинга, отвлекающими разговорами и потерей внимания. В практике управления высокодинамичными эргатическими объектами с человеком-оператором в контуре управления, например летательными аппаратами, инерционность информации о состоянии человека-оператора – дорогостоящее упущение.

Решение задачи расширения функциональных возможностей средств контроля работы сердца человека, при параллельном повышении их быстрогодействия, репрезентативности и достоверности результатов контроля достигается электронными средствами. Для контроля и диагностики сердечной деятельности человека приемлем тестер терапевта, блок-схема которого приведена на рис. 5.

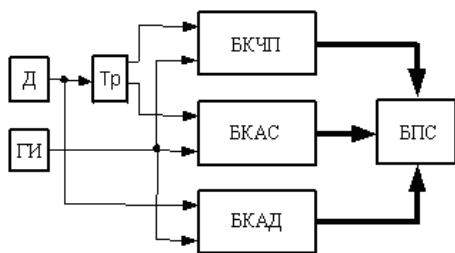


Рис. 5. Электронный тестер терапевта, блок-схема

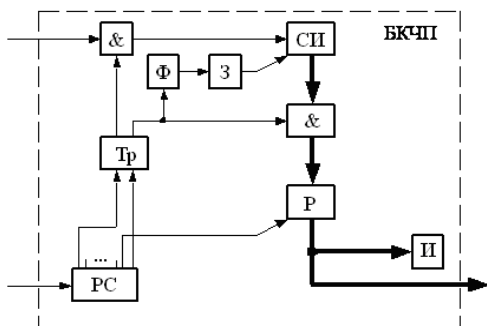


Рис. 6. БКЧП, блок-схема

БКАД (рис. 8) включает обратный преобразователь, включающий упор (магнитопровод) (У) и соленоид (С) содержащий в свою очередь, катушку, сердечник (постоянный магнит, мембрану и шток, элементы И (&), триггеры (Тр), формирователи импульсов (Ф), элементы задержки (З), счетчик импульсов (СИ), цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), регистры памяти результата контроля (измерения) (Р) и индикаторы результата контроля (И).

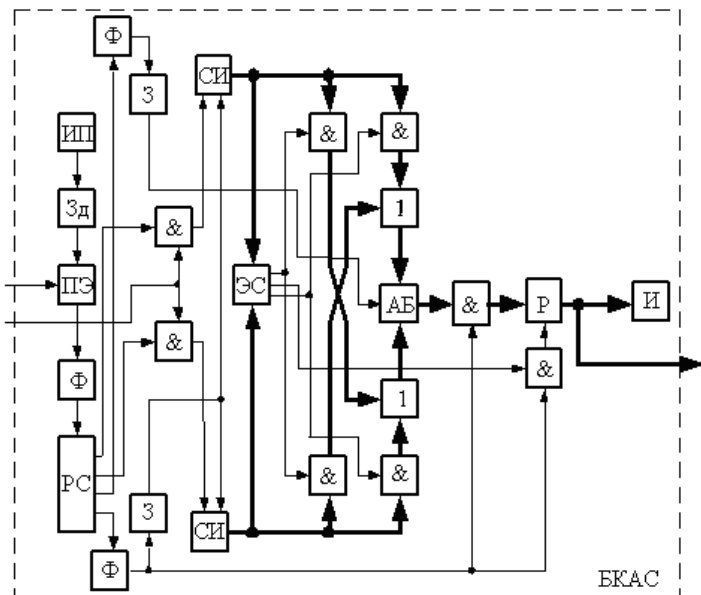


Рис. 7. БКАС, блок-схема

элементы сравнения (ЭС), элемент ИЛИ (1) и предупредительный сигнализатор (ПС), причем, датчик пульса сердца вмонтирован в шток соленоида или в упор (У) обратного преобразователя.

Тестер терапевта, поблочено, работает следующим образом.

Его БКЧП (рис. 6) содержит элементы И (&), кольцевой регистр сдвига (РС), триггер (Тр), формирователь импульсов (Ф), элемент задержки (З), счетчик импульсов (СИ), регистр памяти результата контроля (измерения) (Р) и индикатор результата контроля (измерения) (И).

БКАС (рис. 7) содержит источник постоянного потенциала (ИП), задатчик (Зд), пороговый элемент (ПЭ), формирователи импульсов (Ф), регистр сдвига (РС), элементы задержки (З), элементы И (&), счетчики импульсов (СИ), элементы ИЛИ (1), арифметический блок (АБ), регистр памяти результата контроля (измерения) (Р) и индикатор результата контроля (И).

А БПС (рис. 9) содержит задатчики допустимых значений контролируемых параметров (Зд),







В БКАД датчик Д пульса сердца, по каждому импульсу артериального давления (сокращения сердца), генерирует единственный импульс высокого потенциала, которым изменяется состояние выходов счетчика импульсов СИ дискретно во времени, с периодом  $T=1/f$ , на одну дискрету (единицу), в результате чего и состояние выхода ЦАП также изменяется, а, следовательно, и значение тока  $I_y$  в катушке соленоида 42 изменяется. За полный цикл работы счетчика СИ пилообразно, от нуля до максимума (или наоборот) изменяется и положение катушки, мембраны и штока, но тогда пилообразно изменяется и сила в осевом направлении, в сторону упора, но тогда расположенная между штоком и упором ногтевая фаланга О пальца человека подвергается механическому воздействию по пилообразному во времени закону. При изменении тока в катушке соленоида С его сила  $F$ , через шток воздействует на палец человека и создает давление на артерию  $P(t)=F(t)/S$  (здесь  $S$  – площадь механического контакта с пальцем человека), по первому импульсу с выхода датчика Д, при  $P_a=P_{ав}=P_b(t) \neq 0$  и при  $P_a=P_{ан}=P_n(t) \neq 0$  содержимое счетчика СИ  $N_{СИ} \equiv P_{ав} (\equiv P_{ан})$  фиксируется регистрами Р и отображается индикаторами И. т.о., в одном из регистров зафиксировано значение  $P_a=P_{ав} (P_a=P_{ан})$ , а в другом – значение  $P_a=P_{ан} (P_a=P_{ав})$ .

В БПС допустимые значения контролируемых параметров сравниваются с их фактическими значениями, а при выходе хотя бы одного из них предупредительный сигнализатор срабатывает, генерирует звуковой и/или оптический сигнал, информируя об этом наблюдателя.

Визуализируемая информация объективно отражает факты артериального давления крови  $P_a$ , частоты пульса  $F_{п}$ , аритмии  $\alpha$ , и выхода хотя бы одного из этих параметров за поле их допуска, т. е. при выполнении любого неравенства  $P_a < P_{ан} = P_{ан \text{ доп.}}$ ,  $P_a > P_{ав} = P_{ав}$ ,  $\alpha > \alpha_{\text{доп.}}$ ,  $F_{п} < F_{п \text{ мин доп.}}$  и/или  $F_{п} > F_{п \text{ макс доп.}}$

Для нужд летательных аппаратов обратный преобразователь с датчиком может быть выносным, вмонтирован в штурвал управления, например под левую руку. Выходы регистров блоков БКЧП, БКАС, БКАД и БПС (выход элемента ИЛИ БПС) допустимо соединить с системой технического контроля летательного аппарата или по каналу связи с диспетчером пункта управления полетами.

Тестер терапевта (тестер работы сердца человека, тонометр) обеспечивает получение предупредительной сигнализации о выходе хотя бы одного контролируемого параметра за поле его допуска, информация в регистрах Р, отображаемая индикаторами И, выражена численно, не зависит от субъективных факторов наблюдателя, генерируется в масштабе реального времени, репрезентативна и достоверна.

Достоинством тестера является и то, что артерия фаланги пережимается только периодически, чем обеспечивается возможность длительной регистрации кривых изменения аритмии сердца, его частоты и артериального (систолическо-

го и диастолического) давления, а также возможность объективно, в реальном масштабе времени, получать предупреждение о нарушении работы сердца. Последнее особенно важно в отношении высокودинамичных эргатических систем (например, самолетов, вертолетов, автотранспортных средств и др.) с человеком-оператором в контуре управления, т. к. сигнал о выходе любого из контролируемых параметров за допустимые пределы может быть использован в целях недопущения аварийных ситуаций со значительными людскими и материальными потерями.

Выходную информацию о работе сердца человека-оператора допустимо, наравне с информацией о техническом состоянии эргатической системы, фиксировать на машинных носителях или по каналу связи передавать на диспетчерский пункт управления полетами, для предупреждения нештатных ситуаций и анализа нарушений функционирования системы в целом.

Включение тестера терапевта, его использование допустимо как в выносном, так и во встроенном в СКЭНАР варианте, в цепь обратной связи СКЭНАРа, позволяет достичь максимального эффекта электростимулирования.

При отрицательной обратной связи по измеренным тестером биологическим параметрам исключаются в реальном масштабе времени перегрузки организма человека, а при положительной – повышаются быстродействие и достижимость результатов электропунктурной рефлексотерапии.

**Список литературы:** 1. Портнов Ф.Г. Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига: Зинатне, 1982. – 162 с. 2. Надточий А.И. и др. Мультиэлектродное устройство для электростимуляции. //Патент RU 2311207 A61N 1/36, бюл. № 33, 27.11.2007. 3. Скубилин М.Д. Тонометр. //Патент RU 2359609, A61B 5/022, бюл. № 18, 27.06.2008. 4. Скубилин М.Д., Бояринов А.П. Пристрій для експрес-контролю арітмії серця людини. //Патент UA 33491, A61B 5/0404, бюл. № 1, 15.02.2001. 5. Скубилин М.Д., Скубилина Н.С, Стефаненко В.К. Сфігмоманометр. //Патент UA 63568, A61B 5/022, бюл. № 1, 15.01.2004. 6. Скубилин М.Д., Скубилина Н.С, Стефаненко В.К. Сфігмоманометр. //Патент UA 63568, A61B 5/022, бюл. № 1, 15.01.2004. 7. Тараканов А.В., Черчаго А.Я. Методические рекомендации по применению аппаратно-программного рефлексодиагно-стического комплекса “Риста-ЭПД” в СКЭНАР-терапии. – Таганрог: Познание, 2005. – 66 с. 8. Электростимуляторы чрескожные ЧЭНС-«СКЭНАР», ЧЭНС-01-«СКЭНАР», ЧЭНС-02-«СКЭНАР». //Инструкция по применению. – Таганрог: ЗАО «ОКБ «РИТМ», 2007. – 53 с. 9. Skubilin M.D. Electronic tester for therapist. //Radioelectronics and Communications, № 6. – К.: radio.ntu-kpi.kiev.ua. 2008. – P. 36–42.

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Скубилин М.Д. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 37 16 89; E-mail: [favt.sau@tsure.ru](mailto:favt.sau@tsure.ru)

**Abstract:** *about transformation energy agitation the sea in electrical power and her pile up battery.*

**Key words:** *energy, agitation the sea, transformation, electrical power, battery.*

Лучистая энергия Солнца и электрическая энергия атмосферы Земли колоссальны, но пока ограничено используются для хозяйственного применения человеком. Энергия ветра, при её значительных объёмах, находит применение в быту, а энергия волн моря пока незначительно используется в технологических целях.

В Мире построено и успешно эксплуатируется значительное число речных гидроэлектростанций (ГЭС) и приливных электростанций (ПЭС) общей мощностью более 10000 ГВт. Предпринимаются, и безуспешно, попытки создания электродиализных энергоустановок. Все это вмонтированные в береговую линию сооружения. [1].

Энергообеспечение автономных необслуживаемых источников информации морского базирования, например, буйковых автоматических радиометеорологических станций, предполагает использование сменных элементов электропитания, что и трудоемко, и экономически невыгодно и экологически небезопасно.

Пьезоэлектрики находят широкое применение в качестве преобразователей неэлектрических величин в электрические. Альтернативой сменным гальваническим элементам электропитания или аккумуляторам, нуждающимся в периодической подзарядке, может стать устройство с пьезоэлектрическими преобразователями волнения поверхности моря в электрическую энергию.

Известны экологически чистые способы и устройства преобразования тепловой и других видов энергии в электрическую энергию.

Так, способ и устройство преобразования энергии гравитации, заключающиеся в перемещении масс вещества и за счет разности произведения масс на плечи рычагов вращения ротора генератора электроэнергии, обладают значительными сложностью и себестоимостью, ограниченностью срока функционирования и надежности в работе при незначительной выходной мощности.

Способ и устройство преобразования тепловой энергии окружающей среды состоит в использовании известных свойств ферромагнитных материалов, способных генерировать или поглощать электроэнергию при изменении их температуры, но их сложность технической реализации, незначительная мощность и значительная себестоимость часто оказываются неприемлемыми.

Энергетическая установка морского базирования, содержащая заякоренное плавучее средство с противовесом, в корпусе плавучего средства сквозную шахту и турбоэлектрогенератор постоянного тока, отличается значительными габаритно-весовыми характеристиками, сложностью аппаратурной реализации, высокой стоимостью и необходимостью в заякорении, что ограничивает её применение. [2].

Энергетическая установка сухопутного базирования, содержащая ротор с радиально расположенными спицами, с размещенными на них, по легкоходовой возвратно-поступательной посадке массами, нитиноловыми элементами, обладающими эффектом памяти формы и соединенными концами со ступицей и массами, и пьезоэлектрическими элементами, гальванически соединенными с концами нитиноловых элементов, способна работать только при использовании пьезоэлектрических и нитиноловых элементов с коэффициентами полезного действия, значительно (на  $2\div 3$  порядка) превышающими единицу, что существенно препятствует её реализации для практических целей.

Известно устройство преобразования энергии волн моря в электрическую энергию, содержащее плавучее, с противовесом, средство, состоящее из двух и более подвижно сопряженных элементов, способных при волнении моря совершать вращательные или возвратно-поступательные колебания друг относительно друга, и накопитель электрической энергии (НЭ), один на всё устройство. В элементах плавучего средства вмонтированы пьезоэлектрические преобразователи (ПП), преобразователи механических колебаний сопряженных элементов плавучего средства в дискретные силовые воздействия на пьезоэлектрические преобразователи, механически контактирующие с сопряженными элементами плавучего средства и одноименными пьезоэлектрическими преобразователями, и выпрямители тока (ВТ), соединенные входами с электродами одноименных пьезоэлектрических преобразователей, а выходами с

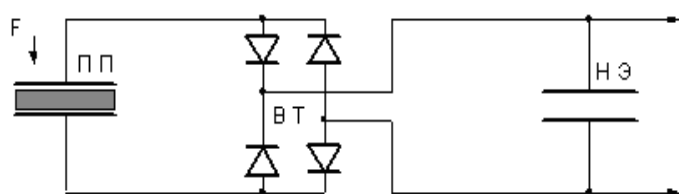


Рис. 1. Преобразователь энергии (схема электрическая)

накопителем электрической энергии (рис. 1 и рис. 2). [3, 4].

Эпюры сил, э. д. с., токов и мощности приведены на рис. 3

В этом устройстве, при волнении поверхности моря, элементы плавучего средства совершают колебания друг относительно друга, которые преобразуются в дискретные силовые воздействия  $F(t)$  на пьезоэлектрические преобразователи, по каждому воздействию  $F(t)$  генерируется электродвижущая сила  $E(t)$ , на выходе выпрямителя протекает ток  $I(t)$ , а в накопителе накапливается электро-

энергия  $W(t)$ . Накопленная в накопителе электроэнергия постоянного тока приемлема для использования потребителями.

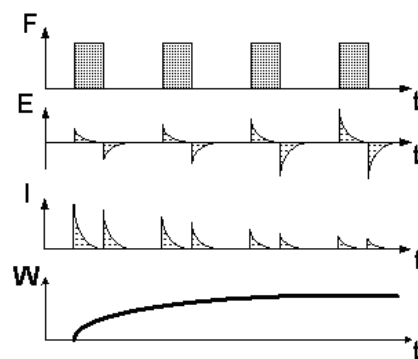
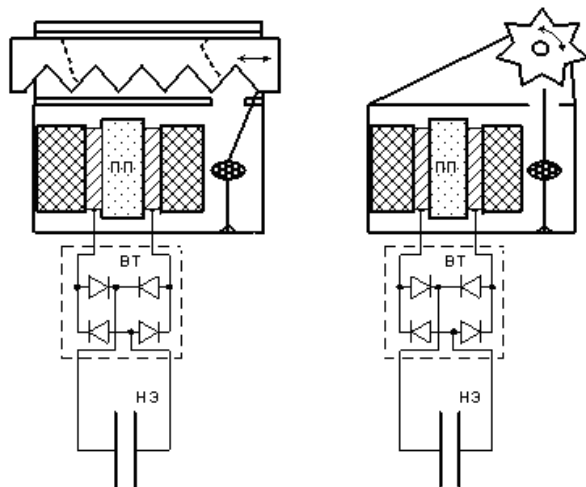


Рис. 2. Преобразователь энергии (конструкция)

Рис. 3. Эпюры сил, э. д. с., токов и мощности

Будучи установленным на необслуживаемом объекте морского базирования, устройство, даже при коэффициенте полезного действия пьезоэлектрических преобразователей в пределах 0,10–0,20, за счет последовательно во времени генерируемых импульсов тока накапливает электрическую энергию, достаточную для информирования потребителя, например буйковой автоматической радиометеорологической станции для передачи информации о метеорологическом и/или сейсмическом состоянии района её пребывания, об опасности района плавания в точке установке буя, или о динамике перемещении плавучего автономного научно-исследовательского объекта (о координатах пребывания, направлении и скорости, перемещения).

Преимущества использования предлагаемых способа и устройства преобразования энергии волн моря в электрическую энергию состоят в том, что они работоспособны в автономном режиме неограниченно долго по времени суток и года, просты по применению, реализуемы на современной элементной базе в произвольных условиях их производства, надежны и долговечны в эксплуатации, не нуждаются в обслуживании до физического износа, обладают экологической чистотой, имеют пониженную себестоимость.

Их недостатки – ограниченность коэффициента преобразования энергии, что объяснимо низким коэффициентом преобразования пьезоэлектрических преобразователей, и конструктивная сложность.

Значительно более высоким коэффициентом полезного действия (КПД) обладает индукционный преобразователь механической энергии в электрическую.

Величина электродвижущей силы (ЭДС) индукции  $\xi$ , генерируемой индукционным преобразователем механической энергии в электрическую зависит от магнит-

ной индукции  $B$  его постоянного магнита, индуктивности его катушки и скорости  $\xi$  изменения магнитного потока  $\Phi$  через площадь  $S$ , ограниченную витком катушки.

Но  $\xi = -\Delta\Phi/\Delta t$ , где  $\Phi = BS \cos \alpha$ , здесь  $\alpha$  – угол наклона магнитного поля к поверхности витка катушки; а  $L = 4k\mu SN^2/l$ , где  $\mu$  – магнитная проницаемость,  $N$  – число витков катушки индуктивности,  $l$  – длина намотки катушки, а  $k = f(l/d)$  – коэффициент, зависящий от отношения длины  $l$  намотки к диаметру  $d$  катушки. Реально КПД индукционного преобразователя в 3÷4 раза выше, чем КПД пьезоэлектрического преобразователя. [5].

Повышение коэффициента полезного действия и надежности в работе, а так же упрощение конструкции, преобразователя энергии волн моря в электроэнергию при одновременном повышении долговечности и надежности в работе достижимо при преобразовании колебаний волн моря в колебания постоянного магнита в пространстве катушки индуктивности, генерировании ЭДС индукции.

Ниже предлагаемая вниманию «установка конверсии волн моря в электроэнергию» относится к энергетике, а, в частности, к преобразователям энергии волнения моря в электрическую энергию, и может найти применение для электропитания слаботочных нагрузок, функционирующих в автономном режиме, в т. ч. буйковых автоматических радиометеорологических станций.

Конструкция преобразователя энергии волн моря в электроэнергию приведена на рис. 4, схема электрическая принципиальная – на рис. 5.

Преобразователь энергии волн моря в электроэнергию содержит плавучее средство, на котором закреплен герметичный корпус, в котором расположены (рис. 4) шарнир 1, маятник 2, подвешенный на шарнире 1, с постоянными магнитами 3 на концах коромысла, катушки 4 индуктивности, расположенные соосно по ходу магнитов 3, и ограничители 5 хода маятника 2. Катушки индуктивности 4 соединены (рис. 5) последовательно со входами выпрямителя 6, выход которого соединен со входами накопителя электроэнергии 7.

«Преобразователь энергии волн моря в электроэнергию» работает следующим образом.

При волнении поверхности моря плавучее средство совершает колебания относительно горизонтальной плоскости. При этом корпус преобразователя также изменяет угол наклона к горизонту, а маятник 2, отклоняясь от вертикали, перемещает магниты 3 в катушках 4. Возвратно-поступательные движения магнитов 3 в катушках 4 наводят импульсы переменной электродвижущей силы, амплитуда которых пропорциональна намагниченности магнитов 3, скорости их перемещения в катушках и числу витков катушек 4. ЭДС с выхода катушек 4 переменного напряжения преобразуются выпрямителем 6 в однополярные импульсы электроэнергии, которая накапливается в накопителе 7. С выходов накопителя 7 электроэнергия поступает на входы потребителя.

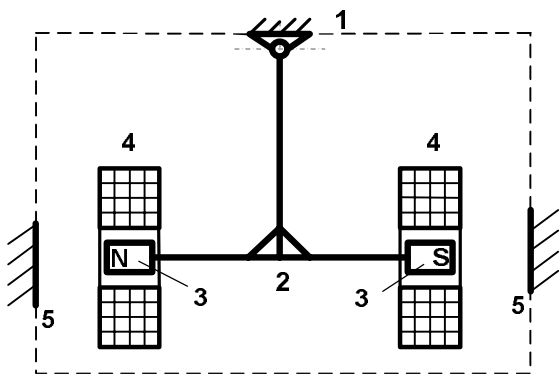


Рис. 4. Преобразователь энергии волн моря в ЭДС (конструкция)

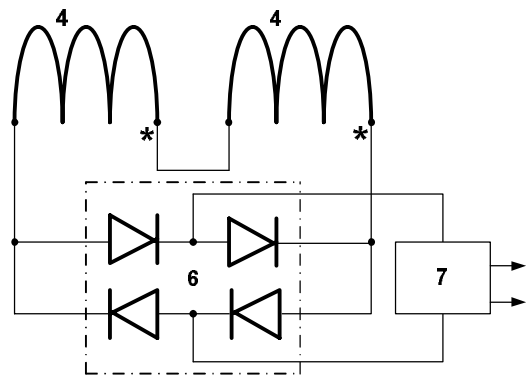


Рис. 5. Преобразователь энергии волн моря в ЭДС (схема электрическая)

«Преобразователь энергии волн моря в электроэнергию» применим в научно-исследовательских, технологических и бытовых целях. При эксплуатации на объекте морского базирования, он, за счет последовательно во времени генерируемых импульсов тока накапливает электрическую энергию, достаточную для информирования потребителя, например, метеорологической информацией о метеорологическом состоянии района пребывания буйковой навигационной или автоматической метеорологической станции, об опасности района плавания в точке установки буя, или о перемещении плавучего автономного научно-исследовательского объекта (о координатах пребывания, динамике, направлении и скорости перемещения его носителя).

Преимущества использования предлагаемого преобразователя энергии волн моря в электроэнергию состоят в том, что он работоспособен в автономном режиме неограниченно по времени суток и года, прост по применению, реализуем на современной элементной базе в произвольных условиях их производства, надежен и долговечен в эксплуатации, не нуждается в обслуживании до физического износа, обладает невысокой себестоимостью и повышенным коэффициентом полезного действия.

Следует отметить и возможность повышения мощности такого рода энергоустановок, например, для нужд прибрежных населенных пунктов.

**Список литературы:** 1. Бернштейн Л.Б. Нужно ли строить приливные электростанции? //Человек, море, техника. – Л.: Судостроение, 1988. – Вып. 5. – С. 108–122. 2. Маринин В.А. Энергетическая установка морского базирования. //Патент RU 2225530, F03B 13/16, бюл. № 7, 2004. 3. Скубилин М.Д., Спиридонов О.Б., Финаев В.И. Установка конверсии волнения моря в электроэнергию. //Патент RU 90849, F03B 13/14, бюл. № 2, 2010. 4. Авраменко П.А., Письменов А.В., Скубилин М.Д. Автоматическая энергоустановка морского базирования. //Патент BY 6285, G01J 5/58, 2004. 5. Кошкин Н.И., Шишкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1974. – 256 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СБОРА И  
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ДАТЧИКОВ В  
ПОЛИМОДУЛЬНЫХ 4Х-ЯРУСНЫХ СИСТЕМАХ С  
ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РЕШЕНИЕМ ЗАДАЧ**

**Удод Е.В.** (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел./Факс: 8(8634)328052; E-mail: [kafmps@ttpark.ru](mailto:kafmps@ttpark.ru)

**Abstract:** *In given article results of modelling and the analysis advantage parallel problem solving collection and information processing from sensors in polymodular many-tier systems in comparison with consecutive solutions, and as research of the contribution brought in it expenses for information processing for circles and its transmission between circles are presented.*

**Key words:** *modelling, systems, information collection, parallel*

В современных системах сбора и обработки информации с датчиков (СОИД) зачастую требуется сложная математическая обработка информации, а их компоненты, как правило, разнесены на значительные расстояния. В таких системах СОИД, выполненных в виде модулей, обрабатывающих данные, и объединяющихся в ветви, построенных на базе сетей, осуществляется параллельный СОИД с нескольких датчиков. Такая физическая организация этих систем позволяет называть их полимодульными многоярусными системами с параллельным решением задач. При построении таких систем, требуется проведение оценки времени затрачиваемого на съём, обработку и передачу информации.

Целью данной работы является исследования с применением моделирования преимущества параллельного решения задач СОИД в полимодульных многоярусных системах по сравнению с последовательными решениями.

В качестве базы для моделирования использовалась полимодульная 4х-ярусная система с параллельным решением  $G=D/n$  групп задач на ярусах 1, 2, 3 [1]. Структура модели приведена на рис. 1.

Моделирование будем проводить с применением пакета Simulink, входящим в состав системы MATLAB.

В модели на ярусе 1 для каждой ветви будут заданы: число датчиков  $n_k$  (где  $k$  – номер ветви), флаг установки последовательного или параллельного сбора информации с датчиков ( $F_{codk}$ ), время съёма информации с каждого датчика ( $T_{Zlnk}$ ). Для каждой ветви будет задано время передачи информации для одного датчика с яруса 1 на ярус 2 ( $T_{lk}$ ).



На каждом ярусе 2 будут заданы: число операций первичной цифровой обработки сигналов для каждого сигнала (с учётом допустимости различного набора первичных цифровых операций для каждого датчика) ( $N_{n2k}$ ), время каждой операции на втором ярусе каждого датчика ( $T_{Z2nk}$ ). Для каждой ветви будет задано время передачи информации для одного датчика с яруса 2 на ярус 3 ( $T_{2k}$ ).

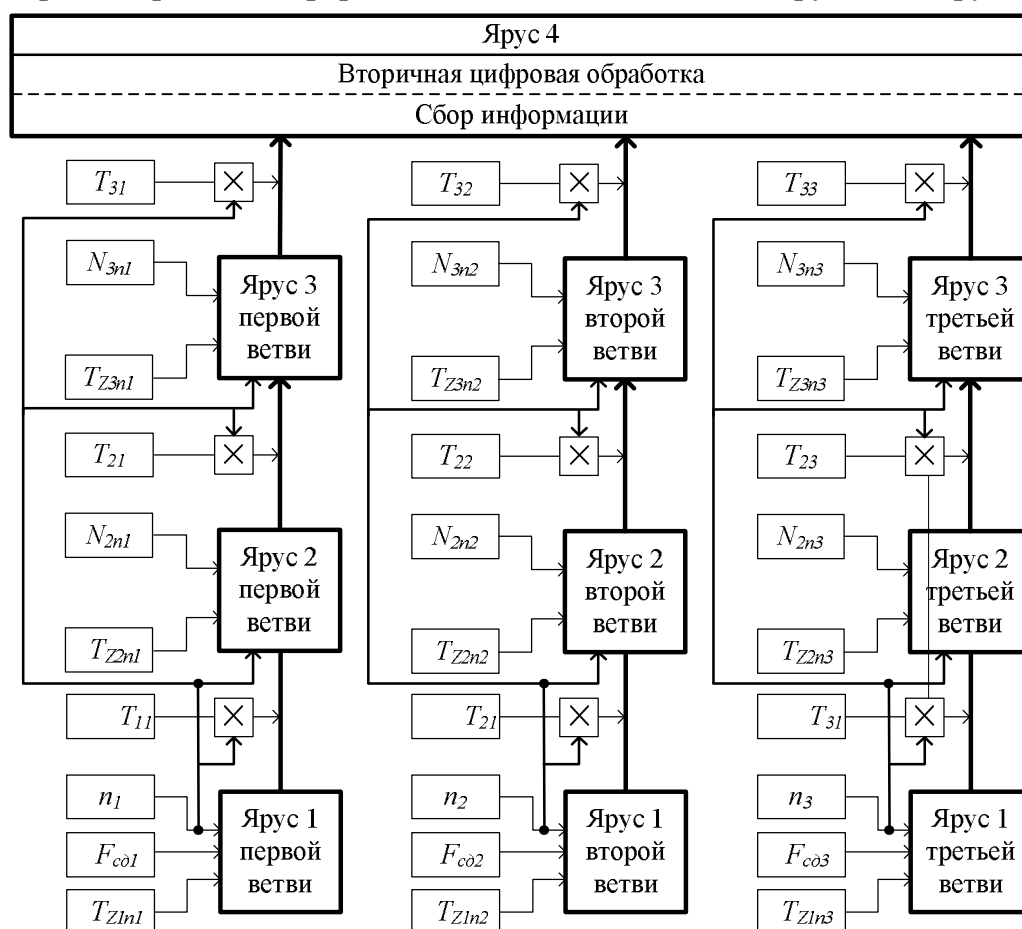


Рис. 1. Структура модели параллельно-последовательной системы с параллельным решением  $G=D/n$  групп задач на ярусах 1, 2, 3

Для каждого яруса 3 в разработанной модели заданы: число операций первого уровня вторичной цифровой обработки для каждого сигнала с датчика (с учётом возможности разного количества операций первого уровня вторичной цифровой обработки) ( $N_{n3k}$ ), длительность первого уровня вторичной цифровой обработки для каждого датчика ( $T_{Z3nk}$ ). Так же для каждой ветви будет задано время передачи информации для одного датчика с яруса 3 на ярус 4 ( $T_{3k}$ ).

Для оценки времени СОИД на первом ярусе необходимо:

1. При последовательном СОИД (рис. 2а) время съёма и обработки информации на первом ярусе вычисляется по формуле:

$$T_{Z1\Sigma k} = \sum_{L=1}^{n_k} T_{Z1nk}.$$

2. При параллельном СОИД (рис. 2б) время съёма и обработки информации на первом ярусе можно оценить как:

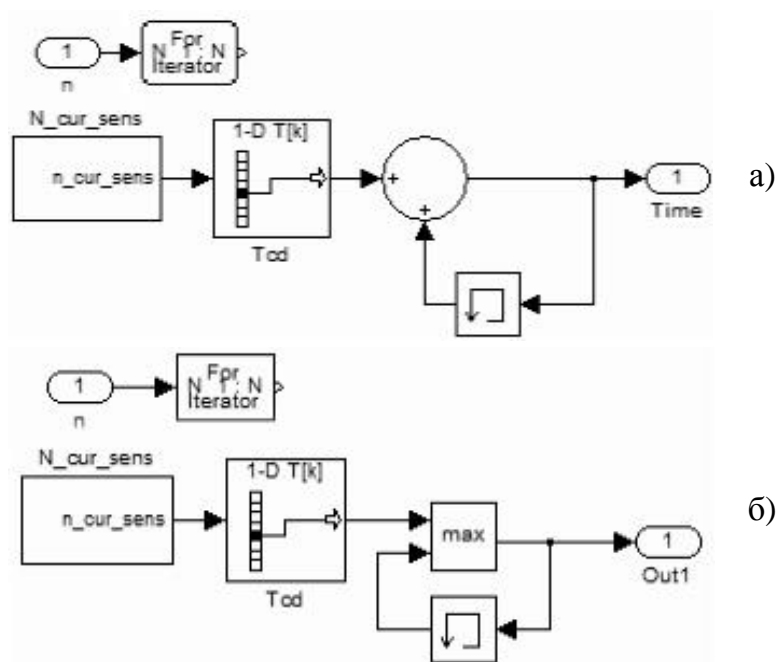


Рис. 2. Оценка времени съёма информации на первом ярусе при последовательной (а) и параллельной (б) обработке

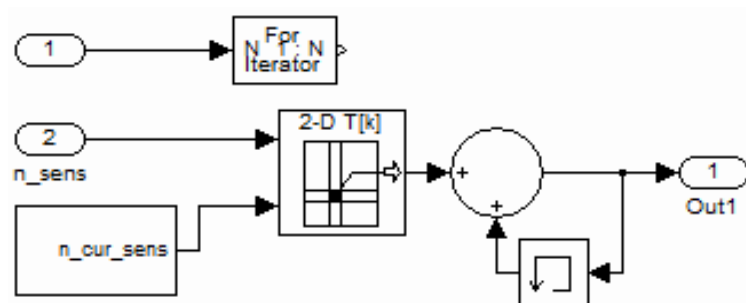


Рис. 3. Оценка времени обработки данных с каждого датчика

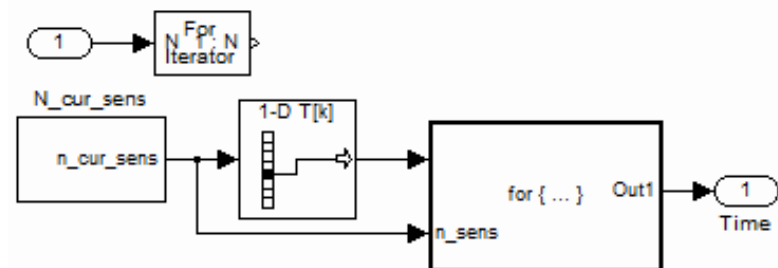


Рис. 4. Оценка времени обработки информации на втором ярусе

$$T_{\Sigma 1k} = \max(T_{1nk}).$$

Время передачи данных с яруса 1 ярус 2 ( $T_{\Sigma 1k}$ ), если для каждого датчика передаётся одинаковый объём информации), можно оценить:

$$T_{\Sigma 1k} = n_k T_{1k}.$$

Оценка времени обработки информации на втором ярусе каждой ветви осуществляется следующим образом:

1. Оценивается время обработки информации с каждого датчика на втором ярусе (рис. 3) по формуле:

$$T_{Z2\Sigma nk} = \sum_{L=1}^{N_{n2k}} T_{Z2nk}.$$

2. Суммируется время обработки информации с каждого датчика.

$$T_{Z2\Sigma k} = \sum_{L=1}^{n_k} T_{Z2\Sigma nk}.$$

Приведём на рис. 4 реализацию данного блока в Simulink.

Для учёта времени передачи информации со второго яруса на третий ( $T_{\Sigma 2k}$ ) зададим  $T_{2k}$  кратным  $T_{1k}$  ( $T_{2k} = M_2 T_{1k}$ ). Следовательно:

$$T_{\Sigma 2k} = n_k T_{2k} = n_k M_2 T_{1k}.$$

Оценки времени обработки данных на третьем ярусе каждой ветви осуществляется аналогично оценки времени обработки на втором ярусе. Время передачи информации с третьего яруса на четвёртый оценим как:

$$T_{\Sigma 3k} = n_k T_{3k} = n_k M_3 T_{3k}.$$

Сравним время решения задачи СОИД при использовании 4х-ярусной системы с последовательным решением задач со временем решения аналогичной задачи 4х-ярусной системы с параллельным решением задач. Исследование будем проводить при различных отношениях времени, затраченного на передачу информации между модулями ко времени, затраченному на съём и обработку информации ( $T_{\Sigma k}/T_{Z\Sigma k}$ ). Результаты сравнения приведём на рис. 5.

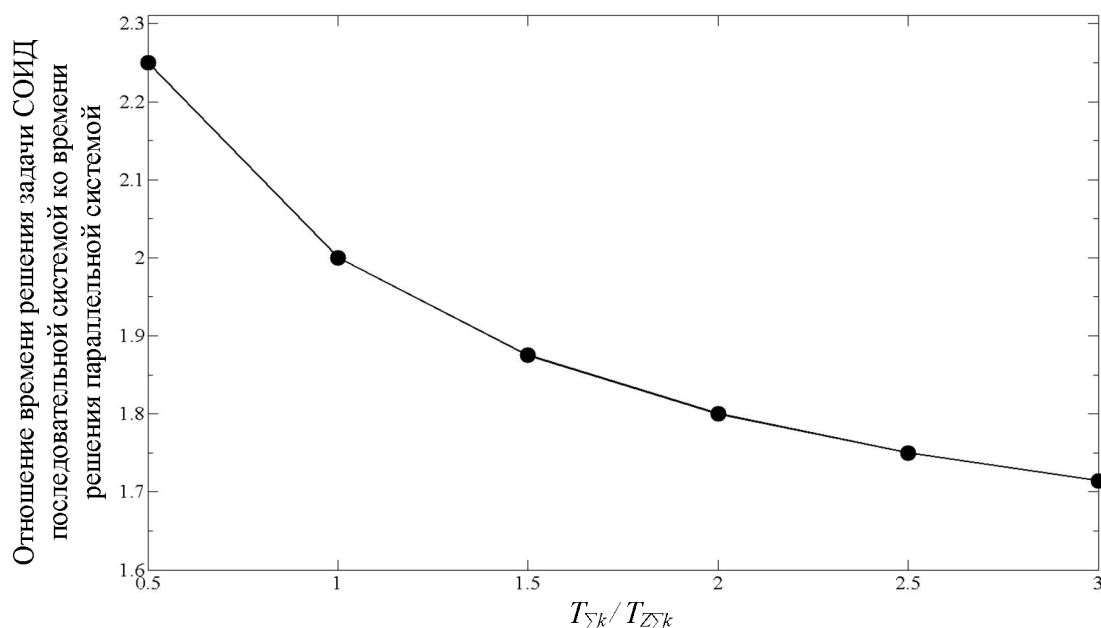


Рис. 5. Сравнение длительности обработки информации в параллельной и последовательной системе

Из рис. 5 можно сделать вывод, что использование трех ветвей при параллельном решении задачи СОИД позволяет снизить время решения задачи более чем в 2 раза, если затраты времени на сетевой обмен не превышают 50% от временных затрат на решение задачи СОИД. В противном же случае применение параллельного решения задач СОИД в трёх ветвях обеспечивает снижение времени решения задач примерно в 1,5 раза.

**Список литературы: 1.** Пьявченко О.Н Конфигурации сетевых полимодульных информационных микрокомпьютерных систем. // Материалы международной научно-технической конференции «Перспективы развития навигационных систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo» – Донецк: ДонНТУ, 2010. – С.113–117.

## СЕКЦИЯ №4

### Современные проблемы техносферы. Автоматизация, технология и качество в производственных процессах.

УДК 502; 001.891.573

#### ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

Артемьев А.С., Долженкова В.В., Звягинцева А.В. (Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)

E-mail: [zvygincevaav@mail.ru](mailto:zvygincevaav@mail.ru)

**Abstract:** *Modelling of process of conduction of pollutants of industrial exhausts in atmosphere of a city on the basis of a geographical information technology is shown.*

**Key words:** *Environment, industrial exhausts, hydrometro-logical factors, geographical information systems.*

Главной целью эколого-геохимического мониторинга является оценка состояния окружающей среды и контроль над ее изменениями под воздействием техногенных факторов, прогнозирование этих изменений на базе регулярных наблюдений для обоснования мероприятий по оздоровлению экологической ситуации в городе. Геохимические исследования позволяют определить и отобразить на картах пространственное распределение содержания химических элементов и их соединений в природных средах, депонирующих загрязняющие вещества. Регулярное проведение экологических наблюдений позволяет при минимальных затратах получать оперативную и, в то же время, объективную информацию о современном уровне загрязнения основных компонентов окружающей среды, выявлять источники поступления токсикантов в урболандшафты, ранжировать их по степени опасности для жизни и здоровья населения. Важнейшей составляющей этой работы является разработка рекомендаций по снижению негативного эффекта техногенного загрязнения для сохранения темпов устойчивого развития города. Уникальным средством представления информации о состоянии окружающей среды становятся экологические карты – как на бумажных носителях, так и в электронном виде [1]. Целью представляемой работы является исследование метеорологических условий загрязнения атмосферы

ры, а также разработка электронных карт, с помощью которых можно определить ожидаемую концентрацию исследуемых канцерогенов. Объектом исследования выбран город Воронеж.

Моделирование оценки загрязнения атмосферы города промышленными выбросами предлагается проводить на основе географической информационной системы ArcGIS 9.3 с помощью модулей Spatial Analyst и Geostatistical Analyst [2].

Расчет и анализ распространения загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере рекомендуется проводить с учетом параметров источников выбросов и метеорологической обстановки, обработки данных о качестве атмосферы с использованием информации со стационарных постов контроля с возможностью краткосрочного прогноза загрязнения (рис. 1). Для проведения расчетов используется следующая входная информация:

данные об источниках выбросов (наименование и тип, высота, диаметр устья, скорость выхода и температура газовой воздушной смеси, координаты источника на местности и т.д.) и выбрасываемых ими веществах;

сведения о постах контроля атмосферы, измеренных на них концентрациях загрязняющих веществ и метеорологических параметрах.



Рис. 1. Окно перекрестной проверки данных загрязнения атмосферы

в соответствии с тремя способом задания метеопараметров (скорости и направления ветра, температуры окружающего воздуха): по точным (произвольным) значениям метеопараметров, по интервалам изменения параметров ветра и по значениям метеопараметров, измеренным на стационарных постах или метеостанции.

Информация о метеорологических параметрах и концентрациях загрязняющих веществ в атмосфере оперативно поступает в систему по каналам связи из Центра по гидрометеорологии и мониторингу (ЦГМС).

Расчет концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при выбросе от промышленных предприятий города можно проводить в соответствии

Расчет по третьему варианту, то есть с использованием фактической метеорологической ситуации, проводится по значениям метеопараметров на выбранную дату. По умолчанию в расчете используются метеопараметры с метеостанции, которая является наиболее репрезентативным местом измерения для всей территории города. Измерения на метеостанции проводятся на высоте флюгера (около 12 метров), а на постах ЦГМС – на высоте 2 м над уровнем земли [2]. Поэтому данные с метеостанции наиболее репрезентативны для расчетов рассеивания, в то время как на измерения на постах оказывает влияние прилегающая городская застройка и локальная турбулентность (местный ветер).

Для расчетов могут использоваться данные о количестве выбросов любых загрязняющих веществ (например, CO, N<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, пыль), зафиксированных системами непрерывного контроля и учета выбросов. При этом информация, поступающая на вход системы, предварительно собирается от газоанализаторов и расходомеров и обрабатывается в системе производственных агрегатов в ходе технологического процесса на соответствующую дату. В случае отсутствия нужной информации на анализируемую дату расчет выбросов проводится по значениям соответствующих ПДВ на основе исходной инвентаризации в базе данных.

Основой модели расчета приземных концентраций является уточненная модель переноса загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах предприятий, позволяющая учитывать текущие метеорологические параметры, влияющие на рассеивание вредных веществ в атмосфере.

$$Y_2(p) = \left( \frac{Q}{y_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot v_v \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}} - K_p \cdot r \right) \cdot \frac{1}{1 + Tp} \cdot e^{-p \left( \frac{r}{v_v} \right)} \cdot Y_1(p)$$

где  $Y_2(p)$  – изображение функции концентрации ЗВ в точке измерения;  $T$  – постоянная времени инерционных процессов переноса ЗВ;  $Y_1(p)$  – изображение функции концентрации ЗВ у источника;  $r$  – расстояние от источника ЗВ до точки измерения,  $v_v$  – средняя скорость ветра на высоте факела ( $H$ );  $Q$  – мощность непрерывного источника, средняя концентрация ЗВ у источника;  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  – значения коэффициентов горизонтальной и вертикальной диффузии соответственно;  $K_p$  – коэффициент поглощения ЗВ окружающей средой.

В данной модели имеется возможность учета эффектов самоочищения атмосферы и вымывания примесей осадками. Атмосфера, как и вся природная среда в целом, обладает способностями накапливать примеси, а также способностью к самоочищению. Вредные вещества, поступающие в атмосферу от антропогенных источников, оседают на поверхности домов, растений, почвы, вымы-

ваются атмосферными осадками или переносятся на значительные расстояния от места выброса. Все эти процессы происходят с помощью ветра и зависят от температуры воздуха, солнечной радиации, атмосферных осадков и других метеорологических факторов. Осадки приводят к значительному очищению атмосферы. При этом большую роль играет интенсивность осадков. Анализ результатов наблюдений показал, что повышение концентрации пыли и сернистого газа редко наблюдаются после дождя, а удаление их из атмосферы в большой степени зависит от интенсивности и количества выпавших осадков. Отсюда следует, что при изучении условий формирования среднего уровня загрязнения воздуха, надо учитывать интенсивность и количество осадков, выпадающих в виде дождя. Проведение расчетов с учетом данных эффектов дает более тесную сходимость результатов с измеренными концентрациями на постах контроля атмосферы по сравнению со стандартной методикой ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [3].

При работе в географической информационной системе доступны свойства всех объектов карты (источников, постов и расчетных точек). Кроме того, система предоставляет возможность рассчитать вклады источников выбросов в расчетную концентрацию в любой точке местности. Расчетная концентрация от выбранных источников может быть сопоставлена с измеренной концентрацией на постах ЦГМС и, в результате, определена разница и процент вклада источников в месте расположения постов.

Для выявления аэросиноптических условий, способствующих накоплению в атмосфере примесей, а также приводящих к самоочищению атмосферы, использовались следующие источники: приземные карты погоды; карты барической топографии; данные о загрязнении атмосферы; дневники погоды. Приземное содержание примесей практически по всей территории города чаще всего характеризуется четырьмя элементами: пыль, оксид углерода (CO), диоксид серы (SO<sub>2</sub>), диоксид азота (NO<sub>2</sub>) и их суммарное содержание. В работе использовались данные пяти пунктов наземных наблюдений за загрязнением воздуха в Воронеже, характеризующие содержание в приземном слое примесей практически по всей территории города по следующим элементам: PL (пыли), CO (оксиду углерода), SO<sub>2</sub> (диоксиду серы), NO<sub>2</sub> (диоксиду азота), NO (оксиду азота), HCHO (формальдегиду), C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH (фенолу), NH<sub>3</sub> (аммиаку), Szh (саже) и их суммарному содержанию. Для расчетов использовались только четыре элемента: PL, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, имеющих наибольшие концентрации в атмосфере. Данные о загрязнении собраны за 2002 – 2004 г.г. в сроки 7, 13, 19 часов [4].



На рис.2 приведен пример модели возможного загрязнения атмосферы на территории города Воронежа. Построение распределения загрязнений (с анализом средних концентраций и превышений по каждому направлению ветра) за любой период времени по данным каждого поста контроля атмосферы позволяет оценить, факел, какого промышленного предприятия оказывает наибольшее влияние на загрязнение атмосферы в районе расположения поста. Расчет коэффициентов, характеризующих качество атмосферного воздуха по данным за любой период времени одного либо всех постов контроля атмосферы, по одному либо всем веществам, позволяет оценить качество атмосферного воздуха в районе города, прилегающем к конкретному посту, либо по всей территории города.

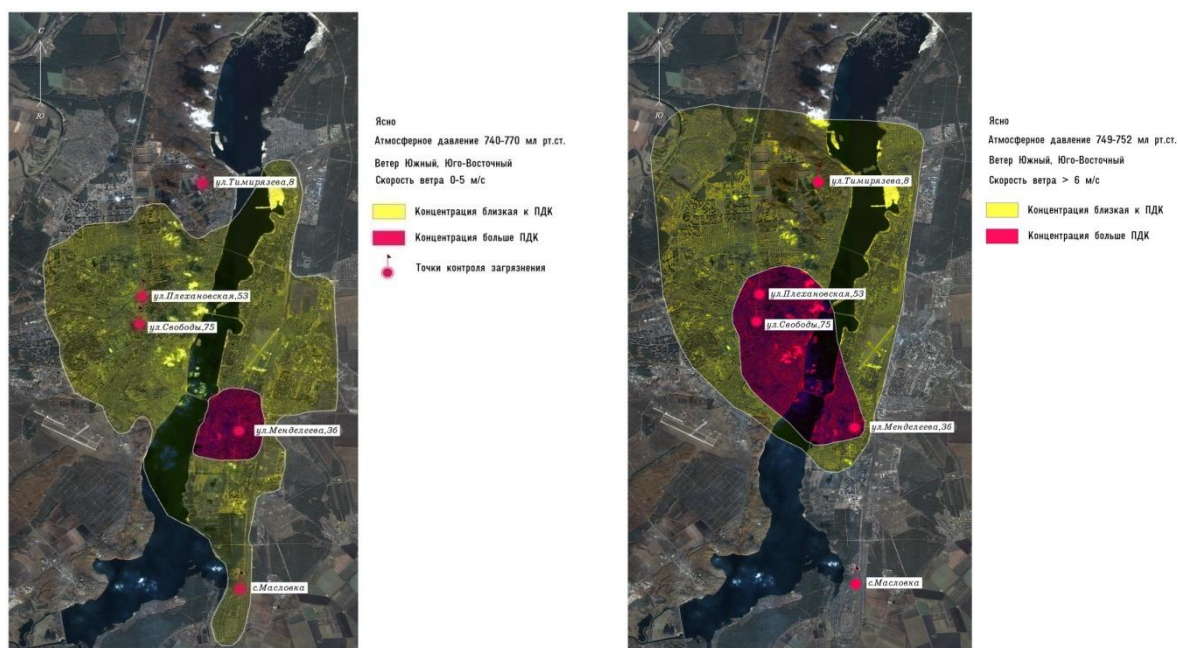


Рис.2. Модель распространения примесей в атмосфере

**Список литературы:** 1. Приваленко В.В., Домбровский Ю.А., Остроухова В.М и др. Эколого-геохимические исследования городов Нижнего Дона. Ростов н/Д, 1994. 268 с. 2. Корчагин Д.В. Моделирование распространения примесей от выбросов промышленных предприятий и автотранспорта в атмосфере г. Липецка / ArcReview №4 (31). – М.: ООО «Дата+», 2004. – С. 5. 3. Руководство по прогнозам загрязнения воздуха. – Л.: ГМИ, 1993 г. – 104 с. 4. В.В. Долженкова, А.В. Звягинцева. Прогнозирование влияния промышленных выбросов объектов техносферы на загрязнение окружающей среды /Материалы одиннадцатого международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». Таганрог: Изд-воТТИ ЮФУ. Кн.3. 2010, №10. с.125 – 130.



## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛАСТИЧНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН В МАТРИЦЕ

Байков А.В., Михайлов А.Н., Грубка Р.М., Билищук К.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел. +38(062)3010805; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** Conformities to law of moving of abrasive grains are got in the polymeric matrix of diamond-impregnated at power influence on them

**Key words:** the grinding tool, abrasive grain, displacement.

Определение характеристик рабочей поверхности эластичного шлифовального инструмента в зоне контакта с обрабатываемым материалом основано на определении характеристик РПК в статике и их деформации в процессе контакта с обрабатываемым материалом.

Шлифовальные инструменты на эластичных связках характеризуются способностью абразивных зерен погружаться в связку под действием сил, действующих на них со стороны обрабатываемого материала. Поскольку решение данной задачи аналитически связано с определенными трудностями, целесообразно для получения результата применить один из численных методов решения – метод конечных элементов.

Данная задача решалась численным методом с использованием программного комплекса Solid Works, предназначенного для расчета напряжений и деформаций при статическом приложении внешних нагрузок. Программный комплекс Solid Works предусматривает возможность расчета конструкций из разных материалов

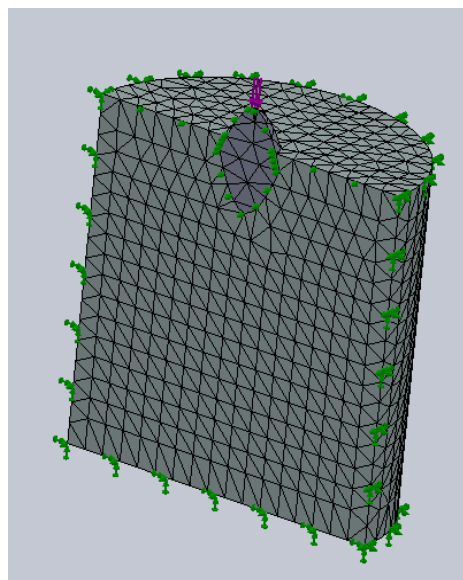


Рис. 1. Конечно-элементная модель фрагмента шлифовального круга

для отдельных частей, что необходимо для рассмотрения напряженно - деформированного состояния системы «абразивное зерно - связка».

Расчеты проводились для алмазных зерен, размеры которых соответствуют зернистости 100/80, 63/50 и 40/28, геометрия контура которых и размеры определены из условия обеспечения наиболее полного соответствия между габаритными размерами и объемом реального зерна. Фрагмент связки, сопрягаемый с зерном, представлен цилиндром, габариты которого определяются объемом связки, приходящимся на одно активное, т.е. принимающее участие в процессе резания, зерно [1, 2]. Накладываемое на связку ограничение – грани в зафиксированном состоянии (рис 1).

Задача определения напряженно-деформированного состояния связки шлифовального инструмента решалась для ряда значений нормальных усилий на зерне, изменяющихся от  $P=0,005$  Н до  $P=0,2$  Н. Данный интервал включает усилия, действующие на алмазное зерно на операциях тонкого шлифования и предварительного полирования природного камня [3, 4].

При решении задачи рассматривались варианты упругой матрицы с различными физико-механическими свойствами: модулем упругости  $E$  и коэффициентом Пуассона  $\nu$ . Рассматриваемые значения  $E$  и  $\nu$  соответствуют реальным величинам для связок на основе композиции эпоксидной диановой смолы ЭД-20 и кремнийорганического каучука КЛС-55 при различном соотношении компонентов. При этом модуль упругости композиции принимал значение от  $E=1000$  МПа до  $E=3500$  МПа, соответственно коэффициент Пуассона от  $\nu=0,43$  до  $\nu=0,34$ .

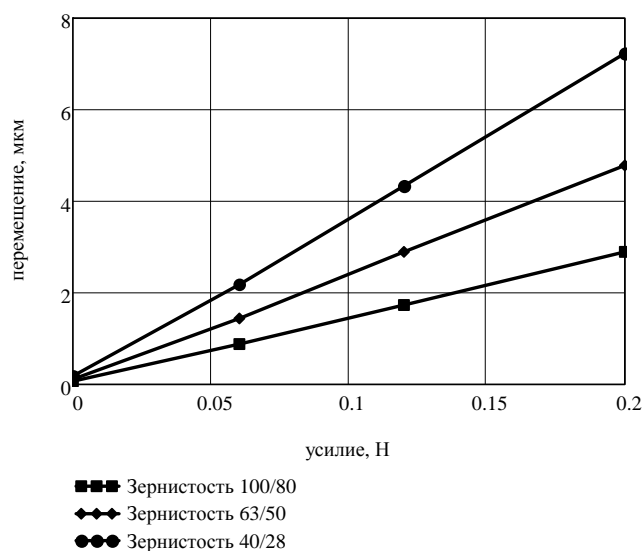


Рис. 2. Перемещение вершины зерна в зависимости от приложенного усилия

Графическое изображение зависимости перемещения алмазного зерна от нормальной силы приведено на рис. 2.

Коэффициент пропорциональности между величиной перемещения и силой определяется физико-механическими свойствами связки, в частности модулем упругости. С увеличением модуля упругости угол наклона прямой с осью абсцисс уменьшается.

Если ввести показатель обобщенной податливости связки  $K$ , определив его как отношение величины погружения зерна в связку  $\Delta Y$  к нормальной силе  $F$ , то можно утверждать, что величина податливости связки является функцией

Кроме этого варьировалась величина заглубления зерна в связку от  $h_z=0,65l$  до  $h_z=0,95l$ , где  $l$  – габаритная длина модели зерна. Величину заглубления (заделки) выражали в более принятом относительном виде:  $\varepsilon=h_z/l$ .

В результате решения задачи установлено, что зависимость величины погружения алмазного зерна в связку от нормальной силы носит линейный характер для полимеров всех исследуемых характеристик и для различной глубины заделки зерна. Графиче-

от модуля упругости материала.

С увеличением глубины заделки значение обобщенной податливости связки уменьшается, причем более интенсивно для связок с большим модулем упругости (рис. 3) Уменьшение значения податливости происходит не линейно: более интенсивно при большей величине заглубления зерна. Это обусловлено деформацией больших объемов связки и наличием растягивающих напряжений в поверхностных слоях связки.

С увеличением модуля упругости связки величина перемещения вершины алмазного зерна в связке уменьшается, причем уменьшение идет по гиперболической зависимости (рис. 4).

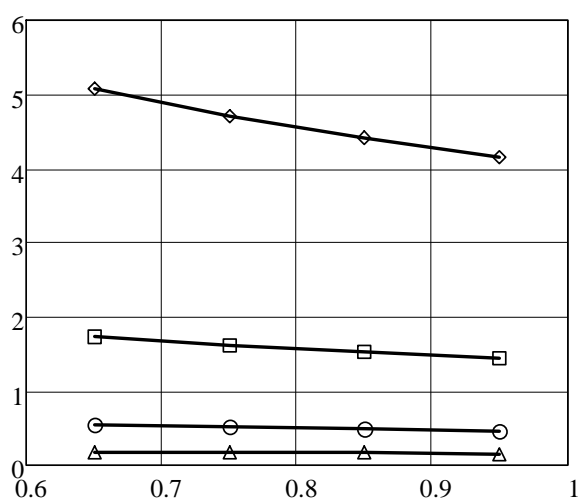


Рис.3. Перемещение вершины зерна в зависимости от глубины заделки:  $\diamond$  -  $E = 100$  МПа,  $\square$  -  $E = 300$  МПа,  $\circ$  -  $E = 1000$  МПа,  $\Delta$  -  $E = 3500$  МПа

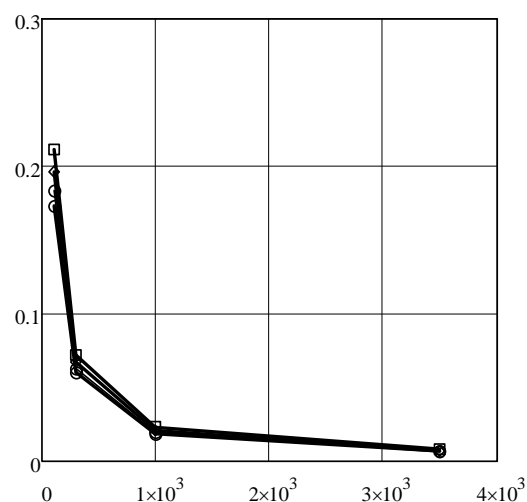


Рис.4. Перемещение вершины алмазного зерна в зависимости от упругости связки:  $\diamond$  -  $\epsilon = 0,65$ ,  $\square$  -  $\epsilon = 0,75$ ,  $\circ$  -  $\epsilon = 0,85$ ,  $\Delta$  -  $\epsilon = 0,95$

Таким образом, информация о закономерности поведения вершины алмазного зерна в контакте с обрабатываемым материалом дает возможность прогнозировать показатели производительности обработки и качества получаемой поверхности при обработке эластичным шлифовальным инструментом.

**Список литературы:** 1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник /Под. ред. А.Н.Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с. 2. Ардамацкий А.Л. Алмазная обработка оптических деталей. – Л.: Машиностроение. 1978. – 232 с. 3. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. – М.: Стройиздат, 1985. – 312 с. 4. Добыча и обработка природного камня: справочник./ А.Г. Смирнов, Н.Т. Бакка, И.С. Биржиские и др. М.: Недра. 1990. – 445 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА РИСКА ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ

Барковская Д.В., Звягинцева А.В. (Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)

E-mail: [zvygincevaav@mail.ru](mailto:zvygincevaav@mail.ru)

**Abstract:** *The estimation of possible consequences in case of failure on a long distance pipe line is made at oil overflow on aqueous objects.*

**Key words:** *The risk analysis, oil overflow, the main oil pipeline, aqueous object, modelling, forecasting.*

Проведение анализа риска, включающего идентификацию опасностей, оценку риска и выработку обоснованных рекомендаций по обеспечению безопасности, связано с необходимостью оценки возможности реализации опасностей и их последствий. В работе [1] проведена оценка методов предупреждения и ликвидации последствий аварийных разливов нефтепродуктов на водных объектах. Целью данной работы является анализ риска при оценке безопасности нефтяных трубопроводов. В качестве объекта исследования в работе выбран магистральный нефтепровод ОАО «Черномортранснефть» участок, пересекающий реку Дон в направлении Тихорецк – Лисичанск. Нефтепровод Тихорецк - Лисичанск предназначен для транспорта товарной нефти Волжско-Уральского нефтегазодобывающего комплекса для их дальнейшей переработке на нефтеперерабатывающем заводе «Лисичанскнефтеоргсинтез». Плотность перекачиваемой нефти составляет 0,86 т/м<sup>3</sup>, что позволяет отнести ее к средней категории нефти. Нефтепровод проложен в двух ниточном исполнении и представляет собой совокупность двух нефтепроводов: Тихорецк-Лисичанск-1 и Тихорецк-Лисичанск. Диаметр каждого нефтепровода 720 мм, расчетная паспортная производительность — 17,5 млн. т. нефти в год. Укладка трубопровода на всем протяжении подземная, с минимальной глубиной заложения 1,5 м (0,8 м до верха трубы). Расчетное число рабочих дней — 350.

Основными техническими показателями, влияющими на масштабы разлива, являются: диаметр трубопровода; техническая производительность; характеристики системы обнаружения утечек; время остановки насосов; время закрытия запорной арматуры (задвижек) после отключения насосов.

С целью установления единых подходов к анализу риска Госгортехнадзором России с участием ряда экспертных организаций, компаний (ОАО «АК «Транснефть», ОАО «Газпром») создается система нормативно-методических документов в области анализа риска. Применительно к оценке риска аварий на трубопроводных системах следует выделить РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах» (утвержденный

АК «Транснефть» 30.12.99 приказом №152, согласовано Госгортехнадзором России, 1999) и СТО РД Газпром 39-1.10.-084-2003. С помощью данного руководства можно рассчитать интегральные (по всей длине трассы нефтепровода) и удельные (на единицу длины нефтепровода (обычно 1 км)) значения: частоты утечки нефти в год; ожидаемых потерь нефти от аварий за год; ожидаемого ущерба от аварий (как суммы ежегодных компенсационных выплат за загрязнение окружающей среды).

В основе расчета частоты аварий на нефтепроводах в этих руководствах используется принцип балльной оценки риска и технического состояния линейной части магистральных трубопроводов, который основан на количественной оценке значимости факторов влияния, влияющих на риск аварий. Оценка степени риска всей трассы проводится на основе идентификации опасностей и оценки риска отдельных участков (секций), характеризующихся примерно одинаковым распределением удельных показателей риска по всей длине участка (обычно длина участка - 1-3 км).

Прогноз частоты аварийных утечек из магистральных нефтепроводов (МН) проводится с учетом 40 факторов влияния, которые объединены в следующие группы: внешние антропогенные воздействия; коррозия; качество производства (применяемых или существующих) труб; качество строительно-монтажных работ; конструктивно-технологические факторы; природные воздействия; эксплуатационные факторы; дефекты металла трубы и сварных швов.

Количество нефти, которая может вытечь при аварии, является вероятностной функцией, зависящей от следующих случайных параметров:

- места расположения и площади дефектного отверстия;
- интервала времени с момента возникновения аварии до остановки перекачки (принимая значения от 3-20 мин. для крупных разрывов и до нескольких часов для малых утечек, которые трудно зафиксировать приборами на НПС);
- продолжительности истечения нефти с момента остановки перекачки до закрытия задвижек;
- времени прибытия аварийно-восстановительных бригад (от десятков минут до нескольких часов) и эффективности мер по локализации аварии.

Остальные параметры и условия перекачки (диаметр нефтепровода, профиль трассы, характеристики насосов, установка на защиту и т.п.) могут считаться постоянными и использоваться в качестве исходных данных.

Экологический ущерб от аварий производится в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28.08.92 N 632 «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия». Рассмотрим в качестве примера оценку риска аварии магистральных нефтепроводов, обслуживаемого Тихорецким районным управлением (ТРНУ) ОАО «Черномортранснефть» ОАО «АК «Транснефть».

На каждом  $n$ -ом участке трассы определяется значение балльной оценки технического состояния участка трубопровода:

$$Fn = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij},$$

$$B^* = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Fn,$$

где  $B_{ij}$ -балльная оценка фактора  $F_{ij}$ ;  $p_i$  - доля  $i$ -ой группы факторов;  $q_{ij}$  -доля  $j$ -го фактора в  $i$ -ой группе факторов;  $Fn$  – балльная оценка  $n$ -го участка,  $B^*$ - средняя балльная оценка трассы трубопровода, полученная на основе балльной оценки каждого участка трассы,  $N$  – общее число участков трассы. Значение локальной частоты аварий на участке  $\lambda_n$  (аварий\*год\*км) определяется по формуле:

$$\lambda_n = \bar{\lambda} \cdot Fn / B^*,$$

где  $\bar{\lambda}$ - среднестатистическая интенсивность (частота) аварий на данной трассе магистральных трубопроводов, аварий/(км\*год). При использовании  $\bar{\lambda}$ равной среднестатистической частоте аварий, полученной для всей системы магистральных трубопроводов данного типа, величина  $B^*$  для «среднестатистического трубопровода» принимается равной 3.

Средняя (с учетом всех сценариев аварий) масса потерь нефти на участке нефтепровода определяется по следующей формуле:

$$M = \rho \sum_i f_i \cdot V_i \cdot (1 - K_{сб})$$

где  $\rho$ - плотность нефти,  $f_i$  - вероятность реализации  $i$ -го сценария,  $K_{сб}$  - доля собираемой нефти. Величина  $K_{сб}$  зависит от удалённости аварийно-восстановительных пунктов от места аварии, рельефа местности, типа почв и водных объектов.

В соответствии с Методическим руководством на рис.1. приведена зависимость локальной частоты аварии и ожидаемого экологического ущерба. Наибольший риск аварий достигается на участках, имеющих лупинги, подводные переходы, пересечения с другими трубопроводами, авто- и железными дорогами, линиями электропередачи, а также на участках с наличием запорной арматуры, участках, проходящих вблизи населенных пунктов и объектов повышенной хозяйственной деятельности.

В табл. 1 приведены расчеты частоты утечек нефти больше 1, 100, 500, 1000 и 5000 т на всей линейной части (875 км) продуктопровода.

Расчеты показали, что основной риск аварий и чрезвычайных ситуаций на магистральных трубопроводах связан с авариями на линейной части.

Интегральные показатели существенно зависят от протяженности нефтепровода, срока эксплуатации трубопровода, диаметра трубопровода, особенностей природно-климатических условий в местах прохождения трассы и прочих региональных факторов (табл.2).

Таблица 1 - Частота возникновения утечки выше заданного уровня (без учета действий АВС по сбору нефти)

Масса утечки, т	Частота возникновения утечки в год на 1000 км	
	При успешном действии АВС в 70% случаев	При успешном действии АВС в 100% случаев
более 1	0.2476	0.2476
более 100	0.0724	0.0719
более 500	0.0603	0,0559
более 1000	0.0443	0,0372
более 5000	0.0093	0,0050

Таблица 2 - Обобщенные показатели риска аварии на линейной части МН

Показатель риска		Линейная часть
Наименование	Размерность	ТРНУ
Интенсивность аварий на трассе	1/год	0.145
Удельная интенсивность аварий	1/год·1000 км	0.138
Средняя масса утечек нефти при аварии	тонн	680
Средняя масса потерь нефти при аварии	тонн	150
Удельные ожидаемые потери нефти при аварии	т/год·1000 км	21
Ожидаемая масса потерь нефти при аварии	т/год	22
Средний размер ущерба от аварии, в том числе:	тыс.руб.	1700
Средний размер платы за загрязнение ОС при аварии	тыс.руб.	980
Средние потери нефти при аварии в денежном выражении	тыс.руб.	720
Интегральный риск аварии для всей трассы	тыс.руб./год	260
Удельный риск аварии	руб./год·км	250
Коллективный риск смертельного поражения людей	чел./год	6.4.10 <sup>-4</sup>

В зависимости от типа аварии, в соответствии с параметрами дефектного отверстия в магистральном нефтепроводе (МН) и массой излившейся нефти, установлены три уровня разливов:

-разлив первого уровня — соответствует разливу при образовании «свища» (прокола) с размером отверстия 0,3 Ду МН, масса излившейся нефти до 100 т;

-разлив второго уровня — соответствует разливу при образовании трещины с размером отверстия 0,75 Ду МН, масса излившейся нефти до 500 т;

-разлив третьего уровня - соответствует разливу при образовании «гиловитинного» разрыва с размером отверстия 1,5 Ду МН, масса излившейся нефти более 500 т.

Согласно постановлению Правительства РФ от 21.08.2000 г. №613 масштабы аварии с разливами нефти, на которые должны быть сориентированы силы ЛАРН, определяются: при проколе — 2% прокачки в течение 14 суток;

при порыве — объем 25% прокачки в течение 6 часов и количество нефти между задвижками поврежденного участка.

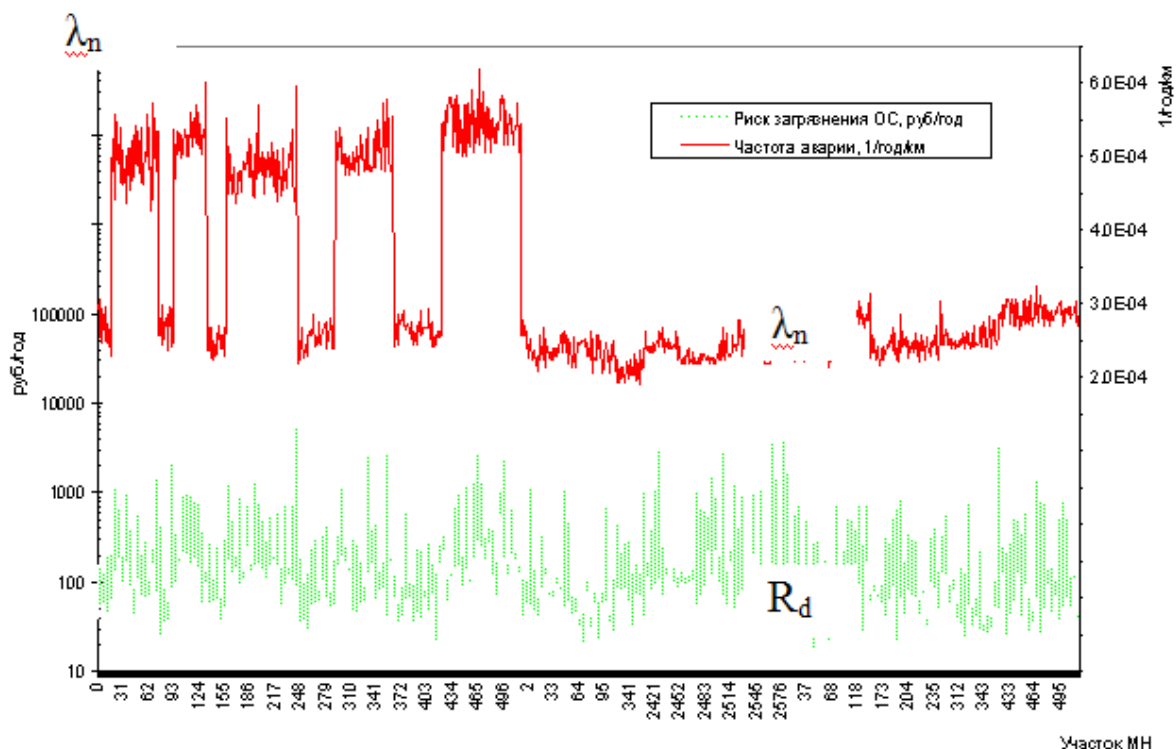


Рис. 1. Распределения локальной частоты аварии  $\lambda_n$  и риска загрязнения по всем линейным участкам ТРНУ

Исходя из характеристик МН, определены параметры аварийных разливов нефти на водных объектах Ростовской области:

1) производительность трубопровода при 350 рабочих днях составляет:

при проколе -  $P = 17500000 / 350 = 50000$  т/сут.

при порыве -  $P = 17500000 / 350 / 24 = 2083,3$  т/ч.

2) количество вылившейся нефти:

при проколе -  $P = 50000 \cdot 14 \cdot 2 / 100 = 7000$  т

при порыве -  $P = 2083,3 \cdot 6 \cdot 25 / 100 = 3125$  т.

3) количество нефти, содержащееся в поврежденном участке:

$$N = V \cdot \rho$$

$$N = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot L \cdot \rho;$$

$$N = 3,14 \cdot 0,7^2 / 4 \cdot 1200 \cdot 0,86 = 397 \text{ т}$$

4) всего при аварии выльется нефти:

при проколе -  $P = 7000$  т

при порыве -  $P = 3125 + 397 = 3522$  т.

Эти разливы являются максимальными. Однако, учитывая условия положения и технические характеристики трубопровода, вероятные аварийные



разливы будут намного меньше. На речном переходе требования по вопросам безопасности намного выше, чем на других участках МН. Время обнаружения утечки расходомерами составляет всего 2 мин. Учитывая время останова насосов и перекрытия задвижек, время реагирования персонала и технических устройств МН на аварию составит всего 1-3 мин. (табл. 3.).

Исходя из того, что переход через р. Дон осуществлен методом наклонного бурения, а положение МН методом «труба в трубе», вероятнее всего авария может произойти в местах начала непосредственного перехода или до него. Исходя также из того, что в этих местах имеется уклон к реке, из трубы вытечет небольшое количество нефти, позволяющее ликвидировать ее последствия собственными силами МН.

Таблица 3 - Время определения утечек нефти при переходе через р. Дон

Показатели	Время определения утечки, мин.			
Размер утечки, более %	1	5	10	20
Время определения утечки, мин.	3	2	2	1

Расчеты, проведенные по методике определения масштабов аварий, утвержденной Госгортехнадзором РФ, показали следующие результаты (табл. 4).

Таблица 4 - Масштабы аварийных разливов нефти при переходе через р. Дон

Показатели	До остановки перекачки	До закрытия задвижек	После закрытия задвижек	ИТОГО
Объемы аварийной утечки, м.куб.	281,6144	52,7712	746,2216	1080,607
Количество вылившейся нефти, тонн	242,1884	45,38323	641,7506	929,3222

Выводы из оценки обстановки. Участок МН на речном переходе р. Дон является наиболее ответственным местом. Вылив нефти, даже при незначительных повреждениях МН, будет обнаружен в течение нескольких минут (утечка не будет происходить в течение 14 суток). При «гильотинных» разрывах (вероятность которых мала) из трубы выльется только часть нефти, заключенной в отрезках от непосредственного начала перехода до задвижки. Время останова трубопровода займет секунды. Таким образом, максимально возможное количество нефти, вылившейся при аварии на МН, составит около 930 тонн, что соответствует ЧС территориального значения.

**Список литературы:** 1. Барковская Д.В., Звягинцева А.В. «Анализ методов предупреждения и ликвидации техногенных аварий на водных объектах»/ Материалы одиннадцатого международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». Таганрог: Изд-во: ТТИ ЮФУ. Кн.3.2010, №10. с.19 –25.

## ХАРАКТЕР НАГРУЗКИ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНЫМ СТАНКОМ С ЧПУ

**Болтян А.В., Болтян М.А.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел. +38 (062) 3010805; E-mail: [gorobec@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:gorobec@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *It's shown that there are peak loadings called outliers for regulation limits at parametrical stabilization of cutting force. The analytical dependences are resulted, allowing to count average of outliers for certain period of time of processing. The results of work can be used at definition of parameters of an adaptive control system by cutting process.*

**Key words:** *process, casual, stationary, force, cutting, outliers.*

Современный этап развития Украины, при вступлении страны во всемирную организацию торговли, ставит повышенные задачи перед машиностроительной отраслью, и прежде всего, в части повышения качества продукции. В этих условиях автоматизация производства представляет собой один из наиболее эффективных путей повышения качества изделий. Основой для внедрения автоматизированного производства являются станки с программным управлением. Такое оборудование позволяет сократить не только временные затраты, но и экономить ресурсы предприятия с одновременным повышением точности и качества изготовленных изделий.

Характерными особенностями обработки на станках с программным управлением являются нестабильность и частые остановки, обусловленные большим количеством внешних возмущений процесса резания и отклонениями режимов обработки. Это обуславливает необходимость разработки систем управления станками с учетом указанных изменений. Системы управления с фиксированными параметрами настроек, как показала практика, не обеспечивают качественного управления процессом резания. Поэтому задачу стабилизации процесса резания следует решать с использованием в управляющих системах законов управления, учитывающих текущие параметры и характер протекания технологического процесса.

С целью повышения точности и качества обработанных поверхностей деталей машин станки с числовым программным управлением (ЧПУ) все чаще оснащаются системами адаптивного управления процессом резания, которые по-

звolyют в процессе работы компенсировать возмущающие воздействия. В качестве такого возмущающего воздействия можно принимать мгновенную величину силы резания, которая определяется многими параметрами технологической среды. Наиболее весомый вклад в изменение силы резания вносит неравномерность глубины резания, обусловленная геометрическими погрешностями исходной поверхности обрабатываемой заготовки.

Как показано в [1], при обработке исходных заготовок на станках с ЧПУ сила резания может быть представлена в виде случайного процесса, обладающего свойствами «белого шума» в широком диапазоне частот. Данное положение было использовано при моделировании системы адаптивного управления токарным станком с ЧПУ с помощью библиотеки Simulink пакета Matlab, [2]. В результате анализа результатов моделирования было установлено, что даже при использовании системы адаптивного управления мгновенные значения силы резания иногда превышают заданный регулятором уровень силы резания, рис. 1.

Такие кратковременные нагрузки большой величины называют выбросами (отмечены на рис. 1 крестиками). Появление выбросов нагрузки обусловлено резким изменением глубины резания, что является характерным при обработке исходных заготовок, особенно, полученных методами свободнойковки и штампованных заготовок.

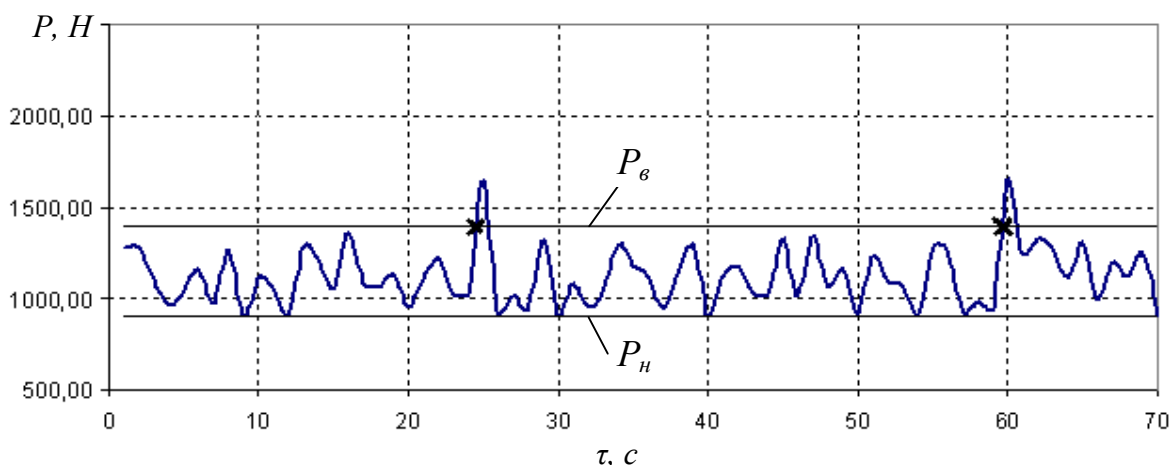


Рис. 1. Характер изменения силы резания при адаптивном управлении токарным станком с ЧПУ ( $P_v$ ,  $P_n$  — соответственно верхний и нижний пределы регулирования силы резания)

Число выбросов за определенный промежуток времени есть дискретная величина. Если выбросы встречаются нечасто, то эту величину можно считать распределенной по закону Пуассона, [3].

Для стационарного случайного процесса, каким будем считать изменение значений силы резания во времени,  $P(\tau)$ , среднее число выбросов за заданный уровень  $P_e$  в единицу времени можно рассчитать по зависимости:

$$\lambda = \frac{1}{2\pi} \exp \left[ -\frac{(P_e + \bar{P})^2}{2\sigma_P^2} \right] \frac{\sigma_R}{\sigma_P},$$

где  $\bar{P}$  - средний уровень силы резания;  $\sigma_P$  – среднее квадратическое отклонение силы резания;  $\sigma_R$  – среднее квадратическое отклонение производной случайного процесса

$$R(\tau) = \frac{d}{d\tau} P(\tau).$$

Рассмотрим, как можно определять среднее число выбросов при обработке заготовок, полученных методом свободнойковки, на токарных станках с ЧПУ.

Сила резания при точении, при прочих равных условиях, будет определяться глубиной резания и скоростью подачи. Изменение скорости подачи в системе адаптивного управления обратно пропорционально изменению средней глубины резания, определяемой за интервал суммирования регулятора системы управления. Однако на этом интервале, когда мгновенное значение скорости подачи является постоянной величиной, возможно резкое изменение глубины резания, что обусловит появление выброса значения силы за предел регулирования.

Из [4] следует, что припуск заготовки, полученной методом свободнойковки, а следовательно, и глубина резания, являются случайной величиной, распределенной по закону Вейбулла. Используя метод обратной функции, согласно которому искомую случайную величину  $x$  можно получить с помощью преобразования

$$x = F_x^{-1}(\zeta),$$

где  $F_x^{-1}$  - функция, обратная функции распределения вероятностей;  $\zeta_i$  – случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $[0, 1]$ , - значение мгновенной глубины резания в  $i$ -й момент времени  $\tau$  можно рассчитать по зависимости:

$$t_i = c + a \sqrt[3]{-\ln(1 - \zeta_i)},$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – соответственно параметры масштаба, формы и сдвига закона Вейбулла. Тогда, в  $i$ -й момент времени можно определить производную от глубины резания по зависимости:

$$t'_i = \frac{a}{b} \cdot \frac{1}{1 - \zeta_i} (-\ln(1 - \zeta_i))^{\frac{1-b}{b}}.$$

По полученным значениям  $t'$ , зная значение продольной подачи, поправочных коэффициентов и постоянной резания, можно рассчитать значения функции  $R(\tau)$ , а также определить ее основные статистические характеристики.

В соответствии с предложенной методикой для задачи, рассмотренной в [2], было определено среднее значение выбросов в единицу времени, которое составило 0,02, что соответствует 2 выбросам за 100 с обработки детали на токарном станке.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что суммарную нагрузку токарного станка с ЧПУ можно рассматривать как случайный процесс, обладающий в широком диапазоне частот свойствами «белого шума», с выбросами выше заданного уровня.

Полученные данные можно использовать для проектирования и выбора параметров регуляторов систем адаптивного управления токарными станками с ЧПУ.

**Список литературы:** 1. Болтян А.В., Болтян М.А., Лисичкина А.В. Параметры системы адаптивного управления токарным станком с ЧПУ// Известия ТТИ ЮФУ-ДонНТУ. Материалы Одиннадцатого Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3 кн.- Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ.- Кн.3, 2010, № 10.- С. 40-45. 2. Болтян А.В., Болтян М.А. Моделирование системы адаптивного управления токарным станком с ЧПУ с учетом случайного характера внешнего возмущения //Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2011.- Вип. 41. 3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. 416 с. 4. Болтян А.В., Горобец И.А. Теория инженерных исследований: Учебное пособие (издание 2-е переработанное и дополненное).- Донецк: ДонНТУ, 2004.- 162 с.

## СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ МАШИН

Буленков Е. А., Зайцева И. Ю. (ДонНТУ г. Донецк, Украина)

Тел. +38(062) 3050805; E-mail: [bulenkov@ukr.net](mailto:bulenkov@ukr.net)

**Abstract:** *The method of constructing of automatic rotary machines is presented in this article. A method is based on development of structural charts with taking into account the features of these machines. A function of transformation of structure is base of this method.*

**Key words:** *structural-technological chart, group instrumental block, automatic rotary machines, transformation.*

Одним из основных путей комплексной автоматизации производства является создание многономенклатурных автоматических роторных линий [1]. В условиях рыночных отношений наиболее целесообразным представляется создание новых многономенклатурных роторных машин и автоматических роторных линий на их основе [2], дающих возможность объединить группу различных изделий с небольшой программой выпуска для изготовления их на одной многономенклатурной автоматической роторной линии. Известные методики проектирования не позволяют обоснованно подойти к проектированию таких машин и линий [3], поэтому разработка новой методики проектирования многономенклатурных роторных машин является актуальной задачей.

Целью выполнения данной работы является разработка методики разработки структурных схем многономенклатурных роторных машин, обеспечивающей создание рациональной структуры машин за счет учета.

Наличие функции модификации в функциональной структуре многономенклатурной роторной машины отличает ее от других роторных машин, т.е. является функциональной особенностью, и обуславливает необходимость усложнения ее конструкции для реализации этой функции, что является структурной особенностью данной машины.

В связи с необходимостью модификации структуры многономенклатурных роторных машин для обработки различных типоразмеров крепежных изделий, в конструкции каждого структурного элемента машины должны быть предусмотрены соответствующие составные части. Проектировать такие сложные машины, не имея четкого понимания их структуры, представляется затруднительным. Наиболее удобно для представления структуры многономенклатурных роторных машин пользоваться структурными схемами, на ко-

торых условно показаны основные структурные элементы и связи, возникающие между ними.

Разработка структурных схем многономенклатурных роторных машин должна начинаться с общей схемы машины на примере многономенклатурной рабочей позиции и вестись в направлении постепенного усложнения структурных схем. Такой подход позволит путем постепенного добавления к структуре машины отдельных элементов по окончании проектирования получить структурную схему многономенклатурной роторной машины, по которой можно будет осуществлять ее параметрический синтез.

Важным этапом при проектировании многономенклатурных роторных систем на уровне схемных решений является унификация структурных схем многономенклатурных рабочих позиций. Разработанные для каждой многономенклатурной рабочей позиции структурные схемы сравниваются друг с другом, после чего производится выбор структурной схемы, при которой возможна реализация всех операций многономенклатурного технологического процесса изготовления изделий.

Предложенный метод построения структурных схем многономенклатурных рабочих позиций позволяет учесть функциональную особенность многономенклатурных роторных систем, - функцию преобразования структуры машины для обработки изделия другой номенклатуры. Структурные схемы машин разрабатываются с учетом многономенклатурных технологических процессов изготовления изделий на основании схем многономенклатурных рабочих позиций. Разработанная методика проектирования позволяет генерировать большое число структурных схем многономенклатурных роторных машин. На основании разработанных схем при помощи морфологического синтеза осуществляется параметрическое проектирование многономенклатурных роторных машин. Таким образом, разработанная методика создания структурных схем позволяет осуществлять структурный синтез новых многономенклатурных роторных машин.

**Список литературы.** 1. Клусов И. А. Развитие роторных технологий. // Вестник машиностроения.- 2003.- №4.- с. 46-50. 2. Буленков Е. А., Михайлов А. Н. Выбор рациональной структуры потока изделий для обеспечения загрузки многономенклатурных роторных линий. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонНТУ, 2006. Вып. 31. - С. 8-14. 3. Клусов И. А. Проектирование роторных машин и линий: Учеб. пособие для студентов машиностроит. спец. вузов.- М.: Машиностроение, 1990.- 320 с.

## ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ НА ЕГО ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

**Бутенко В.И.** (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** *Questions of change of a power condition of a material of a blanket of details of tribosystems in the course of accumulation in it of defects and damages are considered. Technological ways of decrease in power intensity of a material of a blanket and increase of its wear resistance are defined*

**Key words:** *condition, detail, layer, energy, surface, wear resistance*

В результате внешних эксплуатационных воздействий на деталь трибосистемы формируется поверхностный слой, принципиально отличающийся по своим физико-механическим и трибологическим характеристикам от основного материала детали [1]. Как уже было показано выше, в каждом деформируемом элементе этого слоя в процессе эксплуатации зарождаются и накапливаются различного рода дефекты и повреждения, определяющие, в конечном итоге, интенсивность изнашивания контактирующих материалов трибосистемы [2]. При этом в кинетике процесса изменения состояния материала поверхностного слоя детали, сопровождающейся накоплением в нем дефектов и повреждений, отмечается два фактора, один из которых свидетельствует о статическом характере этого процесса, а второй – раскрывает его феноменологическую сторону.

Статически процесс изменения состояния материала поверхностного слоя детали может быть представлен следующим образом. Каждому моменту времени деформирования (или циклу взаимодействия) элемента поверхностного слоя при заданных условиях эксплуатации трибосистемы соответствует определенная степень его повреждаемости, обусловленная, например, накоплением дислокаций [3]. Как только повреждаемость материала (или плотность дислокаций) в локальном микрообъеме достигнет предельной (критической) величины, начинается процесс его разрушения с образованием продуктов износа.

В основе феноменологичности процесса лежит зависимость изменения состояния микрообъемов материала поверхностного слоя детали от силовых параметров нагружения и времени их воздействия (скорости скольжения), из которой следует, что если два процесса взаимного контактирования материалов трибоси-



стемы, сопровождающиеся внутренней повреждаемостью каждого элемента поверхности, протекают как при более высоких внешних силовых параметрах нагружения, так и при более низких, то разница в поведении деформируемого элемента поверхностного слоя будет зависеть только от скорости (степени) повреждаемости. Практически это может проявиться в размерах образующихся продуктов износа [4], а графически представляется в виде системы кинетических кривых (рис. 1), из анализа которых следует, что с увеличением параметра трения  $p \cdot V_{\text{ск}}$  количественно повреждаемость деформируемого объема материала поверхностного слоя  $N_{\text{Пн}}$  увеличивается и это увеличение продолжается до тех пор, пока под действием касательных напряжений  $\tau_{\text{сд}}^{\text{к}}$  не произойдет сдвиг этого микрообъема, его отделение от основного материала детали и превращение в продукт износа (рис. 2). Если обозначить через  $\Pi$  количественную меру повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя детали трибосистемы, а через  $V_{\Pi}$  – скорость накопления повреждаемости, то условие предельной повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя можно представить следующим образом:

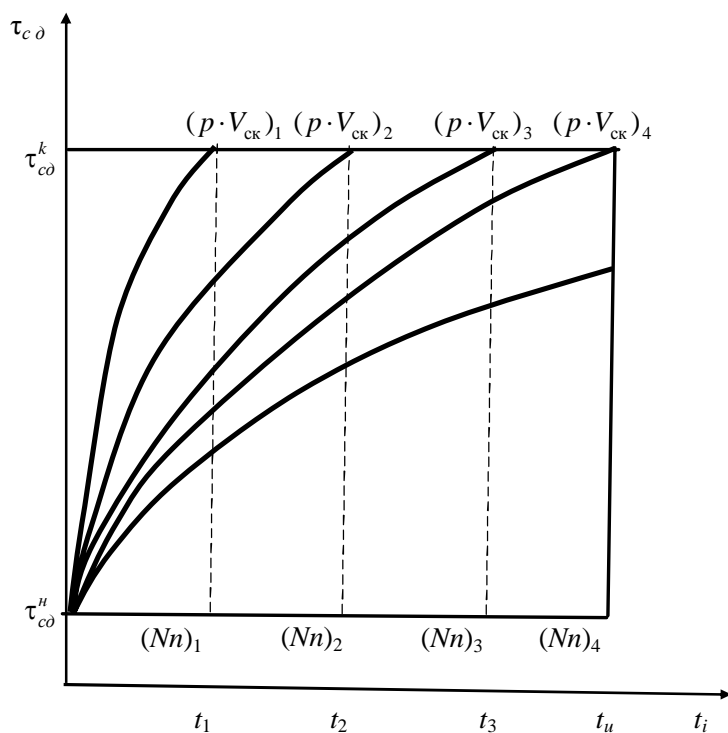


Рис. 1. Кинетические кривые накопления повреждаемости в микрообъемах материала поверхностного слоя детали трибосистемы

$$\Pi = \Pi_0 + \sum_{i=\tau_{\text{сд}}^{\text{н}}}^{\tau_{\text{сд}}^{\text{к}}} \Pi_i = \Pi^{\text{к}}, \quad (1)$$

где  $\Pi_0$  – начальный уровень повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя, накопленный в процессе механической обработки детали;

$\tau_{\text{сд}}^{\text{н}}$  – начальное значение величины технологических касательных напряжений сдвига в материале поверхностного слоя, полученное в результате механической обработки детали;

$\tau_{\text{сд}}^{\text{к}}$  – критическое значение величины касательных напряжений в материале по-

верхностного слоя, при котором происходит его сдвиг и образование продуктов износа;

$\Pi_i$  – текущее значение образующейся повреждаемости за время  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ ;

$$\Pi_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \Pi_i(p, V_{\text{ск}}) dt ;$$

$\Pi^{\text{к}}$  – критическое значение повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя, при котором касательные напряжения в нем достигают критической величины  $\tau_{\text{сд}}^{\text{к}}$ ;

$$\begin{aligned} (P \cdot V_{\text{ск}})_1 &> (P \cdot V_{\text{ск}})_2 > (P \cdot V_{\text{ск}})_3 > (P \cdot V_{\text{ск}})_4 > \dots \\ (Nn)_1 &< (Nn)_2 < (Nn)_3 < (Nn)_4 < \dots \end{aligned}$$

Для каждого материала критическое значение повреждаемости  $\Pi^{\text{к}}$  определяется его физико-механическими свойствами и условиями эксплуатации детали в трибосистеме.

Предполагая, что в общем случае при отсутствии «залечивающего» эффекта в кластерных наноструктурах слоя [1] повреждаемость в микрообъемах материала поверхностного слоя детали трибосистемы имеет необратимый характер и в них идет накопление (суммирование) повреждаемостей, можно с достаточно высокой вероятностью принять, что предельная повреждаемость и, как следствие, образование продуктов износа произойдет тогда, когда сумма относительных повреждаемостей станет равной 1, т.е.

$$\frac{1}{\Pi^{\text{к}}} \sum_{i=\tau_{\text{сд}}^{\text{н}}}^{\tau_{\text{сд}}^{\text{к}}} \int_0^{t_i} \Pi_i(p, V_{\text{ск}}) dt = 1. \quad (2)$$

Зависимости (1) и (2) позволяют по заданным условиям эксплуатации ( $p$ ,  $V_{\text{ск}}$ ,  $\Theta$ , виду смазки, направлению движения и т.д.) и начальному состоянию материала поверхностного слоя, определяемому величинами  $\Pi_0$  и  $\Phi_{\text{сд}}^{\text{н}}$ , прогнозировать интенсивность изнашивания деталей. Однако для практического применения этих зависимостей необходимо знать характер изменения текущего значения повреждаемости  $\Pi_i(V_{\text{ск}})$  от времени  $t_i$ , что требует проведения дополнительных весьма трудоемких экспериментальных исследований. В связи с этим был рассмотрен процесс изнашивания материала поверхностного слоя детали трибосистемы с позиции термодинамической теории, энергетически интегрировав его как процесс протекания двух противоположных, взаимосвязанных и одновременно протекающих в материале поверхностного слоя явлений: роста плотности скрытой энергии деформирования  $\Delta E_{\text{с}}$ , обусловленной накоплением дефектов и повреждений от работы внешних сил  $A_{\text{вн}}$ , и снижения ее вследствие различного рода релаксационных процессов, протекающих как внутри деформируемых микрообъемов материала поверхностного слоя, так и между ними. При этом рост плотности скрытой энергии состояния материала поверхностного слоя функцио-

нально связан с повреждаемостью  $\Pi_i(V_{ск})$  и, как следствие, приводит к росту касательных напряжений  $\phi_{сд}$ , а ее снижение – с динамическим возвратом (разупрочнением) материала вследствие, например, теплового эффекта пластической деформации. Тогда согласно основному закону термодинамики – закону сохранения энергии – уравнение энергетического баланса процесса изнашивания для единичного микрообъема материала поверхностного слоя детали запишется в виде

$$A_{вн} = \Delta E_c + q. \quad (3)$$

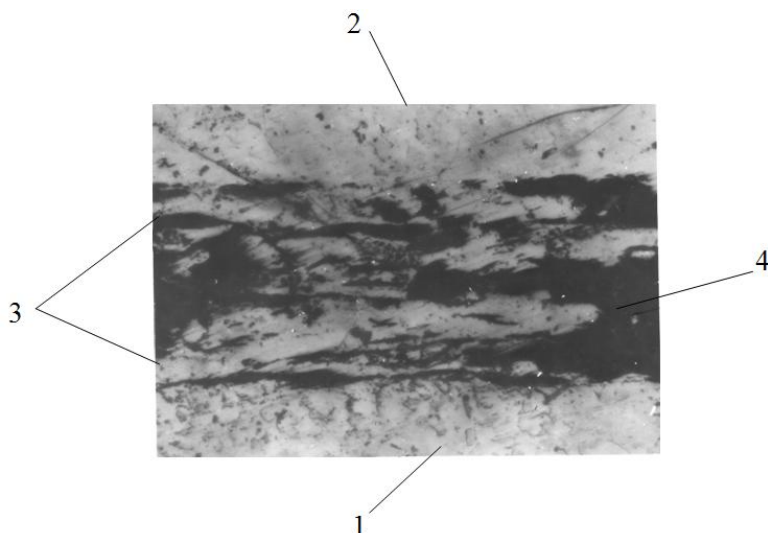


Рис.2. Зона фрикционного взаимодействия материалов: 1 – сталь 40Х; 2 – быстрорежущая сталь Р6М5; 3 – продукты износа; 4 – смазка ЦИАТИМ-201 ( $p = 5$  МПа;  $V_{ск} = 0,5$  м/с;  $\Theta = 80^\circ\text{C}$ ). Увеличение 800

Известно [5,6], что значительная часть тепловой энергии, связанной с тепловыми эффектами контактирования материалов деталей трибосистем не задерживается в тонком поверхностном слое, а рассеивается по всему телу и в окружающую среду за счет теплообмена  $\vec{q}$ . Лишь незначительная часть этой энергии задерживается в материале поверхностного слоя, повышая его внутреннюю энергию на величину  $\Delta E_T$ . Тогда результат тепловых эффектов в

зоне контакта поверхностей двух тел можно представить как  $q = \vec{q} + \Delta E_T$ , а уравнение энергетического баланса (3) примет вид

$$A_{вн} = \Delta E + \vec{q}, \quad (4)$$

где  $\Delta E = \Delta E_c + \Delta E_T$ ; здесь  $\Delta E_c$  – скрытая (потенциальная) энергия деформирования материала поверхностного слоя детали трибосистемы;  $\Delta E_T$  – тепловая (кинетическая) энергия.

Так как энергия  $\Delta E$  связана с повреждаемостью материала через  $\Delta E_c$  и его термическим разупрочнением через  $\Delta E_T$ , т.е. является ответственной за прочностные свойства материала поверхностного слоя детали, то она вполне обоснованно может быть принята за интегральную меру повреждаемости микрообъема материала поверхностного слоя. Тогда энергетическое состояние микрообъема

материала поверхностного слоя детали трибосистемы  $E_n$  можно представить в виде следующей зависимости:

$$E_n = E_0 + \Delta E, \quad (5)$$

где  $E_0$  – внутренняя энергия материала детали, обусловленная его состоянием после механической обработки [7].

В соответствии с кинетическими представлениями процесса контактного взаимодействия материалов деталей трибосистем отделение продуктов износа произойдет в том случае, когда плотность энергии  $E_n$  в деформируемых микрообъемах материала поверхностного слоя достигнет некоторой предельной величины  $E_n^k$ , которая может рассматриваться в качестве энергетического условия состояния материала поверхностного слоя детали. В общем виде это условие может быть представлено следующим образом:

$$E(h_i, t_i) = E_0(h_i, 0) + \sum_{i=\tau_{co}^n}^{\tau_{co}^k} \int_0^{t_i} E_i(\Delta H, t_i) dt = E_n^k = const, \quad (6)$$

где  $E(h_i, t_i)$  – текущее значение плотности энергии в микрообъеме материала поверхностного слоя детали в момент времени  $t_i$  на глубине  $h_i$ ;

$E_0(h_i, 0)$  – начальное значение плотности энергии в микрообъеме материала поверхностного слоя после механической обработки детали в момент времени  $t = 0$  и на глубине  $h_i$ ;

$E_i(h_i, t_i)$  – скорость изменения плотности энергии в микрообъеме материала поверхностного слоя детали трибосистемы в процессе ее эксплуатации в момент времени  $t_i$ .

Для количественной оценки предельной плотности энергии  $E_n^k$ , при которой происходит образование продуктов износа, можно воспользоваться аналогией между процессами поглощения энергии кристаллической решеткой материала при трении и при его нагреве [8, 9]. В том и другом случаях нарушение межатомных связей наступает в результате поглощения предельной для данной кристаллической решетки величины энергии.

В случае нагрева металла от начальной температуры  $\Theta_n$  до температуры плавления  $\Theta_s$  поглощаемая им предельная удельная энергия  $\Delta E_n^k$  составит

$$\Delta E_n^k = \int_{\Theta_n}^{\Theta_s} c_p \cdot d\Theta + L_{nl}, \quad (7)$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость материала поверхностного слоя детали;

$L_{nl}$  – скрытая теплота плавления.

Величина  $\int_{\Theta_n}^{\Theta_s} c_p \cdot d\Theta$  характеризует изменение теплосодержания металла при

нагреве от начальной температуры  $\Theta_n$  до температуры плавления  $\Theta_s$  и расходуется на возбуждение атомных колебаний критической величины без нарушения межатомных связей. Эти нарушения возникают всегда, когда кристаллическая решетка поглощает дополнительную энергию, равную скрытой теплоте плавления [10].

При образовании продуктов износа в зоне контакта взаимодействующих материалов деталей трибосистем, как и при плавлении, процессу нарушения межатомных связей предшествует искажение кристаллической решетки до критической величины с той лишь разницей, что при трении предельное искажение кристаллической решетки обусловлено достижением в деформируемых микрообъемах металла критической плотности дислокаций [3], при которой дальнейшее поглощение энергии кристаллической решеткой приводит к нарушению межатомных связей.

Если принять, что удельная энергия  $\Delta E_n^k$ , затрачиваемая на предельное искажение кристаллической решетки, не зависит от вида подводимой энергии (тепловой или механической), то предельная удельная энергия, которую способна поглотить кристаллическая решетка металла, должна соответствовать величине  $H^*$ , равной разности теплосодержания (энтальпии) материала в твердом состоянии, или температуре плавления  $\Theta_s$  и энтальпии при температуре 293К [11], т.е.

$$\int_{\Theta_n}^{\Theta_s} c_p \cdot d\Theta = H^* = H_{\Theta} - H_{293}. \quad (8)$$

Из зависимости (8) следует, что критическая плотность энергии  $E_n^k$ , накапливаемой в микрообъеме материала поверхностного слоя детали трибосистемы, количественно может быть оценена посредством термодинамической константы  $H^*$ :

$$E_n^k = \Delta E_n^k + E_0 = H^*. \quad (9)$$

Тогда согласно выражения (3) удельная работа  $A_{вн}$ , затрачиваемая на образование продуктов износа в зоне контакта поверхностей деталей трибосистем, для конкретных условий трения ( $p$ ,  $V_{ск}$ ,  $\Theta$ , смазки, времени контакта  $t_i$ , направления движения и т.д.) определится по формуле

$$A_{вн}^k = (1 + K_{m.n.}) \Delta H, \quad (10)$$

где  $\Delta H = H^* - E_0$  – изменение энтальпии металла в процессе контактного взаимодействия поверхностей деталей;

$K_{m.n.} > 1$  – коэффициент, учитывающий величину тепловой энергии, не задерживаемой в деформируемом микрообъеме материала поверхностного слоя детали; по данным работы [10]  $K_{m.n.} = 3,5 - 4,0$ .

Следует отметить, что рассмотренная аналогия правомерна только на уровне микрообъемов материала поверхностного слоя детали, которые могут быть насыщены удельной энергией предельной величины. Перенос ее на уровень больших объемов не правомерен, так как в процессе нагрева энергия поглощается кристаллической решеткой металла практически равномерно по всему объему, а при деформировании металла вследствие анизотропии и несовершенств кристаллической решетки происходит неоднородное поглощение энергии. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть объемы, принимающие участие в поглощении энергии в процессе контактного взаимодействия материалов деталей трибосистем.

Пусть объем материала поверхностного слоя детали, при котором произошли искажения кристаллической решетки критической величины, составляет  $v_n$ . Величина удельной энергии предельного искажения  $E_n^k$ , поглощенная единичным микрообъемом материала поверхностного слоя  $\Delta v_n$ , согласно выше рассмотренной интерпретации процесса контактного взаимодействия материалов деталей трибосистемы должна соответствовать изменению энтальпии  $\Delta H$ , т.е.

$$E_n^k = \Delta v_n \cdot \Delta H. \quad (11)$$

Каждый единичный микрообъем материала в охватываемом контактным взаимодействием общем объеме поверхностного слоя детали  $v_n$  накапливает в процессе трения какую-то энергию искажения, численно равную  $n \cdot \Delta H$ , где некоторый структурный коэффициент  $n$  зависит от глубины залегания рассматриваемого микрообъема  $h_i$  в пределах объема  $v_n$  и изменяется от 1 при  $h_i = h_n$  до 0 при  $h_i = h_s$  [11]. Тогда приняв  $n = n(h_i)$ , можно получить формулу для определения величины энергии  $E_s$ , поглощенной объемом  $v_s - v_n$ :

$$E_s = (v_s - v_n) \cdot \Delta H \cdot \int_{h_n}^{h_s} n(h_i) dh, \quad (12)$$

где  $v_s$  – текущее значение объема материала поверхностного слоя детали по глубине залегания  $h_s$ .

Если просуммировать выражения (11) и (12), то получается следующая формула для определения общей энергии  $E_\Sigma$ , поглощенной материалом поверхностного слоя детали в процессе ее контакта с сопряженной деталью в трибосистеме:

$$E_\Sigma = E_s + E_n^k = (v_s - v_n) \cdot \Delta H \int_{h_n}^{h_s} n(h_i) dh + \Delta v_n \cdot \Delta H = \Delta H \left( (v_s - v_n) \int_{h_n}^{h_s} n(h_i) dh + \Delta v_n \right). \quad (13)$$

Величина общей энергии  $E_{\Sigma}$  характеризует энергоемкость материала поверхностного слоя детали, находящегося в критическом состоянии, с учетом неоднородности поглощения энергии по глубине. Современные представления о механизме контактного взаимодействия материалов деталей трибосистем [6, 13] свидетельствуют о том, что величина  $v_n$ , охватывающая предельно искаженный объем материала поверхностного слоя, определяется в основном типом кристаллической решетки материала и не зависит от способа силового, скоростного или температурного воздействия на него.

Разделив обе части выражения (13) на объем  $v_s$  с учетом зависимости (9), можно получить выражение, позволяющее оценить величину плотности внутренней энергии, накапливаемой локальным микрообъемом материала поверхностного слоя детали трибосистемы  $\Delta E(h_i)$ , в зависимости от глубины его расположения от наружной границы поверхности детали в пределах всего поверхностного слоя

$$\Delta E(h_i) = E_0 + \Delta H \cdot n(h_i). \quad (14)$$

Выполненные теоретико-экспериментальные исследования физико-механического состояния материала поверхностного слоя детали трибосистемы [1 – 4, 6, 13] позволяют с достаточной для практики точностью принять для контактного взаимодействия поверхностей линейный закон изменения энергетического коэффициента вида  $n(h_i) = 1 - h_n / h_s$ . Тогда удельная работа  $A_{\text{вн}}(p, V_{\text{ск}}, t_i, n_i)$ , затраченная на деформирование единичного микрообъема материала поверхностного слоя детали, находящегося на глубине  $h_i$  от наружной границы поверхности, составит

$$A_{\text{вн}}(p, V_{\text{ск}}, t_i, n_i) = (1 + K_{\text{м.п.}}) \Delta H \cdot n(h_i). \quad (15)$$

Предельно допустимое энергетическое состояние единичного микрообъема материала поверхностного слоя детали трибосистемы, при котором возможно образование продуктов износа, определится по формуле

$$E^k(p, V_{\text{ск}}, t_i) = \sum_{h_i=h_n}^{h_s} A_{\text{вн}}(p, V_{\text{ск}}, t_i, h_i) = (1 + K_{\text{т.п.}}) \Delta H \cdot \int_{h_n}^{h_s} n(h_i) dh. \quad (16)$$

Если принять характер распределения запасенной энергии по высоте единичного микрообъема материала поверхностного слоя детали линейным [11], то можно получить формулу для определения максимальной работы деформации, при которой происходит отделение продуктов износа:

$$A_{\text{вн}}^k(p, V_{\text{ск}}, t_i) = 0,5 \cdot h_s (1 + K_{\text{т.п.}}) \Delta H. \quad (17)$$

В общем случае удельная работа упругой деформации локального объема материала поверхностного слоя детали  $A_{\text{упр}}$  определится, как [11]

$$A_{\text{упр}} = \frac{\sigma_m^2}{2E},$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести материала поверхностного слоя детали;

$E$  – модуль упругости материала.

Тогда выражение, характеризующее предельную работу внешних сил, приходящуюся на единицу площади поверхностного слоя детали, при которой происходит интенсивное изнашивание материала, будет иметь следующий вид:

$$A_{\text{вн}}^{\kappa} = 0,5h_s((1 + K_{\text{т.п.}})\Delta H) + \frac{\sigma_m^2}{2E}. \quad (18)$$

По своей физической сущности выражение (18) является критериальным, так как на основании его можно решить ряд оптимизационных задач. Например, из выражения (18) можно определить требуемую толщину кластерного наноструктурного слоя на поверхности детали трибосистемы  $h_s$ , при которой достигается его максимальная сцепляемость с основным металлом.

В результате экспериментальных исследований контактного взаимодействия материалов поверхностного слоя деталей трибосистем [1 – 4, 6, 7, 13] и процессов поверхностного пластического деформирования металлов [11] была получена обобщенная зависимость для расчета удельной энергии деформирования  $\Delta E_n$ , накапливаемой в материале поверхностного слоя детали на единицу его площади:

$$\Delta E_n = \frac{p \cdot h_s \cdot V_{\text{ск}}^2}{2q} \sum_{i=\tau_{\text{cd}}^{\text{н}}}^{\tau_{\text{cd}}^{\kappa}} e^{-0,15t_i}, \quad (19)$$

где  $q$  – ускорение свободного падения;

$t_i$  – текущее время контактного взаимодействия материалов трибосистемы.

В первом приближении при  $\tau_{\text{cd}}^{\kappa} < 2\tau_{\text{cd}}^{\text{н}}$  экспоненциальная зависимость  $\sum_{i=\tau_{\text{cd}}^{\text{н}}}^{\tau_{\text{cd}}^{\kappa}} e^{-0,15t_i}$  в формуле (19) может быть аппроксимирована выражением  $(\tau_{\text{cd}}^{\kappa} - \tau_{\text{cd}}^{\text{н}})(1 + e^{-0,15N_{\tau}})$  [14], где  $N_{\tau} = \tau_{\text{cd}}^{\kappa} / \tau_{\text{cd}}^{\text{н}}$ .

Тогда, приравнявая выражения (18) и (19) с учетом принятых допущений и преобразований, формула определения толщины кластерного наноструктурного слоя на поверхности детали трибосистемы  $h_s$ , при которой достигается его максимальная сцепляемость с основным металлом, а, следовательно, максимальная износостойкость поверхностного слоя детали трибосистемы будет иметь следующий вид:



$$h_s = \frac{\sigma_m^2 \cdot q}{E \left( (p \cdot V_{\text{ск}}^2) (\tau_{\text{сд}}^{\kappa} - \tau_{\text{сд}}^{\text{н}}) (1 + e^{-0,15 N_{\tau}}) - \Delta H (1 + K_{\text{м.н.}}) \right)}. \quad (20)$$

Формула (20) может быть использована для решения задач, связанных с управлением нанотрибологическими характеристиками поверхностей деталей трибосистем, так как в ней учитываются физико-механические свойства материала детали ( $\sigma_m$ ,  $E$ ,  $\Delta H$ ,  $K_{\text{м.н.}}$ ), условия трения ( $p$ ,  $V_{\text{ск}}$ ), начальное состояние материала поверхностного слоя, полученное в процессе механической обработки детали ( $\tau_{\text{сд}}^{\text{н}}$ ) и запас износостойкости ее материала ( $\tau_{\text{сд}}^{\kappa}$ ,  $N_{\tau}$ ).

Комплексные экспериментальные исследования состояния наноструктурного слоя на поверхностях образцов различных пар трения и их износостойкости, проведенные на установках, описание которых дано в работе [1], позволили подтвердить хорошую сходимость экспериментальных и расчетных значений толщины  $h_s$  для различных материалов, условий трения и способов начальной механической обработки деталей (табл. 1). Одновременно была установлена функциональная связь между показателем дислокационной насыщенности материала поверхностного слоя детали  $k_p$ , достигнутом в процессе механической обработки, пределом текучести  $\sigma_m$  и величиной  $N_{\tau}$ , определяющей запас износостойкости материала поверхностного слоя детали трибосистемы (рис. 3).

Результаты выполненных исследований влияния энергетического состояния материала поверхностного слоя детали на его износостойкость указывают на возможность разработки нестандартных математических моделей прогнозирования работоспособности тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения, а также решения нестандартных задач движения вязкоупругой и гидродинамической смазки в зоне контакта деталей трибосистемы. Кроме того, исследования показали, что для повышения износостойкости поверхностного слоя деталей трибосистемы необходимо технологическими путями снижать энергетическую напряженность материала поверхностного слоя. Перспективными в этом направлении должны стать такие способы финишной обработки поверхностей деталей, которые позволяют снизить величину накопленной энергии деформирования. В этом случае коэффициент наследования физико-механических показателей материала поверхностного слоя детали принимает значения меньше единицы, что позволяет стабилизировать их изменение в процессе эксплуатации трибосистемы [15]. Естественно предположить, что между наследованием физико-механических показателей материала поверхностного слоя детали и его энергетическим состоянием существует функциональная связь, выявление которой

позволит эффективно управлять нанотрибологическими характеристиками поверхностного слоя деталей трибосистем.

Таблица 1 - Сравнительные данные расчетных и экспериментальных значений  $h_s$  (контртело – быстрорежущая сталь Р6М5)  $K_{m,n} = 4,0$ ;  $N_\tau = 2$

№ п/п	Материал образца	Способ обработки	Режимы трения		Значения $h_s$ , нм		Погрешность, %
			$p$ , МПа	$V_{ск}$ , м/с	Расчетные	Эксперимент.	
1.	Сталь 20ХН2МА	Шлифование	1,5	0,2	28,5	30	-5,0
		Обкатка	1,5	0,2	25,7	25	+0,3
		Шлифование	2,0	0,5	33,8	35	-3,5
		Обкатка	2,0	0,5	31,6	30	+5,3
2.	Сталь 12Х18Н9Т	Шлифование	1,5	0,2	32,3	35	-7,7
		Обкатка	1,5	0,2	29,1	30	-3,0
		Шлифование	2,0	0,5	42,4	40	+6,0
		Обкатка	2,0	0,5	37,2	35	+6,3
3.	Сплав ЖС6У	Шлифование	2,0	0,5	38,8	40	-3,0
		Обкатка	2,0	0,5	31,5	30	+5,0
		Шлифование	3,0	0,5	52,3	50	+4,6
		Обкатка	3,0	0,5	46,6	45	+3,6

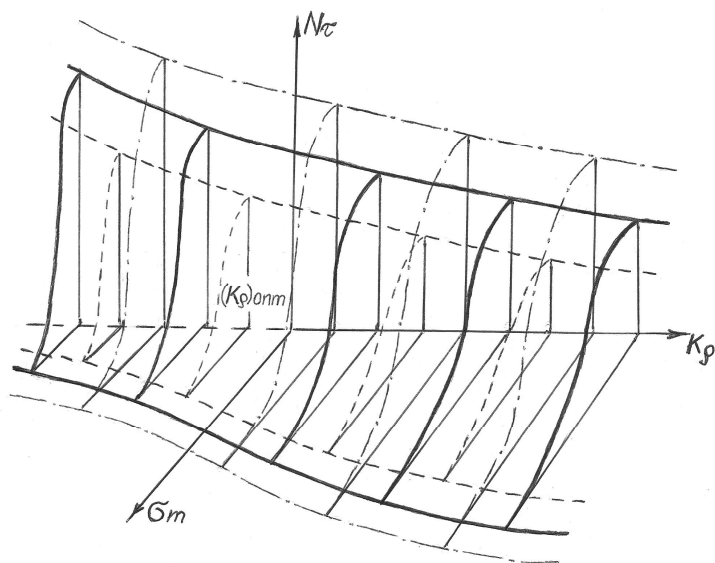


Рис.3. Обобщенная картина функциональной связи между параметрами  $k_p$ ,  $\sigma_m$  и  $N_\tau$  кластерного наноструктурного поверхностного слоя детали трибосистемы

ки легкоплавких сплавов эвтектического состава или создание на поверхностях деталей трибосистем металлополимерных наноструктурных слоев заданной толщины [16]. Как показали исследования в этом направлении, требуется создание теории

Другим новым перспективным направлением повышения износостойкости поверхностного слоя детали трибосистемы может стать целенаправленное использование эффекта «залечивания» кластерного наноструктурного слоя в замкнутом контактном пространстве [1, 6] за счет вовлечения в процесс изнашивания продуктов износа. В этом случае весьма интересным является использование в тяжело нагруженных опорах и подшипниках скольжения в качестве смаз-

блочного металлополимерного наноструктурирования, которая предопределил пути существенного повышения износостойкости деталей трибосистем, находящихся в экстремальных условиях эксплуатации.

**Список литературы:** 1. Бутенко В.И. Научные основы нанотрибологии. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 275 с. 2. Бутенко В.И. Электронно-дислокационная теория контактного взаимодействия поверхностей твердых тел. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 208 с. 3. Бутенко В.И. Диффузионно-дислокационная модель изнашивания поверхностей деталей машин в режиме установившегося износа. - Новочеркасск, 1985. – 56 с. / Деп. в ВНИИТЭМР № 182 мш – 85 Деп. Реф. опубл. в БУ ВИНТИ «Депонированные научные рукописи», 1985, № 12. 4. Бутенко В.И. Износ деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 236 с. 5. Рыжкин А.А., Дмитриев В.С., Климов М.М. и др. Физические основы обработки материалов резанием: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 1996. – 354 с. 6. Бутенко В.И. Контактное взаимодействие материалов при трении и резании. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 245 с. 7. Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 264 с. 8. Заковоротный В.Л. Нелинейная триботехника. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2000. – 293 с. 9. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. – М.: Металлургиздат, 1963. – 272 с. 10. Материаловедение: Учебник для высших учебных заведений. / Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с. 11. Лебедев В.А. Технология динамических методов поверхностного пластического деформирования. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2006. – 183 с. 12. Гринвуд Д., Трип Е. Упругий контакт шероховатых сфер. // Прикладная механика: Труды американского общества инженеров механиков. – 1967, № 4. – С. 7 – 13. 13. Бутенко В.И. Формирование и изнашивание поверхностного слоя детали. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 193 с. 14. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм рядов и произведений. – М.: Физматгиз, 1971. – 1108 с. 15. Хейфец М.Л., Премент Г.Б., Басинюк В.Л. Технологическое и эксплуатационное наследование рабочих поверхностей деталей двигателей. / В кн.: Деформация и разрушение материалов и наноматериалов. Сборник статей по материалам II-ой международной конференции. – М.: Изд-во ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, 2007. – С. 203 – 205. 16. Бутенко В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с.

## РОЛЬ НАНОТРИБОЛОГИИ В СОЗДАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МАШИН И УСТРОЙСТВ

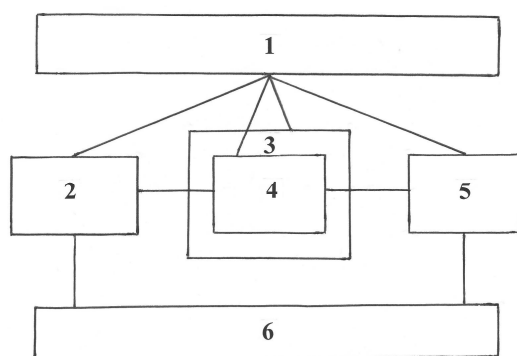
Бутенко В.И. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: [mkk@egf.tsure.ru](mailto:mkk@egf.tsure.ru)

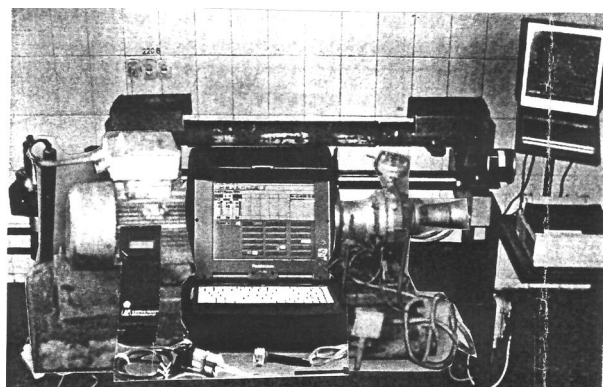
**Abstract:** It is shown, that increase of wear resistance of tribosystematical details by application of constructoral-technological ways of management nano-tribological blanket characteristics leads to essential economy of energy and considerable additional economic benefit.

**Key words:** wear resistance, detail, tribosystem, economy of energy, layer, effect

Представленные в работах [1 – 3] конструкторско-технологические пути управления нанотрибологическими характеристиками поверхностей деталей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения при их внедрении в машиностроительное производство позволяют не только существенно повысить работоспособность и надежность современных машин и устройств, но и приводят к



а)



б)

Рис.1. Стенд для определения энергопотерь в трибосистеме: а – принципиальная схема (1 – система управления; 2 – электродвигатель; 3 – камера испытаний; 4 – трибосистема (редуктор); 5 – нагрузка; 6 – система измерений); б – общий вид установки для исследования

снижению энергозатрат в процессе их эксплуатации. В связи с этим представляют практический интерес исследования по определению степени влияния способов управляющего воздействия на трибологические характеристики поверхностей деталей трибосистем на энергетические потери при эксплуатации машин и устройств в разных условиях и состояниях.

Исследования по определению энергосбережения при использовании в реальных трибосистемах разработанных конструкторско-технологических путей создания в зоне контакта поверхностей деталей кластерных наноструктур с заданными триботехническими характеристиками осуществлялось на специально

созданном стенде (рис. 1), содержащем электродвигатель, трибосистему (например, редуктор), нагрузочное устройство, регистрирующую аппаратуру, систему управления и камеру для имитации различных условий эксплуатации. В одноступенчатом редукторе (рис. 2) были смонтированы подшипники скольжения в виде удлиненных сменных втулок 1 и 2, изготавливаемых из различных конструкционных материалов и имеющих разное конструктивное исполнение.

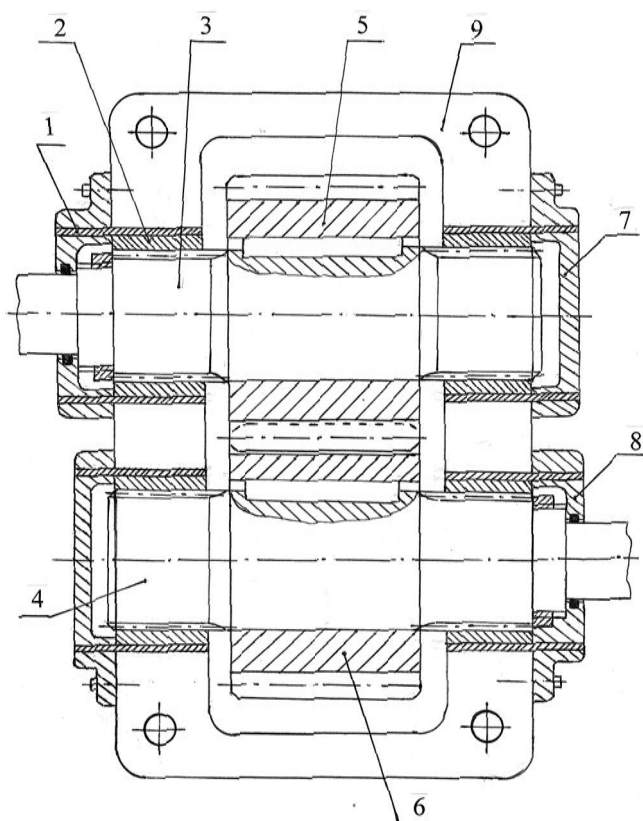


Рис.2. Трибосистема (редуктор): 1, 2 – втулки подшипника скольжения; 3, 4 – валы; 5, 6 – зубчатые колеса; 7, 8 – крышки; 9 – корпус

В исследованиях использовались вязкотекучие смазки (сплав Вуда), металлополимерные пленки на основе полиэтилена и полистирола, плазменное покрытие из порошка ПГ-ХН80СР4, создание железоуглеродистой пленки за счет нанесения покрытия из смазочно-плакировочной композиции, а также втулки с продольными канавками для обеспечения условий дискретного контактирования поверхностей сопряженных деталей трибосистем. В качестве технологических воздействий была использована упрочняющая обработка поверхностей втулок с коэффициентом упрочнения  $K_{\beta} = 1,0$ . Исследовалось влияние внешнего переменного магнитного поля напряженностью  $H_A = 8 \text{ МА/м}$  и ультразвуковых колебаний ( $A = 1,2 \text{ мм}$ ;  $\nu = 18,6 \text{ кГц}$ ), создаваемых в зоне контакта деталей трибосистем, на энергосбережение, которое оценивалось снижением электропотребления двигателем.

Сменные втулки 1 и 2 в опорах валов редуктора (рис. 2) изготавливались из стали 12Х18Н9Т и сплава 45Х25Н20С2А, а испытания проводились при температуре в камере 3 (рис.2, а)  $\Theta = 200^\circ \text{ С}$ .

Электросбережение  $\mathcal{E}_o$  определялось при постоянной внешней нагрузке  $N_n$  в процентах по формуле

$$\mathcal{E}_\partial = (1 - N'_\partial / N_\partial) 100\%, \quad (1)$$

где  $N_\partial$ ,  $N'_\partial$  – мощности, подаваемые электродвигателем в систему «редуктор – нагрузка» до и после воздействия на трибологические характеристики поверхностного слоя исследуемых подшипников скольжения.

На рис. 3 представлены гистограммы энергосбережения от способов воздействия на трибологические характеристики поверхностного слоя деталей подшипников скольжения, полученные по результатам 10 последовательно выполненных экспериментов. Одновременно было установлено, что процент электросбережения  $\mathcal{E}_\partial$  при различном способе воздействия на триботехнические характеристики поверхностного слоя подшипников скольжения существенно зависит от мощности внешней нагрузки  $N_n$  (рис.4). Возрастание процентов энергосбережения от мощности внешней нагрузки  $N_n$  свидетельствует о целесообразности применения того или иного разработанного способа воздействия на трибологические характеристики поверхностного слоя деталей подшипников скольжения в энергоемких машинах и агрегатах.

Анализ результатов выполненных исследований позволил получить следующую функциональную зависимость для определения процента электросбережения  $\mathcal{E}_\partial$  от применяемого способа воздействия на трибологические характеристики поверхностного слоя деталей подшипников скольжения в диапазоне изменения внешней нагрузки  $N_n$  от 1 до 21 кВт:

$$\mathcal{E}_\partial = \mathcal{E}_\partial^I + C_N N_n^a K_N, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_\partial^I$  – процент электросбережения, достигаемый от применяемого способа воздействия при внешней нагрузке  $N_n = 1$  кВт;

$C_N$ ,  $a$  – коэффициент и показатель степени, зависящие от способа воздействия на трибологические характеристики поверхностного слоя деталей трибосистем;

$K_N$  - коэффициент неравномерности нагрузки, принимаемый равным 0,5 – 0,8.

Результаты выполненных исследований по управлению нанотрибологическими характеристиками поверхностей деталей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения, а также опыт внедрения разработанных конструкторско-технологических и эксплуатационных направлений обеспечения заданных показателей надежности трибосистем позволили определить средние значения величин  $\mathcal{E}_\partial^I$ ,  $C_N$  и  $a$ , которые приведены в табл. 1 и могут быть использованы для практических расчетов электросбережения  $\mathcal{E}_\partial$  по формуле (2).

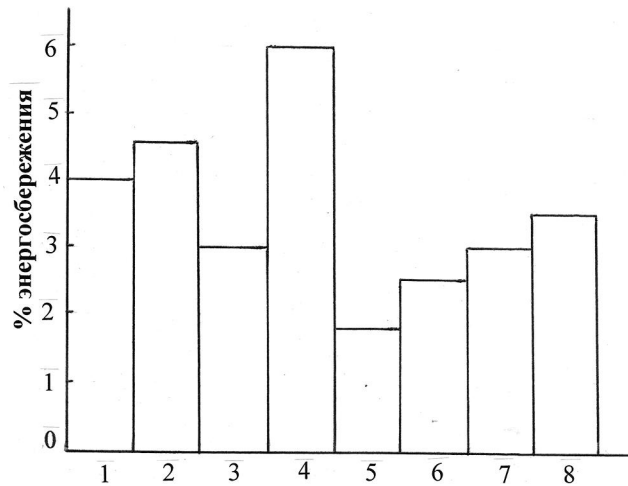


Рис.3. Гистограмма энергосбережения от способа взаимодействия на триботехнические характеристики поверхностного слоя деталей подшипников скольжения (пара трения «сталь 12Х18Н8Т – сплав 45Х25Н20С2А»,  $\Theta = 200^\circ\text{C}$ ,  $N_{\text{нагр.}} = 7 \text{ кВт}$ : 1 – условия дискретного контактирования; 2 – плазменное покрытие из порошка ПГ-ХН80СР4; 3 – упрочняющая обработка с коэффициентом упрочнения  $K\beta = 1,0$ ; 4 – вязкотекучая смазка – сплав Вуда; 5 – металлополимерный слой «сталь – полиэтилен»; 6 – металлополимерный слой «сталь – полистерол»; 7 – переменное магнитное поле с напряженностью  $HA = 8 \text{ МА/м}$ ; 8 – ультразвуковые колебания  $A = 1,2 \text{ мм}$ ,  $\nu = 18,6 \text{ кГц}$

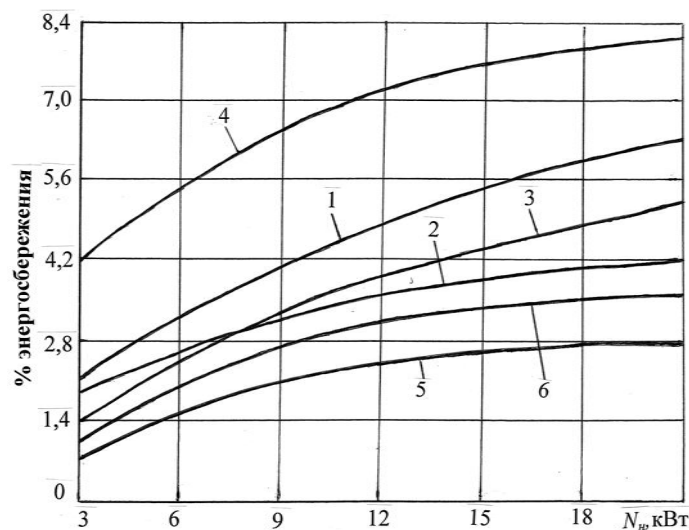


Рис.4. Изменения энергосбережения от мощности нагрузки  $N_{\text{нагр.}}$  при различном способе воздействия на триботехнические характеристики поверхностного слоя подшипников скольжения (пара трения «сталь 12Х18Н9Т – сплав 45Х25Н20С2А»,  $\Theta = 200^\circ\text{C}$ ): 1 – условия дискретного контактирования; 2 – металлополимерный слой «сталь – полиэтилен»; 3 – упрочняющая обработка с коэффициентом упрочнения  $K\beta = 1,0$ ; 4 – вязкотекучая смазка – сплав Вуда; 5 – переменное магнитное поле напряженностью  $HA = 8 \text{ МА/м}$ ; 6 – ультразвуковые колебания  $A = 1,2 \text{ мм}$ ,  $\nu = 18,6 \text{ кГц}$

Таблица 1 - Значения величин  $\mathcal{E}_d^I$ ,  $C_N$  и  $a$  для различных способов воздействия на трибологические характеристики поверхностного слоя деталей трибосистем

Способ воздействия на трибологические характеристики поверхностного слоя деталей трибосистем	Эд1	CN	a
Дискретное контактирование	5	0,75	0,30
Отделочно-упрочняющая обработка с коэффициентом упрочнения $K = 1,0$	4	0,55	0,35
Металлополимерный слой «сталь-полиэтилен»	4	0,40	0,25
Металлополимерный слой «сталь-полистирол»	4	0,50	0,30
Плазменное покрытие из порошка ПГ-ХН80СР4	8	0,65	0,30
Вязкотекучая смазка – сплав Вуда	10	0,70	0,33
Переменное магнитное поле напряженностью $H_A = 8$ МА/м	9	0,60	0,30
Ультразвуковые колебания: $A = 1,2$ мм; $\nu = 18,6$ кГц	10	0,50	0,25
Создание железоуглеродистого слоя	11	0,65	0,35

Однако в действительности процент энергосбережения для различных машин и устройств зависит от их конструктивного исполнения и количества тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. В связи с этим в течение многих лет проводился конструктивный анализ металлорежущих станков, промышленных роботов, электровозов, кузнечно-штамповочного оборудования, подъемно-транспортных машин и устройств, металлургического оборудования и других машин и механизмов, потребляющих электроэнергию, позволивший установить средние значения поправочного коэффициента на электропотребление КЭ в зависимости от количества в них тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения (табл.2). Тогда суммарная величина энергосбережения от использования на предприятии того или иного способа управления нанотрибологическими характеристиками поверхностей деталей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения  $N_\Sigma$  определится по следующей формуле:

$$N_\Sigma = K_{\mathcal{E}_i} \frac{\mathcal{E}_{di}}{100} \sum_{i=1}^m N_{di} + K_{\mathcal{E}_j} \frac{\mathcal{E}_{dj}}{100} \sum_{j=1}^n N_{dj} + K_{\mathcal{E}_l} \frac{\mathcal{E}_{dl}}{100} \sum_{l=1}^p N_{dl} + \dots, \quad (3)$$

где  $\sum_{i=1}^m N_{di}$ ,  $\sum_{j=1}^n N_{dj}$ ,  $\sum_{l=1}^p N_{dl}$ , ... – установленная суммарная энергоемкость машин соответствующего типа;

$\mathcal{E}_{di}$ ,  $\mathcal{E}_{dj}$ ,  $\mathcal{E}_{dl}$ , ... – проценты электросбережения по типам используемых машин, рассчитанные по формуле (2);

$K_{\mathcal{E}_i}$ ,  $K_{\mathcal{E}_j}$ ,  $K_{\mathcal{E}_l}$ , ... – поправочные коэффициенты на машины соответствующего типа.



Таблица 2 - Значения поправочного коэффициента КЭ для различных машин и устройств с электроприводом

Машины и устройства с электроприводом	Условия эксплуатации	КЭ
Металлорежущие станки: токарные универсальные токарные гидрокопировальные вертикально-сверлильные радиально-сверлильные горизонтально-фрезерные вертикально-фрезерные карусельно-фрезерные круглошлифовальные станки-автоматы и с ЧПУ обрабатывающие центры	нормальные	0,55-0,60 0,60-0,65 0,40-0,45 0,45-0,50 0,65-0,70 0,70-0,75 0,65-0,75 0,35-0,40 0,50-0,60 0,45-0,55
Промышленные роботы: портального исполнения напольного исполнения	высокая температура, вакуум, вибрация	0,40-0,45 0,45-0,50
Конвейеры: ленточные пластинчатые палетные рольганги	Запыленность, высокая температура, вибрации, загазованность, вакуум	0,55-0,65 0,50-0,55 0,45-0,50 0,75-0,80
Кузнечно-прессовое оборудование: листогибочные машины молоты одностоечные усилием 1600 кН молоты двухстоечные усилием 2500 кН горячештамповочные прессы усилием 2500 кН ковочные вальцы	Запыленность, вибрации, высокая температура	0,35-0,40 0,50-0,60 0,60-0,70 0,65-0,75 0,60-0,70
Шахтное оборудование: струговые установки угледобывающий комбайн конвейеры подъемники	Запыленность, вибрации, агрессивная среда	0,55-0,65 0,55-0,65 0,50-0,55 0,40-0,45
Локомотивы (электровозы)	нормальные	0,50-0,55
Электрокары	нормальные	0,30-0,35
Краны мостовые	нормальные	0,35-0,40
Прокатные станы	высокая температура, вибрации	0,65-0,75
Литейное оборудование	высокая температура, загазованность, запыленность	0,55-0,70

Примечание: нормальными условиями эксплуатации считались такие, при которых температура воздуха составляет  $20 \pm 10$  С, влажность воздуха – 30-40%, запыленность и загазованность – в пределах требований санитарных норм.

Экономический эффект от снижения электропотребления за счет использования того или иного способа управления нанотрибологическими характеристиками поверхностей деталей трибосистем  $G_3$  может быть вычислен по формуле

$$G_3 = C_3 \cdot N_\Sigma \cdot \Phi_e - E_H \cdot K_\Sigma, \quad (4)$$

где  $C_3$  – промышленная стоимость одного кВт/часа электроэнергии;

$\Phi_e$  – годовой фонд рабочего времени в часах;

$E_H$  – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений;

$K_\Sigma$  – затраты на модернизацию машин, связанные с использованием тех или иных способов управления нанотрибологическими характеристиками поверхностей деталей трибосистем.

Ориентировочные расчеты показывают, что применение разработанных способов управления нанотрибологическими характеристиками поверхностей деталей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения даст в станкостроительной промышленности России годовой экономический эффект в сумме 2,2 – 2,3 млрд. рублей; в сельхозмашиностроении – 1,6 – 1,7 млрд. рублей; авиастроении – не менее 2,5 млрд. рублей, двигателестроении – 3,3–3,5 млрд. рублей, нефтегазодобывающей промышленности – более 5,5 млрд. рублей, автомобилестроении – 2,8–3,0 млрд. рублей, легком и торговом машиностроении – около 0,9 млрд. рублей, в металлообработке – до 15 млрд. рублнй.

Значительный экономический эффект от использования на практике разработанных способов управления нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения [4] может быть достигнут за счет существенного увеличения сроков службы изделий и снижения затрат на их рациональную утилизацию. Как показывает практика эксплуатации изделий тяжелого машиностроения, двигателестроения, станкостроения и сельхозмашиностроения, во многих случаях отработавшие установленный срок службы трибосистемы машин, механизмов и устройств после недорогих и несложных восстановительных работ могут быть вновь использованы в таких же новых или подобных изделиях.

**Список литературы:** 1. Бутенко В.И. Научные основы нанотрибологии. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 275 с. 2. Бутенко В.И. Контактное взаимодействие материалов при трении и резании. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 245 с. 3. Бутенко В.И. Электронно-дислокационная теория контактного взаимодействия поверхностей твердых тел. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 208 с. 4. Бутенко В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с.

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Бутенко В.И., Кулинский А.Д., Гусакова Л.В. (ТТИ ЮФУ, г.Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** *The loss reasons are established by the abrasive tool of cutting ability and its destruction at long storage which have allowed to develop ways of increase of working capacity and increase in periods of storage of abrasive tools, including their saturation by paraffin and periodic low-temperature thermal processing.*

**Key words:** the tool, saturation, ability, abrasive, heat treatment

В современной металлообрабатывающей промышленности в условиях не стабильных рыночных отношений весьма актуальной является проблема повышения работоспособности и увеличения сроков хранения абразивных инструментов, в частности, шлифовальных кругов. Среди перспективных направлений повышения работоспособности и стойкости шлифовальных кругов являются разработанные на кафедре механики Таганрогского технологического института Южного федерального университета (ТТИ ЮФУ) совместно с ОАО «Ейский станкостроительный завод» технологические среды, устройства их подачи и системы адаптивного управления процессами шлифования, позволяющие существенно повысить эффективность абразивной обработки хромоникелевых сталей и сплавов [1]. Установлено, что при шлифовании поверхностей деталей особую значимость имеет угол подачи струи смазочно-охлаждающих технологических сред в зону контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью [2], который, как показали результаты экспериментальных и производственных испытаний, зависит от соотношения диаметров используемого шлифовального круга и обрабатываемой детали.

В настоящее время предъявляются высокие требования к качеству поверхностного слоя деталей после их шлифования. Анализ результатов выполненных исследований [3] показывает, что эффективность использования шлифовального круга и его влияние на качество поверхностного слоя обработанной детали зависит как от соотношения диаметров используемого круга и обрабатываемой детали, так и дисперсии размеров

абразивных зерен шлифовального круга. Это свидетельствует о необходимости индивидуального подхода к конструктивно-технологическим факторам процесса шлифования, что особенно важно при обработке хромоникелевых жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов, используемых, например, в двигателестроении. Как показывают подконтрольные эксплуатационные испытания процессов шлифования различных деталей, такой подход к определению условий и режимов шлифования позволяет повысить износостойкость обработанных деталей газотурбинных двигателей и установок в 2,0 – 2,5 раза при сохранении достаточно высокой стойкости абразивных инструментов.

К сожалению, из-за нестабильности инструментального производства и дороговизны абразивных инструментов многие машиностроительные предприятия вынуждены создавать резервный запас инструментов. В связи с этим перед производителями остро встает вопрос о допустимых сроках хранения абразивных инструментов и возможных путях его увеличения без снижения работоспособности шлифовальных кругов. В настоящее время реальными являются два возможных пути увеличения сроков хранения абразивных инструментов:

1. – импрегнирование кругов поверхностно нейтральными веществами (например, парафином), что, по-существу, может рассматриваться как консервация абразивных инструментов;
2. – периодическая термическая обработка (низкотемпературный отжиг) абразивных инструментов на керамической связке.

Установлено, что основной причиной потери абразивным инструментом режущей способности и разрушения его при длительном хранении является насыщение связки влагой и появление в связке разрушающих микроорганизмов. Именно поэтому рекомендуется хранить абразивные инструменты в сухих проветриваемых помещениях при температуре  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  и влажности воздуха 30–40%. В соответствии с ГОСТ 2424-80 при таких условиях хранения шлифовальные круги на керамической связке к концу установленного периода хранения снижают время непрерывной работы между двумя последовательными правками на 10 – 15% при сохранении достаточно высокой прочности связки на разрыв.

С целью увеличения сроков хранения шлифовальных кругов и сохранения их работоспособности разработан способ импрегнирования абразивных инструментов парафином В<sub>3</sub> 54 – 56 (ГОСТ 16960-71). Процесс импрегнирования шлифовальных кругов осуществляется путем погружения нагретого до температуры

130° С круга на 0,9 его ширины в расплав парафина, нагретого до температуры 57-60° С, с выдержкой в расплаве до появления парафина на верхнем торце инструмента. После этого абразивный инструмент вынимается из расплава парафина и в перевернутом виде охлаждается на воздухе.

Были проведены сравнительные испытания различных шлифовальных кругов, находящихся в двух состояниях:

1. – новые, поступившие с завода-изготовителя;
2. – импрегнированные парафином В<sub>3</sub> 54 – 56 после двухкратно увеличенного срока их хранения.

Исследования проводились на круглошлифовальных станках моделей 3М15 и 3М151ВФ1 с использованием в качестве смазочно-охлаждающей жидкости 5-ти процентного водного раствора эмульсии «Укринол-1» (ТУ 38 – 101197 – 76). Исследования проводились как в экспериментальных лабораториях ТТИ ЮФУ, так и в производственных цехах ОАО «Ейский станкостроительный завод». Обработке подвергались детали из конструкционных сталей 12Х3Н и 45, а также серого чугуна СЧ15. Обработываемые детали, прошедшие предварительное чистовое точение, имели диаметр 30 мм и длину 340 мм. Были приняты следующие режимы шлифования: скорость вращения круга  $V_{кр} = 30-35$  м/с; скорость вращения обрабатываемой детали  $V_d = 0,6$  м/с; продольная подача круга  $S_{пр} = 0,01$  м/с; подача врезания  $S_{вр} = 0,01$  мм/дв.ход; число проходов  $m = 4$ . За критерий оценки работоспособности шлифовальных кругов было принято время непрерывной работы их до правки, которое фиксировалось моментом появления на обработанной поверхности детали прижога. Одновременно определялись параметры качества обработанной поверхности детали: шероховатость поверхности по параметру  $R_a$ , величина технологических остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  и толщина упрочненного слоя  $\Delta H$ . Для этого использовались известные методики и оборудование. Правка шлифовальных кругов осуществлялась при помощи специального приспособления алмазным карандашом МААС ТУ 88 СССР 663-79. Каждый эксперимент повторялся пять раз, после чего вычислялись средние значения исследуемых показателей и параметров.

Результаты выполненных исследований приведены в табл. 1 и 2, из анализа которых следует, что шлифовальные круги, импрегнированные парафином В<sub>3</sub> 54-56, после двухкратно увеличенного срока хранения не только сохраняют свою работоспособность по параметрам качества обработанной поверхности детали ( $R_a$ ,  $\sigma_{ост}$ ,

$\Delta H$ ), но и имеют в среднем на 30% выше стойкость. Эффект обеспечения работоспособности импрегнированных парафином шлифовальных кругов после двухкратно увеличенного срока службы достигается за счет заполнения парафином межзеренного пространства и снижения в процессе работы в зоне резания коэффициента трения.

Проведены экспериментальные исследования влияния периодической термической обработки (низкотемпературного отжига) на работоспособность абразивных инструментов на керамической связке. В задачи исследований входило:

1. – определение оптимальных режимов (температуры, продолжительности и периодичности) термической обработки шлифовальных кругов;
2. – установление закономерностей изменения стойкости шлифовального круга от числа его отжигов;
3. – исследование влияния числа отжигов шлифовального круга на эксплуатационные показатели поверхностного слоя обработанной детали.

Комплекс выполненных исследований позволил определить следующие оптимальные режимы термической обработки шлифовальных кругов на керамической связке: температура нагрева – 120 - 130° С, продолжительность – от 10 мин. (для круга размером 150x16x32) до 40 мин. (для круга размером 600x80x305), периодичность – 6-8 месяцев. Установлено, что стойкость шлифовальных кругов уменьшается от числа отжигов, причем это уменьшение зависит от начальной твердости керамической связки и высоты круга (рис. 1). Эффект в этом случае достигается за счет уничтожения при термической обработке шлифовальных кругов разрушающих керамическую связку микроорганизмов. При этом шероховатость обработанной поверхности детали  $R_a$  практически не изменяется от числа отжигов шлифовального круга, а значения величины остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  и толщины упрочненного слоя  $\Delta H$  значительно возрастают (рис. 2).

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что импрегнирование шлифовальных кругов парафином или их периодическая термическая обработка может существенно увеличить срок хранения абразивных материалов при той же или более высокой работоспособности.

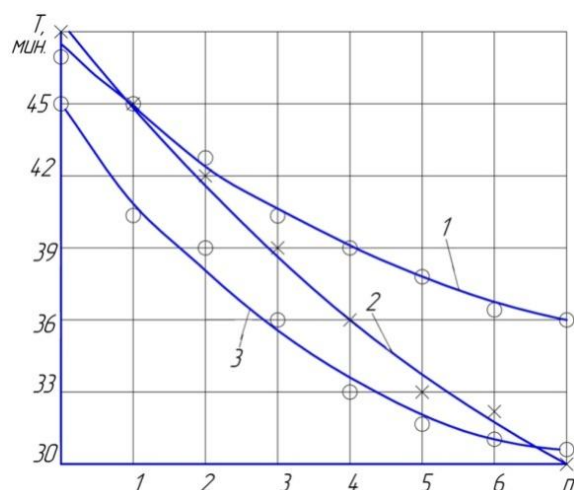


Рис. 1. Изменение стойкости шлифовальных кругов Т от числа их отжигов n при обработке стали 12Х3Н кругами: 1 – 150х50х32 63 СЧК; 2 – 200х20х32 63С1Т; 3 – 250х40х76 63 СПП

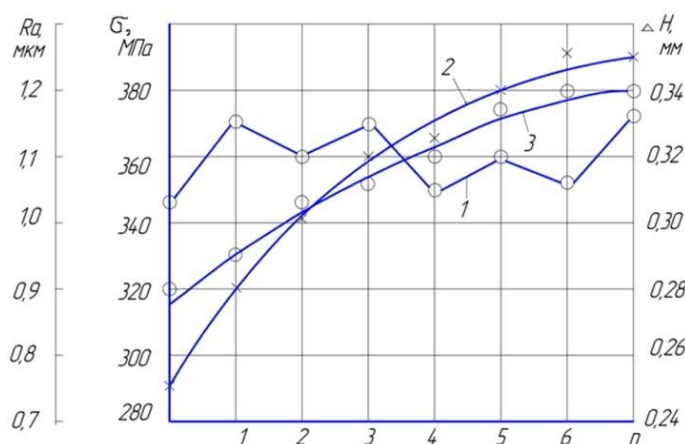


Рис. 2. Изменение шероховатости Ra (кривая 1), технологических остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  (кривая 2) и толщины упрочнённого слоя  $\Delta H$  (кривая 3) от числа отжигов шлифовального круга n 200х20х32 63С1Т при обработке стали 12Х3Н ( $V_{кр} = 30$  м/с,  $S_{пр} = 0,01$  м/с,  $S_{вр} = 0,01$  мм/дв.ход)

**Список литературы:** 1. Бутенко В.И., Фоменко Е.С., Кулинский А.Д. Технологические средства, устройства и конструкции инструментов для бездефектного шлифования деталей машин. // Металлообработка, 2008, № 3(45). – С. 2 – 9. 2. Бутенко В.И., Дуров Д.С., Гусакова Л.В. Совершенствование способов подачи, раздачи и очистки СОТС при шлифовании деталей. //Металлообработка, 2009, № 2(50). – С. 2 – 8. 3. Бутенко В.И., Дуров Д.С., Гусакова Л.В. Влияние диаметра детали и дисперсии размеров абразивных зерен на качество поверхностного слоя. //Металлообработка, 2010, № 1(55). – С. 2 – 7.

Таблица 1 - Результаты испытания абразивных инструментов на стойкость (круги шлифовальные, ГОСТ 2424-80)

Марка	Размеры	Время работы между правками (мин) при обработке							
		Сталь 45		Сталь 12ХЗН		Чугун СЧ15			
		новые	импрегнир.	новые	импрегнир.	новые	импрегнир.	новые	импрегнир.
23АПП	150×16×32	45	60	35	48	65		65	90
23АЧК	150×40×32	42	55	36	45	60		60	80
63СЧК	150×50×32	40	52	38	48	60		60	82
63С1Т	200×20×32	41	50	38	51	63		63	95
64СПП	200×40×32	43	55	40	52	61		61	85
63СПП	250×32×76	40	50	39	48	59		59	83
63СПП	250×40×76	39	51	37	44	58		58	80
23АПП	250×40×76	38	49	36	45	58		58	82
14АПП	350×40×127	39	49	35	43	59		59	80
63СПП	350×40×127	37	46	35	44	57		57	78
24АПП	400×40×127	37	47	34	43	58		58	79
14АПП	400×40×127	36	46	35	48	59		59	82
64СПП	400×40×203	36	45	36	53	58		58	80
14АПП	450×63×203	35	46	34	50	57		57	76
92АПП	600×63×305	34	40	31	44	55		55	70
14АПП	600×80×305	33	40	30	41	53		53	65



Таблица 2 - Сравнительные показатели качества поверхностного слоя деталей при шлифовании сталей

Марка	Размеры	Сталь 45						Сталь 12Х3Н					
		новые			импрегнир.			новые			импрегнир.		
		$R_a$ , мкм	$\sigma_{ост}$ , МПа	$\Delta H$ , мм	$R_a$ , мкм	$\sigma_{ост}$ , МПа	$\Delta H$ , мм	$R_a$ , мкм	$\sigma_{ост}$ , МПа	$\Delta H$ , мм	$R_a$ , мкм	$\sigma_{ост}$ , МПа	$\Delta H$ , мм
23АПП	150×16×32	1,26	310	0,35	1,15	300	0,33	1,31	340	0,43	1,22	320	0,40
23АЧК	150×40×32	1,24	320	0,36	1,14	310	0,35	1,35	360	0,45	1,25	340	0,41
63СЧК	150×50×32	1,25	300	0,32	1,12	290	0,30	1,34	340	0,45	1,19	320	0,40
63С1Т	200×20×32	1,24	310	0,31	1,04	290	0,29	1,29	350	0,42	1,20	325	0,39
64СПП	200×40×32	1,25	310	0,32	1,05	300	0,28	1,35	360	0,45	1,15	330	0,41
63СПП	250×32×76	1,28	330	0,38	1,08	300	0,32	1,36	370	0,47	1,16	340	0,42
63СПП	250×40×76	1,27	330	0,37	1,21	310	0,35	1,35	360	0,45	1,18	330	0,41
23АПП	250×40×76	1,24	320	0,35	1,11	300	0,32	1,37	380	0,49	1,21	340	0,43
14АПП	350×40×127	1,25	320	0,34	1,13	300	0,29	1,42	350	0,43	1,20	310	0,39
63СПП	350×40×127	1,26	330	0,33	1,11	300	0,30	1,34	350	0,41	1,11	320	0,38
24АПП	400×40×127	1,24	320	0,32	1,05	310	0,29	1,35	350	0,42	1,07	320	0,39
14АПП	400×40×127	1,25	330	0,34	1,09	310	0,30	1,41	360	0,44	1,13	330	0,40
64СПП	400×40×203	1,24	330	0,33	1,05	290	0,29	1,38	350	0,40	1,09	300	0,36
14АПП	450×63×203	1,26	340	0,39	1,09	300	0,31	1,41	370	0,44	1,20	330	0,41
92АПП	600×63×305	1,27	350	0,40	1,12	310	0,33	1,40	370	0,43	1,15	330	0,40
14АПП	600×80×305	1,26	350	0,39	1,11	310	0,32	1,42	380	0,43	1,22	320	0,39

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОТОРНО-МНОГОЯРУСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Водолазская Н.В. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Несмотря на разнообразие резьбовых изделий, выпускаемых машиностроительными предприятиями, для автоматизированных операций их сборки в значительном количестве случаев используются общие технологические методы и принципиально одинаковое оборудование.

Автоматическую непрерывную сборку для реализации сопряжения двух поверхностей путем их механического перемещения относительно друг друга можно осуществить на роторной сборочной машине [1] и многоярусной сборочной машине [2]. В настоящее время разработана роторно-многоярусная система (РМС) [3, 4], структурная схема которой представлена на рис.1.

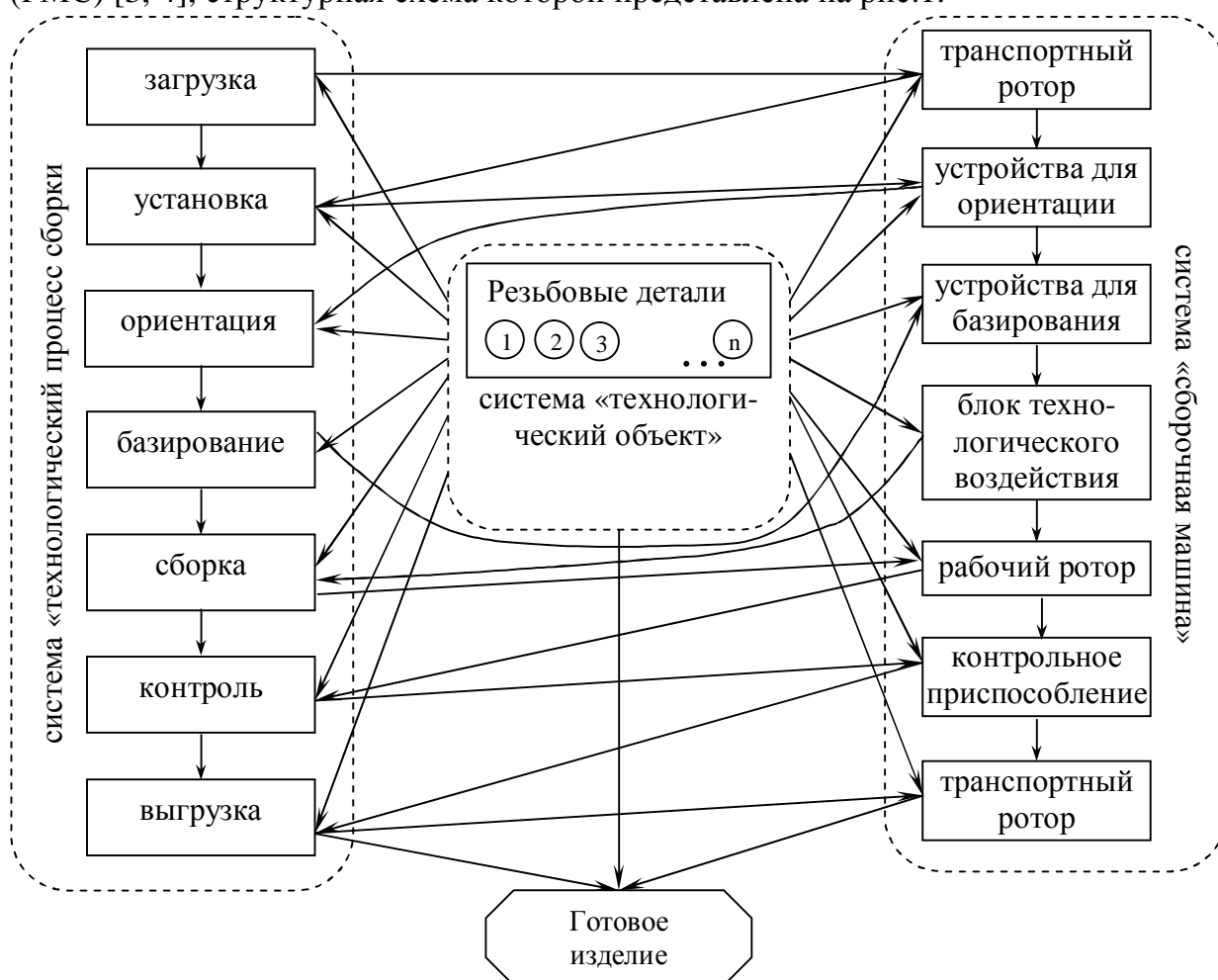


Рис. 1. Универсальная функциональная структура сборочной РМС

К преимуществам разработанной роторно-многоярусной сборочной машины можно отнести следующие положения:

- Роторно-многоярусная сборочная машина, имея те же задачи, что и

роторная линия, состоит из меньшего числа различных механизмов и узлов.

➤ Перемещение всех исполнительных блоков и механизмов обеспечивает один приводной двигатель для всей роторно-многоярусной сборочной машины.

➤ Данная схема расположения блоков машины позволяет осуществлять сборку резьбового изделия с вертикальной схемой расположения их осей, что увеличивает процент собираемости изделий.

➤ Передача штучных деталей из транспортного ротора в технологический, осуществляется без потери ориентации деталей, что имеет большое значение при сборке резьбовых изделий из-за сложности их ориентации и базирования.

➤ Роторно-многоярусная сборочная машина имеет универсальную компактную структуру каждого из ярусов, что позволяет экономить производственную площадь, а также способствует уменьшению числа рабочих, занимающихся обслуживанием подобных систем.

➤ В конструкцию рабочего ротора входит контрольно-реагирующее устройство, обеспечивающее непрерывность сборочного процесса тем, которое осуществляет оповещение системы о недособранных или неверно собранных резьбовых изделиях, что позволяет удалять их и исключать повреждение инструментального блока.

Процесс проектирования роторно-многоярусных сборочных технологических систем можно разделить на две части. Первая – подготовительная, связанная со сбором и анализом сведений конструкторско-технологического характера, касающихся деталей и узлов, сборка которых будет выполняться, а также с выбором или написанием технологического процесса сборки. Вторая часть процесса – создание компоновки сборочной роторно-многоярусной машины.

Процесс формирования компоновок РМС для сборки резьбовых изделий – это процесс отбора из ряда из ряда возможных вариантов наиболее рационального [5]. Отбор происходит путем оценки альтернатив. Для выбора наилучшей альтернативы компоновки РМС разработана методика, этапы которой изложены ниже.

1. Анализ исходных данных (количества деталей в изделии, количества соединений и количества резьбовых соединений):

разбиение на классы соединений;

поиск однотипных классов соединений;

выполнение условий ориентации и базирования для каждого соединения;

поиск условий собираемости для каждого класса соединений.

2. Составление технологической последовательности сборки резьбового узла  
группирование по типам соединений;

выявление возможности осуществления технологической операции на одном ярусе технологического ротора;

разработка вариантов последовательности сборки;

выбор наилучшего варианта технологического процесса сборки с учетом технико-экономических показателей производства (производительность, длительность процесса сборки, загрузка оборудования и др.);

выбор наилучшей схемы базирования и ориентации каждого типа деталей путем предикативного анализа.

### 3. Выбор компоновки роторно-многоярусной сборочной машины.

анализ и отбор предварительных вариантов возможных компоновок РМС;

расчеты объема пространства, длительности и производительности, выбор наилучшей компоновки;

обоснование количества и расположения технологических роторов, т.е. ярусов;

обоснование количества и расположения БТВ с учетом возможности однотипных соединений;

обоснование количества и расположения транспортных роторов и ярусов в них. Четкое определение входных и выходных элементов;

геометрический и кинематический анализ компоновки:

описание ориентирования элементов сборочной системы через совокупность систем координат;

проверка последовательности элементарных движений в сборочной системе;

проверка соответствия расположения и движения элементов сборочной системы операциям технологического процесса сборки изделия с резьбовыми соединениями;

корректировка компоновки РММ для сборки резьбовых изделий;

разработка компоновки РММ для сборки резьбовых изделий.

Последовательность общей методики синтеза РМС удобно представить в алгоритмическом виде [6].

Она содержит общие и частные модели проектирования элементов и подсистем, геометрические и кинематические связи и оптимизацию параметров разработанной РМС. На первом этапе выполняется анализ резьбового изделия на технологическое соответствие его конструкции к сборке в непрерывном режиме на роторно-многоярусных машинах. Следующей задачей является определение последовательности операций технологического процесса сборки резьбового изделия. И на заключительном этапе разрабатывается компоновка РММ для сборки резьбовых узлов. Выход предыдущего этапа системы и подсистемы является входом последующего этапа системы и подсистемы разрабатываемой РММ.

Разработан ряд алгоритмов для каждой из систем, а именно: технологический объект [7], технологический процесс сборки резьбовых изделий [8] и сборочная машина [9], позволяющий учитывать их особенности. Пример алгоритма формирования пространственной компоновки РМС представлен на рис. 2.

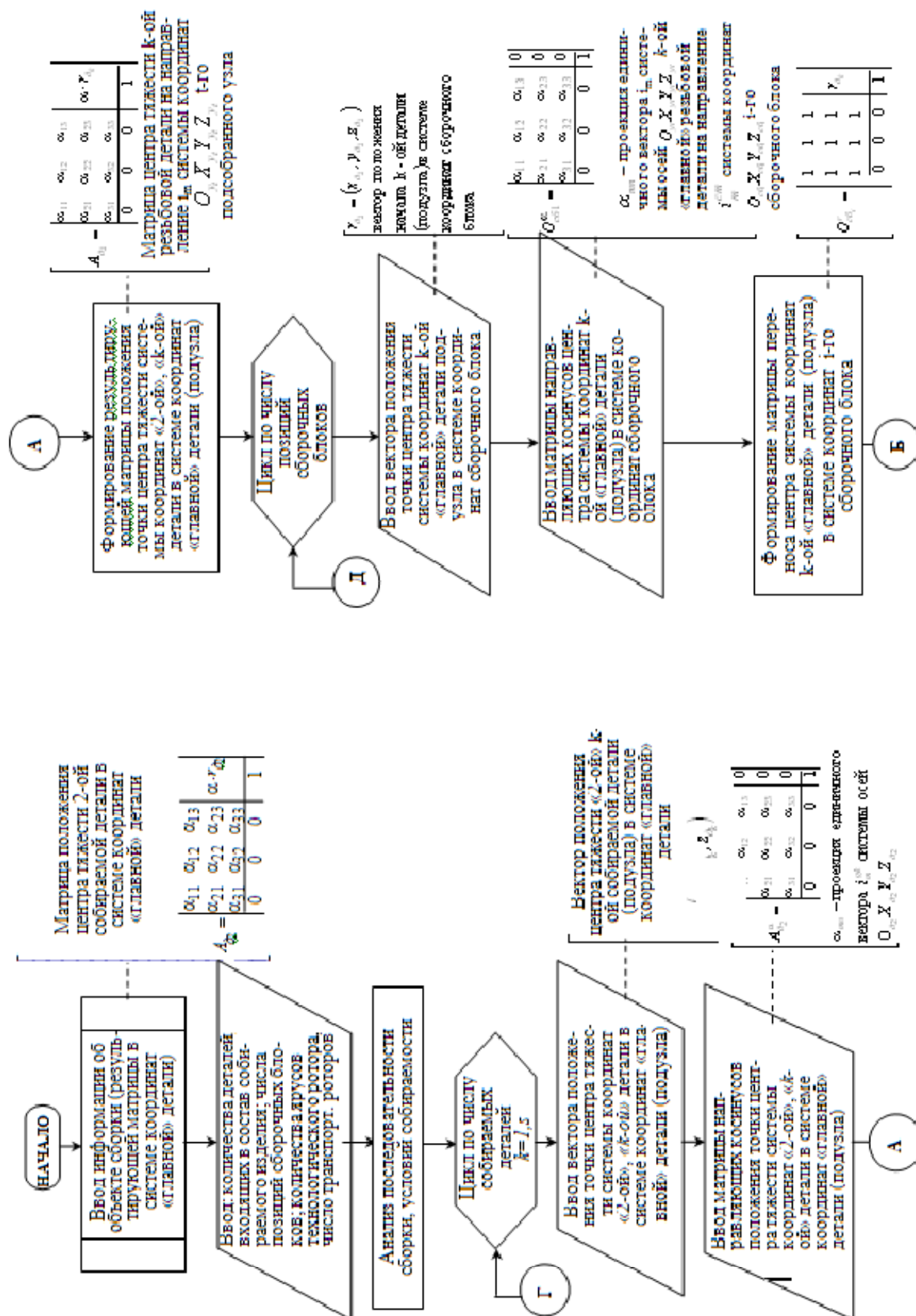
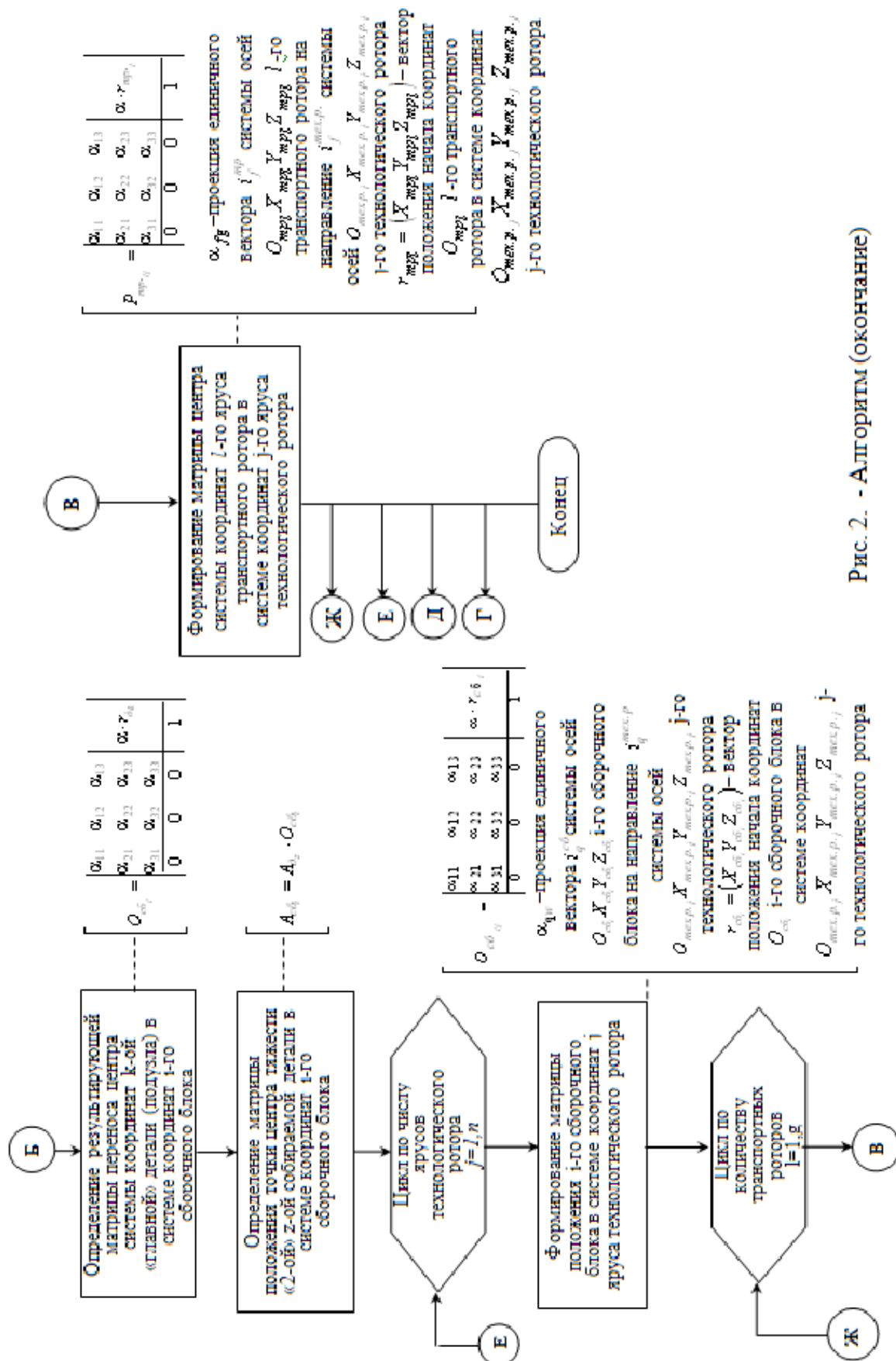


Рис. 2. Алгоритм формирования пространственной компоновки РМС с использованием аффинных преобразований





Разработанный алгоритм синтеза РМС позволяет увидеть взаимосвязь между подсистемами, подчеркнуть целостность всей системы, а также создавать с помощью ЭВМ новые высокоэффективные варианты систем непрерывного действия.

**Список литературы:** 1. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии. - М.: Машиностроение, 1982. — 236 с. 2. Шерешевский Н. И. Анализ и синтез многоярусной сборки. — М.: Машиностроение, 1971. — 248 с. 3. Патент 63290А України, В23Р19/06. Роторна складальна машина /Н. В. Водолазська, О. М. Михайлов (Україна). //Бюл. – 2003. - № 1. 4. Vodolazskaya N. Compactness spatially-oriented of technological system for assembly of treaded connection. //Research and Development in Mechanical Industry. RaDMI 2003. Proceedings. Volume 1: Herceg Novi. (Serbia and Montenegro). 19 – 23 September, 2003. – P. 578-586. 5. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения /Пер. с англ. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с. 6. Водолазская Н.В. Разработка алгоритмической модели компоновок РММ. Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Тези доп. Четвертої Всеукр. наук.- техн. конференції (1 - 4 листопада 2004р.). – Київ: НТУУ «КПІ», 2004. –С.13-15. 7. Водолазская Н. В. Выбор рациональной схемы расположения резьбовых деталей при реализации процесса многоярусной роторной сборки //29. Jupiter konferencija: Zbornik radova. – Beograd: Mašinski fakultet univerziteta u Beogradu. - 2003. – С.3 134-3 137. 8. Водолазская Н.В. Анализ резьбового изделия для сборки на роторно-многоярусных машин. Известия ТРТУ – ДонНТУ. // Материалы седьмого международного научно – практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн. – Таганрог. Изд-во ТРТУ. – Кн. 3. 2006, №6. – С. 59-64. 9. Vodolazskaya N.. Mathematical model of assembly probability of threaded connections at the vertical scheme of orientation and basing. International scientific conference HIPNEF 2006 / Zbornik radova 30 naučno-stručnog skupa sa međunarodnim učešćem. Vrnjačka Banja. Yugoslavia. 24 – 26.05.04. Beograd: Planeta print. 2006. – P. 451-460.

## АНАЛИЗ ТЕМПОВ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Головин В.С., Мирошниченко Е. В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*Постановка проблемы.* Актуальность выбранной темы определяется конкретным спектром неразрешённых вопросов онтологического характера, возникающих с появлением нанотехнологий, а также вопросами анализа темпов их развития в мире.

*Формулировка цели.* Проанализировать современные темпы развития нанотехнологий.

*Изложение основного материала.* Говоря о современных нанотехнологиях, подразумевают создание структур размерами в несколько нанометров, десятков нанометров (нано=10 в степени -9). Практически это означает манипулирование небольшими группами и даже отдельными атомами!

Уже сегодня существует целый ряд разработок, основывающихся на элементах нанотехнологии. Например, компания IBM недавно представила новую технологию хранения информации, с помощью которой можно будет добиться плотности записи порядка триллиона бит на квадратный дюйм, что в 20 раз больше, чем у самого совершенного на сегодня магнитного носителя. Кремниевым запоминающим устройствам до этого показателя еще дальше. В новой технологии Millipede компании IBM - все необычно: и подход к организации хранения данных, и время (в хронологическом отношении развития компьютерного прогресса) "рождения" новой технологии, и небывалое количество циклов записи/перезаписи. Ноу-хау компании IBM лишь "эхо" давно забытых перфокарт, с единственной лишь разницей в том, что технология реализована на микроскопическом уровне и не является "одноразовой" по отношению к носителю информации. Основным элементом Millipede - массив одноконечных кремниевых кронштейнов длиной 70 и толщиной 0,5 мкм (в будущем эти цифры, конечно же, уменьшаться), на каждом из которых находится микроскопическая игла длиной 2 мкм. В представленном компанией IBM демонстрационном образце использовался массив 32 x 32 с размерами всего 3 x 3 мм.

О своем достижении в области электронных технологий на молекулярном уровне поведала и компания HP. В ее лаборатории достигли наивысшей плотности на данный момент и даже готовы продемонстрировать 64-бит чип энергонезависимой памяти, в котором роль ячеек памяти играют отдельные молекулы. Этот чип умещается на площади в один квадратный микрон. Кроме того HP удалось совместить запоминающие и управляющие элементы в одном молекуляр-



ном устройстве. Самое удивительное, что у компании HP уже разработана опытная методика производства нанолитографической печати, позволяющей делать копии чипов на пластинах, подобно тому, как делаются копии страниц с оригинал-макета в типографиях.

Нанотехнологии применимы и в таких "прикладных" областях как создание охладительных установок. Термоионный метод охлаждения, разрабатываемый фирмой Cool Chips, находится на совершенно ином, более глубоком физическом уровне, нежели классические методы, "орудующие" воздушным потоком, или холодильники Пельтье, которые используют термоэлектронный эффект. Термоионный охладитель - это термоионный преобразователь, в котором под действием напряжения происходит отвод "горячих" электронов (электронов с большой энергией) от охлаждаемой поверхности. Что касается ожидаемой эффективности разработки Cool Chips, то она, включая все потери (даже отток тепла через проводники), составит порядка 70-80%, при теоретической интенсивности теплоотвода порядка 5кВт/кв.см. Если сравнивать новую технологию с традиционными методами охлаждения, то КПД компрессорных систем равен 40-50%, термоэлектрических - 8%, в лучшем случае при большом научном прорыве приблизительно 20-30%.

Область исследования работы и практического действия нанотехнологий – это пятое измерение – наноматерия, процессы, протекающие на макроуровне. Это скорее уровень развития науки, чем что-то радикально новое. Самоорганизация материи на этом уровне является решающим аспектом. Такие процессы как квантование и туннелирование приводит количество в качество объёмных объектов. С позиции разных наук – нанотехнологии являются тем современным уровнем одной миллиардной метра, на котором сейчас работают и проектируются самые дорогостоящие модели. Линейный размер записывающих элементов «флэшки» на 64 Гб составляет в среднем 25 нм – это говорит о активном внедрении нанотехнологий в современную жизнь, раньше о таком можно было только мечтать.

Возможные причины «нано бума»:

- Появление принципиально новых методов диагностики наноразмерных объектов (современная электронная микроскопия, туннельная и атомно-силовая микроскопии).
- Осознание того, что наноматериалы обладают специфическими магнитными, электрическими, оптическими и др. (новыми по сравнению с объёмным телом свойствами):

- 1) высокая реакционная способность;

- 2) квантовые и туннельные эффекты;
- 3) слабые дальнедействующие связи, самоорганизация;
- 4) специфическое взаимодействие с живыми системами, биомиметика.

- Открыт путь к миниатюризации технических устройств и огромной экономии ресурсов.

Покрывание с микро и нано-генераторами энергии (гибкие солнечные батареи). Нанороботы как средство диагностики микропроцессора позволяют устранять дефекты на начальном этапе, и увеличат большее количество выпуска продукции с минимальными временными затратами. Нанотехнологии должны изменить качество жизни в целом. В таблице 1 представлены масштабы современных систем.

Таблица 1 - Пространственные масштабы современных систем

Объект	Параметр объекта	Величина параметра	Дополнения и комментарии
Макро: > 1 мм		(мм)	
Чипы, интегральные микросхемы	Характерный размер	0,1-1	Интеграция макро-, микро- и нанотехнологий электроники
Сердце взрослого человека	Характерный размер	100	Интеграция макро-, микро- и нанотехнологий миокарда
Мобильные компьютеры, мобильные телефоны и т.д.	Характерный размер	100	Интеграция макро-, микро-, и нанотехнологий электроники
Микро: 1-10 <sup>3</sup> мкм		(мкм)	
Топологические элементы интегральных схем	Характерный размер	0,1-1,0	Технологии
Клетки крови	Характерный размер	7	Внутрисосудистые нано- и микророботы
Клетки сердца	Характерный размер	50	Визуализация трансмембранного потенциала на клеточном уровне
Микромеханический акселерометр	Характерный размер	500	Интеграция микромеханических и наномеханических технологий электроники

Для создания новой интеллектуальной системы используется симбиоз таких поисков как поиск оптимального компонента, поиск альтернативных макросхем, поиск альтернативного компьютера (рис. 1).



Рис. 1. Направления научного поиска

С приходом новых приборов возникает новое качество технологии: она протраивает связи от рук человека к отдельным атомам и молекулам, проходя семь-восемь порядков в размерах.

Основополагающей стороной в сфере развития нанотехнологий является чрезмерно развитая коммерциализация и острая заинтересованность со стороны органов власти. Если мы посмотрим на

рисунок 2, то мы увидим, что в построении новой модели на основе нанотехнологий рассматривается три уровня: уровень науки, технологический уровень и уровень коммерческой заинтересованности в развитии модели, плюс заинтересованность в постоянном улучшении выбранных моделей.



Рис. 2. Цепочка построения новой модели

Нанотехнология "прорастала" из молекулярной биологии, подобным же образом ростки нанотехнологии всходили на протяжении последних тридцати лет XX века в ряде прикладных наук, привлекающих мультидисциплинарные подходы (квантовая электроника, коллоидная

химия, физика полупроводников, нейтронография и т.д.). Изучить молекулярный объект, предложить его модель - и создать базу для направленной модификации, сконструировать ряд новых объектов, провести их изучение и добиться наиболее эффективных результатов в получении заранее заданных свойств - вот общая схема развития нанотехнологических исследований.

Отдел BBC по исследованиям и разработкам (BBC Research & Development) опубликовал прогноз развития рынка нанотехнологий до 2015 года. По оценкам аналитиков, объем рынка в 2010 году достигнет 15,7 млрд долларов. Драйвер роста рынка - самый крупный сегмент нанотехнологий - наноматериалы. Его объем в 2015 году может приблизиться к 20 млрд долларов при средних ежегодных темпах роста в 15%.

*Выводы.* В исследовании произведен анализ будущих перспектив развития рынка нанотехнологий и обзор всех существующих тенденций. В обзоре оцениваются тенденции основных сегментов рынка, таких, как рынок наноматериалов, рынок наноинструментов и рынок наноустройств.

Согласно оценке аналитиков, общий объем рынка нанотехнологий составил в 2010 году 15,7 млрд. долларов, однако к 2015 он может вырасти до 27 млрд. долларов. Таким образом, его среднегодовой темп роста (CAGR) составит 11,1% в год.

Наиболее крупный сегмент общего рынка нанотехнологий - наноматериалы (объем рынка - 10 млрд долларов в 2010 году). В течение пяти лет его CAGR будет составлять 14,7% и в 2014 году объем может достичь 19,6 млрд долларов.

Второй по объему сектор, наноинструменты, превысит объем 6,8 млрд. долларов к 2015 году. В 2010 году его объем оценивается в 5,8 млрд. долларов и его CAGR составит 3,3%.

Наиболее быстрорастущим сегментом рынка станет самый незначительный по объему сектор рынка, рынок наноустройств. По прогнозам, данный рынок вырастет с 35,4 млн. в 2010 до почти 234 млн. долларов в 2015 году, так что его CAGR составит 45,9%.

**Список литературы:** 1. Трубочкина Н.К. Курс лекций «Компьютерное моделирование наносистем» ([http://www.youtube.com/view\\_play\\_list?p=EAED631542A80778](http://www.youtube.com/view_play_list?p=EAED631542A80778)). 2. Отчет о докладе Сергея Иванова на заседании Совета Федерации <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2008/doklad-o-nanotekhnologiyakh-sergeya-ivanova-na-sovete-federatsii-19-marta> 3. Статья Юрий Нечипоренко «Нанотехнология: новый образ мысли или кремлевская мода?» <http://www.russ.ru/pole/Nanotekhnologiya-novyy-obraz-mysli-ili-kremlevskaya-moda> 4. Сайт о нанотехнологиях <http://nano-planet.org/>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ**

**Горобец И.А., Голубов Н.В., Горбулин И.А.** (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

Современное машиностроение развивается такими темпами, что технологии, общепринятые сегодня, завтра могут уже не удовлетворить запросам производства. Одним из путей выхода из этой ситуации есть поиск новых технических решений в области процессов обработки материала. В настоящее время на производстве возникают повышенные требования к качеству производимых изделий, что в свою очередь повышает требования, которые предъявляются к контролю а, следовательно, к контрольно-измерительным приспособлениям. Ответственные элементы приспособлений должны обеспечивать необходимую точность измерений в различных условиях эксплуатации на длительном времени работы. Новым решением этой проблемы является применение нетрадиционных материалов, в том числе неметаллических, для изготовления контрольно-измерительных приспособлений. Одним из таких материалов есть природный камень, в частности гранит. Одним из актуальных вопросов является повышения производительности обработки заготовок из природного камня без ухудшения качественных характеристик заготовки.

Повышение производительности процесса шлифования, что может быть достигнуто за счет совершенствования технологического процесса шлифования.

Для выявления особенностей режимов резания на производительность процесса шлифования изделия из камня различными кругами была проведена серия экспериментов.

Целью экспериментальных исследований являлось выявление зависимостей режимов обработки на производительность обработки изделий из природного камня при обработке их шлифованием.

Задачи исследований:

1. Экспериментально определить взаимосвязь производительности и режимов резания при шлифовании.
2. Сравнить величины производительности различных кругов на разных режимах резания.

3. Экспериментально определить влияние формы круга и режимов обработки на макрогеометрию обработанной поверхностей заготовки

В соответствии с поставленными задачами в качестве контролируемых величин принимались:

Входные величины: режимы резания, характеризующиеся скоростью подачи  $V_n$ , усилием прижима инструмента  $P_o$ , припуском обработки  $Z$ .

Выходная величина: величина съема материала  $h$  по поверхности заготовки.

В качестве заготовок при проведении экспериментальных исследований принят гранит. Обрабатывались образцы Янцевского месторождения (прочность при сжатии 210÷МПа, плотность 2,62÷2,82 г/см<sup>3</sup>).

Для каждого образца заготовки и двух вариантов инструмента (базовый и модернизированный) проводился полный факторный эксперимент. Скорость шлифования принята равной 8,8 м/с (частота вращения инструмента  $n = 1600$  об/мин).

Уровни варьирования факторов:

- подача, 400-630-800 мм/мин.

- глубина шлифования, 200-400-600-800-1000 мкм.

Измеряемым параметром являлась величина съема материала  $u$ , мкм, которая производилась в 25 точках поверхности с интервалом в 30 мм. По данным измерений определялась также и макрогеометрия обработанной поверхности.

В процессе шлифования осуществлялось два полных рабочих хода инструмента с продольной подачей и фиксировалась осевая сила  $P_o$ .

Экспериментальная установка состоит из основного технологического оборудования, измерительных приборов и оснастки, а также вспомогательных устройств [1]. Реализация торцевого плоского шлифования осуществлялась на модернизированном вертикально-фрезерном станке 6М13П. Модернизация станка заключалась в установке на конец шпинделя специальной головки для крепления торцевого шлифовального инструмента и подачи СОТС через центральное отверстие шлифовального круга.

В качестве инструмента для шлифования гранита использовали круги алмазные шлифовальные АГШГ Д160 мм АС50 400/315 М6-14.50% ТУ 88 Украина 90. 513-81 производства ИСМ НАНУ.

В качестве измерительного средства использовался индикатор часового типа [2].

Для проведения точных тензометрических исследований характера и величины динамически изменяющихся усилий шлифования использовался разработанный авторами специальный тензометрический стол, [3-4].

В качестве усилительного, преобразующего аналогово-цифрового и записывающего устройства использовались тензоусилитель ТА-5, аналогово-цифровой преобразователь Pico ADC-16 и персональный компьютер.

В ходе эксперимента были получены данные величины съема слоя материала при различных подачах и величина осевой силы  $P_y$  (Рис.1 и 2)

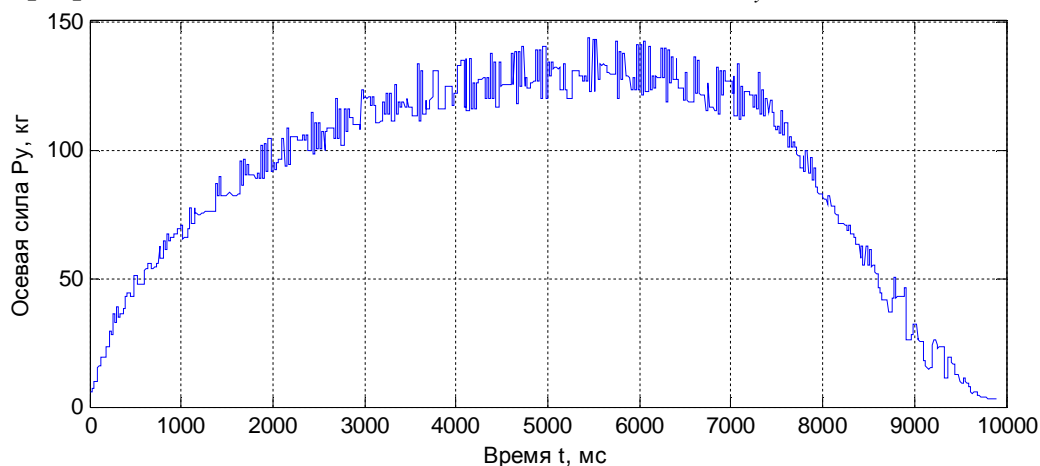


Рис.1. Осциллограмма изменения осевой силы  $P_y$  при обработке модернизированным кругом при режимах резания  $S=400$  мм/мин,  $t=800$  мкм

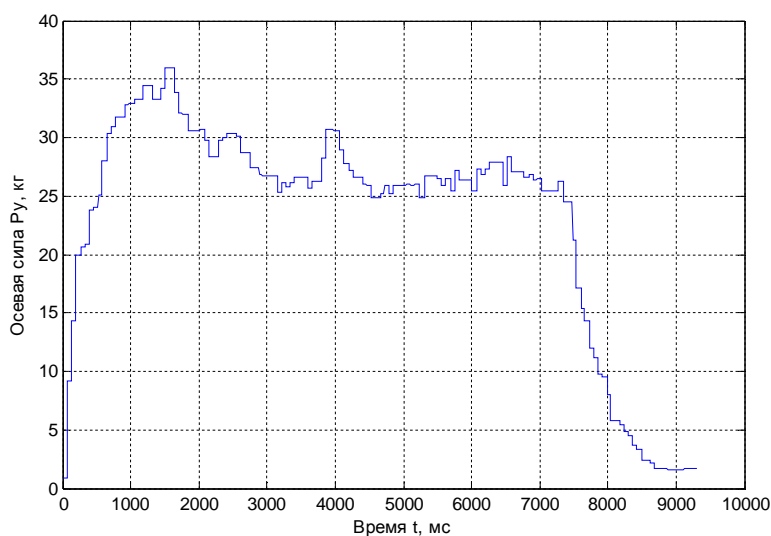


Рис.2. Осциллограмма изменения осевой силы  $P_y$  при обработки модернизированным кругом на режимах резания  $S=400$  мм/мин,  $t=800$  мкм

В результате расчетов были получены средние значения осевой силы  $P_y$ , которая действует во время обработки измеряемой области заготовки.

Так, при обработке базовым кругом величина съема при подаче  $S=400$  мм/мин составила от 315 мкм до 851 мкм, при подаче  $S=630$  мм/мин – от 268 мкм до 768 мкм и при подаче  $S=800$  мм/мин – от 242 мкм до 644 мкм. При обработке модернизированным кругом величина съема при подаче  $S=400$  мм/мин со-

ставила от 218 мкм до 730 мкм, при подаче  $S=630$  мм/мин – от 278 мкм до 730 мкм и при подаче  $S=800$  мм/мин – от 296 мкм до 775 мкм.

Увеличение сил резания обусловлено изменением формы круга и перераспределением значений радиальной и вертикальной силы резания. Можно предположить, что при обработке заготовки базовым кругом превалирует радиальная составляющая силы резания, а при резании модернизированным превалирует осевая сила резания. Превалирование осевой силы над радиальной обуславливает возникновения нормальных напряжений, а не касательных, что может благоприятно сказываться на образование микротрещин.

По результатам этих данных были так же получены величины производительностей при обработке базовым и модернизированным кругами (Рис.3 и 4).

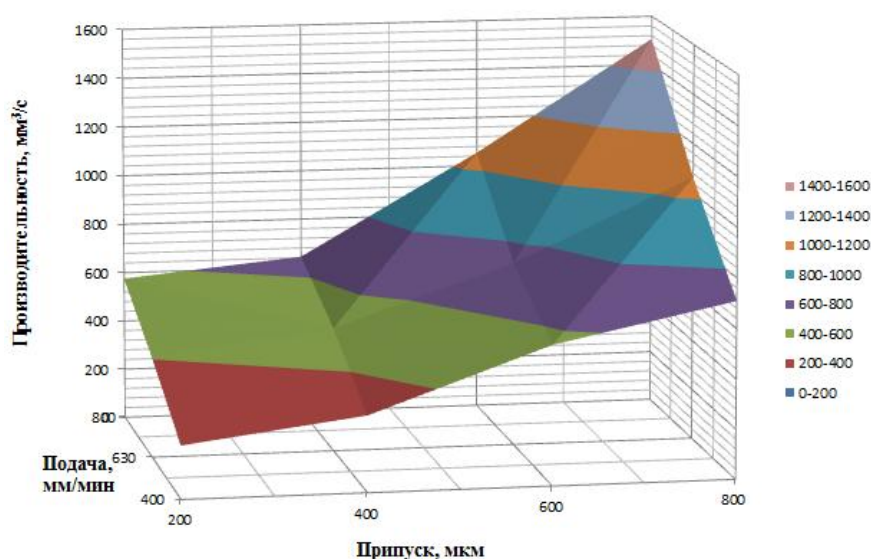


Рис.3. Характер изменения производительности при изменении режимов резания при обработке модернизированным кругом

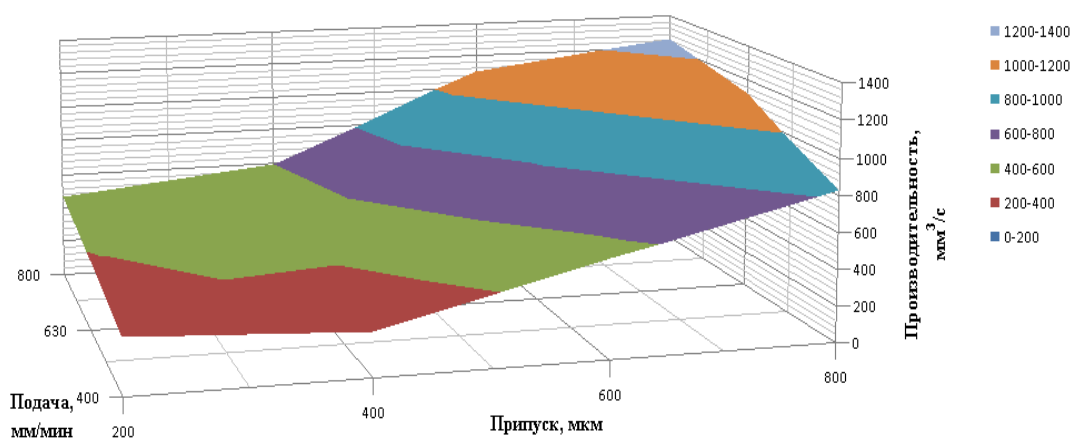


Рис.4. Характер изменения производительности при изменении режимов резания при обработки базовым кругом



По полученным данным, было выяснено, что при увеличении параметров режимов резания будет увеличиваться производительность обработки.

В результате обработки полученных данных, было установлено, что обработки заготовок на малых подачах (400 мм/мин) базовый круг имеет среднюю производительность 480 мм<sup>3</sup>/с, при модернизированном круге средняя производительность составила 447 мм<sup>3</sup>/с. Но при увеличении подачи производительность

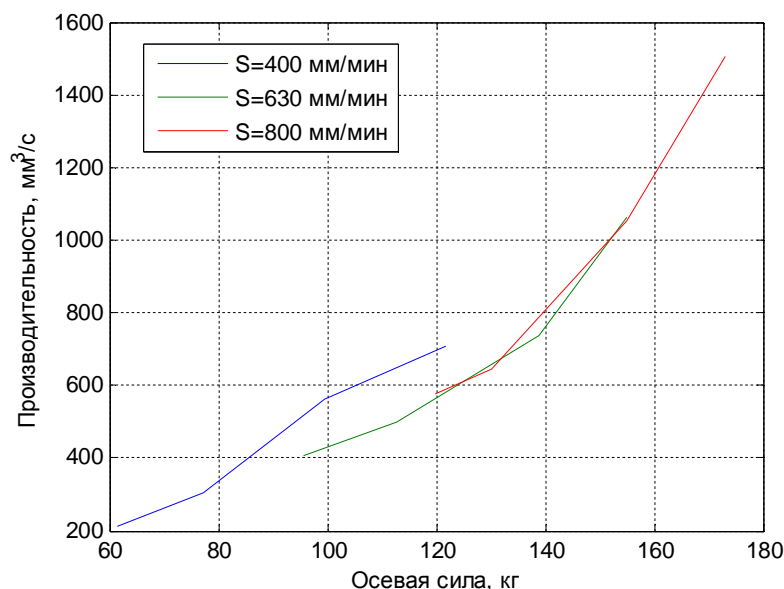


Рис.5. Зависимость производительности от осевой силы шлифования при обработке модернизированным кругом

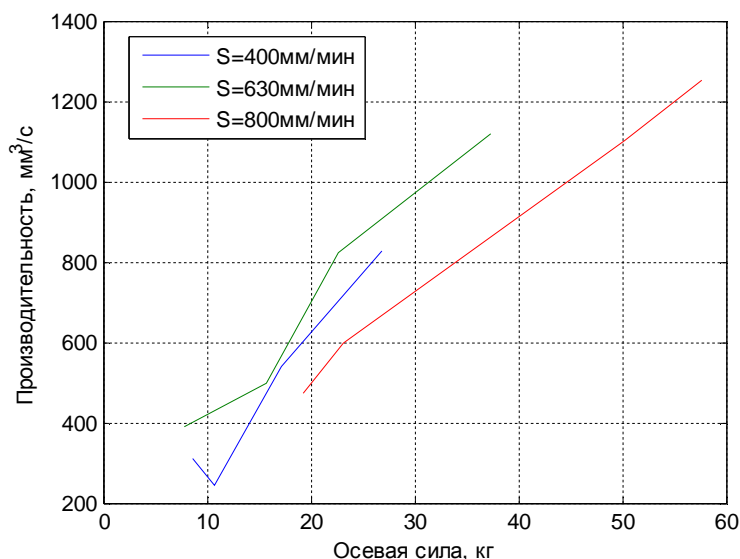


Рис.6. Зависимость производительности от осевой силы шлифования при обработке модернизированным кругом

ность обработки модернизированным кругом увеличивается. Так при шлифовании на подачи S=800 мм/мин средняя производительность при базовом круге составила 855 мм<sup>3</sup>/с, а при модернизированном – 945 мм<sup>3</sup>/с.

Повышение производительности базовым кругом при малых подачах обуславливается приработкой заправленного инструмента, т.е. круг изменил свою геометрию при начальной работе.

В результате эксперимента были получены данные зависимости производительности от значения осевой силы во время процесса шлифования (рис.5,6).

Выполнены экспериментальные исследования процесса шлифования природного камня и получены данные о производительности процесса шлифования различ-

ными кругами при разных режимах обработки. Анализ полученных результатов привел к тому, что производительность модернизированного круга выше на высоких подачах, в сравнении с базовым. И так, производительность при диапазоне подач от 400 мм/мин до 800 мм/мин и глубине резания от 200 мкм до 800 мкм составила от 212 мм<sup>3</sup>/с и до 1507 мм<sup>3</sup>/с. В диапазоне подач от 400 мм/мин и до 630 мм/мин большую производительность показывает базовый круг. Но с увеличением подачи возрастает резко производительность модернизированного круга.

В результате обработки полученных данных, было установлено, что топографические характеристики поверхностных слоев (рис.7), полученных в результате обработки, являются практически эквидистантными, т.е. при шлифовании камня макрогеометрия обрабатываемой поверхности практически не изменяется.

Это обусловлено упругой деформацией элементов СПИД под действием

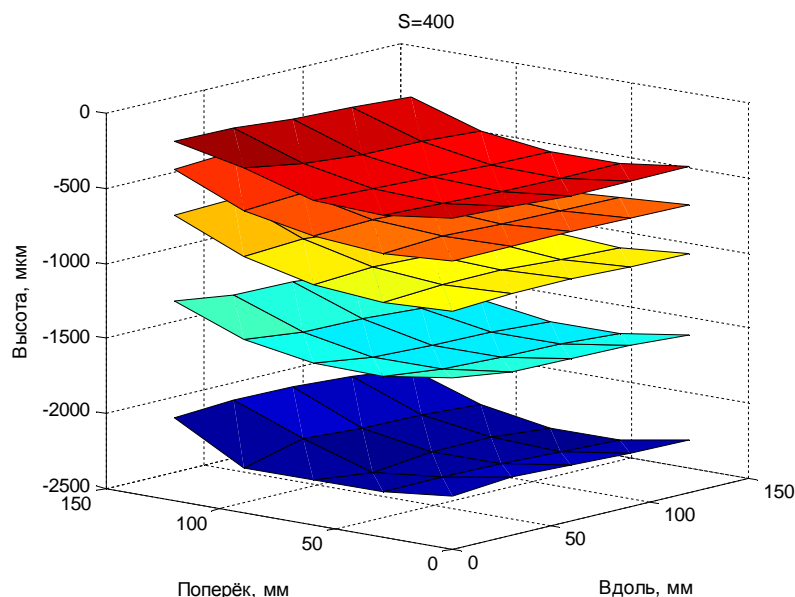


Рис. 7. Характер изменений топографии поверхностного слоя заготовки гранита при обработке шлифованием

сил шлифования. Так, при прохождении выпуклой части заготовки силы шлифования увеличиваются и, соответственно, увеличивается отжим заготовки от инструмента. Таким образом, при реализации процесса шлифования природного камня работает механизм копирования макронеровностей поверхностного слоя.

Анализ результатов проведенного эксперимента показал, что

после четырех двойных проходов модернизированного круга и удалением общего припуска 1,6 мм при подаче 400 мм/мин отклонение обработанной поверхности заготовки от плоскостности составило: максимальное - 290 мкм, среднее - 94 мкм, при соответствующей первоначальной: максимальной - 320 мкм, средней - 117 мкм. При обработке базовым кругом при удалении припуска 1,97 мм при подаче 400 мм/мин отклонение обработанной поверхности заготовки от плоскостности составило: максимальное - 380 мкм, среднее - 135 мкм, при соответствующей первоначальной: максимальной - 530 мкм, средней - 226 мкм. Значительная погрешность обработки заготовки обусловлена износом станка, на ко-

тором проводился эксперимент. Под действием силы резания, из-за больших зазоров в шпиндельном узле станка, положение круга изменяется, ось его вращения располагается не перпендикулярно обрабатываемой поверхности и формируется криволинейная (вогнутая) поверхность (рис.7).

Анализ экспериментальных данных доказал, что уменьшить высоту макронеровностей обработанной поверхности заготовки традиционным технологическим способом, заключающемся в многопроходном удалении припуска, не удалось даже при использовании модернизированного круга.

Анализ полученных результатов показал, что производительность модернизированного круга выше на высоких подачах, в сравнении с базовым. И так, производительность при диапазоне подач от 400 мм/мин до 800 мм/мин и глубине резания от 200 мкм до 800 мкм составила от 212 мм<sup>3</sup>/с и до 1507 мм<sup>3</sup>/с. В диапазоне подач от 400 мм/мин и до 630 мм/мин большую производительность показывает базовый круг. Но с увеличением подачи возрастает резко производительность модернизированного круга.

Выполнены экспериментальные исследования процесса шлифования природного камня и получены данные о макрогеометрии обработанных поверхностей.

Полученные в результате исследований данные позволяют определить новые направления дальнейшего повышения качества и эффективности технологических процессов шлифования заготовок.

**Список литературы:** 1. Михайлов А.Н., Горобец И.А., Байков А.В., Голубов Н.В., Ищенко А.Л. Экспериментальная установка для исследования процессов шлифования изделий из природного камня /Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 92. – Донецьк, ДонНТУ 2005. с. 164 – 174. 2. Горобец И.А., Михайлов А.Н., Голубов Н.В. Исследование влияния формы режущей кромки шлифовального круга на производительность обработки изделий из природного камня/Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. Наукових праць – Донецьк: ДонНТУ, 2008, Вип.35, С.49-58. 3. Горобец И.А. Михайлов А.Н. Управление качеством поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.71. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – с.164 – 174. 4. Gorobez I., Navka I., Lapajeva I., Schaban K. Die Parameter der Adaptronsysteme der Drehmaschinen – Modern Technologies, Quality and Restructuring International Conference N.C.M.R – Bulletin of the Politechnic institute of Jassy, Iassy, Romania 23-25 of May 2002 , Vol. XLVIII - S.100-104.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ВТУЛОК ЗУБЧАТЫХ МУФТ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

**Грубка Р.М., Михайлов А.Н., Шадиев А.Ю.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** This work is dedicated to the development of devices for finish machining a toothed hub with a spatial geometry of the tooth that can compensate misalignment mounting of axles vary in specified limits.

**Key words:** gear clutch, toothed hub, spatial geometry, finish machining, device.

Зубчатые муфты предназначены для передачи крутящего момента между валами при наличии погрешностей монтажа. В основу конструкции зубчатых муфт положено соединении обоймы с внутренними зубьями с прямолинейной образующей и зубьями втулки с различного вида геометрией на боковой поверхности [1]. Так боковые поверхности зубьев втулок зубчатых муфт выполняют с прямолинейной и криволинейной образующей, а также с различного рода пространственными геометриями [2, 3]. Применение втулок с пространственной геометрией зубьев, приводит к повышению эксплуатационных характеристик зубчатых муфт, за счет равномерного распределения зазоров и нагрузки между зубьями в пределах зоны контактирования, а также при этом увеличиваются предельные значения компенсируемых зубчатыми муфтами углов перекоса осей валов.

Технологические способы нарезания зубчатых венцов с прямолинейной и криволинейными образующими основываются на традиционных способах нарезания цилиндрических зубчатых колес внешнего зацепления [4]. Способы получения зубьев втулок зубчатых муфт с пространственными геометриями основываются на выполнении двух условий второго способа Оливье [5]. При применении существующего серийного оборудования, как правило, не удастся в полной мере воссоздать при обработке зубчатого венца движения, присущие элементам зубчатой муфты в процессе эксплуатации, а так же инструмент, применяемый при этом, по форме не соответствует сопрягаемой с зубчатой втулкой деталью. Создание новой пространственной геометрии и технологического способа ее по-

лучения влечет за собой необходимость в совершенствовании существующего оборудования или разработке нового оборудования. Поэтому целью данной работы является разработка конструкции устройства для осуществления окончательной обработки зубчатого венца втулки с пространственной геометрией, позволяющей компенсировать любой угол перекоса осей валов входящий в заданный интервал значений.

Технологический способ обработки зубьев с пространственной геометрией на операциях окончательной обработки и принципиальная схема устройства для его осуществления описаны в работах [6, 7]. В соответствии с предложенным способом обработки и с учетом требований изложенных в работе [5], устройство для обработки зубьев состоит из следующих основных узлов рис. 1. Приводов главного 1 и пространственного 2 движений, станины 3 на которой монтируются все узлы устройства, сборного вала 4 на котором закрепляется заготовка 5, инструмента 6 и кулачка 7.

Привод главного движения предназначен для приведения в движение инструмента и состоит из электродвигателя, коробки скоростей (на рис. 1 не показаны), цилиндрического кулачка 8, с нарезанной на цилиндрической поверхности замкнутой винтовой канавкой, пальца 9, плиты 10, направляющих качения 11, державки 12 в которую вставляется инструмент 6 и оси 13. Привод пространственного движения 2 предназначен для придания продольной оси заготовки пространственного движения по конической поверхности с переменным углом наклона образующей конуса и состоит из электродвигателя, редуктора (на рис. 1 не показаны), планшайбы 14, закрепленной на выходном валу редуктора, направляющих скольжения 15, закрепленных на планшайбе 14. По направляющим 15 перемещается ползун 16, с ползуном связана ось 17 с роликом 18. К боковой стенке ползуна прикручен кронштейн 19 с роликом 20. Ролик 18 связан со сборным валом 4, а ролик 20 посредством пружин 21 прижимается к кулачку 7. Сборный вал опирается на шариковый двухрядный сферический подшипник 22 и ролик 18. Заготовка 5 закрепляется на валу 4 быстросъемной шайбой 23 и гайкой 24. Выведение вала 4 из зацепления с роликом 18 осуществляется откручиванием гайки 25 и снятием втулки 26, после чего стакан 27 перемещается по шпонке 28. На станине 3 закреплен фиксатор 29, фиксирующий заготовку от проворота.

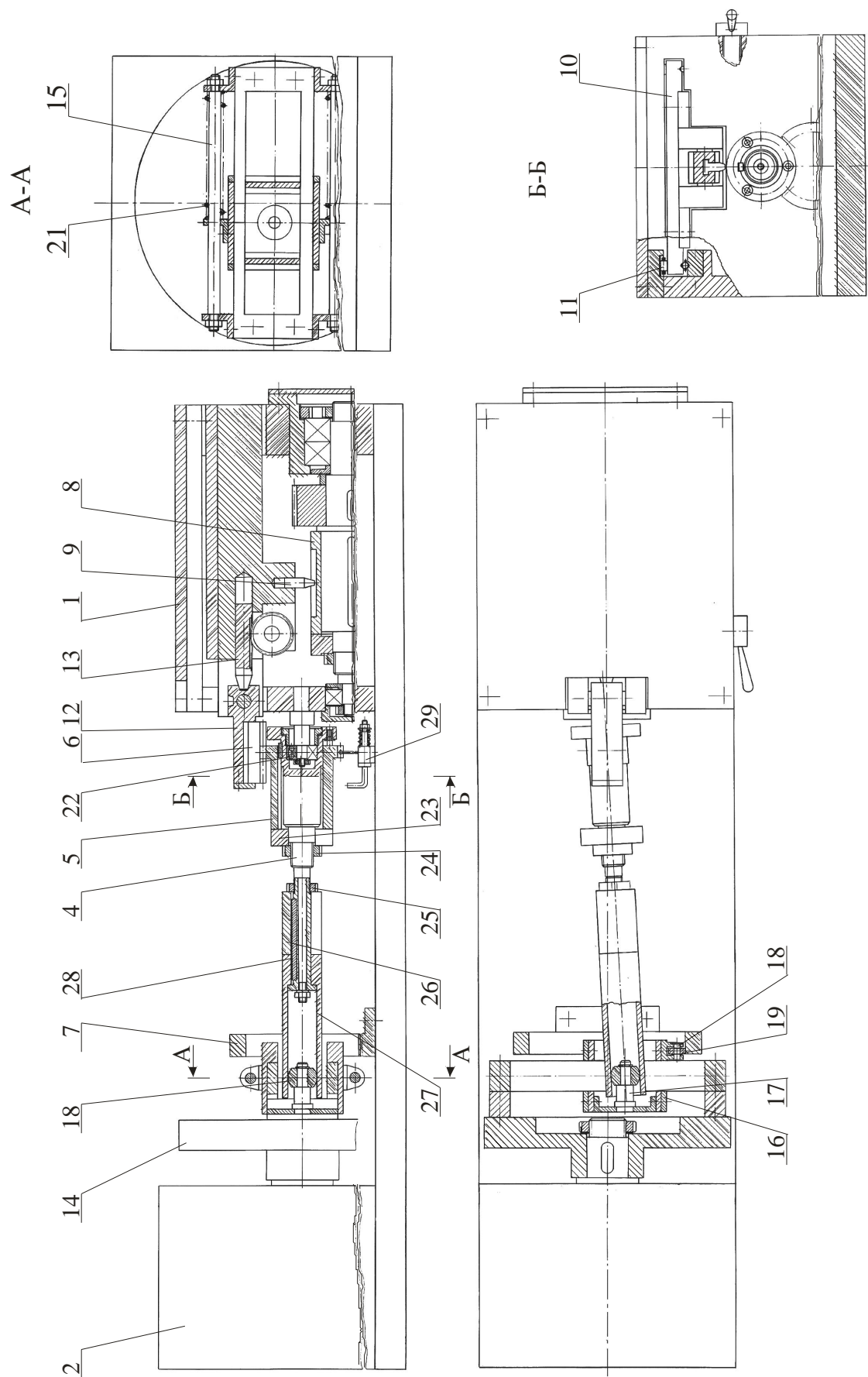


Рис. 1. Общий вид устройства для чистовой обработки зубьев с пространственной геометрией

Устройство работает следующим образом. На вал 4 по шпонке 30 с упором в опоры 31 устанавливают заготовку 5, а затем закрепляют гайкой 24 через быстросъемную шайбу 23. Вал 4 вводится в зацепление с роликом 18, перемещением стакана 27 по шпонке 28. Для фиксации вала в данном положении устанавливают втулку 26 и закручивают круглую гайку 25. Заготовка 5 фиксируется от проворота фиксатором 29. Инструмент 6 устанавливается в державку 12 и закрепляется. Затем поворачивается на оси 13 на  $90^\circ$ , вводится в зацепление с заготовкой 5 и фиксируется стопорным устройством 32. Привод главного движения работает следующим образом: вращение вала электродвигателя преобразуется в возвратно-поступательное перемещение инструмента через коробку скоростей, на выходном валу которой закреплен цилиндрический кулачок 8 с нарезанным на его цилиндрической части замкнутой винтовой канавкой. В зацепление с цилиндрическим кулачком 8 входит палец 9, который связан с плитой 10, установленной на направляющих качения 11. В процессе обработки инструмент 6, связанный с плитой 10 посредством оси 13 и державки 12, совершает возвратно-поступательное перемещение.

Крутящий момент с вала электродвигателя пространственного движения 2 передается через редуктор на планшайбу 14 с направляющими скольжения 15. По направляющим скольжения перемещается ползун 16 с осью 17 и роликом 18. Перемещение ползуна 16 ограничивается кулачком 7 к которому с помощью пружин 21 поджимается ролик 20, закрепленный на кронштейне 19. При вращении планшайбы 14, за счет геометрии профиля кулачка 7 ползун 16 перемещается по направляющим скольжения 15, при этом продольная ось заготовки 5 в процессе обработки описывает в пространстве коническую поверхность с переменным углом наклона образующей конуса, вершина которой находится на оси симметрии шарикового двухрядного сферического подшипника 22.

Движение резания взаимосвязано с пространственным движением таким образом, что в процессе обработки заготовка проходит в пространстве все положения, соответствующие текущим значениям угла перекоса соединения  $\omega_i$ , входящим в заданный интервал значений.

После обработки одной впадины зуба инструмент 6 выводится из зацепления с заготовкой, отводят фиксатор 29, после чего заготовку поворачивают на один угловой шаг и снова вводят фиксатор. Для продолжения обработки вводят

инструмент 6 в контакт следующей впадиной зуба. После обработки всех зубьев зубчатой втулки сборный вал 4 выводят из зацепления с роликом 18, перемещая стакан 27 по шпонке 28. Для чего откручивают круглую гайку 25 и снимают втулку 26. Затем снимают заготовку 5, откручивая гайку 24 и снимая быстросъемную шайбу 23.

Таким образом, разработано устройство для формообразования зубьев с пространственной геометрией на операциях окончательной обработки, которое позволяет получить на боковой поверхности зуба втулки специальную пространственную геометрию, способную компенсировать изменяющиеся в заданных пределах погрешности монтажа валов.

**Список литературы:** 1. Айрапетов Э.Л., Миржаджанов Д. Б. Зубчатые соединительные муфты.- М.:Наука, 1991. - 250 с. 2. Синтез структуры групповой пространственной геометрии зубьев втулок зубчатых муфт / Р.М. Грубка, А.Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк: Донец. нац. техн. ун-т, 2004. — Вып. 27. — С. 71-75. 3. Пат. № 68689 України, F16D3/18. Зубчаста муфта: О.М. Михайлов, Р.М. Грубка (Україна). — № 2003098808; Заявл. 29.09.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл. № 8. — 4 с. 4. Производство зубчатых колёс: Справочник. Под ред. Д-ра техн. Наук проф. Б.А. Тайца, - М.: Машиностроение, 1990, - 463 с. 5. Особенности технологии изготовления зубьев втулок зубчатых муфт с групповой пространственной геометрией / Р.М. Грубка, А.Н. Михайлов // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: Материалы седьмого Международного научно-практического семинара в г. Таганроге 19–21 июня 2006 г. В 3 кн. — Таганрог: ТРТУ, 2006. — Кн. 3. — С. 86-90. 6. Способ чистовой обработки зубьев втулок зубчатых муфт с групповой пространственной геометрией и устройство для его осуществления / Р.М. Грубка, А.Н. Михайлов, С.И. Коштовный // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. — Донецьк: Донец. нац. техн. ун-т, 2006. — Вип. 31. — С. 83-90. 7. Пат. № 82357 України, B23F 19/00. Спосіб обробки зубів із просторовою модифікацією: О.М. Михайлов, Р.М. Грубка, О.М. Лахін (Україна). — № а200510006; Подано 24.10.2005; Опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7. — 4 с.



## ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПЕРЕМЕННОЙ ЗЕРНИСТОСТИ

**Гусакова Л.В.** (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** In article the developed model of a grinding circle of the variable granularity is presented, allowing almost in 2 times to reduce quantity of burns and their disorder on the processed surfaces of details. Results of experimental researches of the grinding circle, which analysis are resulted, allows to draw a conclusion on increase of quality indicators of a blanket of the processed details.

**Key words:** grinding circle, abrasive, grinding grain, grinding powder, granularity, microblows, accuracy of processing, metal cutting, burns, residual pressure

Развитие и совершенствование процесса шлифования зависит от двух важных составляющих, — создание новых абразивных материалов и высококачественного абразивного инструмента, а также современного технологического оборудования (станков).

Вопросами обработки материалов шлифованием и усовершенствованием шлифовальных кругов занимаются научные школы под руководством В.И. Аверченкова, В.Ф. Безъязычного, Д.Г. Евсеева, А.В. Королёва, И.В. Крагельского, З.И. Кремня, В.Ф. Макарова, А.Н. Мартынова, Ю.К. Новоселова, В.М. Оробинского, Ю.Н. Полянчикова, А.Н. Резникова, В.К. Старкова, Ю.С. Степанова, А.Г. Суслова, Л.В. Худобина, А.В. Якимова, П.И. Ящерицина и др. [1 – 3].

Применение на финишных операциях абразивных инструментов, изготовленных по последним разработкам вышеперечисленных учёных, безусловно, положительно влияет на качественные показатели обрабатываемой поверхности детали и параметры процесса шлифования. Однако проблема повышения стойкости шлифовального инструмента и увеличения времени между правками, снижения шероховатости обработанной поверхности и уменьшения количества прижогов и по сей день остаётся актуальной.

Конструкции современных абразивных инструментов отличаются большим разнообразием и технологическими возможностями [4 – 7]. Это обусловлено, прежде всего тем, что в машиностроительное производство постоянно влияют новые конструкционные материалы, обладающие заведомо установленными свойствами и требующие при их обработке не только корректировку режимов резания, но и использования новых технологических условий. К таким материалам относятся конструкционные низкоуглеродистые хромоникелевые и

жаростойкие стали и сплавы. Особое внимание при шлифовании деталей из указанных материалов уделяется качественным показателям поверхностного слоя, формируемым в зоне обработки и соответствующим эксплуатационным требованиям, предъявляемым к деталям. Решение этих проблем возможно конструкторскими, технологическими и эксплуатационными путями.

Для уменьшения дисперсии показателей качества поверхностного слоя деталей, а именно: количества прижогов на обработанной поверхности детали  $N_n$ ; массе снятого металла  $Q$ ; шероховатости получаемой поверхности  $Ra$ ; подвергаемых шлифованию, разработана специальная конструкция шлифовального круга (рис. 1).

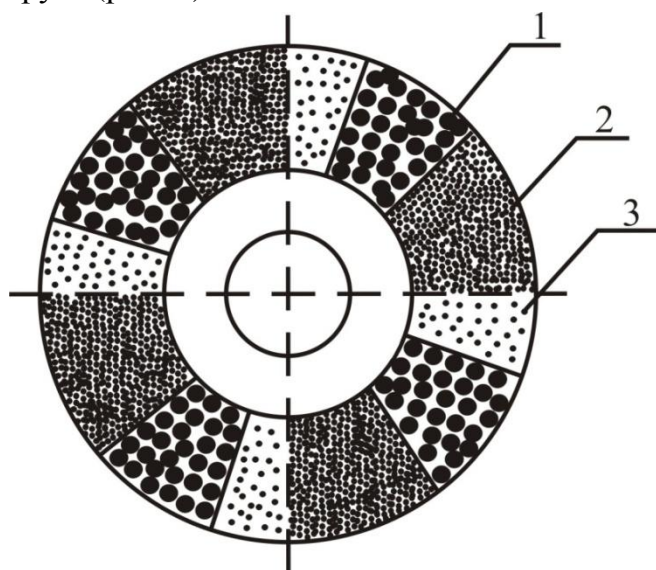


Рис. 1. Схема шлифовального круга переменной зернистости: 1 – крупнозернистый участок; 2 – мелкозернистый участок; 3 – участок абразива меньшей твердости

В данном шлифовальном инструменте длина по наружной дуге шлифовального круга участка абразива меньшей твердости в два раза меньше длин участков крупнозернистого и мелкозернистого абразива. Длины крупнозернистого и мелкозернистого участка шлифовального круга – одинаковы и каждый из них больше, чем длина участка абразива меньшей твердости.

Шлифовальный инструмент содержит крупнозернистые участки абразива и расположенные за ними участки мелкозернистые, которые попарно разделены участками абразива с меньшей твердостью, при этом длины крупнозернистого и мелкозернистого участка шлифовального круга – одинаковы и каждый из них больше, чем длина участка абразива меньшей твердости. Участок мелкозернистого абразива состоит из микрошлифпорошков, участок крупнозернистого абразива – из шлифзерна, участок абразива наименьшей твердости состоит из шлифпорошка. Твердость абразива шлифовального круга принимается в зависимости от твердости обрабатываемого материала. На данное изобретение получен патент РФ [8].

Предложен следующий механизм работы шлифовального круга переменной зернистости. При обработке детали в зоне контакта представленного шли-

фовального круга с обрабатываемой поверхностью детали участки абразива с меньшей твёрдостью изнашиваются несколько быстрее, при этом перед крупнозернистыми участками абразива образуются небольшие впадины, способствующие микроударам и микровибрациям, которые происходят при входе крупнозернистого участка абразива в соприкосновение с обрабатываемой деталью. За счёт этого улучшается процесс резания, уменьшаются технологические остаточные напряжения, значительно уменьшается засаливание инструмента, особенно при обработке вязких труднообрабатываемых материалов. Это положительно влияет на улучшение точности геометрических форм, поскольку микроудары и микровибрации происходят в основном в зоне резания, а не между деталью и инструментом в целом. Использование мелкозернистых участков, следующих за крупнозернистыми участками, повышает качество обрабатываемой поверхности. Длина (по наружной дуге) участка абразива меньшей твёрдости в два раза меньше длин участков крупнозернистого и мелкозернистого абразива, что ограничивает зону резания, в которой происходят микроудары и микровибрации. Участки крупнозернистого и мелкозернистого абразива одинаковой длины, каждый из них больше, чем участок абразива меньшей твёрдости. Крупнозернистый участок, состоящий из шлифзерна снимает основной слой материала, а участок мелкозернистого абразива состоящий из микрошлифпорошка одновременно производит выхаживание поверхностного слоя детали.

В лабораторных условиях были изготовлены семь видов шлифовальных кругов, которые имели наружный диаметр 400 мм и содержали абразивные зёрна электрокорунда зернистости 15, 25, 40 в соответствии с данными, приведёнными в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание абразивных зёрен электрокорунда зернистости 15, 25, 40 в шлифовальных кругах

№ шлиф. круга	Абразивные зёрна зернистости, масс. ч			Процентное содержание основной фракции
	15	25	40	
1.	0	250	0	100
2.	25	225	0	90
3.	50	200	0	80
4.	0	225	25	90
5.	0	200	50	80
6.	25	200	25	80
7.	50	150	50	60

Исследования проводились в промышленных условиях на круглошлифовальном станке мод. 3М151ВФ1. Режимы шлифования были приняты следующие:

щими: скорость резания  $V_{кр} = 335$  м/с ( $n_{кр} = 1600$  об/мин),  $V_o = 0,42$  м/с ( $n_o = 200$  об/мин), продольная подача  $S_{пр} = 0,02$  м/с, подача врезания составляла 0,01 мм/дв.ход., количество двойных ходов  $m = 2$ . В качестве смазочно-охлаждающей жидкости был использован эмульсол на водной основе «Аквол-2».

Шлифованию подвергались полые образцы из сталей и сплавов следующих марок: 12Х2Н4А, 20ХН2МА и ЖС26ВСНК, ЖС6У-ВИ, имеющие наружный диаметр 40 мм и длину 360 мм, прошедшие предварительное шлифование. Определение съёма металла, величины технологических остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  и её дисперсии, показателя шероховатости поверхности  $R_a$  осуществлялось по стандартным методикам [6] с использованием, соответственно, аналитических весов мод. ВПР – 200. и профилометре-профилографе мод 201. Правка шлифовальных кругов производилась каждый перед обработкой нового образца вручную при помощи алмазного карандаша МААМТУ 88 УССР 663-79.

Каждый эксперимент повторялся 5 раз, после чего определялось среднее арифметическое исследуемой величины.

Проведены сравнительные исследования двух видов шлифовальных кругов с наружным диаметром 400 мм:

1 – постоянной зернистости абразивных зёрен, состоящий из электрокорунда зернистости 25 и эпоксидной смолы ЭД-5;

2 – переменной зернистости абразивных зёрен, имеющий крупнозернистый участок из электрокорунда зернистости 40, мелкозернистый участок из электрокорунда зернистости 25, участок меньшей твёрдости из карбида кремния зернистости 40; связка – эпоксидная смола ЭД-5.

Эффективность использования шлифовальных кругов с различным содержанием в них абразивных зёрен зернистости 15, 25, 40 оценивалась по уменьшению разброса дисперсии показателей качества на одной обработанной детали. Результаты проведённых исследований представлены в виде гистограмм (рис. 2 - 6).

Таким образом, использование в работе шлифовального круга предложенной конструкции приводит к повышению точности обработки, увеличению съёма металла, улучшению качественных показателей поверхностного слоя (количества прижогов, шероховатости, технологических остаточных напряжений), увеличению периода стойкости шлифовального круга между правками за счёт уменьшения его засаливания.

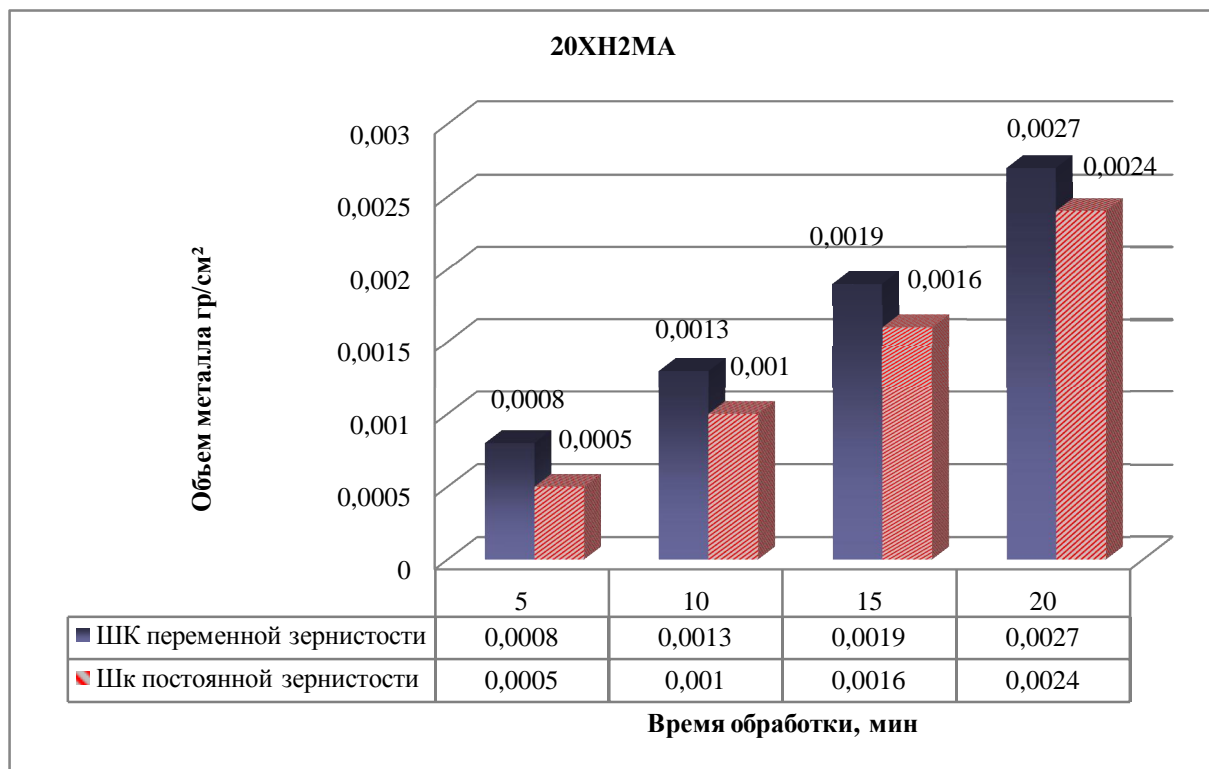


Рис. 2. Изменение удельного съема металла с 1 см<sup>2</sup> в зависимости от используемого шлифовального круга

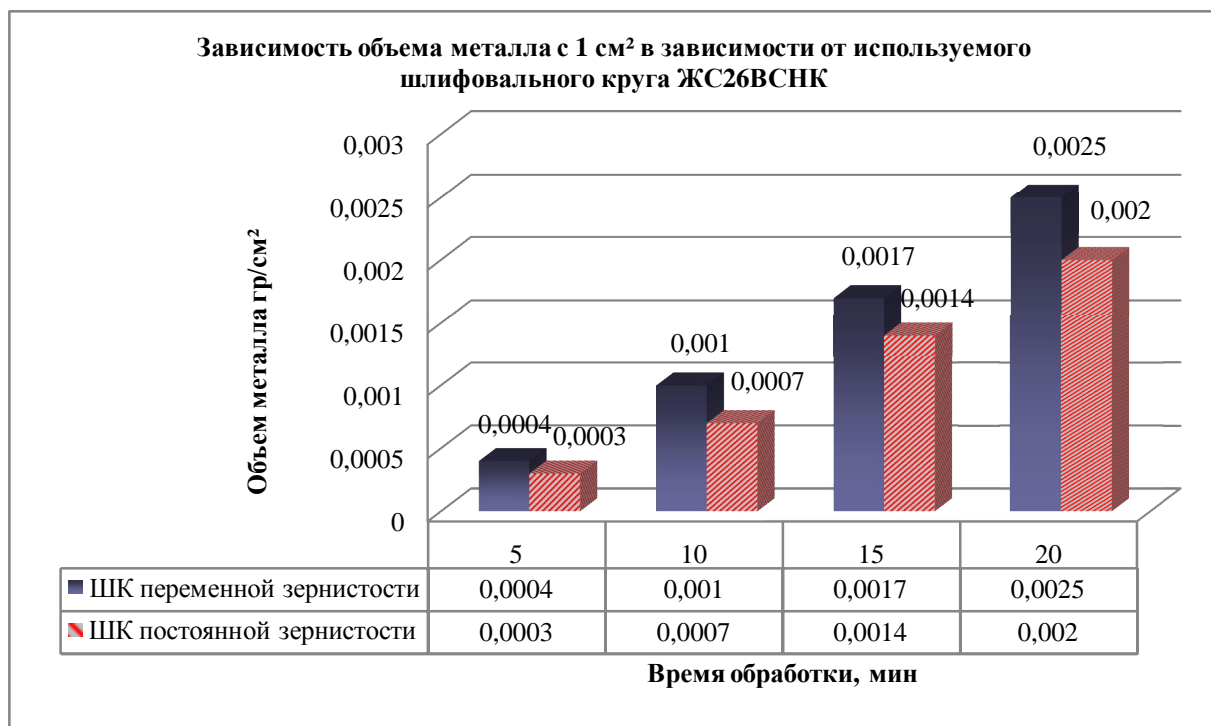


Рис. 3. Зависимость съема металла с 1см<sup>2</sup> в зависимости от используемого шлифовального круга для стали ЖС26ВЧНК

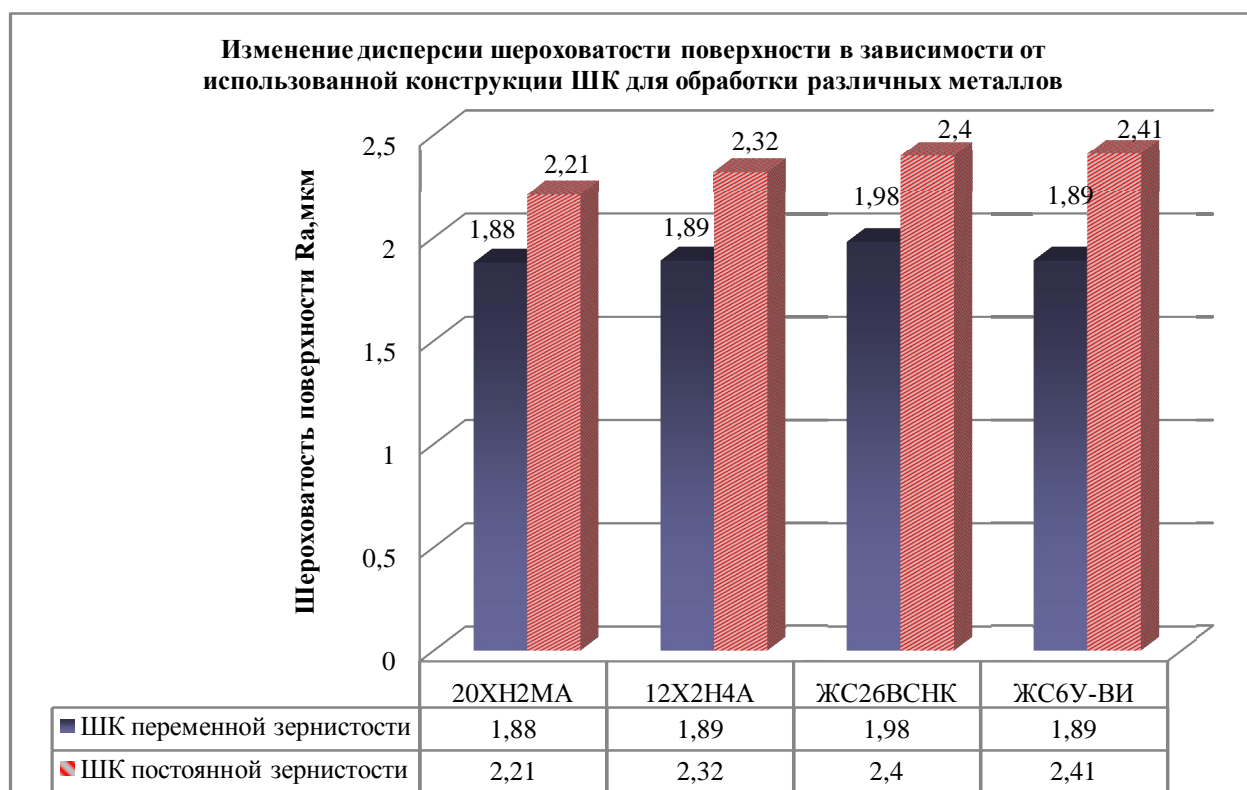


Рис. 4. Изменение дисперсии шероховатости поверхности в зависимости от использованной конструкции шлифовального круга при обработке различных материалов

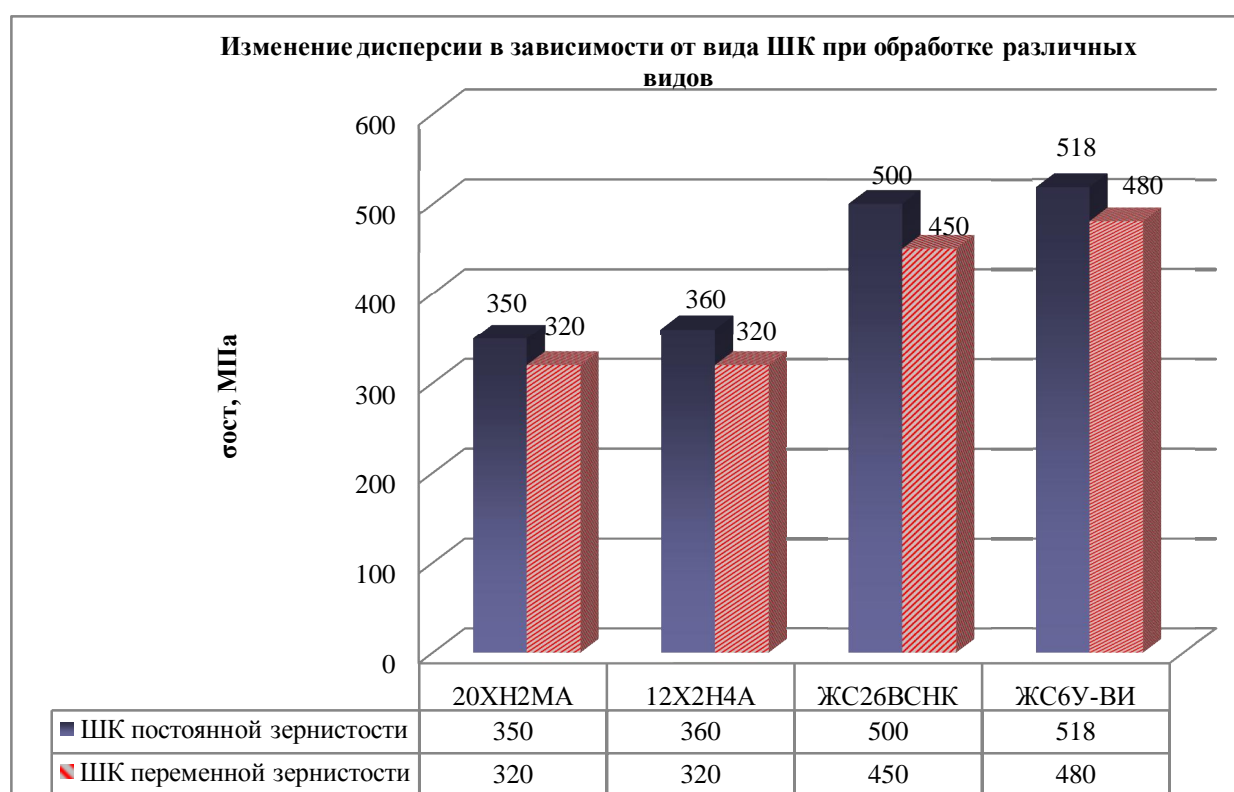


Рис. 5. Изменение дисперсии  $\sigma_{\text{ост}}$  в зависимости от вида шлифовального круга при обработке различных видов материалов



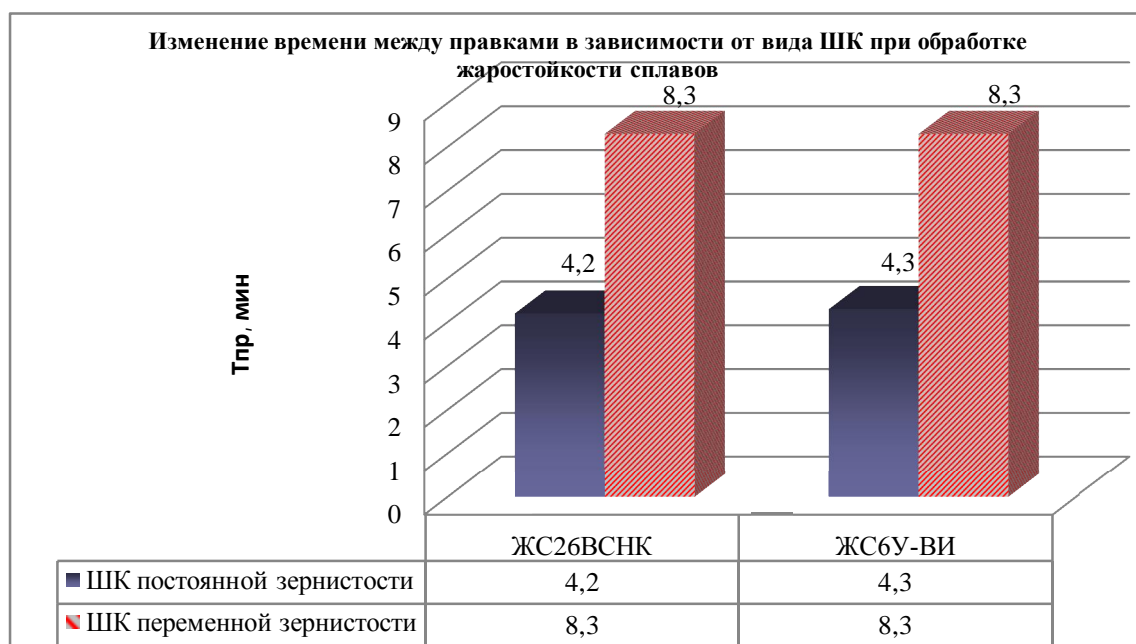


Рис. 6. Изменение  $T_{пр}$  в зависимости от вида шлифовального круга при обработке жаростойких сплавов

**Список литературы:** 1. Безъязычный В.Ф., Драпкин Б.М., Прокофьев М.А. Обеспечение качества поверхностного слоя при плоском шлифовании жаропрочных сплавов на никелевой основе // СТИН. – 2008. – №5. – С. 35-38. 2. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоёв при абразивной обработке. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 128 с. 3. Драпкин Б.М., Кононенко В.К., Безъязычный В.Ф. Свойства сплавов в экстремальных условиях. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с. 4. Шепелев А.А., Лавриненко В.И. Шлифовальные инструменты из сверхтвёрдых материалов - интенсификация процессов и новые технологии. – Киев: Изд-во Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2000. – 42 с. 5. Горленко О.А., Бишутин С.Г. К вопросу о распределении по высоте вершин абразивных зерен в рабочей поверхности шлифовального круга/ Физические процессы при резании металлов: Межвуз. сб. науч. тр. — Волгоград, 1997. — С.11-14. 6. Бутенко В.И. Бездефектное шлифование поверхностей деталей машин (библиотека технолога) – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 60 с. 7. Методика описания изменения режущей способности шлифовального круга в процессе шлифования / В.М. Оробинский, В.В. Воронцов, А.Н. Воронцова, Назар Альян/ Прогрессивные технологии в машиностроении: Межвуз. сб. науч. тр. – Волгоград, 2000. – Вып. 3 – С. 59-67. 8. Бутенко В.И., Дуров Д.С., Шаповалов Р.Г., Гусакова Л.В., Фоменко Е.С. // Абразивный круг / Патент РФ на полезную модель № 98705, U1 МПК В24D 5/14. – 2010114913/02; заявл. 13.04.2010; опубл. 27.10.2010, Бюл. № 30.

## ПОВЕРХНОСТНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА С ОДНОВРЕМЕННЫМ НАГРЕВОМ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ

Диденко Д.И., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г. (ТТИ ЮФУ,

г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** *Possibility of use of a way of superficial hardening of details by means of the device for superficial strengthening processing with simultaneous heating of a blanket of a detail is considered. It accelerates process of superficial plastic deformation and reduces power inputs, allows to regulate size of density of internal energy. It is especially important at designing of operations of hardening at a stage of constructional-technological preparation of manufacture.*

**Key words:** deformation, hardening, tool, detail

По характеру энергетического воздействия и кинематике процесса относятся к статическим методам обработки и протекают в условиях непрерывного контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью при постоянных, как правило, значениях деформирующей нагрузки (силы) – обкатывание и раскатывание, выглаживание, дорнование и др.

Основной схемой процесса локальной обработки в этом случае является пластическое деформирование обрабатываемой поверхности позволяющее обеспечить состояние поверхности и поверхностного слоя характеризующееся повышенной твердостью, имеющую благоприятную для условий эксплуатации структуру и микрорельеф с наибольшей площадью опорной поверхности.

Поскольку основной схемой процесса локальной обработки является пластическое деформирование обрабатываемой поверхности, то воздействие нагрузок на металлы и сплавы сопровождается различными механическими и физическими процессами, в том числе и упрочнением (наклепом). Под наклепом понимают повышение свойств, характеризующих сопротивление материала ( $\sigma_s$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $HV$  и др.), и снижение способности к пластической деформации (пластичности  $\delta$ ) в результате предварительной холодной пластической деформации, протекающей при температурах ниже  $0,15-0,2 T_{пл}$  (температуры плавления).

В настоящее время широкое признание получило объяснение явления деформационного упрочнения на основе атомного механизма пластической де-



формации, где главенствующее место принадлежит теории дислокации. Дислокационная теория упрочнения основывается на общих предположениях о вкладе неподвижных и свободных дислокации в формирование внутренних напряжений и их роли в пластической деформации, связывает механизм деформационного упрочнения с образованием барьеров для движущихся дислокации от взаимодействия полей напряжения дислокации между собой и другими дефектами кристаллической решетки. С ростом степени деформации плотность дислокации увеличивается. В результате пластической деформации поверхностного слоя происходит искажение кристаллической решетки с увеличением числа дефектов, сопровождающееся изменением суб- и микроструктуры металла, его напряженного состояния. Различают, как известно, напряжения I, II, и III рода (соответственно: макронапряжения, микронапряжения и субмикронапряжения). Искажения кристаллической решетки в области пачки скользящих следов создают остаточные напряжения III рода (субмикронапряжения), а сохраняющиеся напряжения между зернами поликристалла, возникающие в результате их неоднородной деформации, относятся к остаточным напряжениям II рода (микронапряжения). При деформировании в металле поверхностного слоя количество дислокации, вакансий и других несовершенств кристаллической решетки резко увеличивается, повышая его напряженное состояние.

Пластическая деформация отдельного кристалла осуществляется скольжением и двойникованием. Скольжение в кристаллической решетке протекает по плоскостям и направлениям с наиболее плотной упаковкой атомов, где сопротивление сдвигу минимально. Это объясняется тем, что расстояние между соседними атомными плоскостями наибольшее, т.е. связь между ними наименьшая. Плоскости скольжения и направления скольжения, лежащие в этих плоскостях, образуют систему скольжения.

На начальной стадии пластическая деформация монокристалла осуществляется движением дислокации по одной системе плоскостей - стадия легкого скольжения. Дислокации на этой стадии перемещаются сравнительно беспрепятственно на большие расстояния, обеспечивая прогрессивную деформацию без значительного роста действующих напряжений (1-я стадия деформационного упрочнения). После этого начинается стадия множественного скольжения - движение дислокации в двух и более системах. На этой стадии после значительной деформации дислокационная структура металла усложняется, и плотность дислокации («лес» дислокации) возрастает по сравнению с исходным состоянием на четыре-шесть порядков, достигая  $10^{11}$ - $10^{12}$  см<sup>2</sup>. Дислокации, движущиеся в деформированном металле, порождают большое число дислоцированных атомов и вакансий, которые оказывают большое сопротивление движению дислокации,

они тормозятся, и для их продвижения внешнее напряжение должно резко возрасти. Некоторые из дислокации останавливаются и закрепляются (2-я стадия деформационного упрочнения).

Под влиянием все возрастающего напряжения развивается поперечное скольжение винтовых дислокаций, т.е. скольжение с переходом из одной разрешенной плоскости скольжения в другую. Это приводит к частичной релаксации напряжений, аннигиляции отдельных дислокаций разного знака и группировке их в объемные ячейки, внутри которых плотность дислокаций меньше, чем в стенках ячеек. На 3-й стадии деформации происходит так называемый динамический возврат, который приводит к уменьшению деформационного упрочнения.

Пластическая деформация некоторых металлов, имеющих плотноупакованные решетки, кроме скольжения может осуществляться двойникованием, которое сводится к переориентации части кристалла в положение симметричное по отношению к первой части относительно плоскости, называемой плоскостью двойникования. Двойникование подобно скольжению сопровождается прохождением дислокаций сквозь кристалл. По сравнению со скольжением двойникование имеет меньшее значение. В металлах с ГЦК и ОЦК-решеткой двойникование наблюдается только при больших степенях деформирования и низких температурах. Двойниковая граница, как и межзеренная, из-за различия в ориентировке плоскостей скольжения по обе стороны от нее является барьером для скользящих дислокаций.

Вышеперечисленное обусловлено тем, что у всех металлов или сплавов статическая деформация в холодном состоянии осуществляется только движением дислокаций. Кроме увеличения плотности дислокаций, количества вакансий происходит измельчение зерен, образование текстуры. С большим искажением кристаллической решетки уменьшается необходимое количество энергии для отрыва атома от узла, процесс диффузии облегчается, и ее скорость возрастает. При неправильно выбранных режимах упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием наблюдается явление перенаклепа, которое ведет к разупрочнению поверхностного слоя. При достижении определенной плотности дислокации возникают субмикроскопические трещины, приводящие к понижению твердости металла и даже шелушению поверхности, что резко снижает эксплуатационные свойства металла.

Также фазовые превращения, сопровождающиеся изменением соотношения между удельными объемами структурных элементов, приводят к возникновению дополнительных и перераспределению остаточных напряжений в поверхностном слое детали. При этом возникают, как правило, сжимающие остаточные

напряжения. Использование устройства для поверхностно-упрочняющей обработки деталей приводит к снижению уровня сжимающих остаточных напряжений на поверхности и их перераспределению. И приводит к тому, что остаточные технологические напряжения становятся соизмеримы с возникающими эксплуатационными в поверхностном слое.

Поскольку протекание в поверхностном слое под воздействием инструмента механических, тепловых и структурно-фазовых явлений приводит к его упрочнению и, как следствие, формированию качественно нового поверхностного слоя с более высокими физико-механическими характеристиками, влияющими на повышение таких эксплуатационных свойств деталей, как усталостная прочность, контактная выносливость, износостойкость.

При этом кинетическая сущность процесса поверхностного пластического деформирования заключается в объемной повреждаемости поверхностного слоя, при которой в деформируемом элементе зарождаются и накапливаются различного рода дефекты и повреждения. Так же следует учитывать что, как только повреждаемость материала в локальном микрообъеме достигает предельной (критической) величины, начинается процесс его разрушения в виде микро- и макронарушений. Следовательно наибольший эффект упрочнения поверхностного пластического упрочнения достигается за промежуток времени или циклов нагружения, при котором в элементах поверхностного слоя накапливается критическая (предельная) повреждаемость. Согласно термодинамической теории, процесс идет в двух противоположных, взаимосвязанных и одновременно протекающих в деформируемых объемах поверхностного слоя явлений: роста плотности скрытой энергии различного рода дефектов и повреждений, накапливающихся в материале вследствие работы внешних сил и снижения ее вследствие различного рода релаксационных процессов, протекающих внутри деформируемого элемента поверхностного слоя. При этом рост плотности скрытой энергии связан с повреждаемостью материала и, как следствие, упрочнением поверхностного слоя, а ее снижение — с динамическим возвратом (разупрочнением) вследствие теплового эффекта пластической деформации. Значительная часть тепловой энергии, связанной с тепловым эффектом пластической деформации, не задерживается в деформируемом элементе поверхностного слоя, а рассеивается по телу детали, в деформирующее тело и в окружающую среду за счет теплообмена. И лишь незначительная часть этой энергии задерживается в деформируемом элементе, повышая его внутреннюю энергию на величину  $\Delta E_T$ . Таким образом накапливаемая в деформируемом элементе поверхностного слоя внутренняя энергия  $\Delta E$  определяется суммой двух составляющих: потенциальной (скрытой)  $\Delta E_C$  и кинетической (тепловой)  $\Delta E_T$ ;  $\Delta E = \Delta E_C + \Delta E_T$ . Эта энергия связана с повреждаемостью мате-

риала ( $\Delta E_C$ ) и его термическим разупрочнением ( $\Delta E_T$ ), является ответственной за прочностные свойства поверхностного слоя, формируемого в процессе поверхностного пластического деформирования.

Поэтому максимально упрочненным поверхностный слой считается, когда плотность  $E$  внутренней энергии в деформируемых элементах, находящихся на поверхности детали, достигнет предельной величины  $E^*$ . Это состояние поверхностного слоя характеризуется наиболее высокими прочностными свойствами, так как твердость, остаточные напряжения и обеспечивают максимальное повышение эксплуатационных характеристик детали. Предельная плотность  $E^*$  внутренней энергии, соответственно нарушение межатомных связей наступает в результате поглощения предельной для данной кристаллической решетки величины энергии.

При механическом нагружении до разрушения поверхностного слоя, процессу нарушения межатомных связей предшествует искажение кристаллической решетки до критической величины. При механическом нагружении предельное искажение кристаллической решетки обусловлено скоплением в деформируемых локальных объемах поверхностного слоя критической плотности дислокаций, при которой дальнейшее поглощение энергии кристаллической решеткой приводит к нарушению межатомных связей. Учитывая, что удельная энергия, затрачиваемая на предельное искажение кристаллической решетки, не зависит от вида подводимой энергии (тепловая или механическая) и соответствует величине теплосодержания (энтальпии) металла. А так же то, что в процессе нагрева энергия поглощается кристаллической решеткой практически равномерно по всему объему металла, а при пластической деформации вследствие анизотропности и несовершенства кристаллической решетки происходит неоднородное поглощение энергии. Следовательно, для обеспечения максимального упрочнения в процессе нагружения в локальных объемах, находящихся на границе контакта поверхности с инструментом, искажения кристаллической решетки должны достигать предельно возможной величины. Соответственно при ППД целесообразно насыщение поверхностного слоя энергией за счет его предварительного нагрева, подогрев металла осуществляется плазменной горелкой (или комплектом горелок) до температуры ниже структурно-фазовых превращений. Температура нагрева 320 - 550 °С. Зона нагрева расположена перед зоной ППД.

Таким образом, целесообразно предложить упрочнение деталей из сталей и сплавов поверхностным упрочняющим деформированием с использованием нагрева поверхностного слоя и энергии удара. Реализация способа поверхностного упрочнения деталей с одновременным нагревом поверхностного слоя и поверхностным пластическим деформированием, и создание устройства для поверхностной упрочняющей обработки деталей с одновременным нагревом по-

верхностного слоя, позволяет повысить качество поверхности обработанного материала, его стойкость к поверхностному истиранию, а так же повысить стойкость поверхностного слоя против воздействия агрессивной среды.

Сущность предлагаемого способа поверхностного упрочнения деталей заключается в том, что деталь нагревают с одновременным поверхностным пластическим деформированием при относительном перемещении устройства и детали, при этом обеспечивается предельная плотность внутренней энергии поверхностного слоя за счет дополнительного его нагрева до температуры ниже структурно-фазовых превращений, посредством плазменных горелок за счет пятна контакта в точке касания факелов, а упрочнение производят элементами в виде деформирующих цилиндрических стержней, посредством которых обеспечивается увеличение скорости (степени) их воздействия на упрочняемую поверхность в определенном порядке.

Предлагаемый способ можно осуществить устройством для поверхностной отделочной упрочняющей обработки деталей, в котором деформирующие стержни разделены на группы вставками и образуют участки с геометрическим рисунком, при этом в каждой группе деформирующая часть стержней выполнена с разделением на несколько составляющих с уменьшением контактной площади и увеличением точек контакта в направлении от нагревательных элементов, в качестве которых используются плазменные горелки, которые имеют возможность перемещения и фиксации в направлении относительно обрабатываемой поверхности.

Это не только ускорит процесс поверхностного пластического деформирования и снизит энергозатраты, но позволяет регулировать величину плотности внутренней энергии, накапливаемой локальным микрообъемом поверхностного слоя, а так же задавать глубину его расположения от наружной поверхности детали. Что имеет важное практическое значение, особенно при проектировании операций упрочнения на стадии конструкторско-технологической подготовки производства.

**Список литературы:** 1. Бабичев А.П., Мотренко П. Д. и др. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 192 с. 2. Лебедев В.А. Оценка эффективности упрочнения деталей методами ППД на основе термодинамических представлений процесса // Вестник машиностроения. 2004. № 6, С. 63-67. 3. Диденко Д. И. Способ поверхностного упрочнения деталей и устройство для его осуществления. Патент RU №2366560 B24 В 39/00, В23Р 9/00,С21 D 7/13, 10.09.09.

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА АБРАЗИВА И ТВЕРДОСТИ СВЯЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ

Диденко Д.И., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г. (ТТИ ЮФУ,

г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** *Possibilities of manufacturing of the abrasive tool promoting improvement of quality indicators of a blanket and accuracy of the geometrical form of a detail are considered, at increase in the period of firmness of a circle between repoints, reduction of its pollution.*

**Key words:** *The abrasive tool, blanket quality indicators, roughness, hardness of an abrasive, hardness of a sheaf*

Одним из важных этапов металлообработки деталей является шлифование. Повышение эффективности процесса шлифования является актуальной научной и практической задачей. Из всех факторов, оказывающих существенное влияние на эффективность процесса шлифования, немаловажным является обеспечение удаления стружки и отходов шлифования из зоны резания и с рабочих частей круга. В результате можно уменьшить затупление, засаливание и износ шлифовального круга, повысить его работоспособность, обеспечить значительное повышение его стойкости, производительности обработки и улучшения качества поверхности детали.

Рассмотрим процесс засаливания и средства очистки рабочей поверхности шлифовального круга. В поры шлифовального круга попадают отдельные стружки и спрессованный металл, «сдвигаемый» в пору с поверхности абразивного зерна при повторных контактах засаленного зерна с шлифуемой детали. Под действием центробежных сил значительная часть отдельных стружек выбрасывается из пор, а частицы металла, «запрессованные» в поры и удерживаемые силами адгезии на боковых поверхностях зерна, остаются в порах, прочно соединяясь со связкой. Таким образом, подтверждается необходимость первоочередной очистки абразивных зерен. Однако желательно одновременно обеспечить очистку и пор и круга; в противном случае металл, оставшийся в порах, может послужить источником засаливания при последующей правке. Зерна, находящиеся в шлифовальном круге, в настоящее время можно очищать от частиц металла и отходов шлифования двумя путями: а) механическим, в) гидравлическим – струями жидкости, подаваемой под давлением на рабочую поверхность шлифовального круга. Гидроочистка рабочей поверхности шлифовального круга

не имеет недостатков, свойственных механической очистке детали обнаруживаются невооруженным глазом.

Потеря режущей способности шлифовальных кругов может быть вызвана различными причинами одна из них – интенсивное засаливание. Чем тверже абразив тем интенсивнее процесс засаливания.

Основная причина засаливания связана с образованием мелкодисперсными частицами пор между абразивными зернами и связкой с образованием спрессованного слоя, закрывающего выступающие зерна [1]. Засаливание начинается с образования на зернах наростов [2, 3]. При этом соединение образуется в три этапа: сближение соединяемых объектов (физический контакт); активация контактирующих поверхностей (образование активных центров); объемное взаимодействие. При этом отмечается, что выступы и впадины субмикропрофиля поверхности абразивного зерна являются первичными очагами засаливания - адгезии частиц металла к абразивным зернам. Сначала происходит локальное схватывание активированного (нагретого до высоких температур и пластически деформированного) металла и выступов субмикропрофиля. Затем одновременно с адгезией металла к абразивным зернам происходит адгезия частиц металла к металлу, налипшему на абразивное зерно. Далее вследствие адгезии металлом наполняются впадины субмикропрофиля абразивных зерен, а затем вся их рабочая поверхность покрывается металлом. Таким образом адгезия является основной причиной засаливания [4, 5].

Очевидно, что процесс засаливания шлифовальных кругов следует рассматривать с учетом атомно-молекулярных взаимодействий в слое между контактирующими поверхностями шлифовального круга и обрабатываемой детали. А так же засаливание зависит от структуры и состава связки шлифовального круга и обрабатываемого материала.

Чтобы деформировать или разрушить твердое тело с последующим отделением его структурных составляющих в виде частиц износа, к нему необходимо приложить внешнюю силу. Работа, выполняемая внешней силой, должна быть равна или превышать энергию связи атомов твердого тела в поверхностных слоях его структуры. В процессе резания шлифованием сила, приложенная в любой точке контакта, изменяется от нуля до максимальной величины то берет-ся среднее значение силы на единицу поверхности трения. т. е. удельную нагрузку на площади контакта.

В соответствии с экспериментальными данными к основным факторам, влияющим на абразивную износостойкость материала, относятся: соотношение твердостей абразива и материала; средний размер зерна абразивных частиц; механические характеристики материала; площадь контакта и путь трения. Изуче-

ние влияния соотношения твердостей абразива и материала позволило выявить зависимость при которой износостойкость материала обратно пропорциональна соотношению твердостей абразива и материала.

На этой зависимости можно выделить три характерные области с различной степенью изнашивающей способностью абразива [6]: изнашивание практически отсутствует; изнашивание увеличивается пропорционально абразива; изнашивание металла не меняется с увеличением твердости абразива. При этом переходе из одной области в другую наблюдается пороговое изменение интенсивности изнашивания обусловленное изменением механизма изнашивания: при этом величина износа меняется от нуля до максимума.

Увеличение среднего размера зерна абразива от минимального значения до определенной величины вызывает прямо пропорциональное увеличение износа; при достижении критического размера зерна дальнейшее его увеличение не оказывает значительного влияния.

На сегодняшний день проводятся работы по исследованию прочностных свойств абразивного инструмента и прочности удержания зерен связкой. Среди аналитических исследований прочности удержания зерен связкой можно выделить работы [7, 8], в которых сделано предположение, что мостики связки имеют определенные геометрические параметры и на поверхности зерна отделены друг от друга. Такое предположение приводит к погрешности расчетов, так как в реальности мостики связки могут пересекаться, а их число и распределение по поверхности контакта носят случайный характер. В работе [9] рассмотрены теоретические аспекты энергии разрушения абразивного инструмента и поставлена задача определения напряжений, возникающих в мостиках связки под действием внешней сжимающей нагрузки, а также вследствие деформации мостиков связки от действия этой нагрузки. Аналогично возникают напряжения в мостиках связки и от комбинированной нагрузки.

В основу исследования положим одну из первых работ в этой области, наиболее полно раскрывающую механизм удержания зерен связкой. Рассмотрен фрагмент структуры поверхностного слоя абразивного инструмента. Абразивные зерна расположены по принципу максимальной упаковки. Между абразивными зернами находится связка. Так как объем связки в абразивном инструменте, как правило, меньше объема свободного пространства между зернами, то между частичками связки имеются поры, поэтому абразивные зерна связаны между собой мостиками связки.

Абразивные зерна, находящиеся внутри инструмента, могут иметь связи со всеми окружающими его соседними зернами. Вокруг каждого такого зерна может располагаться 14 мостиков связки. Зерна, находящиеся на поверхности



абразивного инструмента, связаны с зернами, расположенными внутри тела, и в зависимости от степени выступания над связкой могут иметь от 1 до 10 мостиков связки. Чем больше зерно выступает над уровнем связки, тем меньше мостиков связки оно имеет.

Абразивные зерна имеют неправильную форму, однако ввиду того, что они занимают равновероятное положение относительно своего центра, принято при расчетах считать абразивные зерна сферическими, а для определения размера зерна использовать математическое ожидание, т. е. среднее значение диаметра зерен.

Для расчета среднего диаметра абразивных зерен и средних значений параметров мостиков связки определим следующие зависимости.

Так как масса зерен, находящихся в 1 г порошка, зависит от объема зерна, их числа и плотности материала, то средний диаметр зерен находят по формуле

Среднестатистическая длина мостиков связки зависит от среднего расстояния между поверхностями абразивных зерен. В работах [10] это расстояние определено как величина, обратная квадратному корню из числа зерен в единице объема абразивного инструмента. Это было бы верно, если бы зерна как атомы кристаллической решетки твердого вещества находились бы строго в вершинах куба. На самом же деле любое сыпучее вещество имеет плотную упаковку составляющих его частиц.

Максимальное число зерен в единице объема получается при их плотной упаковке в насыпном виде, следовательно, максимальное значение коэффициента  $K_z$  составляет 1,33. Доля объема зерен в единице объема материала инструмента зависит от структуры абразивного инструмента, поэтому коэффициент  $K_z$  тоже зависит от структуры; назовем его коэффициентом структуры.

Анализ полученных данных показал, что мостики связки в абразивном инструменте – относительно небольшие и составляют 10-20 % от размера зерна. В качестве расчетной примем следующую модель связки. Зерно контактирует со связкой на глубине  $h$ . Размер общей площадки этого контакта определяет параметр  $F_{sh}$  – контурная площадь контакта. Фактическая площадь контакта зависит от количества связки и объема, занимаемого порами в единице объема абразивного материала.

Рассмотрим процесс деформации одного мостика. С равной вероятностью мостик связки может находиться в любой точке площадки контакта. Пусть он находится в случайной точке  $M$  с координатами  $(x, y, z)$ . Тогда деформация мостика связки;

$$\delta_M = \frac{P l_s}{E_s F_i}$$

где  $P_i$  – нормальная сила, действующая со стороны зерна на  $i$ -й мостик связки;  $l_s$  – средняя длина данного мостика связки;  $F_i$  – среднее значение площади поперечного сечения мостика связки;  $E_s$  – модуль упругости материала связки.

Силы, действующие со стороны зерна на мостике связки, неодинаковы: в центре площадки контакта действуют максимальные силы  $P_{i\max} = \frac{E_s F_i}{l_s} \delta_0$ , а по краям – минимальные.

Так как напряжение в мостике связки определяется отношением действующей на него силы к площади его поперечного сечения, то напряжения, возникающие в мостике связки:

$$\sigma_i = \frac{E_s}{l_s} \delta_0 \cos \theta.$$

Поскольку вокруг абразивного зерна, находящегося внутри абразивного инструмента, может находиться 14 мостиков связки, таким образом, исследования подтвердили многочисленные практические данные о сложной зависимости напряжений в мостиках связки абразивного материала и зависимости их деформации от множества факторов, в том числе от внешней нагрузки, размеров зерен, глубины погружения в связку, а также от объемов, занимаемых связкой и порами в общем объеме абразивного материала. Показан механизм этого влияния. Полученные результаты могут быть использованы при выборе оптимальных параметров абразивного инструмента.

Анализ показал, что напряжения в мостиках связки существенно зависят от числа мостиков связки, расположенных на контурной площадке контакта. Их число непостоянно, поэтому является случайной величиной. Как правило, число точек на поверхности материала образуют Пуассоновское поле.

Следовательно, можно сделать вывод о целесообразности изготавливать шлифовальный инструмент (см. патент №2282531 В 24 D5/14, 27.08.2006 г.), когда в основную массу с абразивом меньшей зернистости добавлять абразив большей зернистости при этом варьируя твердостью связующего. Но не обычным добавлением, а таким образом, что бы получить максимальный результат, как абразивной способности инструмента, так и динамических характеристик шлифовального инструмента.

Абразивный круг выполнен из абразивных масс разной зернистости, а в основной абразивной массе одной зернистости в направлении от оси вращения круга к его рабочей поверхности размещены сужающиеся стержни, выполненные с добавлением к основной абразивной массе абразива большей зернистости и большей твердости и с обеспечением большей твердости связующего абразив-

ной массы стержней, причем стержни размещены с образованием на рабочей поверхности круга геометрического рисунка. Что способствует повышению качества обрабатываемой поверхности с высокой точностью геометрических форм и увеличению периода стойкости круга между переточками. А так же улучшает динамические характеристики, поскольку при уменьшении диаметра круга, вследствие его износа и переточек, уменьшается скорость резания, а размещение стержней в направлении суженного торца по отношению к оси круга, уменьшает соответственно площадь его контакта с деталью.

Абразивный круг получают следующим образом. Форму заполняют слоем основной абразивной массой, предварительно опрессовывают формируя углубления под закладку стержней, открыв форму в углубления закладывают предварительно выполненные (опрессованные) стержни из абразива основной абразивной массы с добавлением к основной абразивной массе абразива большей зернистости и большей твердости и с обеспечением большей твердости связующего абразивной массы стержней (стержни могут быть круглого, эллипсного, квадратного и др. сечения), далее, заполняют форму слоем с основной абразивной массой, снова опрессовывают, формируя углубления под закладку стержней и т.д., пока не будет сформирован нужный геометрический рисунок на рабочей поверхности круга, после чего спрессовывают. При этом следует отметить, что величина зерна основной абразивной массы и стержней с большей твердостью не одинакова, поскольку в абразивную массу стержней добавлен абразив большей зернистости.

В качестве связующего, например, возможно применение керамической связки, которая позволяет изготавливать абразивный инструмент из всех абразивных материалов с различным содержанием, как самого шлифовального материала, так и связки, регулируя тем самым структуру инструмента и его прочностные характеристики. В большей степени подходят спекающиеся керамические связки. Для получения связок с заданными химическим составом и физико-механическими свойствами используют разные минеральные материалы: различного рода глины и каолин, полевошпатовые материалы, тальк и др. Применение глин и каолина обусловлено их высокими связующей способностью и огнеупорностью, большой пластичностью. На качество связки влияет дозировка компонентов и полнота смешивания.

Формование абразивного инструмента производят способом полусухого прессования из формовочной смеси путем смешивания заданных количеств шлифовального материала связки и увлажнителя. Увлажнители, играют роль временного связующего, вводят в смеси сухих порошков для придания смеси формовочных свойств, т. е. способности сохранять форму изделия после формо-

вания. Кроме того, увлажнители препятствуют расслоению компонентов смеси при хранении и укладке. При этом термическая обработка включает два этапа: сушку и обжиг.

Или, например, абразивный инструмент на бакелитовой связке абразивными материалами, являются нормальный электрокорунд черный карбид кремния и в качестве более прочного для стержней циркониевый электрокорунд марки 38А. В качестве основы связки абразивного инструмента используют искусственную формальдегидную смолу – бакелит.

При получении абразивных смесей для формования на твердость инструмента оказывают влияние количество связки, режим термообработки (полимеризации или бакелизации) и др. Так же при подготовке абразивных смесей (массы основной зернистости и стержней) можно применять зерна двух-трех смежных номеров смеси, например карбида кремния и электрокорунда. Повышению прочности связки стержней способствуют вводимые в состав порошкообразные асбест, каолин, глина, криолит и т. п.

Формование осуществляют способом холодного полусухого прессования, которое принципиально не отличается от полусухого прессования абразивных изделий на керамической связке. Затем отформованный холодным способом сырой круг укладывают в другую форму и подвергают термообработке на другом прессе, снабженном нагревателями.

Абразивный круг устанавливается на валу шлифовального станка. Отличительная его особенность заключается в том, что при работе возникают микроудары и микровибрации, которые происходят при входе крупнозернистого и более твердого абразива с более твердым связующим в соприкосновение с деталью при этом постоянно меняются зоны контакта основной абразивной массы и стержней с добавлением к основной абразивной массе абразива большей зернистости и большей твердости и с обеспечением большей твердости связующего их абразивной массы. За счет этого улучшается процесс резания, уменьшаются технологические остаточные напряжения, значительно уменьшается засаливание инструмента, особенно при обработке вязких труднообрабатываемых и закаленных материалов. Это положительно влияет на улучшение точности геометрических форм, поскольку микроудары и микровибрации происходят в основном в зоне резания, а не между деталью и инструментом в целом. В результате существенно повышается производительность операции шлифования и снижается дисперсия показателей качества поверхностного слоя деталей, о чём свидетельствуют данные, полученные в производственных условиях при шлифовании образцов из сталей 12Х2Н4А и 20ХН2МА.

Таким образом, предложенный абразивный круг способствует улучшению качественных показателей поверхностного слоя (шероховатость, технологические остаточные напряжения, точность геометрической формы детали), существенно уменьшается количество прижогов на поверхности обработанной детали, увеличивается период стойкости круга между переточками за счет уменьшения его засаливания.

Предлагаемая конструкция приемлема для кругов цилиндрической и конической формы при шлифовании как плоских поверхностей на плоскошлифовальных станках, так же цилиндрических наружных и внутренних поверхностей на соответствующих станках, в основном для кругов большого типоразмера.

Это способствует тому что засаливание происходит в основном в зонах стержней которые в следствие повышенной температуры их разогрева самозатачиваются а резание выполняется основной абразивной массой повышаются динамические характеристики стойкость инструмента улучшается качество обработанной поверхности.

**Список литературы:** 1. Череповецкий И. Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. Киев: Наукова думка, 1978. 228 с. 2. Худобин Л. В., Унянин А. Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / Под ред. Л. В. Худобина. Ульяновск: УлГГУ, 2007. 298 с. 3. Красулин Ю. Л. Взаимодействие металлов с полупроводником в твердой фазе. М.: Наука, 1971. 120 с. 4. Янюшкин А. С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов. М.: Машиностроение 1, 2003. 242 с. 5. Янюшкин А. С., Сурьев А. А. Строение алмазоносного слоя кругов на металлической связке при обработке твердых сплавов различными методами / 29-я межрегиональная науч.-практ. конф. "Технические науки, технологии и экономика". Чита: ЧитГГУ, 2002. С. 25–36. 6. Сорокин Г. М., Малышев В. Н. Влияние абразива на природу механического изнашивания. Вестник машиностроения. 2006. № 11. С. 24–26. 7. Королёв А. В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. Саратов: Саратовский ГТУ, 1975. 192 с. 8. Королёв А. А. Современная технология формообразующего суперфиниширования поверхностей деталей вращения сложного профиля. Саратов: Саратовский ГТУ, 2001. 156 с. 9. Чистяков А. М. Ресурсосберегающие технологии подшипникового производства с управляемыми параметрами технологической энергии. Саратов: Саратовский ГТУ, 1998. 208 с. 10. Королёв А. В., Королёв А. А., Тюрин А.Н. Вероятностный расчет напряжений мостиков связки абразивного инструмента. Вестник машиностроения. 2009. № 1. С. 52-55.

## КОНВЕРТОПЛАНЫ С КРИОГЕННЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ – ВИНТОКРЫЛЫЙ ПРИОРИТЕТ ДЕЛОВОЙ И ПАЛУБНОЙ АВИАЦИИ

Дуров Д.С. (ТТИ ЮФУ, Таганрог, Россия)

Тел. +7(8634)371622; E-mail: [big@egf.tsure.ru](mailto:big@egf.tsure.ru)

**Abstract:** currently topical in the aircraft industry is to create a converted aircraft used in both urban and shipborne combined with the use of traditional power plants and liquefied natural gas.

**Keywords:** konvertoplan, aviation, converted aircraft, liquefied natural gas.

В последние десятилетия минувшего столетия и ряда последних лет, несмотря на многочисленные проблемы, значительный интерес по-прежнему уделяется созданию преобразуемых винтокрылых летательных аппаратов (ПВЛА) и, в частности, многоцелевых криогенных конвертопланов (МККП). Такие МККП могли бы осуществлять вертикальный взлет и посадку (ВВП) на площадках ограниченного размера в черте города или короткий взлет и посадку (КВП) с небольших пригородных аэродромов. Опыт эксплуатации реактивных пассажирских самолетов показал, что объем воздушных перевозок в значительной мере возрастает за счет увеличения перевозок на местных воздушных линиях (МВЛ), поэтому с учетом запросов авиакомпаний МВЛ совместно фирмами «Bell» и «Agusta» осваивается конвертоплан мод. ВА.609», выполненный по типу конвертоплана мод. «V-22 Osprey» и обеспечивающий перевозку 9-12 пассажиров с крейсерской скоростью 550 км/ч на маршрутах протяженностью до 1300 км [1]. Однако, ни чисто грузовые, ни чисто пассажирские региональные конвертопланы городского базирования с взлетом и посадкой в черте города не могут применяться действительно рентабельно. Для решения этой проблемы целесообразно использовать специальную транспортную систему для МВЛ, созданную на основе высокоскоростных МККП ВВП и КВП.

По оценкам специалистов [1], такие МККП на сжиженном природном газе (СПГ) в среднем позволят в 2,5 раза уменьшить затраты на топливо и снизить прямые эксплуатационные расходы на 4-5% на один час полета. МККП, представляющий собой криогенный вертолет-самолет, может быть выполнен в виде трехбалочного продольного триплана с передним горизонтальным оперением (ПГО), Н-образным оперением и концепции тандемного расположения поворотных винтов (ТРПВ-Х4), смонтированных в носовых и хвостовых кольцевых каналах с носовыми и межкилевыми винтами [7]. При этом повышается надежность и стабильность управления на переходных режимах полета, что позволяет также существенно улучшить штопорные характеристики и снизить на 20% потери аэродинамического качества на балансировку МККП, так как переднее го-

горизонтальное оперение (ПГО) находится впереди крыла, работая совместно с ним, создает дополнительную подъемную силу и разгружает крыло. Кроме того, хвостовой стабилизатор увеличивает продольную стабилизацию, а винты в кольцевых каналах, увеличивая статическую тягу, позволяют использовать малощумные реверсивные винты меньшего диаметра, минимизировать акустическую сигнатуру и габаритные размеры МККП, расширяющие условия его базирования, но и обеспечивающие возможность использования концепции небольших пригородных аэродромов. Удаленные от фюзеляжа криогенная силовая установка (СУ) и топливная система значительно повышают взрыво- и пожаробезопасность, а также надежность. При этом, МККП на СПГ могут иметь и отдельные топливные системы (одна штатная – для авиакеросина в крыле, другая – криогенная для СПГ в хвостовой и двух разнесенных балках). Благодаря этому такие МККП смогут заправиться газом, совершить полет в аэропорт, где пока нет оборудования для его производства и хранения, и улететь оттуда на авиакеросине, а перейти с одного вида топлива на другой, в случае нештатной ситуации, можно всего за несколько секунд.

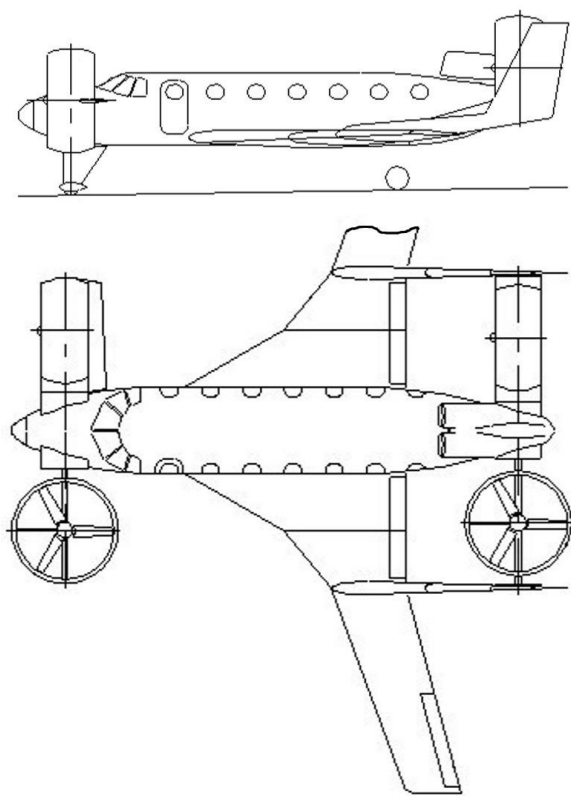


Рис. 1. Модификация МККП – региональное аэротакси МВЛ

Концепция МККП представлена ниже на рис. 1 на общем виде сбоку и сверху с условным расположением поворотных винтов правой и левой групп на самолетных и вертолетных режимах полета соответственно. Использование для гражданских нужд таких коммерчески выгодных МККП, использующих технологии ВВП и КВП возможно с большой долей вероятности на его положительный результат.

Особенно важно то, что при использовании технологии КВП, отклоняя вверх кольцевые каналы на угол  $30-35^\circ$ , исключается необходимость в длинной взлетно-посадочной полосе (достаточно и 200 м), что в 10-15 раз меньше, чем для реактивных самолетов. При этом их посадочная

скорость также в 2,0-2,5 раза меньше, чем у реактивных самолетов, что повышает их безопасность и весьма упрощает конструкцию механизации крыла. Важнейшим аргументом широкого использования МККП является также и их высокая экологич-

ность (при сгорании СПГ выделяется окислов азота в 1,2-2,2 раза, углеводородов в 2-3 раза, окиси углерода в 10 раз меньше, чем при сгорании авиакеросина).

Развитие беспилотных или дистанционно пилотируемых летательных аппаратов (БПЛА или ДПЛА) и, особенно, дистанционно пилотируемых вертолетов-самолетов (ДПВС) палубного базирования является одним из приоритетных направлений. Такие типы ДПВС (см. рис. 2) зачастую могут основываться на использовании аэродинамической схемы «утка» и концепции тандемного расположения поворотных винтов (ТРПВ-Х2), смонтированных в носовой и хвостовой части фюзеляжа. Выбор такой схемы ДПВС обусловлен простотой и возможностью преобразования его полетной конфигурации с вертолетоподобной двухвинтовой продольной схемы в полетную конфигурацию самолета и обратно [6]. При этом повышается надежность и стабильность управления на переходных режимах полета, появляется возможность значительно повысить эффективность винтомоторной группы и использовать тяжелонагруженные винты меньшего диаметра, а также минимизировать габаритные размеры ДПВС, что исключительно важно при его палубном базировании.

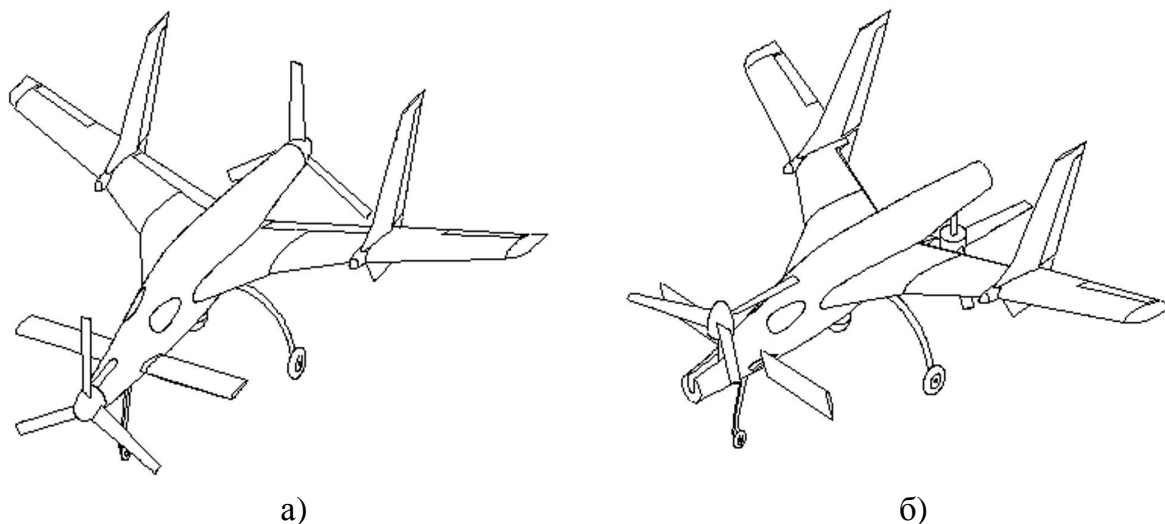


Рис. 2. Вариант использования ДПВС в качестве:  
а – самолета; б – вертолета

Тандемнорасположенные поворотные винты с жестким креплением лопастей обеспечивают необходимые управляющие моменты, значительно усиливают интенсивное обтекание носовой части фюзеляжа и наплывы крыла переменной стреловидности, обеспечивающие высокие несущие свойства при маневрировании на больших углах атаки без сваливания в штопор. Улучшается решение проблемы асимметричности осевой нагрузки и уменьшения рыскания на самолетных режимах полетов ДПВС. Оснатив СУ турбовинтовыми двигателями (ТВД) мод. СТ7-9В и выполнив шасси убирающимся, становятся возможными широкий диапазон скоростей от 100 до 800 км/ч и высота его полета до 13 500 м,



что делает возможным создание из его блочно-модульной конструкции и вариант пилотируемого вертолета-самолета.

Таким образом, многоцелевой ДПВС, выполненный по схеме «утка» с тандемным расположением поворотных винтов, представляет собой беспилотный конвертоплан, а возможность его вертикального взлета и посадки позволяют исключить старт с катапульты, амортизационную посадку с повторной укладкой парашюта, требующей специального оборудования для его сушки и прессовки, и значительно повысить кратность его применения. Все это предопределяет возможность освоения наземного и корабельного базирования ряда моделей турбовинтовых МККП и ДПВС. Например, тип 1 – МККП для поисково-спасательных операций и деловой авиации, тип 2 и 3 – палубные ДПВС (табл. 1).

Освоение такого типового ряда турбовинтовых ДПВС и МККП взамен соосных вертолетов не является технически неразрешимой задачей, при этом ДПВС могут обеспечить скорости полета, соответствующие числу  $M = 0,8$  и легко реализовать короткий взлет и вертикальную посадку (КВВП). Последнее является важным при палубном базировании ДПВС, так как обеспечивает короткий взлет с максимальным его весом и вертикальную его посадку пустого на палубу корабля без использования весьма сложного и энергозатратного аэрофинишера.

Помимо чисто технической возможности, могут быть проведены исследования по созданию, в первую очередь, ДПВС (тип 2) с турбовинтовым двигателем (ТВД). Наиболее актуальным для этих целей может стать первоочередное освоение ДПВС с ТВД мод. СТ7-9В, обеспечивающего с использованием технологии ВВП и КВВП дальность полета 3200 и 4800 км при целевой нагрузке 920 и 1840 кг соответственно.

Следует признать, что повышенные эксплуатационные возможности ДПВС предопределяет их использование как вертолета и самолета в составе корабельного и наземно-мобильного исполнений. Причем, освоение ДПВС, базирующихся на авианесущих кораблях и вертолетоносцах, позволит полностью реализовать все возможности нового поколения таких кораблей и ДПВС – как одного из важнейших направлений развития морской и авиационной техники.

**Список литературы:** 1. Егер С.М. Основы авиационной техники. М.: Машиностроение. 2003 г. 720 с. 2. Дуров Д. С. Гидроконвертоэкраноплан. (Патент РФ № 2264951), 24.02.2004 г. 3. Дуров Д. С. Многоцелевой СВВП (Патент РФ № 2283795), 21.03.2005 г. 4. Дуров Д. С. Вертолет-самолет-амфибия (Патент РФ № 2310583), 15.11.2005 г. 5. Дуров Д. С. Гидроконвертовинтоплан (Патент РФ № 2351506), 23.04.2007 г. 6. Дуров Д. С. Многоцелевой ДПВС (Патент РФ №2370414), 11.02.2008 г. 7. Дуров Д. С. Криогенный конвертоплан (Патент РФ №2394723), 13.04.2009 г.

Таблица 1 - Предварительные технические характеристики к ПВЛА с поворотными винтами

№ п/п	Параметры	Величины		
		Тип 1	Тип 2	Тип 3
1	Размеры по концепции:	ТРПВ-Х4	ТРПВ-Х2	ТРПВ-Х2
	длина, м	12,17	7,4	6,1
	высота на шасси, м	4,0	3,9	2,8
	размах крыла, м	14,2	10,86	9,0
	площадь крыла, м <sup>2</sup>	20,11	15,36	10,54
	площадь ПГО/стабилизатора, м <sup>2</sup>	6,03/3,0	4,6/-	3,16/-
2	Тип СУ с криогенным ТВД/ роторно-поршневым двигателем, модель	ТВД СТ7-9В /-	ТВД СТ7-9В /-	-/ РПД ВА3-5265
2.1	суммарная мощность, л.с.	2×1870	1×1870	1×400
3	Массы и нагрузки:			
3.1	тяговооруженность взлетная (крейсерская)	1,1 (0,37)	1,20 (0,37)	1,23 (0,38)
3.2	нормальная при вертикальном взлете, кг	5445	3670	860
3.3	при взлете с коротким разбегом, кг	6100	4775	1112
3.4	нормальная целевая нагрузка при взлете по п. 3.2/п. 3.3, чел. (кг)	2+9 (900)/ 2+12 (1200)	(920/1840)	(210/420)
3.5	пустого, кг	3390	2185	524
4	Запас топлива по п. 3.2/п. 3.3, кг	955/1310	565/750	126/168
5	Диаметр реверсивных винтов, м	2,0×4	3,86×2	2,14×2
6	Ометаемая площадь винтами, м <sup>2</sup>	12,56	23,39	7,18
7	Скорость вращения винтов: при вертикальном взлете, мин <sup>-1</sup> при крейсерском полете, мин <sup>-1</sup>	2750 2200	1290 1032	2235 1788
8	Удельная нагрузка на ометаемую площадь винтами по п. 3.2, кг/м <sup>2</sup>	433,52	156,9	119,77
9	Удельная нагрузка на мощность, кг/л.с.	1,45	1,96	2,15
10	Удельная нагрузка на крыло при взлетной массе по п. 3.3, кг/м <sup>2</sup>	233,36	204,14	80,66
11	Летно-технические характеристики:			
	крейсерская скорость на 25% располагае- мой мощности СУ, км/ч	750	800	500
	время полета по п. 3.2/п. 3.3, ч	3,0/5,0	4,0/6,0	4,0/6,0
	дальность полета по п. 3.2/п. 3.3, км	2250/3750	3200/4800	2000/3000
	максимальная скорость, км/ч	830	860	540
	практический потолок, м	9600	13500	7500
	продолжительность висения, ч	0,5	0,5	0,5
	дистанция при посадке с пробегом/ при взлете с коротким разбегом, м	120/80	90/60	42/28

## АНАЛИЗ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ НА ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

**Енин Е.Е., Звягинцева А.В.** (Воронежский государственный технический университет, г.Воронеж, Россия)

E-mail: [zygincevaav@mail.ru](mailto:zygincevaav@mail.ru)

**Abstract:** *The analysis of possible scenarios of occurrence of emergency situations on multifuel point object in system of an oil and gas complex is carried out. The estimation of consequences of influence of amazing factors of failure on the person and the analysis of results of an estimation of risk of emergency situations is executed. The analysis of the received results by an estimation of risk of occurrence of failures shows that the considered multifuel gas station corresponds to the taken over world norms ( $10^{-5} \text{ year}^{-1}$ ).*

**Key words:** *mineral oil, the emergency overflow, the plan of liquidation of contingency situations, scenarios of failures, potential fire risk.*

Нефть и нефтепродукты представляют собой источники повышенной опасности, являясь сырьем для химической промышленности, топливом для множества энергетических объектов, и источником энергии для транспорта и других потребителей. Объектом исследования представленной работы является многотопливная автозаправочная станция ООО «Ставропромкомплект» г. Ставрополь. Область применения – многотопливные точечные объекты в системе нефтегазового комплекса. АЗС ООО «Ставропромкомплект» предназначена для хранения и обеспечения автотранспортных средств бензина марок А-76, Аи-92, Аи-95, дизельного топлива (Дт), сжиженного углеводородного газа (СУГ). Цель исследования: на основе моделирования технологических процессов эксплуатации многотопливного точечного объекта разработать инженерно – технические мероприятия по снижению риска и минимизации последствий чрезвычайных ситуаций на опасном объекте. Метод исследования и программное обеспечение – проводилась на основе «Методики расчета риска на опасном промышленном объекте» (приказ №404 МЧС РФ). Расчеты производились с помощью программы «ФЛОУТЕК 23.3».

Проведен анализ возможных сценариев возникновения чрезвычайных ситуаций на исследуемом объекте [1]. Возможными причинами возникновения аварийных ситуаций являются: усталость материала емкостей, труб, коррозия; брак сварных швов, деформация, механическое повреждение в результате нару-

шения регламента работ и т.д.; нарушения режимов или параметров перекачки продукта; нарушения технологии ремонта. Исходя из перечисленных выше возможных причин возникновения и развития аварийных ситуаций, с учетом отказов и неполадок оборудования, возможных ошибочных действий персонала и внешних воздействий природного и техногенного характера, можно сделать вывод, что сценарии аварий не АЗС могут быть приближенно описаны с помощью деревьев событий, приведенных на рис. 1.

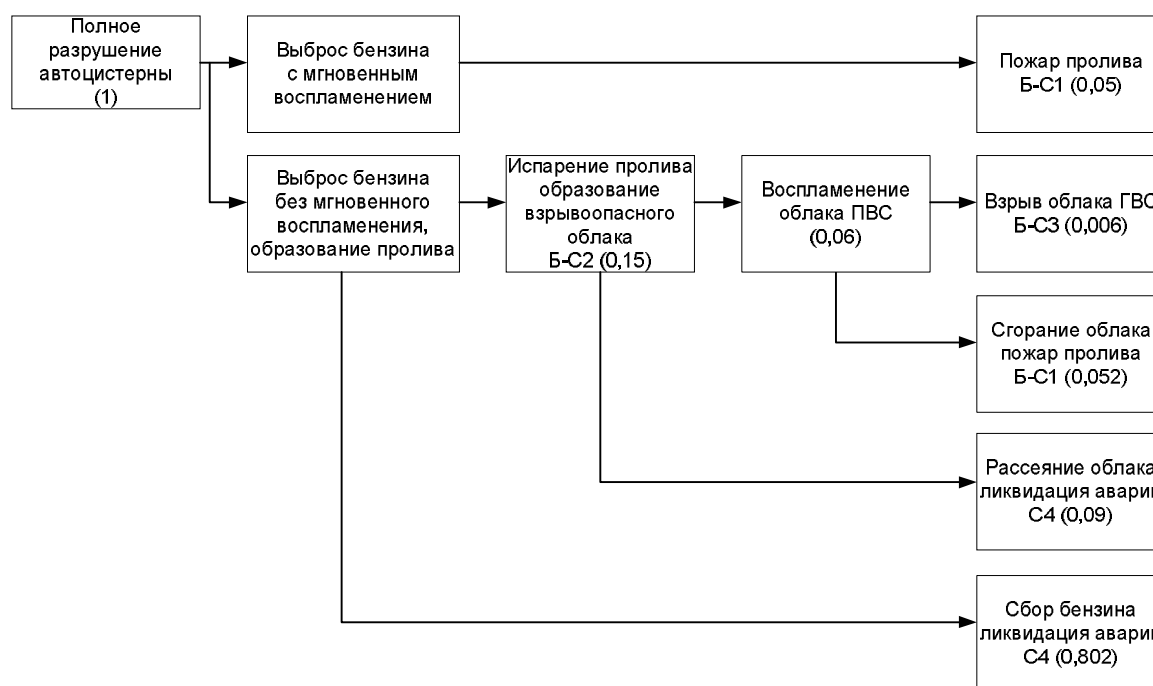


Рис.1. Дерево событий при полном разрушении автоцистерны с бензином на площадке слива

Для оборудования АЗС ООО «Ставропольский комплекс» частоты возникновения наиболее опасных (при полном разрушении оборудования) и наиболее вероятных (при частичной разгерметизации) сценариев развития аварийных ситуаций, с учетом построенных "деревьев событий", приведены в табл. 1.

Численные значения частоты возникновения аварийных ситуаций по описанным выше сценариям их развития получены путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию с учетом количества оборудования и периодичности доставки СУГ и нефтепродуктов. В результате возможных аварийных ситуаций на АЗС ООО «Ставропольский комплекс» возможно возникновение взрывопожароопасных зон, факельного горения СУГ, пожаров разлива, огненных шаров (для автоцистерны), взрывов ГВС и ПВС с поражением оборудования и персонала тепловым излучением, и ударной волной.

Таблица 1 - Частоты возникновения наиболее опасных и наиболее вероятных сценариев развития аварийных ситуаций

Наименование составляющей и оборудования	Номера сценариев развития аварийных ситуаций	Частота развития аварии по наиболее опасному сценарию, год-1	Частота развития аварии по наиболее вероятному сценарию, год-1
1	2	3	4
№1. Автоцистерна с СУГ на площадке слива	Г-1С1	-	$2,8 \cdot 10^{-8}$
	Г-1С2	$1,92 \cdot 10^{-8}$	$7,7 \cdot 10^{-7}$
	Г-1С3	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
	Г-1С4	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$6,7 \cdot 10^{-8}$
	Г-1С5	$1,89 \cdot 10^{-8}$	$6,31 \cdot 10^{-7}$
	Г-1С6	$2,4 \cdot 10^{-9}$	-
№2. Емкость хранения СУГ	Г-2С1	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
	Г-2С2	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
	Г-2С3	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$5,46 \cdot 10^{-4}$
	Г-2С4	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
	Г-2С5	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$
№3. Технологическое оборудование (колонка СУГ)	Г-3С1	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
	Г-3С2	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
	Г-3С3	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$5,46 \cdot 10^{-4}$
	Г-3С4	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
	Г-3С5	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$
№4. Автоцистерна с бензином на площадке слива	Б-4С1	$4,8 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$
	Б-4С2	$6,0 \cdot 10^{-8}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$
	Б-4С3	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$6,5 \cdot 10^{-8}$
	Б-4С4	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$6,44 \cdot 10^{-8}$
	Б-4С5	$4,8 \cdot 10^{-9}$	-
	Б-4С6	$2,4 \cdot 10^{-9}$	-
№5. Технологическое оборудование с бензином (ТРК)	Б-5С1	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$
	Б-5С2	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$6,45 \cdot 10^{-4}$
	Б-5С3	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
	Б-5С4	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
№6. Автоцистерна Д/Т на площадке слива	Дт-6С1	$4,4 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$
	Дт-6С4	$3,56 \cdot 10^{-7}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$
	Дт-6С5	$4,4 \cdot 10^{-9}$	-
№7. Технологическое оборудование с Д/Т (ТРК)	Дт-7С1	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$
	Дт-7С4	$3,96 \cdot 10^{-4}$	$4,25 \cdot 10^{-3}$

Анализ полученных результатов, проведенный с учетом зон действия поражающих факторов, и детерминированных и вероятностных критериев оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения на людей [2] позволили провести расчет значений потенциального пожарного риска на территории объекта и построить на плане АЗС поля потенциального пожарного риска (рис.2).

Полученное распределение потенциального пожарного риска гибели персонала на территории объекта показывает, что зонами наибольшего потенциального риска гибели людей являются: зона, прилегающая к колонке СУГ, площадка для автоцистерны с СУГ и резервуары СУГ ( $6,4 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  и  $5,8 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ , соответственно).

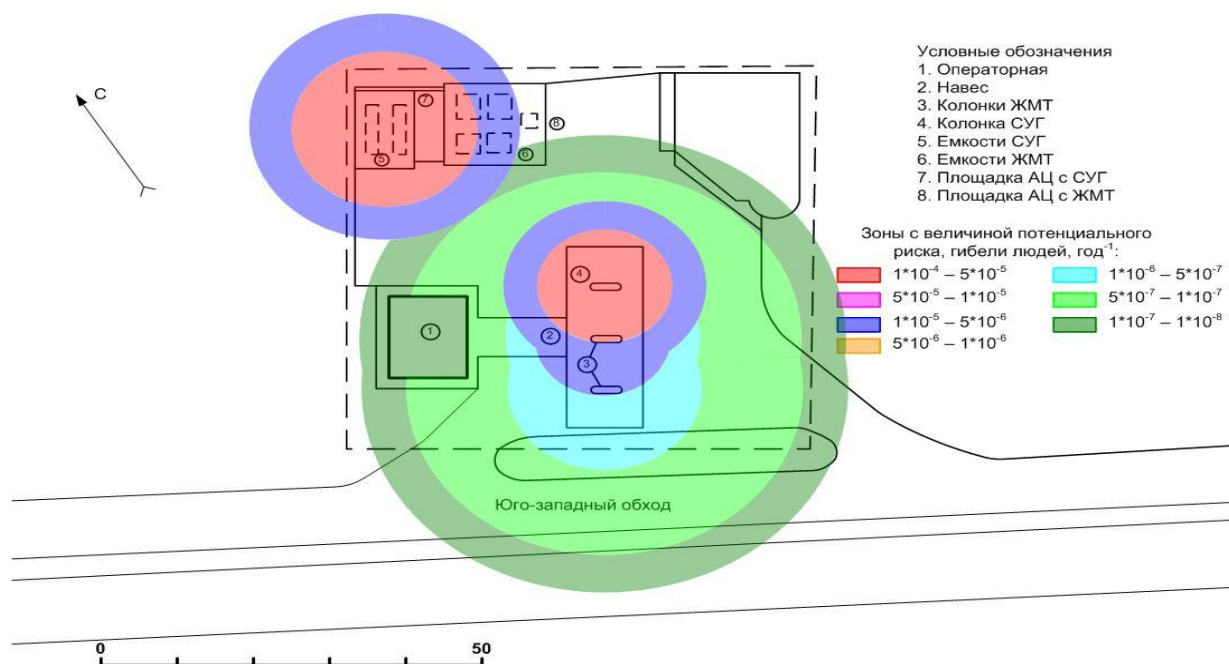


Рис. 2. Распределение потенциального пожарного риска по территории АЗС ООО «Ставропромкомплект»

Потенциальный риск по остальной территории объекта распределен следующим образом: зона ТРК -  $1,23 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ ; операторная -  $8,5 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

На остальной территории АЗС потенциальный риск колеблется от  $1,7 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$  до значений менее  $1 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

Величина индивидуального риска  $R_m$  ( $\text{год}^{-1}$ ) для работника  $m$  объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (1)$$

где  $P(i)$  - величина потенциального риска в  $i$ -ой области территории объекта,  $\text{год}^{-1}$ ;  $q_{im}$  - вероятность присутствия работника  $m$  в  $i$ -ой области территории объекта.

Величина индивидуального риска  $R_m$  ( $\text{год}^{-1}$ ) для работника  $m$  при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^N P_i \cdot q_{im}, \quad (2)$$

где  $P_i$  - величина потенциального риска в  $i$ -ом помещении здания,  $\text{год}^{-1}$ ;  $q_{im}$  - вероятность присутствия работника  $m$  в  $i$ -ом помещении;  $N$  - число помещений в здании, сооружении и строении.

Индивидуальный пожарный риск гибели персонала: площадка для автоцистерны –  $8,64 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ ; резервуары СУГ –  $8,64 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ ; колонка СУГ –  $2,34 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ ; зона ТРК –  $2,1 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ ; операторная –  $4,18 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

Суммарный индивидуальный пожарный риск гибели персонала и посетителей АЗС составляет –  $6,59 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ . Индивидуальный риск гибели населения на прилегающей территории менее величины  $6,74 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

В связи с тем, что максимальное количество пострадавших от возможных аварийных ситуаций на АЗС не превышает 3-х человек, социальный пожарный риск на территории АЗС и прилегающей территории не определялся. Величина индивидуального пожарного риска, составляющая  $6,59 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ , не превышает величину пожарного риска,  $1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ , установленную Федеральным Законом №123-ФЗ от 22 июля 2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Таким образом, анализ полученных результатов по оценке риска возникновения аварий показывает, что рассматриваемая многотопливная АЗС соответствует принятым мировым нормам ( $10^{-5} \text{ год}^{-1}$ ).

**Список литературы:** 1. Приказ МПР России от 03.03.2003 №156 «Об утверждении Указаний по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации». – 5 с. 2. Приказ МПР России от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной безопасности». – 41с.

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СФЕРЕ ЖКХ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

**Ермолаева Н.В., Емельянова З.Н.** (Волгодонский инженерно-технический институт Национального ядерного технического университета МИФИ (ВИТИ НИЯУ МИФИ), г.Волгодонск, Россия)

Тел. +7 (906)418-28-33 , E-mail: [ermolnv@mail.ru](mailto:ermolnv@mail.ru)

**Abstract:** *It's proposed the utilization scheme of thermal losses in the sphere of housing municipal economy. It's proposed the construction of thermoelectric device. This device is reliable, maintainable, long-lived, comfortable in service, safe and inexpensive.*

**Keywords:** *thermoelement, thermal losses, housing municipal economy, thermoelectric device*

Согласно статистике, Российское жилищное коммунальное хозяйство (ЖКХ) потребляет 25% всех энергоресурсов страны. Причем суммарные теплопотери в коммунальном хозяйстве достигают 70%, из которых 40% приходится на изношенные теплоцентралы и 30% - на слабоутепленные здания. Таким образом, проблема тепло- и энергосбережения является в настоящее время очень актуальной. Следует также отметить неуклонный рост платы за коммунальные услуги. В 2009 году темпы роста счетов за тепло- и электроэнергию в ЖКХ составили соответственно 25% и 22%. С началом 2010 г. прирост тарифов на электроэнергию в среднем составил 10% для населения, 7% для бюджетных и промышленных потребителей. В начале 2011 года прирост составил более 15% (в 38 регионах страны, он составил 30-40% и даже более).

Особая статья расходов – расход электроэнергии на общедомовые нужды. Она составляет от 25 % от суммы счета плательщика на электроэнергию. Таким образом, снижение этой статьи расходов также весьма актуально для потребителей.

Авторами настоящей работы предлагается утилизировать бросовое тепло, выделяющееся на теплоцентралях коммунального хозяйства в электрическую энергию. Предлагается использовать прямые термоэлектрические преобразователи, использующие бросовое тепло прямо на теплоцентралях и не требующие ее конструктивных изменений. В результате обеспечивается возможность развешивать такие термоэлектрические системы уже на существующих мощностях.



Генерация тока путем непосредственного преобразования тепловой энергии в электрическую в настоящее время не может быть осуществлена с достаточно высоким КПД, сравнимым с другими источниками. Однако данный способ находит применение для утилизации неиспользуемой, так называемой «бросовой» тепловой энергии. Следует отметить, что термоэлектрические преобразователи являются установками прямого преобразования энергии, поскольку они преобразуют теплоту в электроэнергию, минуя стадию механической энергии. Основным достоинством этих установок является их статичность, то есть отсутствие движущихся частей. В целом, системы прямого преобразования энергии наиболее целесообразно применять там, где от установки требуется надёжность, безопасность, возможность работы в автономном режиме без какого-либо обслуживания.

Установка термоэлектрических преобразователей будет осуществляться на вводе теплоцентрали жилого дома. Возможны два варианта использования вырабатываемой электроэнергии. В первом случае электроэнергия будет использоваться на общедомовые нужды (освещение подъездов и придомовой территории). Во втором случае получаемая электроэнергия может быть использована для подогрева воды теплоносителя на выводе теплоцентрали из жилого дома. В результате будет снижаться общедомовое потребление тепла из теплоцентрали. Этот вариант экономически целесообразен, если в доме установлены счетчики на теплоцентрали.

Известны два основных типа теплоэлектрических преобразователей – термоэлектрические и термоэмиссионные. Термоэмиссионные генераторы имеют сложную конструкцию, высокую стоимость и эффективны в применении при больших перепадах температур. Поскольку основным требованием к утилизатору тепла в сфере ЖКХ является его простота, надежность и экономичность, то с этой позиции применение термоэмиссионных генераторов не целесообразно. Предлагается разрабатываемый утилизатор тепла построить на основе термоэлектрических генераторных элементов, характеризующихся простотой и надежностью. С целью ремонтпригодности, и удобства эксплуатации предполагаем сделать утилизатор тепла из независимых однотипных модулей, которые можно устанавливать на поверхности труб теплоцентрали. Для обеспечения максимального контакта с тепловыделяющей поверхностью утилизатор будет выполнен в виде сборного кожуха.

Принцип действия термоэлектрических преобразователей основан на эффекте возникновения контактной разности потенциалов – термоЭДС в электрической цепи, составленной из двух термоэлектродов: разнородных проводников или разнородных полупроводников или проводника и полупроводника (рис 1.).

На практике используется не отдельный термоэлемент, а группа элементов соединенных последовательно с помощью специальных коммутационных пластин (модуль). В результате образуется группа так называемых горячих спаев, работающих при температуре  $T_1$ , и холодных – при температуре  $T_2$ . Полная ЭДС, развиваемая ТЭГ, равна сумме ЭДС отдельных элементов. При замыкании ТЭГ на нагрузку через все термоэлектроды и коммутационные пластины проходит один и тот же ток. В результате горячие спаи поглощают теплоту, а холодные выделяют. Для поддержания постоянных температур  $T_1$  и  $T_2$  к горячим спаям надо подводить теплоту  $Q_1$ , а от холодных отводить  $Q_2$ .

Единичным элементом ТЭМ является термопара, включающая в себя одну ветвь р-типа и одну ветвь n-типа. Ветви соединяются между собой при помощи коммутационной пластины из меди. В качестве материала ветвей традиционно используются полупроводники на основе висмута, теллура, сурьмы, селена.



Рис. 1. Общий вид и схема генераторного термоэлектрического модуля

В функциональной схеме разработанного нами термоэлектрического утилизатора тепла можно выделить несколько основных узлов: генераторный модуль, системы охлаждения и систему накопитель тепла, а также преобразователь постоянного напряжения генератора в переменное напряжение. Схема представлена на рисунке 2.

Принцип действия утилизатора тепла основан на генерации постоянного напряжения термоэлементами, соединенными в батарею. Модули термоэлементов зажаты между двумя системами - охлаждающей и аккумулирующей тепло. Для последующей транспортировки электроэнергии, выходное напряжение преобразуется из постоянного напряжения в переменное. Вся система сконструирована таким образом, что бы единичный модуль системы был полностью автономен и мог закрепляться на поверхности трубы теплоснабжения.

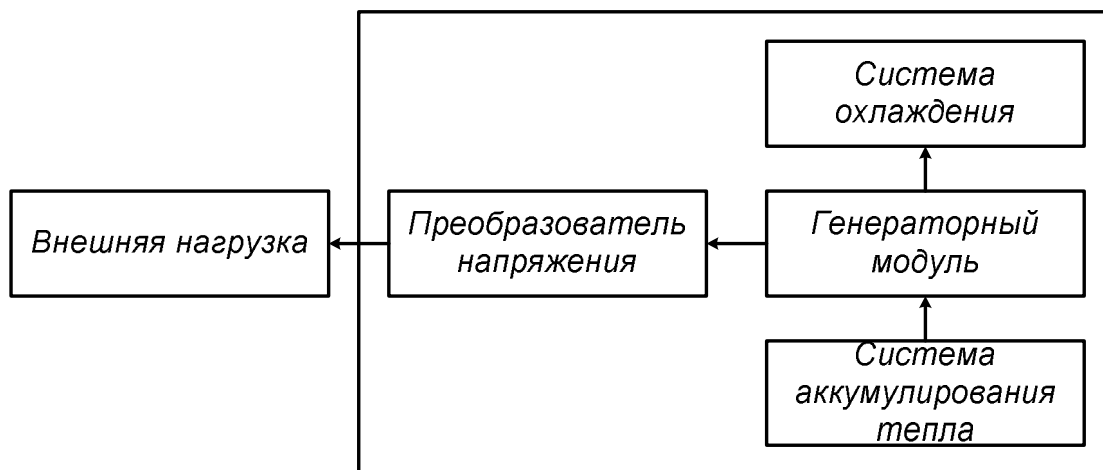


Рис. 2. Функциональная схема термоэлектрического утилизатора тепла

В настоящей работе предложена схема утилизации тепловых потерь на теплоцентралях в жилых домах, общественных зданиях и сооружениях. Авторами предлагается устройство для преобразования тепловой энергии в электрическую на основе термоэлектрических преобразователей. Данное устройство характеризуется высокой надежностью, простотой в эксплуатации, безопасностью, возможностью работы в автономном режиме без какого-либо обслуживания, мобильностью, длительным сроком эксплуатации, небольшим весом и габаритами, невысокой стоимостью. Авторами разработана структурная схема утилизатора тепла на теплоцентралях ЖКХ. Рассчитаны тепловые и электрические параметры устройства. Разработана механическая конструкция устройства.

**Список литературы:** 1. Катаев В.Ф., Ермолаева Н.В. Многослойные полупроводниковые структуры InSb/NbIn/AsIn для термоэлектрических генераторов переменного тока./ X национальная конференция по росту кристаллов НКРК –2002: Тез. докл., Москва, 24-29 нояб. 2002 г.- М.: ИК РАН, 2002.- с.532. 2. Катаев В.Ф., Сысоев И.А., Газарян П.Ю., Ермолаева Н.В., Создание полупроводниковых структур с заданной подвижностью электронов для применения в термоэлектрических генераторах. Информационные технологии в науке и образовании: Сб. науч. тр./ ВИС ЮРГУЭС; ВФ РГЭУ.- Шахты: : Изд-во ЮРГУЭС, 2003.-Ч.1.с.35-37. 3. Ермолаева Н.В., Емельянова З.Н., Литвин Н.В., Зарочинцева О.Ю. Разработка технологического режима создания контактной системы термоэлектрических ветвей./ Инженер: студен. науч- техн. журн.- 2008, № 9.-С.80-83.

## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ

**Ермолаева Н.В., Литвин Н.В., Муромцев В.В.** (Волгодонский инженерно-технический институт Национального ядерного технического университета МИФИ (ВИТИ НИЯУ МИФИ), г.Волгодонск, Россия)  
Тел. +7 (906)418-28-33 , E-mail: [ermolnv@mail.ru](mailto:ermolnv@mail.ru)

**Abstract:** *It's proposed the utilization schemes of thermal losses in electric power station. It's proposed the construction of thermoelectric waste-heat device. This device converts the heat from the surface of the cooling pond to electricity.*

**Keywords:** *thermoelectric waste-heat device, thermal losses, cooling pond, electric power station*

Современные атомные и тепловые электростанции являются мощными источниками теплового загрязнения окружающей среды. Процесс преобразования химической или атомной энергии в электрическую сопровождается значительными тепловыми потерями. Например, водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) АЭС мощностью 1000 МВт в среднем имеет КПД равный 30%, из чего следует, что теряемая мощность равна 2000 МВт. Это эквивалентно сжиганию почти 10 млн. т угля в год. Тепловые потери в электростанциях происходят при охлаждении теплоносителя, что не позволяет использовать традиционные в энергетике преобразователи в виде комплекса из котла, турбины и генератора или МГД-генератор. Здесь более приемлемы прямые термоэлектрические преобразователи, использующие бросовое тепло прямо на прудах охладителей или теплопроводящих элементов установок, и не требующие фундаментальных конструктивных изменений в самой электростанции. Поэтому представляют значительный интерес способы утилизации бросового тепла, повышающие общий КПД электростанций и в то же время снижающий тепловое загрязнение вокруг нее.

Авторами предлагается устройство, основанное на прямом преобразовании тепловой энергии в электрическую. Гибкость и универсальность конструкции устройства, отсутствие движущихся механизмов и сравнительно небольшие размеры позволяет использовать его почти в любом месте утечки тепла. Помимо этого, оно обладает способностью пропускания тепла высокой плотности на единицу площади рабочей поверхности.

В функциональной схеме термоэлектрического утилизатора тепла можно выделить несколько основных узлов: генераторный модуль, системы охлаждения и систему накопитель тепла, а также накопитель электроэнергии, преобразователь постоянного напряжения генератора в переменное напряжение. Схема представлена на рис. 1.

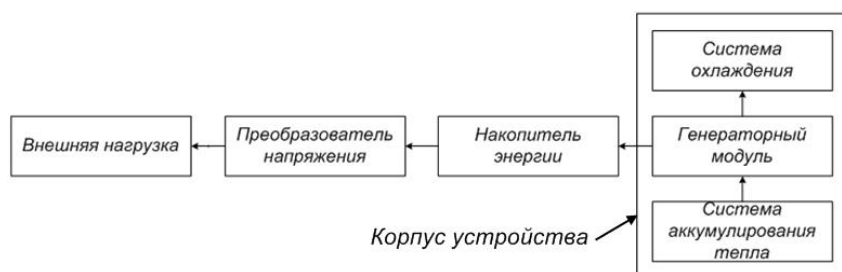


Рис. 1. Функциональная схема термоэлектрического утилизатора тепла

Монтаж ТЭГ можно осуществлять как в виде цепей, собранных в конструкцию в виде «браслета» для трубопроводов, паропроводов, так и в виде «плоскостей», покрывающих поверхность любой формы (плоской, изогнутой), повторяя ее профиль. Также, возможен вариант сооружения «полей» утилизации тепла прудов-охладителей АЭС и ТЭЦ, конструктивный принцип которых представлен ниже.

Принцип действия утилизатора тепла основан на генерации постоянного напряжения термоэлементами соединенными в «батарею» на понтоне; последствие в свою очередь объединены в своеобразное «поле». Модули термоэлементов зажаты между двумя системами – охлаждающей и аккумулирующей тепло (воздушный и подводный радиаторы).

Особенностью является обратимость конструируемой системы: в теплое время года температура воздуха выше температуры воды пруда охладителя, поэтому воздушный радиатор будет нагревателем, а водный холодильником. В холодное время года температура воды выше температуры воздуха, и воздушный радиатор будет работать холодильником, а погруженный в воду нагревателем. Поскольку в зимний период разность температур будет максимальна, можно ожидать соответственного максимума вырабатываемой мощности. Компоновка теплоутилизатора представлена на рис. 2.

В данном проекте для целей генерации электрической энергии были выбраны модули Зеебека. Выбор обоснован тем, что это в настоящее время наиболее распространенный и недорогой тип термоэлектрических генераторов. Результаты расчета параметров работы единичного модуля, выполненные по методике [2], представлены на рис. 3-4. На данных рисунках показаны

зависимости выходного напряжения и мощности от разности температур между холодными и горячими сторонами. Видно, что увеличение разности температур приводит к росту вырабатываемой мощности и соответственно - к росту КПД.

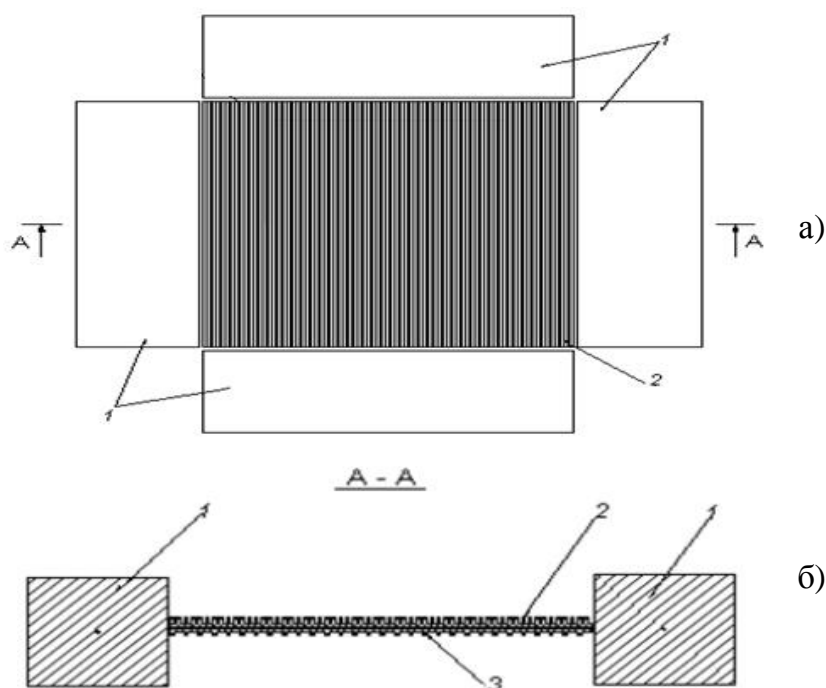


Рис. 2. Компонка теплоутилизатора; а – вид сверху, б – продольное сечение: 1 – поплавок из пенополиуретана; 2 – верхний воздушный радиатор; 3 – нижний радиатор погружаемый в воду

Для удобства работы с модулем утилизатора тепла, его размеры в плане можно ограничить квадратом со стороной 1 метр. Тогда, если на каждой стороне квадрата расположить пенополиуретановый поплавок для придания всей конструкции плавучести, место для размещения термомодулей будет представлять квадрат со стороной 0,6 метра. Учитывая размеры единично-

го термомодуля (30X30мм) и необходимый для шинопроводов зазор (5мм с каждой стороны), можно разместить 256 ТЭГ на одном модуле теплоутилизатора. С целью уменьшения потерь целесообразно увеличивать выходное напряжение и уменьшать ток во всех режимах. Рационально соединить термомодули по две параллельно соединенные батареи из 128 последовательно соединенных ТЭГ. Тогда при минимальной разности температур 5К утилизатор тепла будет выдавать напряжение 7,68В с силой тока 1А, (выходная мощность 7,6Вт). В дальнейшем, для повышения КПД устройства и снижения его стоимости предполагается использовать планарные структуры или генерирующие модули на основе редкоземельных металлов. В настоящее время эти модули находятся на стадии экспериментальных образцов и пока не пригодны для использования в составе серийного изделия.

В целом предлагаемое устройство характеризуется компактностью, простотой управления, хорошими массогабаритными показателями, высокой надежностью работы и практически неограниченным сроком службы.

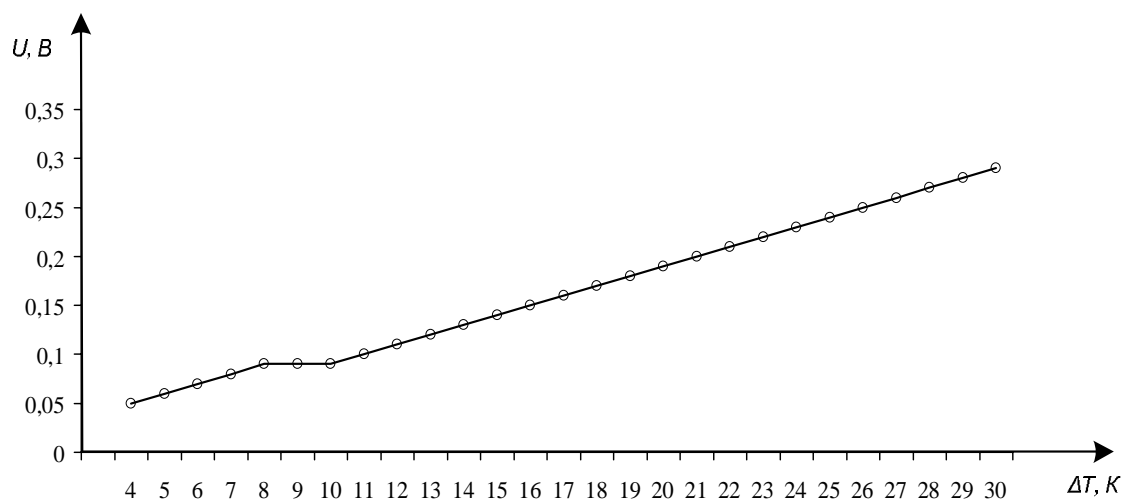


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения от разности температур на сторонах модуля

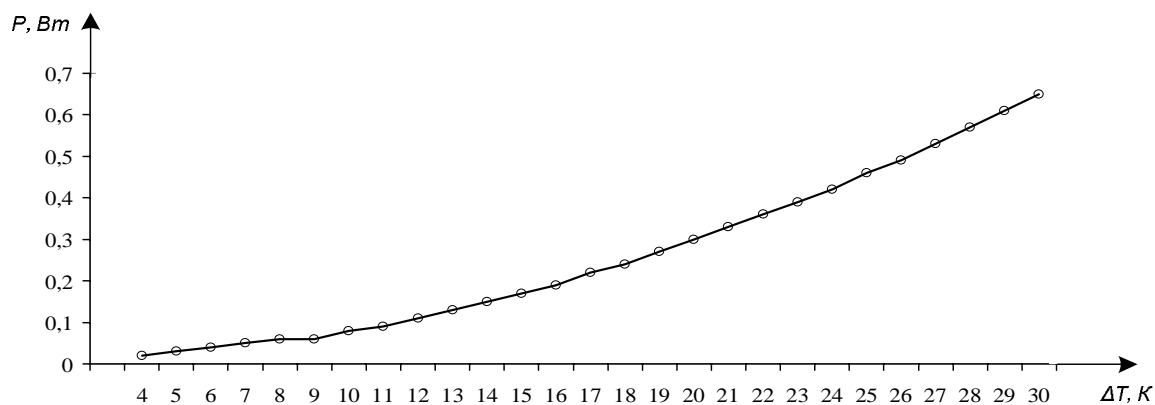


Рис. 4. Зависимость выходной мощности от разности температур на сторонах модуля

Авторами проведена следующая работа: разработана конструкция термоутилизатора, проведен расчет основных узлов. В частности, рассчитаны электрические параметры генератора и выбрана схема соединения модулей. Проведен расчет систем охлаждения и аккумулирования тепла, средств плавучести теплоутилизатора, преобразователя напряжения, трансформатора блока питания. Разработана принципиальная электрическая устройства переключения термобатареи. В целом разработаны теоретические предпосылки для создания термоутилизаторов.

**Список литературы:** 1. Белевцев А., Богатов В., и др. Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие: М., СТА, 2004. 2. Hi-Z Technology, Inc. Suite 7400, 7606 Miramar Road, San Diego CA 92126-4210, USA <http://www.hi-z.com/>. 3. Мухортов В.М., Колесников В.В., Головки Ю.И. Термоэлектричество и перспективы его развития (обзор). Волгоград, ВИ(ф)ЮРГТУ, 2003.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ДЛЯ ГИБКИХ КОЛЕС ВОЛНОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Захарченко А.Д. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** In work the technique of definition of factor of the scale factor considering the geometrical sizes of a flexible cogwheel of wave transfer at calculations on durability and durability is considered. The technique is based on theoretical researches and experimental researches of fatigue durability of flexible wheels of wave transfer with various geometrical parameters.

**Key words:** wave transfer, flexible cogwheel, the scale factor, fatigue durability, variation factor, endurance limit

На сопротивление усталости деталей машин и частей сооружений оказывает влияние ряд факторов: состав и структура материала, вид напряженного состояния и характер изменения его во времени, форма и размеры нагружаемых объектов, состояние поверхности деталей, остаточная напряженность, температура, активность окружающей среды и др.

Многочисленными испытаниями на усталость установлено влияние размеров образцов и деталей – с увеличением размеров снижается сопротивление усталости, проявляется влияние так называемого «масштабного фактора». Это влияние рекомендуется учитывать коэффициентом масштабного фактора, определяемого как отношение пределов выносливости реальной детали и геометрически подобного образца

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sigma_0}. \quad (1)$$

На рис. 1 приведены коэффициенты снижения пределов выносливости с увеличением размеров для стальных валов из углеродистых и легированных сталей. Видно, что с ростом диаметра вала предел выносливости снижается тем в большей степени, чем прочнее сталь и чем выше концентрация напряжений. Для деталей с резкими концентраторами напряжений разница в коэффициентах влияния абсолютных размеров для углеродистых и легированных сталей столь значительна, что в ряде случаев крупные детали из углеродистых сталей оказываются более прочными, чем такие же детали из легированных сталей.



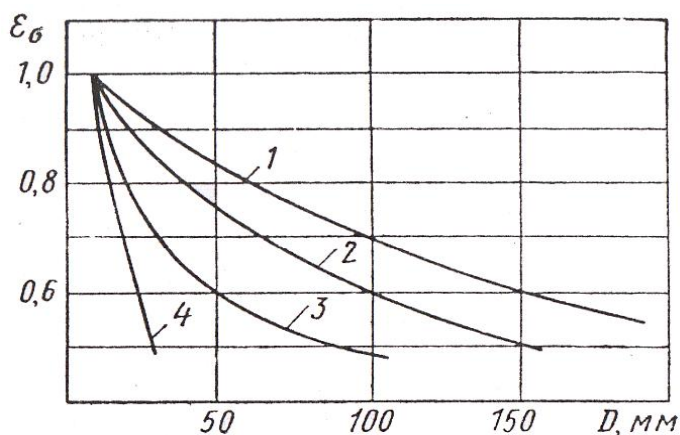


Рис.1. Влияние диаметра вала на предел выносливости при изгибе (1- углеродистая сталь (гладкие образцы); 2- легированная сталь(гладкие образцы); 3- легированная сталь с умеренной концентрацией; 4- стали с высокой концентрацией )

Одним из наиболее слабых элементов волновой передачи является гибкая зубчатая оболочка, усталостная прочность которой лимитирует нагрузочную способность всей передачи. На настоящее время недостаточно изучен, в частности, фактор масштаба, то есть влияние абсолютных размеров гибких колес на их усталостную прочность.

Следует отметить, что размеры гибких колес волновой передачи колеблются в значительных пределах от миллиметров в приборных и медицинских устройствах до 1,0...1,5 м в строительных или мощных технологических машинах [1], поэтому вопрос масштабного фактора в этих случаях очень важен.

В работе [5] рекомендуется принимать при определении коэффициента запаса прочности по касательным напряжениям коэффициент  $\varepsilon_\tau$  в зависимости от диаметра гибкого колеса, примыкающего к зубчатому венцу (табл. 1).

Таблица 1

d, мм	40	60	80	100	150	400
$\varepsilon_\tau$	0,75	0,70	0,66	0,62	0,60	0,50

Ранее [2, 3], используя статистическую теорию усталостного разрушения металлов, была предложена аналитическая зависимость для коэффициента масштабного фактора для гибких колес

$$\varepsilon_\sigma = \sqrt[m]{\frac{V_o}{V_d} + 0,5^m} \quad (2)$$

Относительно природы проявления масштабного эффекта имеется много существенных предположений и гипотез для их объяснения. Обращается внимание на технологические причины, связанные с материалом и видом его обработки, на градиентность напряжений, на остаточные напряжения и др. Все они имеют право на существование, наиболее вероятно, что природа масштабного эффекта определяется сложным комплексом перечисленных факторов.

где  $V_o = r_o \cdot l_o \cdot h_o$  - объем образца;  $V_d = r \cdot l \cdot h$  - объем детали;  $m$  - параметр распределения, значение которого по экспериментальным данным принято равным  $m = 10,43$ .

В работе [6] отмечается, что длина образцов на сопротивление усталости оказывает второстепенное значение по сравнению с влиянием абсолютных размеров поперечного сечения и в практических расчетах ее можно не учитывать. Тогда рекомендуется рассматривать условный объем как

$$V_o = r_o \cdot h_o \text{ и } V_d = r \cdot h \text{ при } l_o = l = 1.$$

Анализ приведенной формулы (2) позволил упростить без существенных погрешностей её до вида

$$\varepsilon_\sigma = \sqrt[m]{\frac{V_o}{V_d}} \quad (3)$$

Например:

При  $V_o = 16 \text{ мм}^3$ ;  $V_d = 62,5 \text{ мм}^3$ ;  $m = 10,43$ ;

по формуле (2)  $\varepsilon_\sigma = 0,87786$ ; по формуле (3)  $\varepsilon_\sigma = 0,87763$ .

При  $V_o = 16 \text{ мм}^3$ ;  $V_d = 240 \text{ мм}^3$ ;  $m = 10,43$ ;

по формуле (2)  $\varepsilon_\sigma = 0,77229$ ; по формуле (3)  $\varepsilon_\sigma = 0,77153$ .

Результаты расчета коэффициента масштаба по формуле (3) приведены в табл. 2.

Таблица 2

$V=rh$	16	62,5	100	150	170	180	200	240
$\varepsilon_\sigma$	1,0	0,877	0,839	0,807	0,797	0,793	0,785	0,772

В работе [4], предлагается метод оценки масштабного фактора по расчетному значению коэффициента подобия и полученному с помощью эксперимента, проведенного в статистическом аспекте, коэффициенту вариации предела выносливости стандартного образца.

$$\varepsilon_\sigma = \bar{\sigma}_d / \bar{\sigma}_o = 1 - \mu \cdot \mathcal{G}_o, \quad (4)$$

где параметр положения  $\mu$  определяется по таблицам теории надежности в зависимости от величины  $n$ , равной отношению наиболее напряженных объемов детали  $W_d$  и образца  $W_o$

$$n = W_d / W_o. \quad (5)$$

Коэффициент вариации  $\vartheta_o$  предела выносливости образцов одной плавки рекомендуется принимать для углеродистых нормализованных и улучшенных сталей равным

$$\vartheta_o = 0,03...0,05.$$

Введем приведенное значение для коэффициента вариации, учитывая результаты эксперимента

$$\bar{\vartheta}_o = 3,3\vartheta_o, \text{ приняв } \vartheta_o = 0,04.$$

В табл. 3 приведены результаты расчета  $\varepsilon_\sigma$  по этому методу для рассматриваемых выше параметров, приняв за образец  $W=16 \text{ мм}^3$ .

Таблица 3

$W$	16	62,5	100	150	170	180	200	240
$n$	1	3,906	6,25	9,375	10,625	11,25	12,5	15
$\mu$	0	0,930	1,217	1,451	1,518	1,540	1,560	1,694
$3,3\vartheta_o = 0,132$	1,0	0,877	0,839	0,808	0,799	0,797	0,794	0,776

Из таблиц 2 и 3 видно, что результаты расчета коэффициента  $\varepsilon_\sigma$  очень хорошо совпадают и в дальнейшем можно использовать и формулу (3) и зависимость (4) в виде  $\varepsilon_\sigma = 1 - \mu \cdot \bar{\vartheta}_o$ . В последней зависимости нет необходимости знать значение параметра распределения.

**Список литературы:** 1. Стрельников В.Н. Оптимизация параметров крупных волновых редукторов. Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб.науч. трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 28. – с. 156 – 178. 2. Томкович Ф.К., Захарченко А.Д. Экспериментальные исследования усталостной прочности гибких элементов волновых передач. УкрНИИНТИ «Депонированные научные труды», 1983, №8 (142). 3. Томкович Ф.К., Рудницкий В.И. Теоретическое определение коэффициента масштабного фактора для гибких колес волновой зубчатой передачи. УкрНИИНТИ «Депонированные научные труды», 1983, №8 (142). 4. Надежность машин. Д.Н.Решетов, А.С.Иванов, В.З.Фадеев / Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: «Высш. школа», 1988. – 238 с. 5. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с. 6. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975.- 488 с.

## ОЦЕНКА МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ ПАР ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Захарченко А.Д.** (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** The comparative characteristic of loading ability of the gear pairs made of various materials on contact durability of active surfaces of teeth is resulted. Results of calculation of the basic characteristics of loading ability of tooth gearings are analyzed and their weights and dimensional parameters are compared. The conclusion is drawn on dependence of weights and overall dimensions of wheels from contact durability of a material.

**Key words:** Tooth gearing, the contact durability, supposed pressure, factors of contact pressure, weights and dimensional parameters.

Ранее [1] была проведена сравнительная оценка нагрузочной способности зубчатых пар, изготовленных из различных материалов по контактной прочности активных поверхностей зубьев (табл. 1).

Таблица 1 - Варианты материала зубчатых пар

№	Материал шестерни / колеса		
1	40ХН, улучшение,	HB 269-302;	(ш)
	40ХН, улучшение,	HB 235-262	(к)
2	35ХМ, закалка ТВЧ,	48- 53HRC;	(ш)
	35ХМ, улучшение,	HB 269-302	(к)
3	35ХМ, закалка ТВЧ,	48-53 HRC;	(ш)
	35ХМ, закалка ТВЧ ,	45-50 HRC	(к)
4	20ХН2М, закалка ,	56-63 HRC;	(ш)
	20ХН2М, цементация,	48-53 HRC	(к)
5	35ХГМ, цементация и закалка , 56-63 HRC (ш) и (к)		
6	30ХГТ, азотирование, 58-67 HRC (ш) и (к)		

При этом было обращено внимание на коэффициент  $Z_v$  и показатель степени  $\delta$ , учитывающие влияние абсолютной скорости контактирующих точек на толщину масляной пленки и несущую способность зубчатой пары по критерию усталостного выкрашивания

$$Z_v = kV^\delta .$$

В таблице 2 и на рис. 1 приведены результаты расчета параметров  $[\sigma_H]$ ,  $[C_H]$  и  $[K_0]$  – основных характеристик нагрузочной способности зубчатых передач [2].

Таблица 2 - Значения характеристик  $[\sigma_H]$ ,  $[C_H]$  и  $[K_0]$

Вариант материала	Значения параметров при $V = 8$ м/с					
	$[\sigma_H]$ , МПа		$[C_H]$ , МПа		$[K_0]$ , МПа	
	$\delta = 0,10$	$\delta = 0,20$	$\delta = 0,10$	$\delta = 0,20$	$\delta = 0,10$	$\delta = 0,20$
1	304	318	1,254	1,378	0,389	0,427
2	339	355	1,560	1,710	0,484	0,530
3	880	922	10,53	11,56	3,264	3,584
4	925	969	11,64	12,77	3,608	3,959
5	1195	1253	19,46	21,35	5,826	6,619
6	917	961	11,44	12,56	3,546	3,894

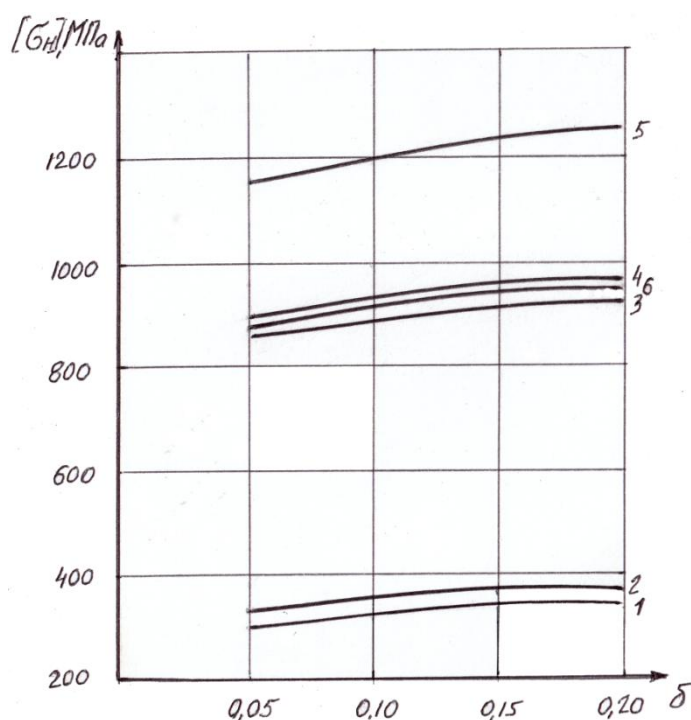


Рис. 1. График зависимости  $[\sigma_H] = f(\delta)$  для различных материалов при  $V = 8$  м/с

где  $(\chi_H)_{\text{лст}} = (u \pm 1)(K_{31} + u^2 \cdot K_{32}) / (u^2 \cdot [K_0])$ .

Примем коэффициенты заполнения шестерни  $K_{31}=1,7$  и колеса  $K_{32}=0,7$  и проанализируем влияние передаточного отношения на показатель массы колес из различных материалов (рис. 2).

Коэффициенты  $[C_H]$  и  $[K_0]$  связаны с массой зубчатой пары зависимостью близкой к обратно пропорциональной, что позволяет выполнить сравнение несущей способности при различных параметрах и благоприятных массогабаритных показателях.

Из условия обеспечения контактной прочности активных поверхностей зубьев масса шестерни и колеса определяется по формуле

$$(G_{mH})_{\text{лст}} = 12,2 \cdot 10^{-3} \cdot T_{H2} \cdot (\chi_H)_{\text{лст}},$$

В табл. 3 на примере материала 5 показано влияние показателя степени  $\delta$  на величину допускаемых напряжений  $[\sigma_H]$  и коэффициент контактных напряжений через отношения  $[\sigma_H]_i / [\sigma_H]_{0,05}$  и  $[C_H]_i / [C_H]_{0,05}$  при изменении окружной скорости.

Таблица 3 - Отношения  $[\sigma_H]_i / [\sigma_H]_{0,05}$  и  $[C_H]_i / [C_H]_{0,05}$

V, м/с	$\delta = 0,10$		$\delta = 0,15$		$\delta = 0,20$	
	$[\sigma_H]_i /$ $[\sigma_H]_{0,05}$	$[C_H]_i /$ $[C_H]_{0,05}$	$[\sigma_H]_i /$ $[\sigma_H]_{0,05}$	$[C_H]_i /$ $[C_H]_{0,05}$	$[\sigma_H]_i /$ $[\sigma_H]_{0,05}$	$[C_H]_i /$ $[C_H]_{0,05}$
6	1,01	1,02	1,02	1,04	1,03	1,08
8	1,02	1,05	1,05	1,10	1,07	1,15
10	1,03	1,07	1,07	1,15	1,11	1,23
12	-	1,09	-	1,19	-	1,30
14	-	1,11	-	1,23	-	1,36
16	-	1,12	-	1,26	-	1,42

Значение массы шестерни и колеса из условия обеспечения прочности на изгиб зубьев определяется по формуле

$$(G_{mF})_{\text{лст}} = 12,2 \cdot 10^{-3} \cdot T_{F2} \cdot (\chi_F)_{\text{лст}},$$

где для одноступенчатой рядной передачи

$$(\chi_F)_{\text{лст}} = K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} \left( \frac{Y_F}{[\sigma_F]} \right) \cdot \frac{Z_1(K_{31} + U^2 \cdot K_{32})}{U}$$

Зависимость коэффициентов  $\chi_H$  и  $\chi_F$  от передаточного отношения для различных вариантов материала колес приведена на рис. 2 и 3.

Анализ зависимостей на рис. 2 и рис.3 позволяет сделать следующие выводы:

1. С увеличением твердости материала в 2,2 раза (638/285) и допускаемых изгибных напряжений в 2,3 раза (675/294) уменьшается коэффициент в 3 раза (0,775/0,257) и соответственно масса зубчатой пары уменьшается в 3 раза.

2. С увеличением твердости материала в 2,2 раза и допускаемых контактных напряжений в 3 раза (917/304) уменьшается коэффициент  $\chi_H$  в 9 раз (8,672/0,951) и соответственно уменьшается масса колес.

3. Таким образом, массогабаритные размеры колес более существенно зависят от контактной прочности материала.

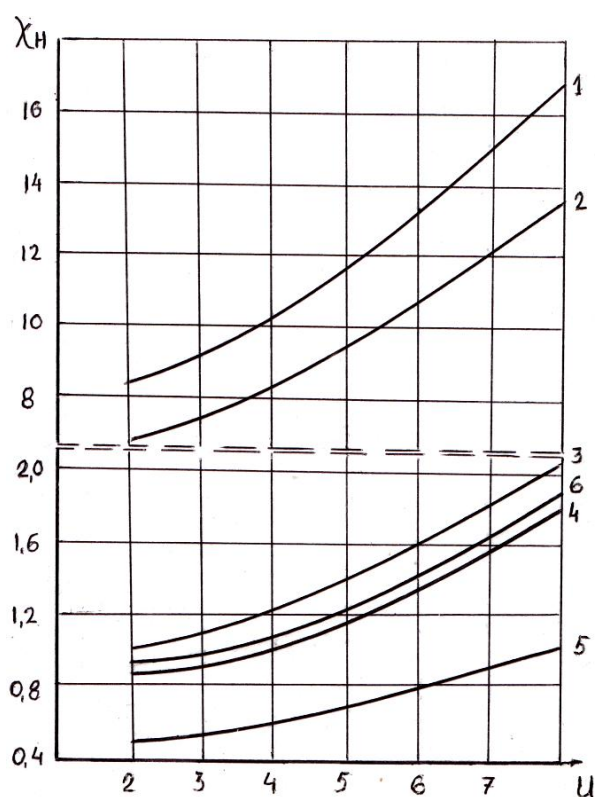


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $\chi_H$  от передаточного отношения

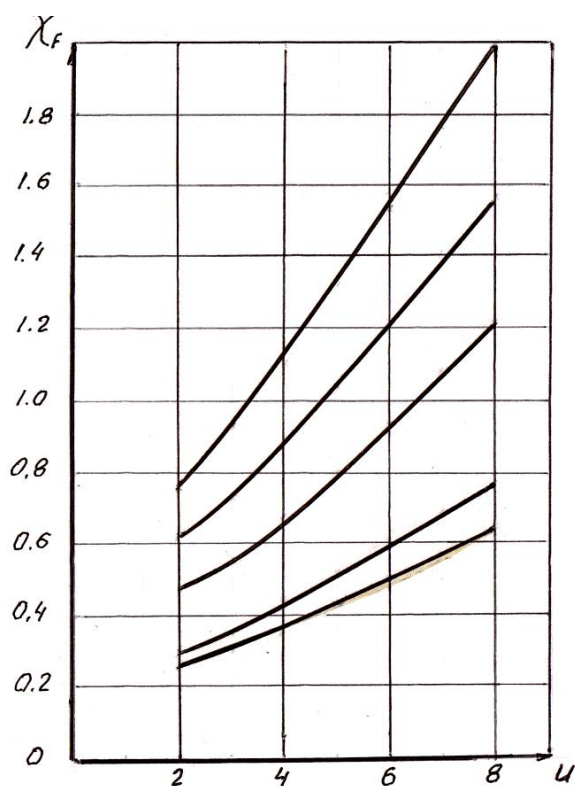


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $\chi_F$  от передаточного отношения (номер материала увеличивается сверху вниз)

**Список литературы:** 1. Захарченко А.Д. Оценка нагрузочной способности зубчатых передач по контактной прочности активных поверхностей зубьев. – Материалы одиннадцатого международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы», №10, кн. 3. – Таганрог – Донецк, 2010, – с. 153 – 157. 2. Курсовое проектирование деталей машин/ В.Н. Кудрявцев, Ю.А. Державец, И.И. Арефьев и др.; Под общ. ред. В.Н. Кудрявцева. – Л.: Машиностроение, 1984. – 400 с. 3. Кудрявцев В.Н. Детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с. 4. Остяков Ю.А. Курсовое проектирование деталей конкурентоспособных машин. – М.: Высш. шк., 2005. – 223с. 5. Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. Детали машин. Проектирование. – М.: Высш. шк., 2005. – 300с.

## ТЕХНОЛОГИЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Захарченко А.Д., Гусакова Л.В. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)**

Тел. +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** In work the most widespread technological methods of finishing processing of teeth of cogwheels are considered. The modes of processing received thus quality indicators of contacting surfaces of teeths, features and lacks are analyzed. Addresses on conditions of occurrence of burns - the basic lack at grinding of teeths and their influence on contact and bend durability.

**Key words:** cogwheel, processing of teeths, burns, durability, iodine.

Технологический процесс изготовления зубчатых колес предусматривает различные методы отделочных операций, целью которых является достижение необходимой точности и параметров шероховатости рабочих поверхностей зуба. Основные методы зубоотделочной обработки и их достигаемые параметры применяются следующие[1]:

Вид обработки зубьев	Степень точности	Параметры шероховатости
Шевингование	7...6	Ra = 1,25...0,63
Хонингование	6...5	Ra = 0,5...0,1
Шлифование	6...5	Ra = 1,25...0,5

Рекомендуемые технологией припуски на чистовую обработку зубчатых цилиндрических колес зависят от их геометрических размеров: [3]

Модуль, мм	D < 100 мм	100 – 200	200 – 500
	Под шевингование		
до 3 мм	0,06 – 0,10	0,08 – 0,12	0,10 – 0,15
3 – 5	0,08 – 0,12	0,10 – 0,15	0,12 – 0,18
5 – 7	0,10 – 0,14	0,12 – 0,16	0,15 – 0,18
7 – 10	0,12 – 0,16	0,15 – 0,18	0,18 – 0,20
	Под шлифование		
до 3 мм	0,15 – 0,20	0,15 – 0,25	0,18 – 0,30
3 – 5	0,18 – 0,25	0,18 – 0,30	0,20 – 0,35
5 – 10	0,25 – 0,40	0,30 – 0,50	0,35 – 0,60



Шевингование является одним из наиболее распространенных методов чистовой обработки незакаленных зубчатых колес, изготавливаемых в условиях массового и крупносерийного производства. Шевингование заключается в срезаении весьма тонких волосовидных стружек толщиной 0,05...0,01 мм острыми кромками канавок шевера во время движения обкатки обрабатываемого колеса и инструмента и возникающего при этом относительного скольжения профилей зацепляющихся зубьев.

В процессе шевингования точность зубчатых колес повышается на одну степень, реже – на две. Дисковые шеверы являются более универсальным инструментом, чем реечные шеверы, так как позволяют обрабатывать зубчатые колеса не только с внешними, но и с внутренними зубьями.

Процесс зубошевингования характеризуется не только повышением точности изготовления основных параметров зубчатого венца и класса шероховатости рабочих поверхностей зубьев, но и удалением чрезмерно напряженного поверхностного слоя металла, образующегося при зубонарезании до шевингования. При этом достигается стабильность формы и размеров зубчатых венцов после термической обработки [4]. При очень тщательном шевинговании можно достигнуть шероховатости поверхности зубьев  $Ra = 0,25 \dots 0,5$  мкм.

Хонингование применяют для чистовой отделки зубьев, как правило, закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления, имеющее все более широкое применение в серийном и массовом производстве.

Зубчатые хоны представляют собой прямозубые или косозубые колеса, обычно состоящие из стальной ступицы и абразивного венца того же модуля, что и обрабатываемые колеса. Частота вращения хона 180...200 1/мин, скорость подачи стола 180...210 мм/мин, время хонингования 30...60 с.

Хонингование позволяет уменьшить параметры шероховатости и тем самым повысить долговечность зубчатого колеса. Зубохонингование применяется для обработки зубчатых колес с модулем 1,5...6 мм, диаметром 30...600 мм и шириной венца до 150 мм. Шероховатость поверхностей зубьев после хонингования шевингованных закаленных зубчатых колес находится в пределах  $Ra = 1,0 \dots 0,25$  мкм.

Наиболее распространенным методом отделочной операции зубчатых колес является зубошлифование, которое применяется для устранения погрешностей нарезания и деформации, образованных термической обработкой, а также при изготовлении высокоточных зубчатых колес.

Для сокращения времени обработки и обеспечения высокого качества обрабатываемой поверхности шлифование разделяют на черновое и чистовое.

На черновых проходах, при которых удаляется основная часть припуска, применяются повышенные режимы резания. Однако они выбираются так, чтобы обеспечить требуемую точность, а глубина прижогов на последнем черновом проходе не превышала величины припуска (обычно 0,02...0,06 мм), снимаемого при чистовом шлифовании.

Для повышения чистоты поверхности после чистового шлифования проводятся один-два «выхаживающих прохода» без увеличения глубины резания. Ориентировочная величина припуска для цементованных зубчатых колес с  $m = 3...5$  мм и диаметром 100...500 мм составляет 0,20...0,35 мм.

Шлифование оказывает также существенное влияние на качество поверхностного слоя зубьев. Значительно уменьшая шероховатость поверхности ( $Ra = 0,20...1,20$  мкм), оно вместе с тем из-за интенсивного тепловыделения в зоне резания способно изменить структуру, твердость, напряженное состояние и работоспособность зубчатых колес [2]. Относительно высокая контактная температура в зоне обработки является основным источником появления прижогов и влечёт за собой интенсивное засаливание абразивного круга, а также влияет на поверхностную энергию и поверхностное напряжение.

Низкая производительность зубошлифовальной операции объясняется возможностью образования структурных изменений (прижогов) в слое толщиной более 20...25 мкм. Чем больше контактная температура и время её действия, тем выше интенсивность и глубина прижогов.

По данным [4] долговечность зубчатых колес с прижогом зубьев в среднем в 1,5 раза ниже по изгибной выносливости и в 1,25 раза по контактной в сравнении с колесами, прошлифованными без прижогов. На интенсивность тепловыделения и тем самым образование прижогов влияют размеры зубчатых колес, применяемые для них материалы, режимы и способы шлифования, характеристика кругов, условия их правки, применяемые СОЖ и другие технологические параметры.

В зависимости от мощности теплового источника, времени его действия, а также теплопрочности обрабатываемой стали структурные изменения развиваются на различную глубину и вызываются образованием прижогов отпуска и закалки с отпуском. Прижоги отпуска состоят из продуктов распада мартенсита и проявляются в виде темнотравящегося слоя. Зона прижогов закалки с отпуском

представляет собой вторично закаленный светлотравящийся слой, располагающийся над слоем отпущенного металла.

На глубину прижогов существенное влияние оказывает материал зубчатых колес и параметры режима шлифования (рис. 1,б). При шлифовании на одинаковых режимах толщина структурно измененного слоя у сталей типа 12Х2НВФА и др. теплопрочных в 1,5 ... 2 раза меньше, чем у сталей 12Х2Н4А, не обладающих теплопрочностью.

Образование прижогов вызывает изменение твердости по толщине цементованного слоя и на поверхности зуба. На поверхности в местах прижогов отпуская твердость имеет наименьшее значение, и её снижение тем сильнее, чем толще отпущенный слой (рис.1,а).

Шлифование изменяет напряженное состояние. Зубчатые колеса до шлифования имеют в тонком поверхностном слое остаточные напряжения сжатия, а у зубчатых колес, прошлифованных с прижогом, в большинстве случаев формируются остаточные напряжения растяжения.

С целью снижения отрицательного влияния контактной температуры на поверхность шлифования, предлагается в массу для изготовления абразивного инструмента дополнительно добавить кристаллический йод в определенном соотношении с другими компонентами. Использование кристаллического йода обусловлено тем, что он, обладая адсорбционной и химической активностью по отношению к металлам, способен образовывать на обрабатываемых поверхностях деталей комплексные соединения – йодиты, имеющие низкий коэффициент трения [ 6 ]. В результате локальная температура в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом снижается, не происходит плавление материала, что приводит к уменьшению засаливания шлифовального круга и количества зон прижога в 2,0...2,5 раза на обработанной поверхности.

Прижоги оказывают отрицательное влияние на выносливость при изгибе зубьев, а также на их контактную выносливость, поэтому предупреждение образования прижогов – важнейшее мероприятие для обеспечения работоспособности зубчатых колес по этим критериям.

Процессы трения и резания металлов сопровождаются рядом широко известных явлений, в частности возникновение электродвижущей силы (ЭДС) между контактируемыми телами. Управляя величиной ЭДС можно снизить шероховатость обработанной поверхности более значительно, чем это удастся сделать приращением скорости резания. В работе [5]рассматривается возможность управления с помощью энергетического критерия процессами шлифования для

обеспечения заданных показателей качества поверхностного слоя шлифованной детали – зуба колеса, уменьшения прижогов и зон повышенной напряженности материала.

В заключение следует отметить, что кроме названных существуют другие менее распространенные, но эффективные способы улучшения свойств поверхностного слоя зубьев: поверхностное пластическое деформирование (ППД), алмазное выглаживание, деформационное старение, электрополирование, виброшлифование и др.

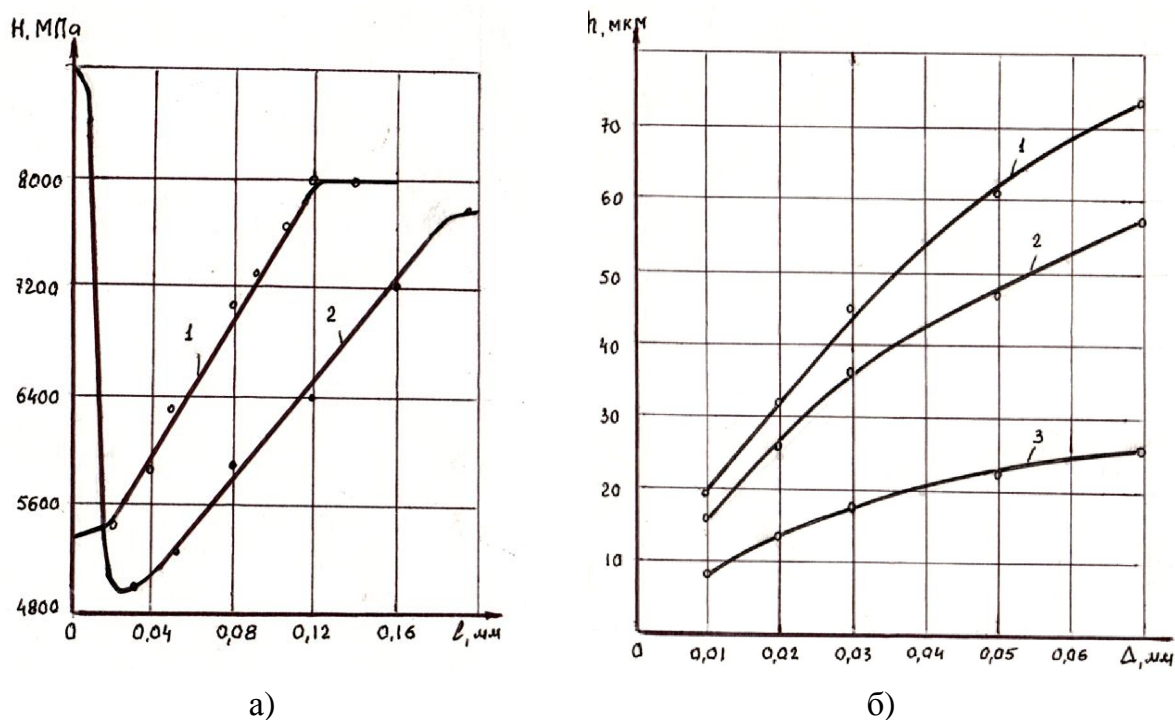


Рис.1. Изменение твердости по толщине поверхностного слоя зуба (а) из стали 12Х2НВФА зависимость толщины структурно измененного слоя стали 12Х2НВФА от глубины шлифования (б)

**Список литературы:** 1. Зубчатые передачи: Справочник/ Под общ. ред. Е.Г.Гинзбурга. – Л.: Машиностроение, 1980. – 416 с. 2. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник/ Под ред. Э.Б.Вулгакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 374 с. 3. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении/ Под ред. В.А.Тимирязева. – М.: Высш.шк., 2004. – 272 с. 4. Семенча П.В., Зислин Ю.А. Редукторы горных машин. Конструкции, расчет и испытания. – М.: Недра, 1990. – 237 с. 5. Бутенко В.И. Бездефектное шлифование поверхностей деталей машин. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 60 с. 6. Латышев В.Н., Наумов А.Г., Раднюк В.С. Применение йода как компонента СОТС при резании металлов. // Металлообработка, 2008, №3 (45). – С. 9 – 14.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЧУГУНА ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

**Ивченко Т.Г., Витохина Д.В.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38(062)30501104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *With the use of criterion of minimum prime price the optimum of cutting modes at draft and clean treatment of cast - irons are certain. Different possible technical limitations at the clean and draft sharpening and boring of cast - irons are investigational. The reach extremum of objective function is grounded at the optimum of cutting mode.*

**Key words:** *optimization, speed, feed, durability, inflexibility, roughness.*

Обработка деталей из чугуна занимает важное место в машиностроительном производстве, в связи с чем, весьма актуальны задачи по оптимизации процессов резания этих материалов. Одним из резервов повышения эффективности обработки чугунов является определение оптимальных режимов резания, обеспечивающих для заданных условий обработки и требований к качеству поверхностей минимальную себестоимость.

В настоящее время достаточно распространенным методом оптимизации является метод геометрического программирования (МГП) [1], позволяющий осуществлять одновременную оптимизацию скорости резания и подачи с учетом действующих при резании ограничений по критерию минимальной себестоимости.

В известных работах, посвященных оптимизации по критерию минимальной себестоимости МГП [2, 3], основное внимание уделялось обработке сталей. Представляет интерес дальнейшее развитие МГП применительно к задачам оптимизации режимов резания при обработке деталей из чугуна.

Цель представляемой работы – разработать методику определения оптимальных режимов резания, обеспечивающих минимальную себестоимость токарной обработки деталей из чугуна.

При оптимизации режимов резания МГП в качестве критерия оптимальности принимается переменная часть себестоимости обработки детали режущим инструментом, зависящая от режимов резания. При решении задачи двухпара-

метрической оптимизации, то есть определения оптимальных значений скорости резания и подачи с заданной глубиной резания в условиях однопроходной обработки, целевая функция имеет вид:

$$C = V^{-1} S^{-1} + MV^{k_v} S^{k_s}, \quad (1)$$

где  $M = (t_c + A_u/A) \cdot t^{x/m} / C_T$ ;  $k_v = 1/m - 1$ ;  $k_s = y/m - 1$ ;  $A$  - себестоимость станко - минуты,  $A_u$  - стоимость одного периода стойкости инструмента;  $t_c$  - время смены инструмента;  $C_T$  - коэффициент и  $x, y, m$  - показатели, характеризующие степень влияния глубины  $t$ , подачи  $S$  и стойкости  $T$  на скорость резания  $V$ .

Для чернового точения наиболее распространенным является ограничение по прочности пластины режущего инструмента:

$$34c^{1.35} t^{0.77} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0.8} \geq C_p K_p S^{y_p} t^{x_p}, \quad (2)$$

где  $c$  - толщина пластины  $\varphi$ - главный угол в плане;  $C_p, K_p$  - коэффициенты и  $x_p, y_p$  - показатели, характеризующие степень влияния глубины и подачи на силу резания  $P_z$ .

Ограничение необходимо представить в следующем виде:

$$C_1 S^{y_p} \leq 1, \quad (3)$$

где  $C_1$  - коэффициент для точения:  $C_1 = C_p K_p t^{x_p} / 34c^{1.35} t^{0.77} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0.8}$ .

Для чернового и чистового растачивания в связи с возможным значительным вылетом державки расточного инструмента необходимо учитывать ограничение по жесткости режущего инструмента:

$$4P_z l^3 / Ed^4 \leq f_p; 4C_p K_p t^{x_p} S^{y_p} l^3 / Ed^4 \leq f_p, \quad (4)$$

где  $l$  - вылет державки резца;  $d$  - диаметр оправки или размер державки резца;  $E$  - модуль упругости материала державки;  $f_p$  - допустимая стрела прогиба: для черновой обработки  $f_p = 0,1$  мм; для чистовой -  $f_p = 0,05$  мм.

Ограничение необходимо представить в следующем виде:

$$C_2 S^{y_p} \leq 1, \quad (5)$$

где  $C_2$  - коэффициент для растачивания:  $C_2 = 4C_p K_p t^{x_p} l^3 / f_p Ed^4$ .

Для чистового точения и растачивания необходимо учитывать ограничение по допустимой шероховатости обработанной поверхности  $R_a$ :

$$k_o S^{k_1} r^{k_2} V^{k_3} \leq R_a, \quad (6)$$

где  $k_0, k_1, k_2, k_3$ , - коэффициент и показатели, характеризующие степень влияния подачи  $S$ , радиуса при вершине  $r$ , скорости  $V$  на шероховатость поверхности  $R_a$ :

$$C_3 S^{k_1} V^{k_3} \leq 1, \quad (7)$$

где  $C_3$ - коэффициент для чистового точения и растачивания:  $C_3 = k_o r^{k_2} / R_a$ .

Оптимальные подача  $S_o$  и скорость резания  $V_o$  определяются следующим образом [3]:

$$S_o = \left( \frac{W_{01}^{k_v} W_{02} V(W)^{k_v+1}}{M} \right)^{1/(k_s-k_v)}; \quad V_o = \left( \frac{W_{01}^{k_s} W_{02} V(W)^{k_s+1}}{M} \right)^{1/(k_v-k_s)}, \quad (8)$$

где  $V(W)_M = (1/W_{01})^{w_{01}} (M/W_{02})^{w_{02}} C_i^{W_i}$  - двойственная функция;  $W_{01}$ ,  $W_{02}$ ,  $W_i$  - коэффициенты весомастей, определяемые в зависимости от ограничений: при ограничениях по прочности пластины и жесткости инструмента

$$W_{01} = \frac{k_v}{1+k_v}; \quad W_{02} = \frac{1}{1+k_v}; \quad W_1 = W_2 = \frac{W_{01}(1+k_s)-k_s}{y_p}. \quad (9)$$

при ограничениях по допустимой шероховатости поверхности

$$W_{01} = \frac{k_s k_3 - k_v k_1}{k_s k_3 - k_v k_1 + k_3 - k_1}; \quad W_{02} = \frac{k_3 - k_1}{k_s k_3 - k_v k_1 + k_3 - k_1}; \quad W_3 = \frac{W_{01}(1+k_v)-k_v}{k_3}. \quad (10)$$

Пример определения оптимальных скорости резания  $V_o$  и подачи  $S_o$ , обеспечивающих минимальную себестоимость, приведен для чернового растачивания отверстия (диаметр  $D = 100$ мм, длина  $L = 50$ мм). Условия обработки: обрабатываемый материал - чугун СЧ20 (НВ 190); резцы ВК8 (передний угол  $\gamma = 0^\circ$ ; главный угол резца в плане  $\varphi = 45^\circ$ ); глубина резания  $t = 4$ мм; толщина пластины  $s = 4,76$ мм; стоимость станкоминуы  $A = 5$ коп/мин; стоимость одного периода стойкости инструмента  $A_u = 15$ коп/период; время смены инструмента  $t_c = 1$ мин. Коэффициенты и показатели степеней в стойкостных и силовых зависимостях:  $C_v = 243$ ;  $K_v = 0,66$ ;  $m = 0,2$ ;  $y_v = 0,40$ ;  $x_v = 0,15$ ;  $C_p = 92$ ;  $K_p = 1$ ;  $y_p = 0,75$ ;  $x_p = 1$ .

Для заданных условий обработки определены коэффициенты весомастей:  $W_{01} = 0,8$ ;  $W_{02} = 0,2$ ;  $W_{11} = 0,8$ ; максимум функции  $V(W) = 5,29$ .

Оптимальные режимы резания  $V_o = 91,3$ м/мин;  $S_o = 0,62$ мм/об.

На основании установленных зависимостей может быть рассчитан коэффициент изменения себестоимости обработки при отклонении выбранных режимов резания от их оптимального значения  $S = k S_o$ ,  $V = k^{(1-y_v)} V_o$ . ( $k$  – степень отклонения):

$$K_C = \frac{C_{01} V^{-1} S^{-1} + C_{02} V^{k_v} S^{k_s}}{C_{01} V_o^{-1} S_o^{-1} + C_{02} V_o^{k_v} S_o^{k_s}}; \quad (11)$$

С учетом указанных ранее преобразований коэффициент изменения себестоимости может быть определен:

$$K_c = W_{01} k^{1-y_v+y_p W_{11}} + W_{02} k^{-k_v(1-y_v+y_p W_{11})+k_s-k_v} = K_1 + K_2. \quad (12)$$

Из графика, представленного на рис. 1, следует, что минимальная себестоимость обработки имеет место при  $k = 1$ , то есть при оптимальных режимах резания. При отклонении режимов резания от оптимальных, как в меньшую, так и в большую сторону, себестоимость увеличивается.

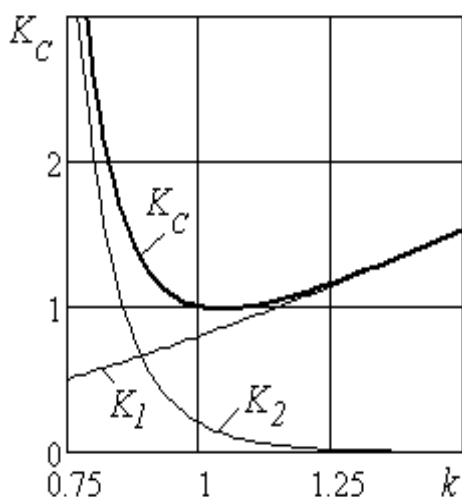


Рис. 1. Зависимость коэффициента изменения себестоимости обработки от степени отклонения режимов от оптимальных  $k$

Первая составляющая  $K_1$  коэффициента  $K_c$ , связанная с машинной обработкой и оцениваемая весомостью  $W_{01}$ , постоянно возрастает с увеличением режимов резания, но вторая составляющая  $K_2$ , связанная со сменой инструмента и оцениваемая весомостью  $W_{02}$ , убывает.

**Выводы.** Таким образом, представленная методика позволяет для любых условий чернового и чистового точения и растачивания чугунов выполнять расчеты оптимальных режимов резания, обеспечивающих минимальную себестоимость обработки. Разработанная методика определения оптимальных режимов резания может быть использована для любых видов обработки.

**Список литературы. 1.** Оптимизация и управление процессом резания / О.С. Кроль, Г.Л. Хмеловский. – К.: УМК ВО, 1991. – 140с. **2.** Ивченко Т.Г., Шальская Е.Е. Оптимизация режимов резания при чистовом и тонком точении методом геометрического программирования / Т.Г. Ивченко, Е.Е. Шальская // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ, 2010. Вып. 39. – С.91-97. **3.** Т.Г. Ивченко, Е.Е. Шальская. Повышение эффективности применения сверхтвердых инструментальных материалов за счет оптимизации режимов резания / Известия ТТИ ЮФУ – ДонНТУ. Таганрог: ТТИ ЮФУ. Кн.3. 2010. - № 10. – С.158-163.



## УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ И ТЕМПЕРАТУРАМИ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ТЕПЛООБМЕНЕ

Ивченко Т.Г., Петряева И.А., Полякова Е.В. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38(062)30501104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *On the basis of analysis of thermal streams in the cutting zone conformities to law of forming of thermal streams are set at the unset heat exchange. The method of determination of middle temperature on the contact surfaces of the tool blade is developed. The method can find a wide use for determination of thermal streams and middle temperatures at the irregular cutting.*

**Key words:** *thermal stream, temperature, irregular cutting, tool blade.*

Тепловое состояние зоны обработки существенно влияет как на работоспособность режущих инструментов, так и на качество обрабатываемых деталей, в связи с чем весьма актуальны задачи по исследованию тепловых явлений при резании.

В настоящее время достаточно хорошо разработанные методы исследований стационарных температурных полей в инструменте и детали в условиях установившегося теплообмена [1]. В исследованиях теплового состояния инструмента, выполненных для условий нестационарного резания [2], не рассмотрены особенности формирования тепловых потоков. В исследованиях тепловых потоков в зоне резания при неуставившемся теплообмене [3] не рассмотрено влияние параметров процесса на тепловые потоки и температуру. Представляет интерес установление взаимосвязей между параметрами обработки и тепловым состоянием зоны резания и дальнейший анализ возможностей управления тепловыми потоками и температурами в условиях неуставившегося теплообмена.

Целью представленной работы является установление закономерностей формирования тепловых потоков и температур в зоне резания в условиях неуставившегося теплообмена и анализ путей управления ими.

Для учета особенностей формирования тепловых потоков при неуставившемся теплообмене в безразмерные функции  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ , определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях лезвия инструмента вводится функция безразмерного времени  $m(Fo)$ , характеризующая изменение температур в лезвии режущего инструмента в период неуставившегося теплообмена [3]:

$$m(F_o) = \begin{cases} 4 \cdot 10^{-3} F_o, & \text{если } F_o \leq 150; \\ 0,12 F_o^{0,33}, & \text{если } 150 \leq F_o \leq 300; \\ 4,3 \cdot 10^{-5} F_o + 0,8, & \text{если } F_o \geq 300. \end{cases} \quad (1)$$

Плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента при неустановившемся теплообмене:

$$q_1 = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 N_2 m(F_o) h + K_1 M_2 m(F_o) h}{K_3 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 (m(F_o))^2 l h / \lambda_u}; \quad q_2 = \frac{(K_1 - K_4 q_1) \lambda_u}{N_2 m(F_o) h}, \quad (2)$$

где 
$$K_1 = \frac{(1+c) \omega_\partial k b' q_\partial}{\lambda_\partial V} + \frac{K_{c1} q_{1T}}{\lambda_\partial} \sqrt{\frac{\omega_\partial k l}{V}}; \quad K_2 = \frac{(1+c) \omega_\partial k b' q_\partial T_u}{\lambda_\partial V} + \frac{K_{c2} q_{2T}}{\lambda_\partial} \sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}};$$

$$K_3 = \frac{1,82 K_{c2}}{\lambda_\partial} \sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}}; \quad K_4 = \frac{1,3 K_{c1}}{\lambda_\partial} \sqrt{\frac{\omega_\partial k l}{V}} + \frac{M_1 m(F_o) l}{\lambda_u};$$

$\lambda_\partial, \lambda_u, \omega_\partial, \omega_u$  – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материалов детали и инструмента;  $b$  – ширина среза;  $l$  – длина контактной площадки в направлении схода стружки;  $h$  – износ по задней поверхности лезвия;  $k$  – коэффициент усадки стружки;  $V$  – скорость резания;  $c$  – коэффициент, учитывающий подогрев слоев металла стружки за один оборот детали;  $T_\partial$  – безразмерная функция распределения температур в детали, вызванных теплотой деформации;  $b'$  – коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку;  $K_{c1}, K_{c2}$  – коэффициенты, учитывающие законы распределения плотности теплового потока на передней и задней поверхностях ( $K_{c1} = 0,77; K_{c2} = 0,55$ );  $q_{1T}, q_{2T}, q_\partial$  – плотности тепловых потоков от сил трения на контактных площадках передней и задней поверхностей лезвия инструмента, а также в зоне деформации.

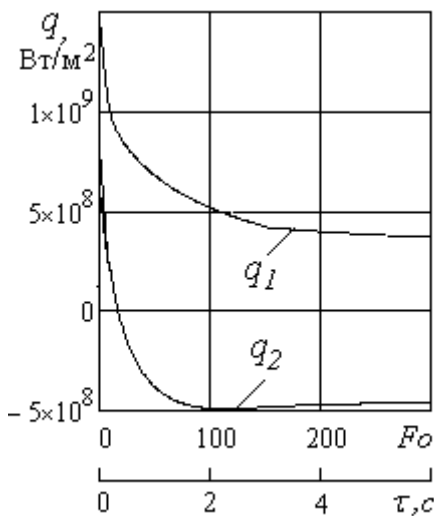


Рис. 1. Графики изменения плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия при неустановившемся теплообмене

Безразмерные функции, определяющие нагрев контактных площадок:

$$M_{1,2} = (4,88 + 2,64 \eta_{1,2}^{0,5} \lg \eta_{1,2}) \beta^{-0,85}; \quad N_{1,2} = (0,04 + 0,02 \eta_{1,2}^{0,6} \lg \eta_{1,2}) B_{1,2}(h/l),$$

где  $\eta$  – безразмерная ширина среза:  $\eta_1 = b/l, \eta_2 = b/h$  ( $\eta_{1,2} > 1$ );  $\beta$  – угол заострения;  $B_{1,2}(h/l)$  – специальные функции:  $B_1(h/l) = 2,85 - 0,9(h/l), B_2(l/h) = 2(l/h)^{0,54}$  при  $\beta = 90^\circ$  [3].

Графики изменения плотностей тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента во времени ( $F_o$  - безразмерное время,  $\tau$  - реальное время резания) при неустановившемся теплообмене представлены на рис. 1.

Расчеты выполнялись для условий: обрабатываемый материал - сталь 45;  $\sigma_s = 750$  МПа; коэффициент усадки  $k = 2,0$ ; инструментальный материал Т15К6; износ по задней поверхности  $h = 0,1$  мм.

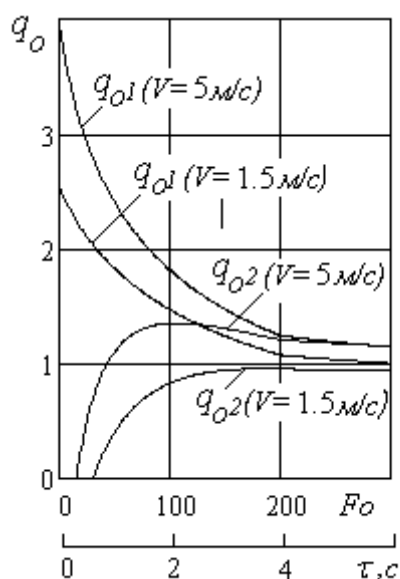


Рис. 2. Графики изменения относительных плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия

возрастают как тепловые потоки, так и сам период, в течение которого процесс устанавливается.

Температуры на передней  $\Theta_{nn}$  и задней  $\Theta_{zn}$  поверхностях лезвия инструмента, формируемые под воздействием тепловых потоков  $q_1$  и  $q_2$ , а также температура резания, представляющая собой среднюю температуру на передней и задней поверхностях лезвия  $\Theta_{cp}$ , определяется следующим образом:

$$\Theta_{nn} = \left( \frac{q_1 l}{\lambda_u} M_1 + \frac{q_2 h}{\lambda_u} N_2 \right) m(F_o); \quad \Theta_{zn} = \left( \frac{q_2 h}{\lambda_u} M_2 + \frac{q_1 l}{\lambda_u} N_1 \right) m(F_o). \quad (3)$$

$$\Theta_{cp} = \frac{(\Theta_{nn} l + \Theta_{zn} h)}{l + h} = \frac{[q_1 l (M_1 l + N_1 h) + q_2 h (M_2 h + N_2 l)] m(F_o)}{(l + h) \lambda_u}. \quad (4)$$

Графики изменения во времени температуры резания для разных подач и скоростей при неустановившемся теплообмене приведены на рис.3.

В начальный момент при неустановившемся теплообмене температуры резания равны нулю, затем резко возрастают и постепенно стабилизируются. Чем выше подача и скорость резания, тем интенсивнее рост температуры и выше ее уровень при установившемся процессе.

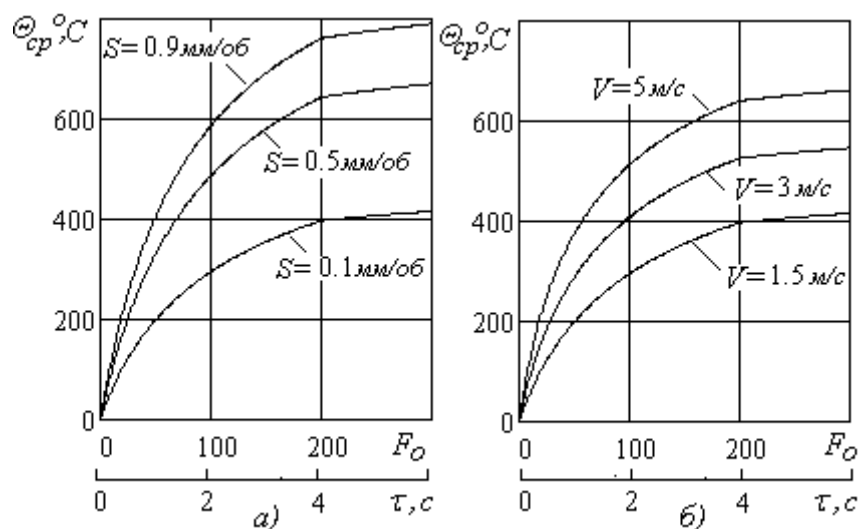


Рис. 3. Графики изменения температуры резания для различных подач – а) и скоростей – б) при неустановившемся теплообмене

Установленные взаимосвязи температуры резания с режимами обработки позволяют регламентировать значения подач и скоростей, обеспечивающих уровень температур, не превышающий заданный.

#### Выводы.

Таким образом, разработанная ме-

тодика, а также созданное программное обеспечение расчетов, позволяют определять тепловые потоки и температуры в зоне резания при неустановившемся теплообмене.

Методика может найти широкое применение при различных видах механической обработки, и прежде всего, при прерывистом резании.

**Список литературы:** 1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. - М.: Машиностроение, 1990. –288с. 2. Івченко Т.Г. Дослідження теплового стану ріжучого інструменту в умовах нестационарного різання / Т.Г. Івченко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2006.- Випуск 110. - С.17-23. 3. Івченко Т.Г. Закономерности формирования тепловых потоков при неустановившемся теплообмене в процессе резания / Т.Г. Івченко // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XV11 международной конференции. - Донецк: ДонНТУ, 2010. - Т.1. - С. 293-297.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТРИЦЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Ищенко А.Л., Байков А.В., Лисняк С.Л. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

**Abstract.** In a paper the solution of a task is intense - is deformed condition of a matrix of the grinding tool by an analytical method and its comparison with a finite element method is reduced.

**Key words.** *Deformed condition, grinding tool, finite element.*

Шлифовальные инструменты на эластичных связках характеризуются способностью абразивных зерен погружаться в связку, под действием сил действующих на них со стороны обрабатываемого материала. При этом перемещение абразивного зерна не зависит или слабо зависит от перемещения соседних зерен. Погружение зерен в связку изменяет параметры рабочей поверхности шлифовального инструмента и, соответственно, характер протекания процесса резания. Это в свою очередь определяет основные показатели процесса шлифования: производительность шлифования и качества обработанной поверхности.

Анализ указанных явлений связан с изучением напряженно – деформированного состояния эластичной связки в месте контакта ее абразивным зерном под действием на него сил резания. Ряд авторов брались за решение данной задачи [1,2], моделируя абразивное зерно шаром, что существенно искажает реальную геометрическую картину. Это позволяет рассматривать полученные ими результаты как предварительные, требующие дополнительных исследований. Поскольку решение данной задачи аналитически связано с определенными трудностями, целесообразно для получения результата применить один из численных методов решения – метод конечных элементов [3], а также проверить его аналитическим решением.

Для оценки точности решения задачи методом конечных элементов вос-

пользуемся аналитическим решением осесимметричной задачи давления параболоида на упругое полупространство. Аналитически задача решалась без учета сил трения.

Рассматривая геометрию абразивного пространства и характер действия сил на абразивное зерно отметим, что перемещение абразивных зерен в шлифовальном инструменте происходит в основном под действием радиальной составляющей силы резания. Поэтому для абразивного инструмента с ориентированным расположением рабочей части зерна моделируем параболоидом вращения.

В работах А.И. Лурье, И.Я. Штаермана рассмотрен осесимметричный штамп в виде параболоида с уравнением  $z = A\rho^\lambda$ . Установим аналитическую зависимость между силой и перемещением. Пусть

$$f(\rho) = A\rho^\lambda \quad (1)$$

В таком случае

$$\Delta f(\rho) = \left( \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \right) f(\rho) = A\lambda^2 \rho^{\lambda-2} \quad (2)$$

Вводя новую переменную  $\rho = a \sin \tau$ , получим следующее выражение для силы, действующей на штамп:

$$\begin{aligned} P &= \frac{2E}{1-\nu^2} \int_0^a \Delta f(\rho_1) \rho_1 \sqrt{a^2 - \rho_1^2} \partial \rho_1 = \\ &= \frac{2E}{1-\nu^2} A a^{\lambda+1} \lambda^2 \int_0^{\pi/2} (\sin^{\lambda-1} \tau - \sin^{\lambda+1} \tau) \partial \tau = \\ &= \frac{2E}{1-\nu^2} A a^{\lambda+1} \lambda^2 \left[ 2^{\lambda-2} \frac{\Gamma^2(\lambda/2)}{\Gamma(\lambda)} - 2^\lambda \frac{\Gamma^2(\lambda/2)}{\Gamma(\lambda+2)} \right] \end{aligned}$$

После некоторых преобразований находим окончательно

$$P = \frac{2E}{1-\nu^2} A a^{\lambda+1} 2^{\lambda-1} \frac{\lambda^2}{\lambda+1} \frac{\Gamma^2(\lambda/2)}{\Gamma(\lambda)} \quad (3)$$

Принимая во внимание (2) получим выражение для перемещения в следующей форме

$$\begin{aligned} c &= - \int_0^a \Delta f(\rho_1) \rho_1 \operatorname{Arth} \left[ \sqrt{1 - \left( \frac{\rho_1}{a} \right)^2} \right] \partial \rho_1 = \\ &= - A \lambda^2 a^\lambda \int_0^{\pi/2} \sin^{\lambda-1} \tau \operatorname{Arth}(\cos \tau) \cos \tau \partial \tau \end{aligned}$$

но

$$\text{Arth}(\cos \tau) = -\ln \operatorname{tg} \frac{\tau}{2}$$

В таком случае, интегрируя по частям, находим

$$c = A\lambda^2 a^\lambda \int_0^{\pi/2} \lg \operatorname{tg} \frac{\tau}{2} \sin^{\lambda-1} \tau \cos \tau d\tau = -A\lambda^2 a^\lambda \frac{1}{\lambda} 2^{\lambda-2} \frac{\Gamma^2(\lambda/2)}{\Gamma(\lambda)}$$

Окончательно получим

$$c = -Aa^\lambda 2^{\lambda-2} \lambda \frac{\Gamma^2(\lambda/2)}{\Gamma(\lambda)} \quad (4)$$

На основании (3) и (4) можно установить зависимость между  $c$  и  $P$ :

$$c(P) = \left[ \frac{P}{\left[ \frac{E}{1-\nu^2} 2^{\frac{2}{\lambda}} \frac{1}{1+\lambda} \lambda^{\frac{\lambda-1}{\lambda}} (\Gamma(\lambda, 0))^{\frac{1}{\lambda}} (\Gamma(\frac{\lambda}{2}, 0))^{\frac{-2}{\lambda}} A^{\frac{1}{\lambda}} \right]} \right]^{\frac{\lambda}{1+\lambda}} \quad (5)$$

где  $E$  – модуль упругости (1000 МПа);

$\nu$  – коэффициент Пуассона (0,45);

$A$  – коэффициент при описании параболоида (3,768);

$\lambda$  – показатель степени (0,55);

$P$  – усилие, действующее на зерно.

Метод конечных элементов реализовывался программой «ЗЕНИТ». По полученным значениям точек перемещения была аппроксимирована функция с помощью программы Curve Expert 1.3, которая имеет вид:

$$cs(P) = 0,07 P. \quad (6)$$

По аналитической зависимости (5) и зависимости (6) в среде MathCAD получены графические зависимости, которые представлены на рис. 1.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что погрешность метода конечных элементов составляет в среднем 35%.

Такая величина погрешности вызвана на наш взгляд следующими факторами:

- задача Лурье и Штаермана не учитывает влияние сил трения, возникающих на боковой поверхности параболоида при его упругом перемещении;

- программа, реализующая метод конечных элементов, описывает упругие перемещения с помощью линейных зависимостей.

Однако, после учета вышеуказанных факторов и уточнения формул (5) и (6) можно предположить, что данные будут адекватны. Эти результаты предполагается получить в последующих работах.

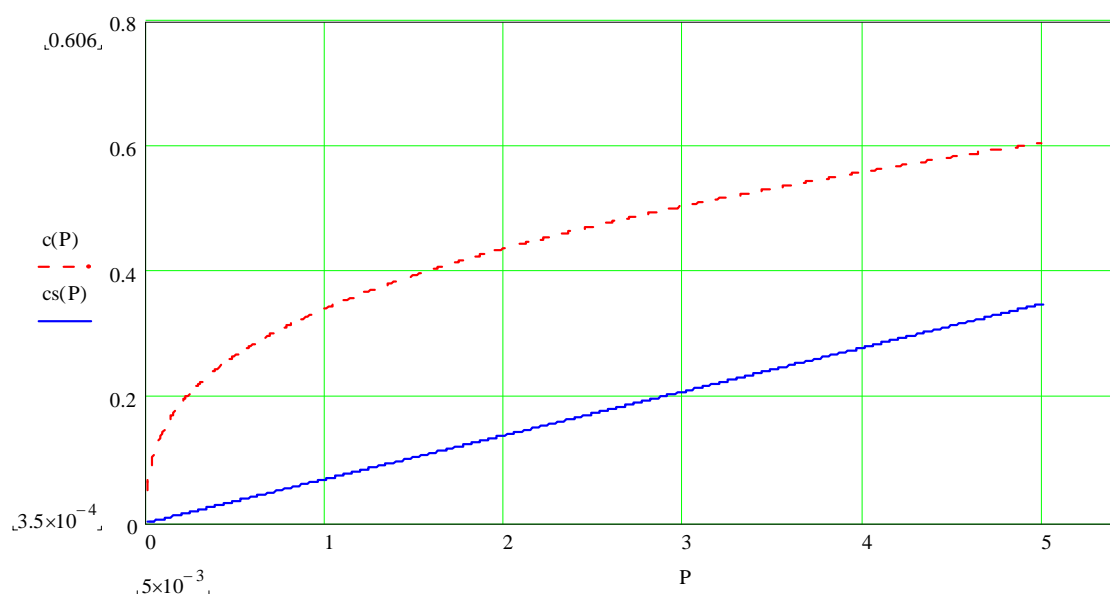


Рис. 1. Влияние усилия на перемещение абразивного зерна в упругой связке при усиллии на зерно от 0,005Н до 5 Н:  $c(P)$  - при аналитической зависимости (5);  $cs(P)$  – при зависимости по методу конечных элементов

**Список литературы:** 1. Олейников А.Б., Сенченков И.К., Рубцова И.Г. Влияние напряженно-деформированного состояния контакта зерно-связка на работоспособность кругов с режущим слоем из АЛШЛ // Сверхтвердые материалы. - 1987. - № 5. - С. 45-49. 2. Желобов Н.Г., Огарышев С.А., Петухов В.И. и др. Напряженно-деформированное состояние упругой матрицы при погружении абразивного зерна под действием нормальной нагрузки // Совершенствование процессов обработки в машиностроении. Пермь, 1990. С. 77-83. 3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. - 544 с. 4. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. – М.: Наука, 1980.- 304 с.



## **ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МАГНИТНО-АБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

**Калафатова Л.П., Кондратенко А.Е. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)**

*Influence of the structure of the magnetic-abrasive powder on the surface roughness of the machined products made of hard alloys for magnetic abrasive polishing was investigated. It was established that the best surface quality was obtained when using powders containing as abrasive synthetic diamond.*

Качество и долговечность изделий, изготовленных из твердых сплавов, зависят от состояния их поверхностей, окончательно формируемых на финишных операциях. В качестве финишной обработки могут быть использованы способы, реализуемые жестко-связанным абразивом (тонкое алмазное шлифование, суперфиниширование, полирование алмазными лентами на тканевой и каучуко-содержащей основах, полирование эластичными кругами) и подвижно-скоординированным зерном, к которому, в частности, относится магнитно-абразивное полирование (МАП) [1].

В случае МАП в рабочую зону, в которой наводится постоянное магнитное поле, полученное от постоянного электромагнита или путем выпрямления переменного тока, помещают обрабатываемую деталь и порошок, обладающий магнитными и абразивными свойствами. Детали сообщается движение вращения. Энергия магнитного поля здесь выступает в роли связки, не только удерживающей зерна порошка в рабочей зоне, но и заставляющей их совершать процесс резания. Заполняющий рабочую зону порошок перемещается магнитным полем относительно поверхности детали и равномерно прижимается к ней. При сообщении детали движения вращения в рабочей зоне происходят срезание заданного припуска на обработку и генерация поверхности без искажения исходной ее формы [2]. При этом особенности процесса МАП при обработке деталей из твердых сплавов позволяют обеспечить повышение (в сравнении с обработкой кругом, бруском, лентой) контактной прочности и износостойкости детали в 2 – 3 раза и увеличение значений предела прочности при изгибе и ударной вязкости на 13 – 15% без потери производительности обработки [3]. Также процесс МАП может быть достаточно просто реализован в условиях мелкосерийного производства за счет модернизации имеющегося на предприятии оборудования путем

установки на базовых станках (токарных, фрезерных) специальных приспособлений [4].

Эффективность процесса МАП, в частности, качество обработки зависит от ряда факторов, среди которых одним из основных является структура магнитно-абразивных порошков [3]. Поэтому целью настоящей работы является исследование процесса магнитно-абразивного полирования по параметру шероховатости обработанной поверхности в зависимости от изменения продолжительности обработки и применения различных марок магнитно-абразивных порошков.

В качестве обрабатываемого образца использовался пруток из твердого сплава ВК6, предварительно отшлифованный и имеющий шероховатость поверхности  $Ra\ 0,5\ \mu\text{м}$ , которая является исходной перед МАП. Эксперимент осуществлялся на токарно-револьверном станке модели 1341, модернизированном для осуществления процесса МАП за счет установки на нем соответствующих приспособлений [4] (рис. 1).

На револьверную головку 2 станка с помощью планок 3, устанавливается устройство, состоящее из плиты 4 и установленного на ней двигателя постоянного тока 5 и дополнительного шпинделя 6. Образец 1 закрепляют в цанговом патроне 7 и помещают в индуктор, закрепленный в трехкулачковом патроне станка.

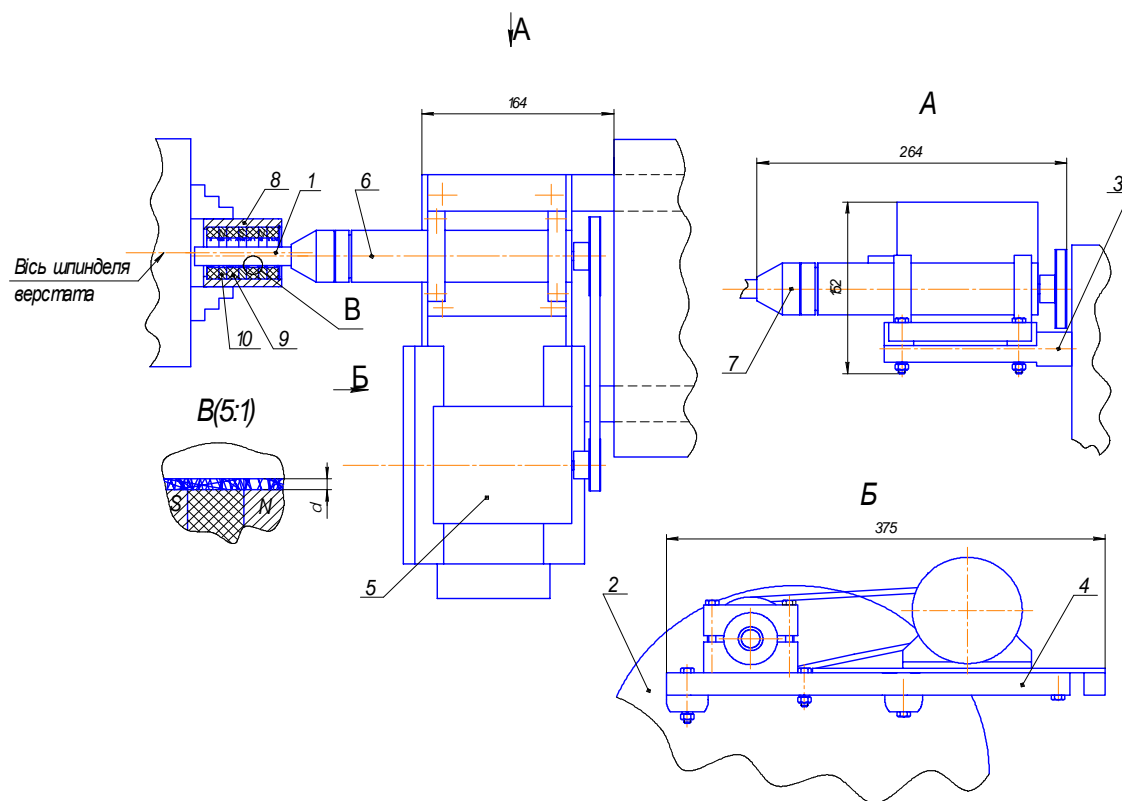


Рис. 1. Схема конструкции приспособления для реализации МАП

Индуктор представляет собой немагнитные втулку 8 с расположенными в ней четырьмя постоянными неодимовыми магнитами 9 (суммарная магнитная индукция  $B$ , создаваемая данными магнитами, составляет 0,8 Тл) и тремя стальными магнитопроводами 10. Магнитно-абразивный порошок удерживается на рабочей поверхности индуктора, образуя тем самым своеобразную магнитную щетку, которая, при сообщении скорости главного движения шпинделю станка, осуществляет процесс полировки поверхности образца. Необходимый рабочий зазор  $\delta$  настраивается путем кругового перемещения револьверной головки. Для равномерного полирования всей обрабатываемой поверхности образец перемещают вдоль оси индуктора, увлекая за собой порошок в рабочем зазоре.

Характеристика используемых магнитно-абразивных порошков: порошок №1 – железо-абразивный с синтетическим алмазом в виде абразивных включений, размер абразива, мкм 7/5, размер фракции, мкм 180/100, содержание абразива в зерне 40%; порошок №2 – железо-абразивный с карбидом титана в виде абразивных включений, размер абразива, мкм 7/5, размер фракции, мкм 180/100, содержание абразива в зерне 50%; порошок №3 – чугунный в виде сплошного зерна размера, мкм 350/300, содержание абразива в зерне 100%.

Процесс МАП, осуществлялся со следующими параметрами режима [3]: высота рабочего зазора  $\delta = 1$  мм; линейная скорость вращения заготовки 5 м/мин, линейная скорость вращения втулки с магнитами 65 м/мин; величина продольной подачи 160 мм/мин.

Результаты исследований приведены на рис. 2 и свидетельствуют о том, что максимальные интенсивность процесса МАП и его влияние на качество поверхности наблюдается в интервале 1 - 5 минут обработки. Далее происходит стабилизация шероховатости обрабатываемой поверхности причиной чего, может быть снижение режущей способности порции порошка из-за его насыщения стружкой материала и дробления, а также уменьшением количества порошка в рабочей зоне при постепенном его выбрасывании. Наиболее эффективным из рассмотренных порошков является железо-абразивный порошок № 1, содержащий в качестве абразивных элементов синтетический алмаз (снижение шероховатости предварительно обработанной поверхности на 22,5%).

После 15 мин обработки значение шероховатости формируемой поверхности при его использовании на 5 % ниже по сравнению с обработкой порошком

№ 2, содержащем абразивные включения карбида титана, и на 12 % ниже по сравнению с обработкой порошком №3, что дает возможность рекомендовать порошок такого состава для использования при МАП изделий из твердых сплавов.

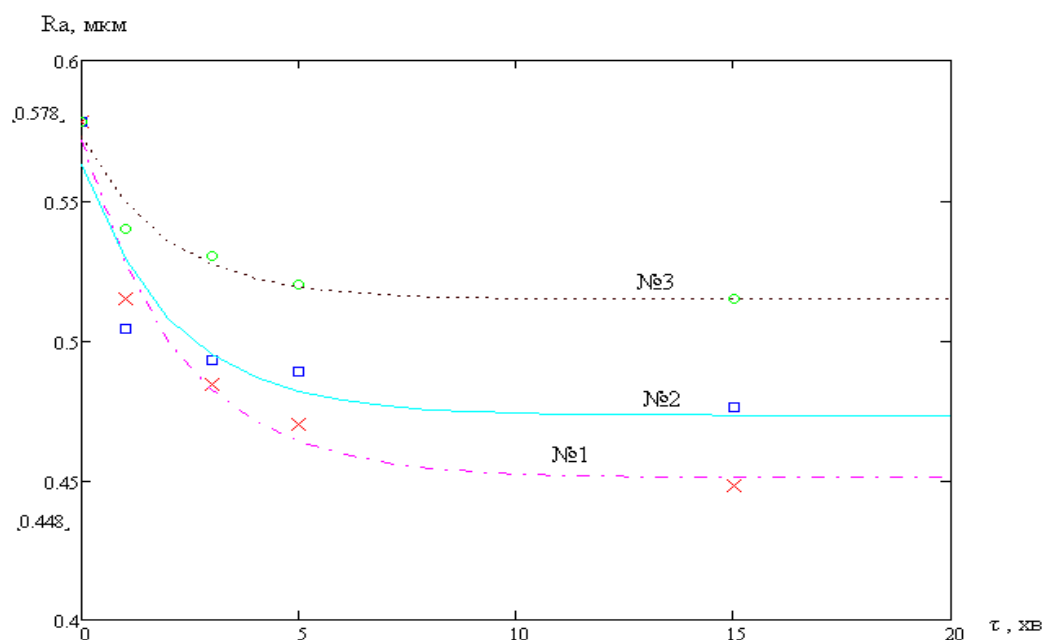


Рис. 2. Изменение шероховатости обработанной поверхности во времени при использовании магнитно-абразивных порошков различной структуры

**Список литературы:** 1. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с. 2. Сакулевич Ф.Ю. Объемная магнитно-абразивная обработка. – Минск: Наука и техника, 1978. – 168 с. 3. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с. 4. Кондратенко А.Е., Калафатова Л.П. Обеспечение магнитно-абразивного полирования твердосплавных деталей типа «Пуансон прошивной» в условиях единичного и мелкосерийного производства // Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта. Матер. межд. научно-техн конф. студентов, аспирантов и молодых ученых 11-15 мая 2010г. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – с. 133 – 135.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ НА АВТОМАТИЧЕСКОМ СБОРОЧНОМ РОТОРЕ

Кульбида О.О., Ищенко А.Л., Бережная О.О. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38(062) 3010804; E-mail: [olga\\_kulbida@mail.ru](mailto:olga_kulbida@mail.ru)

**Abstract:** The designing of technological system is conducted on the basis of the chosen basic circuit. According to the circuit elements of technological system and their components during assembly move from each other. At research of processes of assembly of products and at the mathematical description of the spatial attitudes of elements of technological system there is a problem of the description of movement of collected products. In clause this problem is decided with the help of affin transformations.

**Keywords:** technological system, mathematical description, affin transformations.

Процесс сборки является одним из наиболее трудоемких процессов в машиностроении, причем уровень автоматизации, по сравнению с механической обработкой намного ниже [1]. Полуавтоматическая и автоматическая сборка составляет всего 5% от общей трудоемкости сборочных работ в машиностроении [1,2,3].

Для деталей мелких и средних типоразмеров технологический процесс сборки и сопутствующие операции (окраски, сушки, контроля и др.) при массовом производстве целесообразно осуществлять на автоматических роторных машинах.

Вопросам сборки на автоматических роторных машинах посвящены ряд работ [2,3], но не в одной из них не рассматривается контроль сборки с позиции отслеживания положения детали в роторе в каждый момент времени.

Целью настоящей работы является осуществление контроля положения деталей при сборке при помощи аффинных преобразований координат.

Рассмотрим элемент технологического модуля – блок технологического воздействия (БТВ), в который поступило две детали и идет процесс сборки. Возникает система “БТВ – деталь – деталь” и три системы координат, принадлежащие соответственно трем элементам системы (рис.1).

Для описания процесса сборки необходимо привести эти системы координат к одной. Изменяющиеся при движении во времени координаты, любой точки, например точки О (рис.1), в системе координат базовой детали (детали к которой присоединяют другие детали) имеют вид следующего вектор - столбца:

$$r_{O\delta} = \begin{pmatrix} x_{\delta} \\ y_{\delta} \\ z_{\delta} \\ t_{\delta} \end{pmatrix},$$

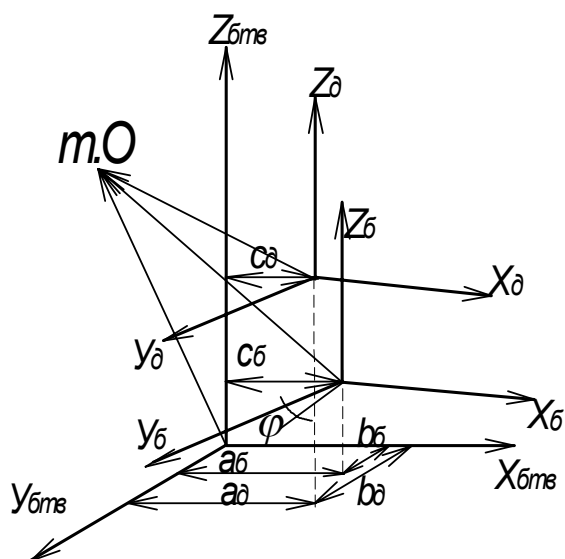


Рис.1. Расположение систем координат базовой детали и присоединяемой детали в системе координат блока технологического воздействия

$t_\delta$  - функция времени.

Для описания координат деталей в системе координат БТВ применим аффинные преобразования пространства.

Координаты точки О, при вращении вокруг оси Z, в системе координат базовой детали можно описать системой уравнений:

$$\begin{cases} x_{\delta-\deltaтв} = x_\delta \cdot \cos \varphi - y_\delta \cdot \sin \varphi + a_\delta \cdot t_\delta; \\ y_{\delta-\deltaтв} = x_\delta \cdot \sin \varphi + y_\delta \cdot \cos \varphi + b_\delta \cdot t_\delta; \\ z_{\delta-\deltaтв} = z_\delta + c_\delta \cdot t_\delta; \\ t_{\delta-\deltaтв} = t_\delta = 1. \end{cases}$$

Здесь  $a, b, c$  - координаты начала координат системы базовой детали.

Координаты точки О, при вращении вокруг оси Z, в системе координат присоединяемой детали можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} x_{\delta-\deltaтв} = x_\delta \cdot \cos \varphi - y_\delta \cdot \sin \varphi + a_\delta \cdot t_\delta; \\ y_{\delta-\deltaтв} = x_\delta \cdot \sin \varphi + y_\delta \cdot \cos \varphi + b_\delta \cdot t_\delta; \\ z_{\delta-\deltaтв} = z_\delta + c_\delta \cdot t_\delta; \\ t_{\delta-\deltaтв} = t_\delta = 1, \end{cases}$$

где  $a, b, c$  - координаты начала координат системы присоединяемой детали.

Для перехода от системы координат базовой детали к системе координат БТВ воспользуемся матричным уравнением:

$$r_{O_{\delta-\deltaтв}} = A_{\delta-\deltaтв} \cdot r_{O_\delta}, \quad (1)$$

а от системы координат присоединяемой детали к системе координат БТВ -

где  $x_\delta, y_\delta, z_\delta$  - однородные координаты т.О в системе координат базовой детали;

$t_\delta$  - функция времени.

Изменяющиеся во времени координаты, любой точки, например точки О (см. рис.1), в системе координат базовой детали имеют вид следующего вектор – столбца:

$$r_{O_\delta} = \begin{pmatrix} x_\delta \\ y_\delta \\ z_\delta \\ t_\delta \end{pmatrix},$$

где  $x_\delta, y_\delta, z_\delta$  - однородные координаты точки О в системе координат присоединяемой детали;

$$r_{O_{\delta} \text{ бтв}} = A_{\delta \text{ бтв}} \cdot r_{O_{\delta}}. \quad (2)$$

Переход от системы координат любой детали к системе координат БТВ опишем матрицей перехода:

$$A_{i \text{ бтв}} = \begin{vmatrix} a11 & a12 & a13 & a14 \\ a21 & a22 & a23 & a24 \\ a31 & a32 & a33 & a34 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

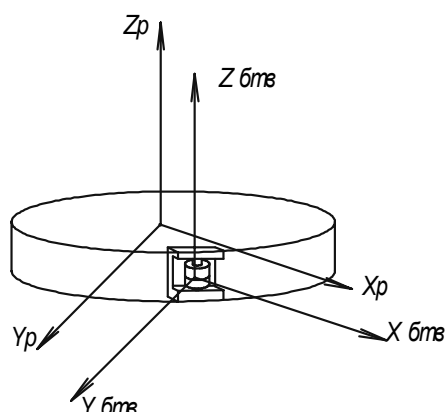


Рис. 2. Положение системы координат БТВ в системе координат ротора

Здесь  $A_{i \text{ бтв}}$  - матрица перехода от системы координат  $i$ -ой детали к системе координат БТВ.

При переходе от блока технологического воздействия к ротору необходимо описать положение деталей в системе координат ротора (рис. 2).

Уравнение аффинного преобразования координат точки  $O_{\delta}$  в системе координат ротора запишем в виде:

$$r_{O_{\delta} \text{ рот}} = C \cdot r_{O_{\delta} \text{ бтв}}. \quad (3)$$

Преобразование координат точки  $O_{\delta}$  в системе координат ротора имеет вид:

$$r_{O_{\delta} \text{ рот}} = C \cdot r_{O_{\delta} \text{ бтв}}. \quad (4)$$

где  $C$  - матрица перехода от систем координат деталей к системе координат ротора:

$$C = \begin{vmatrix} c11 & c12 & c13 & c14 \\ c21 & c22 & c23 & c24 \\ c31 & c32 & c33 & c34 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

В процессе работы идет совмещение транспортного и технологического движения, каждое из которых является сложным [4]. Например, транспортное движение состоит из ротации вокруг оси сборочного ротора, а также трансляции в поперечной плоскости ротора при подаче в БТВ и выгрузке из него деталей. Технологическое движение может состоять из одного (частный случай) или нескольких движений, обусловленных видом собираемого соединения и кинематической схемой БТВ.

Трансляция может быть представлена следующей матрицей [5,6]:

$$C_{mp} = \begin{vmatrix} R \cdot \cos \delta \\ R \cdot \cos \psi \\ R \cdot \cos \omega \\ 1 \end{vmatrix},$$

где  $R$  – длина вектора перехода из системы координат БТВ в систему координат ротора (т.е. радиус ротора)

$\delta, \psi, \omega$  – углы переноса, определяющие направление перехода.

Описание ротаций вокруг осей  $OZ$ ,  $OX$ ,  $OY$  представим в виде матриц [4]:

$$C_{oz} = \begin{vmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, C_{ox} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \mu & -\sin \mu & 0 \\ 0 & \sin \mu & \cos \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, C_{oy} = \begin{vmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

где  $\alpha, \beta, \mu$  – углы Эйлера.

Сложное движение, состоящее из ротации и трансляции, можно описать матричным уравнением:

$$D = C_{ox} \cdot C_{oy} \cdot C_{oz} \cdot C_{mp} = \quad (5)$$

$$= \begin{vmatrix} (\cos \beta \cdot \cos \alpha - \sin \beta \cdot \sin \alpha) \cdot R \cdot \cos \delta + (-\cos \beta \cdot \sin \alpha - \sin \beta \cdot \cos \alpha) \cdot R \cdot \cos \psi & \\ & (-\sin \mu \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + (\cos \mu \cdot \sin \mu \cdot \sin \beta) \cdot \sin \alpha) \cdot R \cdot \cos \delta + \\ & + (\sin \mu \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha + (\cos \mu \cdot \sin \mu \cdot \sin \beta) \cos \alpha) \cdot R \cdot \cos \psi \\ & \left( \cos \mu \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + (-\sin \mu + \cos \mu \cdot \sin \beta) \cdot \sin \beta \cdot R \cdot \cos \delta + \right. \\ & \left. + (-\cos \mu \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha) + (-\sin \mu + \cos \mu \cdot \sin \beta) \cdot \cos \alpha \right) \cdot R \cdot \cos \psi \\ & 1 \end{vmatrix}.$$

**Вывод:** описание положения сборочных элементов в блоках технологического воздействия и роторе с помощью выражений (1)...(4) позволяет отследить их положение в любой момент времени, что дает возможность контролировать процесс сборки. Полученный результат в дальнейшем будут использованы для разработки автоматизированных систем управления маршрутизацией деталей в процессе сборки на автоматических роторных машинах.

**Список литературы:** 1. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. – 592 с. 2. Лебедевский М.С., Вейц В.Л. Федотов А.И. Научные основы автоматической сборки. – Л.: Машиностроение, 1985 – 316 с. 3. Косилов В.В. Технологические основы проектирования сборочного оборудования. М., «Машиностроение», 1976 г. – 248 с. 4. Михайлов А.Н. разработка методов проектирования высокоэффективных поточно-пространственных технологических систем: Дис....д-ра техн. Наук. – Харьков: ХПИ, 1992. – 498 с. 5. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием. Перепелица Б.А. Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1981.-152 с. 6. Александров П.С. Лекции по аналитической геометрии. М.: Наука, 1968.-912 с.



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Лахин А.М., Михайлов А.Н., Тимченко Е.В. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Зубчатые передачи являются основным видом силовых передач, используемых в машиностроении. Их работоспособность определяется качеством и конструкцией зубчатых колес, составляющих данную передачу. Поэтому к зубчатым колесам предъявляют ряд жестких требований по точности и качеству поверхностей в зависимости от их назначения. Наиболее ответственными и сложными в изготовлении являются элементы зубчатого венца, которые требуют большого объема механической обработки для обеспечения заданных эксплуатационных функций зубчатых колес. Поэтому основной задачей конструкторского и технологического обеспечения производства зубчатых колес – обеспечение заданных и требуемых свойств рабочих элементов зубчатых колес в соответствии с действительными условиями их эксплуатации.

Развитие технологических вопросов производства и повышения качества зубчатых колес в настоящее время направлены на следующее: повышение качества зацепления за счет ужесточения норм точности; снижения объема металлообработки за счет формирования зубьев на стадии получения заготовок зубчатых колес; применения прогрессивного режущего инструмента на зубообрабатывающих операциях.

Данные вопросы рассматривают развитие общего уровня качества и эффективности производства зубчатых колес за счет совершенствования наиболее трудоемких операций – зубообработки, рассматривая зубчатый венец в целом, как элемент с однородными свойствами на всем его протяжении. При этом упускается возможность локального управления свойствами в местах выполнения определенных эксплуатационных функций.

Одним из способов повышения эффективности и качества зубчатых колес является использование функционально-ориентированного подхода [1, 2, 3], который позволяет адаптировать изделие при его изготовлении к особенностям эксплуатации в машине или технологической системе.

**Целью** данной работы является повышение эксплуатационных свойств рабочих элементов зубчатых колес на базе функционально-ориентированного подхода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**: выполнить анализ элементов зубчатых колес по функциональному назначе-

нию; предложить схемы технологического воздействия на рабочие элементы зубчатых колес для выполнения заданной структуры функций, предложить варианты обеспечения эксплуатационных функций для рабочих элементов зубчатых колес.

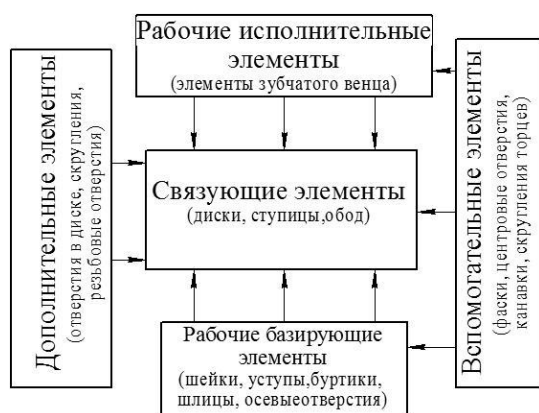


Рис. 1. Структура образования зубчатого колеса по элементам

Зубчатые колеса, как элементы изделия, представляют собой совокупность связанных между собой элементов, которые можно объединить в группы по виду функций, выполняемых ими в процессе эксплуатации. Согласно классификации элементов зубчатых колес [4], их можно разделить на исполнительные рабочие, исполнительные базирющие, связующие, вспомогательные и дополнительные. При этом структуру зубчатого колеса, можно представить следующей схемой (рис. 1).

Исполнительные элементы разделяются на две группы: рабочие и базирющие; где рабочие выполняют функции непосредственно по назначению данного изделия (передача крутящего момента), а базирющие определяют положение зубчатых колес в машине. От точности и качества базирующих элементов зависит точность зацепления и вид контакта в зацеплении. Рабочие элементы зубчатых колес представляют собой части зубчатого венца, образуемого совокупностью элементарных геометрических элементов (точек, линий, поверхностей и объемов). Объемы являются наполнением тела зубчатого колеса. Элементами, ограничивающими объемы, и формирующими конфигурацию зубчатого колеса, являются поверхности, которые в своих верхних границах примыкают к себе поверхностные слои. Рассмотрение поверхностных слоев связано с выполнением ими эксплуатационных функций, в основном в рабочих и базирующих исполнительных элементах. Линии образуются в местах пересечения двух поверхностей разного направления или формы, и в различных местах зубчатого колеса образуют кромки, либо впадины. Точки образуются в результате пересечения двух или нескольких линий воедино, обычно в результате пересечения третьей плоскостью. Образование зубчатого колеса по геометрическим элементам, можно представить следующей схемой:

$$V = \sum_{i=1}^k dV_i \rightarrow LS = \sum_{i=1}^p l_j dS_i \rightarrow S = \sum_{i=1}^q dS_i \rightarrow L = \sum_{i=1}^n dl_i \rightarrow T = \sum_{i=1}^m T_i$$

где  $V$ ,  $LS$ ,  $S$ ,  $L$  и  $T$  — соответственно матрицы всех объемов, поверхностных слоев, поверхностей, линий и точек составляющих зубчатое колесо.

$dV_i$ ,  $l_i dS_i$ ,  $dS_i$ ,  $dl_i$ ,  $T_i$  – составляющие объемы, поверхностные слои, поверхности, линии и точки.

$k$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $n$ ,  $m$  – общее количество непрерывных объемных зон, поверхностных слоев, поверхностей, линий и точек, составляющих зубчатое колесо.

Примерами эксплуатационных функций, выполняемых линейными, поверхностными, объемными и точечными элементами зубчатых колес, являются следующие: кромки вершин и профилей зубьев (объемные линии), как правило являются участком окончания (начала) зацепления, и воспринимают усилие в контакте с поверхностью сопряженных зубьев; поверхности зубчатого профиля являются участками зацепления сопряженной пары зубьев, непосредственно на поверхностях зубчатого профиля возникает трение, вызванное взаимным скольжением профилей. В активном поверхностном слое зуба в процессе работы возникают контактные напряжения, вызванные давлением, создаваемым сопряженным зубом. Объемные участки в зоне ножки зуба воспринимают изгибные напряжения, возникающие вследствие окружной силы в зубчатом зацеплении.

Первый из рассмотренных примеров описывает явление кромочного контакта в зубчатом зацеплении, для которого характерны следующие варианты (рис. 2). При работе зубчатой передачи, шестерня 1 входит в сопряжение с колесом 2 при действии окружной силы в зацеплении  $F_t$ , вращения  $n$  и осевого перемещения  $s$ , возможны три основных варианта распределения удельной нагрузки.

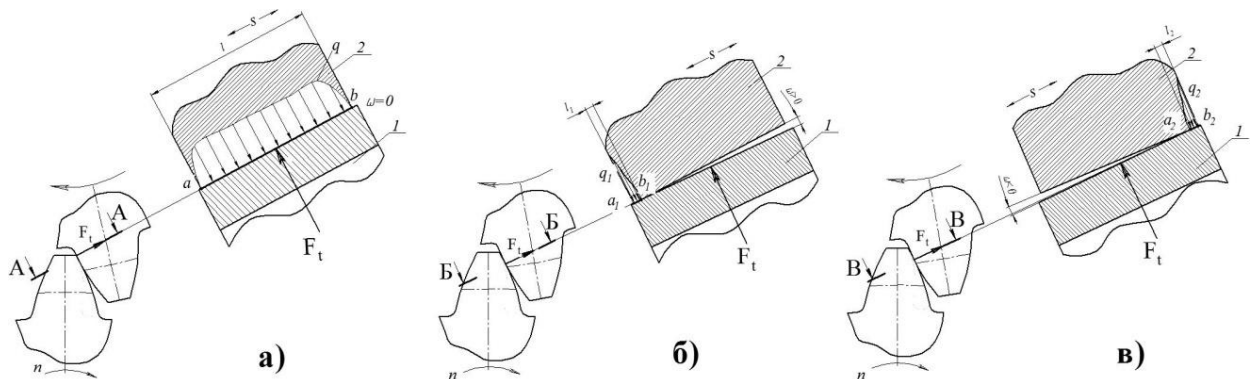


Рис. 2. Схема нагружения зубьев: а – без перекоса осей; б – с положительным перекосом; в – с отрицательным перекосом

В первом случае при отсутствии перекоса осей зубчатый колес (рис. 2, а), при  $\omega=0$  (идеальный случай). При данном зацеплении кромочный контакт присутствует в конце зацепления зубчатой пары под действием равномерно действующей по кромке вершины зуба, длиной  $l$ , между точками  $a$  и  $b$ , удельной нагрузки  $q$ , под действием окружной силы  $F_t$ . При этом возникает равномерный износ кромки вершины зуба.

Во втором случае контакта шестерни 1 и колеса 2, существует положительный перекося продольных осей  $\omega > 0$  (рис 2, б). При таком взаимодействии у левого торца зубчатого венца колеса 2, возникает кромочный контакт на участке шестерни  $a_1b_1$ . При этом контактная зона действия удельной нагрузки, вследствие упругих и пластических деформаций распространяется на длину  $l_1$ . В данном случае на боковую кромку зуба и соприкасающуюся с ней поверхностью зубчатого колеса, действует максимальная удельная нагрузка. При вращении  $n$  и осевом перемещении  $s$  зубчатого колеса 1 и шестерни 2, происходит неравномерный износ поверхностей.

В третьем случае (рис.2,в), в зоне сопряжения зубчатой шестерни и колеса существует отрицательный перекося продольных осей  $\omega < 0$ . При таком взаимодействии зубчатой пары, у правого торца зубчатого венца колеса, возникает кромочный контакт на участке шестерни  $a_2b_2$ . Вследствие упругих и пластических деформаций, контактная зона распространяется на величину  $l_2$ . В данном случае на правую боковую кромку зуба и соприкасающуюся с ней поверхностью зубчатого колеса, действует максимальная удельная нагрузка. При вращении  $n$  и осевом перемещении  $s$  зубчатого колеса 1 и шестерни 2, происходит неравномерный износ поверхностей.

В реальных условиях, рассмотренные случаи комбинируются, что вызвано неточностью изготовления сопряженных пар зубьев, а также погрешностями положения осей сопрягаемых колес. При комбинации первого (рис. 2,а), с остальными вариантами, в начале (конце) зацепления образуется точечный контакт сопряженной пары. Действие как кромочного, так и точечного контакта в зубчатом зацеплении приводит к преждевременному, неравномерному износу или разрушению рабочих элементов зубчатых колес.

Схема действия нагрузки от сил в зацеплении, действия контактных напряжений в зонах вершинных и боковых кромок, а также варианты обеспечения свойств, представлены на рис. 3. При этом кромки рассматриваются как объемные линии. Из схем нагружения можно сделать вывод, что для вершинного кромочного контакта более характерно обеспечение единовременных свойств, а для боковых кромок – непрерывных свойств.

Формирование эксплуатационных свойств функционального элемента (объемной линии), осуществляется на основе следующих схем технологического воздействия [1] :

- для обеспечения непрерывных свойств объемной линии боковой кромки в направлении линии  $s$ , с шириной линии  $dl_t$  и толщиной  $dl_v$ :

$$TB^{ло} \rightarrow \bigwedge_{s=1}^{\infty} \{ (m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v}), (dl_s \times dl_t \times dl_v) \}$$

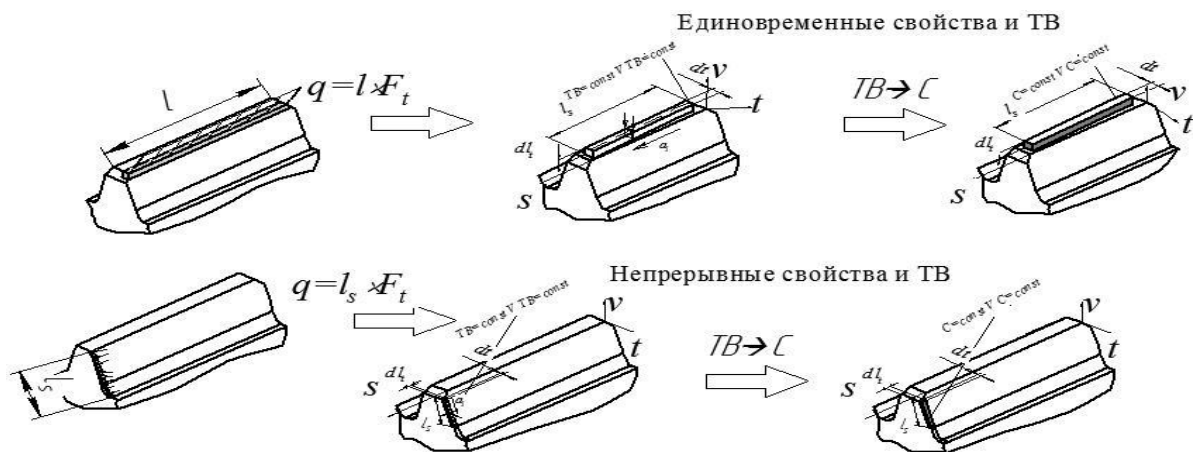


Рис. 3. Формирование свойств кромок зубьев

- для обеспечения единовременных свойств функционального элемента в направлении линии  $s$ , с шириной линии  $dl_t$  и толщиной  $dl_v$ :

$$TB^{10} \rightarrow \bigwedge_{s=1}^{\infty} \{(m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v}), dl_s\} \times dl_t \times dl_v$$

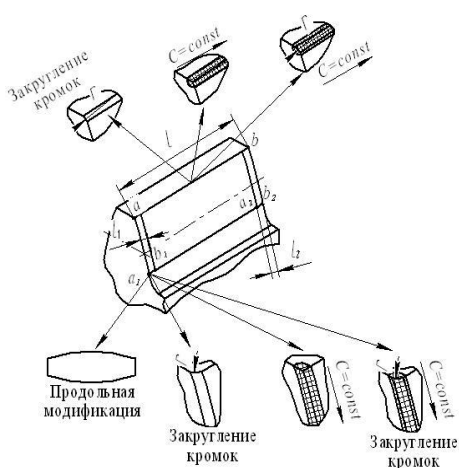


Рис. 4. Варианты обеспечения свойств на боковых и вершинных кромках зубьев

требуемых свойств на кромках зубчатых колес:

- продольной модификации зубьев, что обеспечивает исключение бокового кромочного контакта;
- закругления боковых кромок радиусом  $r$ , что обеспечит контакт поверхности зубьев с плавно изогнутой поверхностью;
- обеспечение переменных свойств по боковым кромкам зубчатого венца путем технологических воздействий различной интенсивности на величину  $a_1b_1$  и  $a_2b_2$ ;

В представленных схемах технологических воздействий, элементы кортежей  $(m_{s,t}, e_{s,t}, i_{s,t})$  и  $(m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v})$ , представляют собой технологические воздействия материального, энергетического и информационного характера, могут варьироваться в зависимости от пространственных и временных параметров

Для обеспечения заданных эксплуатационных свойств зубчатых колес, следует предусматривать конструкторские и технологические мероприятия по обеспечению необходимых свойств элементам зубчатых колес. В частности, на рис. 4 представлены основные варианты обеспечения

- совместное закругления боковых кромок зубчатого венца радиусом  $r$  и обеспечение переменных свойств по боковым кромкам зубчатого венца, за счет технологических воздействий на величину  $a_1b_1$  и  $a_2b_2$ ;
- закругление вершинных кромок зубьев радиусом  $r$ ;
- обеспечение переменных свойств на вершинной кромке зуба ;
- обеспечение закругления вершинных кромок зубьев радиусом  $r$  и переменных свойств по вершинным кромкам зубьев.

Данные способы управления свойствами кромок зубьев, могут быть реализованы методами механической, физико-механической, термической и комбинированной обработки, к которым относятся механическая лезвийная обработка, местная закалка в зонах кромок с различной интенсивностью нагрева и охлаждения, направленная пневмоструйная обработка, комбинированная лезвийная обработка и обкатка, нанесение покрытий в местах кромок.

**Выводы.** Таким образом, в работе выполнен анализ элементов зубчатых колес по функциональному назначению, где установлена структура построения зубчатых колес. На основании условий работы исполнительных рабочих элементов зубчатых колес, разработаны схемы технологического воздействия на объемную линию вершинной кромки и поверхности зубчатого профиля. Выполнен анализ возможных случаев возникновения кромочного контакта, и варианты обеспечения свойств кромок зубьев для снижения или устранения износа элементов зубьев вследствие кромочного контакта. Использование функционально-ориентированного подхода в производстве зубчатых колес, позволяет решать комплексные задачи повышения качества зубчатых колес, а также способствуют повышению эффективности из изготовления.

**Список литературы:** 1. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2008. - 346 с. 2. Михайлов А.Н. Повышение качества изделий машиностроения на базе комбинированной функционально-ориентированной отделочной обработки // Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14-19 сентября 2009 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2009. Т. 2. С. 246-265. 3. Лахин А.М., Михайлов А.Н., Зантур Сахби, Тарафа Аль-Судани Синтез схем технологического воздействия для функционально-ориентированных технологических процессов производства зубчатых колес // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. Вып. 38. С. 127-132. 4. Базров Б.М. Модульные технологии. – М.: Машиностроение, 2000. – 368 с.

## МОДЕЛЬ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА С НЕЧЕТКИМИ ИНТЕРВАЛАМИ

Мамутов Б.В. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

**Abstract:** Models recourse of the analysis of results of ecological monitoring on a priori indistinct initial data with varied intervals and at inadequacy of criteria of an estimation Models recourse of the analysis of results of ecological monitoring on a priori indistinct initial data with varied intervals and at inadequacy of criteria of an estimation.

**Key world:** modeling, ecology, slipshod in the present case and datum by experts, draw a conclusions.

Широко известная модель регрессионного анализа может быть представлена, как критериальная функция в виде линейной функции многих параметров (факторов). Из рассмотрения модификации данной модели для экологических систем при условии, что параметры модели задаются в виде нечетких интервалов, вытекает, что множество входных переменных  $X$  определяется, как прямое произведение  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_M$ , где  $X_j \ j = \overline{1, M}$  - множество значений  $j$ -ой входной переменной. Каждую  $j$ -ю входную переменную следует рассматривать, как нечеткую переменную  $\tilde{x}_j$ , заданную на базовом множестве  $X_j$  в виде нечеткого интервала. Состояние экологической системы надлежит рассматривать, как нечеткую точку  $\tilde{B} = (\tilde{b}_1, \tilde{b}_2, \dots, \tilde{b}_r)$ . Для каждого компонента  $\tilde{b}_j$  вектора  $\tilde{B}$  зададим математическую модель, определяющую зависимость компонента  $\tilde{b}_j$  от компонентов вектора  $\tilde{X}$ , в виде уравнения регрессии с нечеткими параметрами [1]

$$\tilde{b}_j = \tilde{f}_j(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m), \quad j = \overline{1, r}. \quad (1)$$

Если нечеткие переменные  $\tilde{x}_j$  рассматривать, как элементы управления объектами экологической системы, то математическая модель (1) представляет собой расширение известной линейной модели наблюдений и позволяет осуществлять прогноз состояния экологической системы в зависимости от существующих входных воздействий  $\tilde{X} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m)$ . По данным мониторинга можно получить  $n$  измерений  $b_1^k, b_2^k, \dots, b_n^k$  случайного компонента  $b_k$ ,  $k = \overline{1, r}$  вектора  $B$ .

Для каждого результата измерений определим математическую модель с нечеткими интервалами вида:

$$M\{\tilde{b}_i^k\} \cong \tilde{x}_{i1}^k \tilde{\alpha}_1^k + \tilde{x}_{i2}^k \tilde{\alpha}_2^k + \dots + \tilde{x}_{im}^k \tilde{\alpha}_m^k, \quad i = \overline{1, n}, \quad \text{cov}\{\tilde{b}_i^k \tilde{b}_j^k\} \cong \begin{cases} \sigma^2, & i=j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\tilde{\alpha}^k = (\tilde{\alpha}_1^k, \tilde{\alpha}_2^k, \dots, \tilde{\alpha}_m^k)$  - вектор неизвестных нечетких параметров;  $\sigma^2$  - дисперсия,  $X^k = (\tilde{x}_{ij}^k)$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $k = \overline{1, r}$  - матрица известных нечетких коэффициентов порядка  $n \times p$ ;  $\text{cov}\{\tilde{b}_i^k \tilde{b}_j^k\} \cong M(\tilde{b}_i^k - M\{\tilde{b}_i^k\})(\tilde{b}_j^k - M\{\tilde{b}_j^k\})$  - ковариация между  $\tilde{b}_i^k$  и  $\tilde{b}_j^k$ ,  $M\{.\}$  - операция математического ожидания. [2].

Линейная модель наблюдений (2) в векторном представлении имеет вид:

$$M\{\tilde{B}^k\} \cong \tilde{X}^k \tilde{\alpha}^k; \quad D\{\tilde{B}^k\} \cong \sigma^2 I_n,$$

где  $\tilde{B}^k = (\tilde{b}_1^k, \tilde{b}_2^k, \dots, \tilde{b}_n^k)^T$  - вектор-столбец наблюдений;  $\tilde{\alpha}^k = (\tilde{\alpha}_1^k, \tilde{\alpha}_2^k, \dots, \tilde{\alpha}_m^k)^T$  - вектор-столбец неизвестных параметров;  $M\{\tilde{B}^k\}$  - математическое ожидание  $\tilde{B}^k$ :  $M\{\tilde{B}^k\} = \{M\{\tilde{b}_1^k\}, M\{\tilde{b}_2^k\}, \dots, M\{\tilde{b}_n^k\}\}^T$ ,  $D\{\tilde{B}^k\} \cong (\text{cov}\{\tilde{b}_i^k \tilde{b}_j^k\}) = \sigma^2 I_n$  - ковариационная матрица нечеткого вектора наблюдений  $\tilde{B}^k$ ;  $I_n$  - единичная матрица порядка  $n$ . [3].

Из выше сказанного оценки экологического состояния пространства мониторинга следует производить с учетом совокупности критериев их значимости. При этом нечеткие исходные данные, в результате экспертной оценки, могут быть трансформированы в количественные. [4].

**Список литературы:** 1. Цымбал С.А. Программа синтеза кортежей нечётко определенных альтернатив. //Свидетельство RU 2000610905 об официальной регистрации программ для ЭВМ, 14.09.2000. 2. Джавадов Н.Г., Финаев В.И., Мамутов Б.В. Информационно-управляющая система экологического мониторинга. //Научно-технический прогресс и современная авиация, т. 1. – Баку: НАА, 2009. – С. 82÷87. 3. Письменов А.В., Спиридонов О.Б. Устройство для обработки нечеткой информации. //Патент RU 2182359, G06F 17/18, 19/00, бюл. № 13, 10.05.2002. 4. Битюцкая Н.И., Заргарян Е.В., Мамутов Б.В. Система экологического мониторинга. //Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2010, т. 3. – Одесса: Черноморье, 2010. – С. 3÷12.



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Масюк Л.Н., Гаркавый Е.Я., Дреко Ю.О. (г. Донецк, Украина)

Тел. +38(062)301-08-92; E-mail: quality@mech.dgtu.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** *The creation of standard nanotechnology dictionary, which will have great importance for purposes of intellectual property is grounded in the article. The examples of awards by Nobel Prize are given, prior directions of nanotechnology development are determined. At the end of the article the description of the device, defended by author's certificate, which can be claimed by this branch is given.*

**Key words:** *nanotechnology, intellectual property, nanobacteria, nanorobots*

На сегодня самые большие прибыли от изобретений связаны с компьютерными технологиями. Пример – деятельность человека, создавшего в Индии виртуальные консультационные медицинские пункты, которые на сегодня сделали его миллиардером. Суть проекта довольно проста: пациент по скайпу под анонимным именем получает консультацию и рецепты на лекарства, которые также могут быть по интернету заказаны прямо на дом. При этом соблюдается конфиденциальность и доступная стоимость.

Благодаря использованию технического прогресса зарабатываются немалые деньги и растет число патентов на разработке в сфере нанотехнологий. В этой области возникают вопросы юридического характера, которые связаны в точном определении нанотехнологии, так как это имеет конечное значение для установления прав собственности на различные технологии. На сам термин «нанотехнологии» претендуют: всемирно известный американский физик Ричард Фейман, который прочитал в 1959 году в Калифорнийском технологическом институте лекцию под названием «Внизу полным-полно места» (внизу – в смысле, на уровне атомов и молекул); японец Норе Танигути, предложивший термин «нанотехнологии» в 1974 году для описания процесса построения новых объектов и материалов при помощи манипуляций с отдельными атомами; и студент Массачусетского технологического института Эрик Дрекслер, который в своем футуристическом эссе «Машины создания» (1986) писал: «Появление нанотехнологий стало настоящим революционным переходом от манипуляций с веществом к манипуляциям с отдельными атомами для построения принципиально нового вещества». Поэтому создание стандартного словаря на нанотехнологии имеет большое значение для целей интеллектуальной собственности, так как из-за отсутствия словаря технология остается менее точно определенной и затрудняется размежевание интересов собственности. Сама отрасль нанотехнологии особенно отличается своей терминологией: «фуллерен», «нанотрубки», «кванто-

вый бит», «нановолокна» и другие. Процесс разработки стандартов по ключевым понятиям нанотехнологий принесет пользу специалистам по интеллектуальной собственности, поскольку они должны выявлять и защищать интересы собственности [1].

Опыт применения нанотехнологий охватывает помимо интеллектуальной собственности безопасность продукции, фармацевтическую и медицинскую продукцию, международную торговлю и окружающую среду, здоровье и безопасность. В приведенных областях международные стандарты выполняют разные функции: от добровольного применения до требований, имеющих силу закона. Например, агентства США приняли более четырех тысяч добровольных стандартов в сфере закупок и регуляторной деятельности. В минувшем столетии новые технологии прошли исследования при разработке стандартов, которые вносили изменения в законодательство. Вследствие этого инновации интегрировались в экономику, и этот путь подходит и для нанотехнологий. То есть, разработка стандартов на нанотехнологии сделает существенный вклад в международную экономику. Хотя уже сегодня нанотехнологии входят в комплексную глобальную экономику. При этом надо учитывать, что технический комитет ISO отдал охране здоровья человека и защите окружающей среды наивысший приоритет с самого начала работы, организовав для этого рабочую группу, секретариат которой отдан США. Кроме этой группы в ISO первоочередными выбраны еще два направления: 1) терминологии и номенклатуры и 2) измерений и характеристики - с секретариатами Канады и Японии соответственно. Первое заседание комитета проходило в Лондоне в 2005 году.

Учитывая разнообразие нанотехнологий, понятно, что стандартизация требует сотрудничества между разными дисциплинами. Некоторые комитеты уже опубликовали стандарты относительно наноразмерных технологий и управления. Помимо ISO и Международная электротехническая комиссия (МЭК) имеет ряд комитетов, которые касаются достижений в сфере нанотехнологий. Также имеются другие организации, которые заинтересованы в разработке стандартов. Ряд небольших стран хотели бы принимать участие, но не имеют национальных инфраструктур. Для этих стран можно брать участие в региональной стандартизации по нанотехнологиям в рамках формальной связи. С экономической точки зрения предусматривается, что нанотехнологии сделают ежегодный взнос более 1 трлн долларов в мировую экономику до 2015 года. Также ожидается, что нанотехнологии станут разрушительной силой разнообразных отраслей промышленности в 21 веке.

Развитию нанотехнологий сопутствуют два подхода. Один из них – это подход «сверху вниз» на основе дальнейшего развития и улучшения существ-

вующих методов микро-изготовления. Такой подход позволяет заменить обычные промышленные технологические системы на нанотехнологии, в результате чего он может называться «Эволюцией нанотехнологий». Особенно это проявляется в информационных технологиях и электронной промышленности. С точки зрения стандартизации на этом этапе существующий стандарт может быть относительно легко пересмотрен или, когда требуется, будет принят новый стандарт. Другой подход – метод «снизу вверх» основывается на накоплении наноструктур на атомном уровне. Этот революционный подход направлен на инновации в промышленные технологии. В промышленности изобретения и создание новых наноматериалов обычно опережают практическое использование или применение. Стандартизация в рамках этого подхода является «последовательной» стандартизацией, а сами стандарты или эталоны должны иметь в таком случае более высокий приоритет. Показательным для этого подхода является открытие углеродных нанотрубок. На сегодня хорошо известно, что атомы углерода могут выстраиваться в форме футбольного мяча, то есть сферы, названной фуллереном. Теоретически про это было сообщено в 1970 году, а фактически выявлено в 1985 году. За открытие фуллеренов присуждена Нобелевская премия в 1996 г. Углеродная нанотрубка и фуллерен являются типичными представителями материалов, которые найдут применение в подходе к нанотехнологиям «снизу вверх». Первое открытие с использованием электронного микроскопа было сделано в 1991 году и состояло в том, что атомы углерода разместились линейно в форме трубки. За создание сканирующих микроскопов: туннельного и атомно-силового вручена Нобелевская премия в 1992 году. Далее были созданы разнообразные надструктуры нанотрубок: одностенные, двухстенные, многостенные, наноизогнутые и т.д. Таким трубкам уготовано большое применение из-за их важных показателей качества: 1) сила на разрыв в 100 раз крепче железа; 2) мобильность электронов – в 1000 раз мобильнее электронов в транзисторах; 3) теплопроводимость в несколько раз выше, чем у алмазов; 4) плотность на половину выше плотности алюминия; 5) углеродная нанотрубка может быть металлической или полупроводниковой и ряд других показателей. Эти возможности нанотрубок уже были продемонстрированы японской электронной компанией использованием их в персональных компьютерах как демонстрации одного из достижений национального проекта.

Сегодня ученые представляют себе три основных направления развития нанотехнологии. Во-первых, сборка новых материалов с необычными свойствами от сверхпрочных углеродных нанотрубок до получения графена (Нобелевская премия А. Гейму и К. Новоселову за 2010 г.), из которого можно получить сверхпрочную электропроводящую пленку. Во-вторых, производство электрон-

ных микрочипов, размеры которых будут сопоставимы с молекулами. Известный изобретатель аппарата для чтения незрячим людям Рэй Курцвейл прогнозирует, что в ближайшие 25 лет компьютеры уменьшатся в размерах в 100 тысяч раз, а их быстродействие и возможности возрастут в миллиарды раз, что приведет к появлению устройств размером с клетку крови. Эти устройства можно будет вводить в тело и мозг человека, чтобы поддерживать его здоровье и расширить интеллектуальные возможности. Так, американские исследователи из университета Мичигана разработали практически полноценный компьютер, объем которого слегка превышает кубический миллиметр. Он предназначен для имплантации в полость глаза для своевременного обнаружения глаукомы. В конструкцию компьютера входит процессор с ультранизким энергопотреблением до 5,3 нановатт энергии, модуль памяти, солнечная батарея, сенсор внутриглазного давления и радиопередатчик, который может передавать данные на внешнее считывающее устройство. Один из создателей этого компьютера планирует разрабатывать такие же маленькие, но многозадачные устройства для наблюдения за состоянием всего тела, окружающей среды, построек и прочих объектов.

Самым перспективным считается третье направление по созданию нанороботов размером с молекулу. Эксперты журнала «Scientific America» ожидают их появление в 2025 году. Следствием этого станет революция в сельском хозяйстве: нанороботы будут производить пищу, заменив сельскохозяйственные растения и животных. Должна стабилизироваться экологическая обстановка – новая нанотехнологическая промышленность уже не будет производить отходы, отравляющие Землю, а нанороботы смогут уничтожить последствия старых загрязнений. Пока же список товаров, созданных с помощью нанотехнологий, довольно мал, но уникален на сегодня. Так, в Англии при помощи нанотехнологий выращивают из пищевых отходов дисплеи. Американские ученые из Калифорнийского технологического института заявили о том, что им удалось собрать компьютер из молекул рибонуклеиновой кислоты (РНК) внутри живой клетки.

Главная научная загадка нанобактерий в их размерах до 20 нм, хотя самый маленький организм не может быть меньше 140 нм (исходя из размеров ДНК). Доктор Андрей Зоммер из Ульмского университета (Германия) считает, что нанобактерии занесло из космоса, так как ученые из НАСА настаивают, что эти нанобактерии были обнаружены при исследовании осколка метеорита, упавшего в Антарктиде. Исследователи университета Глазго в Шотландии предложили использовать для изучения других планет компьютерные микрочипы в пластиковой оболочке, которые смогут менять свою форму при подаче электрического импульса и, таким образом, двигаться в заданном направлении. Профессор центра исследований в области наноэлектроники в Глазго Джон Баркер с коллегами

создали математическую модель объединения 50-ти таких микрочипов в единый кибернетический нанобот. Одно из возможных применений миллиардов наноботов может стать поиск и обезвреживание опасных биологических и химических материалов. Главной проблемой здесь является нарушение контакта одного из нанороботов с основной группой и его непредсказуемое действие. Об этом говорится и в работе Э. Дрекслера и К. Феникса [3]. Наряду с этими виртуальными нанороботами специалисты НАСА утверждают об открытии нанобактерий, которые размножались в питательном растворе и не поддавались уничтожению – ни антибиотиками, ни химией, ни жестким гамма-излучением.

Таким образом, за последнее десятилетие три открытия в нанотехнологии оценены Нобелевскими премиями. И это далеко не все открытия в этой области, которые должны повлиять на развитие прикладных наук в разных отраслях.

Есть надежда, что и в Украине нанотехнологиям будет уделено должное внимание. На это нацелено заявление Президента Украины, что будет учтен опыт американской «Силиконовой долины» и российского «Сколково», а также упрочнится связь науки и бизнеса, образования и производства. В конце 2011 года в Украине планируется создать ВУЗ, который будет готовить специалистов, занимающихся производством с использованием информационных и нанотехнологий.

Побочным отрицательным эффектом при производстве наноматериалов и работе с ними может стать увеличение взвешенных частиц в воздушной массе. Одним из авторов статьи разработаны респираторы (А.С. №720849 и А.С. 720849), которые защищают органы дыхания от аэрозольного, радиоактивного и бактериологического воздействия. Несмотря на давность этих изобретений, они не потеряли актуальности и сегодня (последнее устройство опубликовано в открытой печати не подлежит) [4].

**Список литературы:** 1. Кристофер Бел, Марта Марранесе, Филипп Моффат «Роль стандартов в отрасли нанотехнологий для информирования международного правового общества». - «Інформаційний бюлетень з міжнародної стандартизації», №1. - Київ 2008 - с. 97-99. 2. Шонго Ичимура, Моту Юмура «Углеродные трубки и фуллерены в нанотехнологиях». - «Інформаційний бюлетень з міжнародної стандартизації», №1. - Київ 2008. - с. 88-90. 3. D. Drexler, C. Phoenix: «Safe exponential manufacturing», Nanotechnology 15, August 2004. - pp 869-872. 4. Гаркавий Е.Я., Гребняк В.П., Дуганов Г.В. «Респиратор», авторское свидетельство №720849.

## **ВЫБОР ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ КОЛЕСА ДВИЖИТЕЛЯ БСП ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА**

**Мирошниченко О. А., Горобец И. А.** (*ДонНТУ, г.Донецк, Украина*)

*Igor.gorobets@dtf.donntu.edu.ua*

В настоящее время уголь остается основным топливно-энергетическим сырьем Украины, гарантирующим энергетическую безопасность и экономическую независимость страны [1]. Угольная промышленность Украины представлена главным образом предприятиями Донецкого, Львовско-Волинского каменноугольных и Днепровского бурогоугольного бассейнов. Основной базой каменного угля Украины является Донбасс.

Проведенный в работе [1] анализ применяемого горно-шахтного оборудования в шахтах Украины показал, что в 90% комплексно-механизированных забоев используется оборудование, которое не соответствует современному техническому уровню, недолговечно и не приспособлено для работы в сложных горно-геологических условиях. Поэтому для повышения производительности горно-шахтных работ и успешного использования природного богатства необходимо применение высокопроизводительного и автоматизированного горно-шахтного оборудования, которое обладает высокой долговечностью и обеспечивает наименьшие простои в работе, связанные с износом или поломкой деталей и узлов изделия.

Одной из основных машин, применяемых в шахтах для добычи угля, является очистной комбайн. Практически все современные отечественные и зарубежные очистные механизированные комплексы оснащаются комбайнами с бесцепной системой подачи (БСП), которая состоит из зубчатого колеса (звездочки) перекатывающегося по зубчатой (цевочной) рейке [2].

Поскольку БСП очистных комбайнов эксплуатируются в тяжелых шахтных условиях [3], где имеет место значительное изменение межосевого расстояния (до 15%), в связи с появлением знакопеременных радиальных усилий [4], и изменение шага зубьев рейки (до 3%), из-за погрешностей изготовления элементов рейки и преодоления стыков реечного става [4]. В результате чего мгновенный КПД зубчатой передачи БСП находится в пределах 0,3 – 0,93 [5].

Согласно исследованиям [2] точность изготовления зубчатых элементов колесно-реечных механизмов влияет на кинематические и силовые характеристики работы движителей очистных комбайнов.

Зубчатые колеса движителей БСП (рис. 1) – конструктивно и технологически сложные изделия. В качестве материала колеса используется высококачественная конструкционная высоколегированная сталь 20Х2Н4А, которая является труднообраба-

тываемой. В качестве заготовки зубчатого колеса движителя БСП целесообразно использовать поковку с коэффициентом использования материала 0,5 – 0,6. Поэтому процесс изготовления зубьев колеса сопровождается удалением значительного слоя металла, следовательно технологический процесс изготовления сопровождается значительным временем обработки и возникновением погрешностей при изготовлении.

Основной задачей при проектировании операции обработки зубьев колеса является достижение более высоких показателей точности и производительности по сравнению с применяемыми на сегодняшний день технологическими процессами изготовления.

Производство зубчатых колес движителя БСП имеет, в основном, мелкосерийный или среднесерийный характер. Для обеспечения большей точности изготовления целесообразно разделить обработку зубчатого венца колеса движителя БСП очистного комбайна на предварительную (черновую) и окончательную (чистовую).

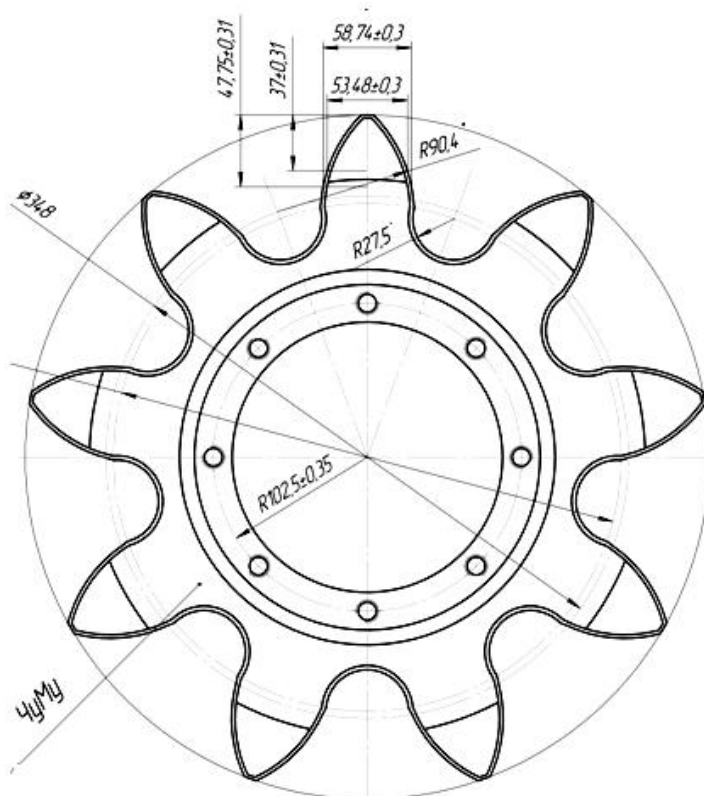


Рис. 1. Вид зубчатого колеса БСП очистного комбайна РКУ13

В настоящее время производство зубчатого венца колеса движителя БСП выполняется методом копирования на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ (или ОЦ) концевой фрезой по контуру. При этом в процессе резания фреза сильно нагружена, что приводит к быстрому ее износу, поломке, а процесс изготовления сопровождается погрешностями обработки.

Можно предложить в качестве альтернативы этому способу следующие стратегии предварительной обработки:

- 1) Послойная обработка резцово-оправкой.
  - 2) Предварительная обработка впадины между зубьями колеса концевым инструментом с последующим фрезерованием,
  - 3) Фрезерование зуборезным инструментом (червячной или дисковой фрезой).
- Стратегия обработки дисковой фрезой обладает высокими показателями производительности и повышает точность обработки в сравнении со способом фрезерования концевой фрезой за один проход, т.к. исключаются отжати-я инструмента.

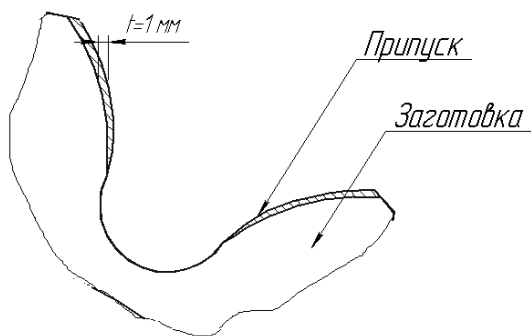


Рис. 2. Схема реализации предварительного фрезерования зубьев венца колеса движителя БСП

Возможно повышение производительности и точности обработки за счет применения рациональной схемы фрезерования, рис. 2, при использовании которой впадина между зубами обработана начисто, а на вершине зубьев останется припуск (около 1 мм) под чистовую обработку.

По такой схеме предварительная обработка зубчатого венца колеса БСП может реализоваться фрезерованием специальной дисковой фасонной фрезой на горизонтально-фрезерном станке, рис. 3. Фрезерование, в этом случае, сопровождается единичным делением заготовки.

На точность углового расположения зубьев зубчатого колеса будет непосредственно влиять точность делительного диска поворотного стола, т.е. погрешности последнего будут копироваться на готовое изделие в соответствии [6]:

$$K = r/r_{\text{дд}}, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус заготовки,  $r_{\text{дд}}$  – радиус делительного диска.

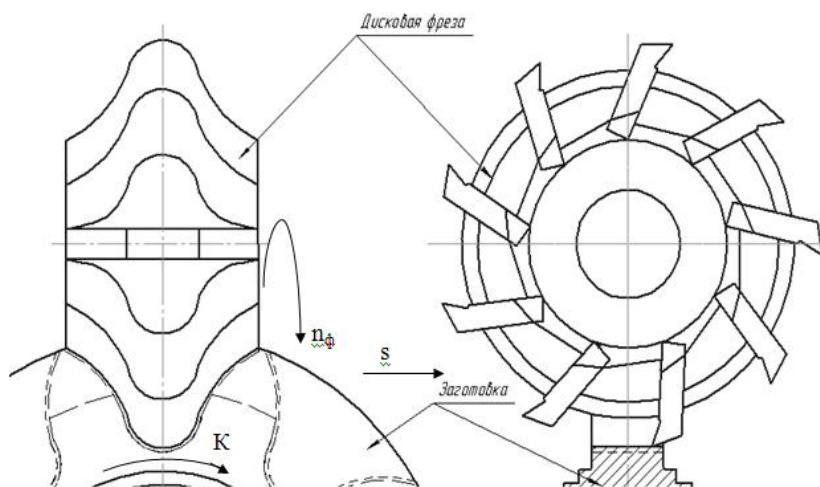


Рис. 3. Фрагмент наладки горизонтально-фрезерной операции зубчатого венца колеса движителя БСП дисковой фасонной фрезой

Для чернового нарезания зубьев возможно применение сборных фасонных дисковых фрез с острозаточенными зубьями, перетачивание которых производится каждый раз по профилю, что дает возможность получить задние углы порядка 10-15°. Сборные инструменты обладают целым рядом преимуществ по сравнению с монолитными [7]. Они позволяют производить смену каждого из зубьев в отдельности в случае его непригодности к дальнейшей работе (повышенное затупление, выкрашивание режущих кромок, скол пластинки, поломка



зуба и т.п.). Корпус инструмента может быть использован для многократной замены всех окончательно изношенных зубьев на комплект новых зубьев. Режущий материал (быстрорежущая сталь Р6М15) используется только на изготовление зубьев, что дает значительную экономию в его расходе.

Основными конструктивными параметрами фрез с острозаточенными зубьями являются диаметр фрезы, число зубьев и их шаг, форма зуба, его высота, радиус закругления у основания зуба и геометрические параметры режущих элементов фрез. Диаметр фрезы является важным конструктивным элементом. Он влияет на образующуюся при резании стружку. Чем больше диаметр фрезы, тем больше длина дуги резания и меньше средняя толщина срезаемого слоя и тем больше ее стойкость.

Диаметр фрезы и его форма, рис.4, определяется конструктивным методом, т.к. профиль зубьев фрезы должен соответствовать тому профилю, который заложен ранее, рис 2. Диаметр фрезы для обработки зубчатого венца движителей БСП принимаем 300мм. Диаметр оправки - принимаем равным 100мм.

Число зубьев у различных фрез зависит от характера работы и режимов резания. Принимаем из конструктивных соображений число зубьев дисковой фрезы, которое равно 9. Шаг фрезы равен длине окружности фрезы, деленной на число зубьев, т.е:

$$t = \frac{\pi D}{z} \quad (2)$$

$$t = \frac{\pi 300}{9} = 104_{мм} \quad (3)$$

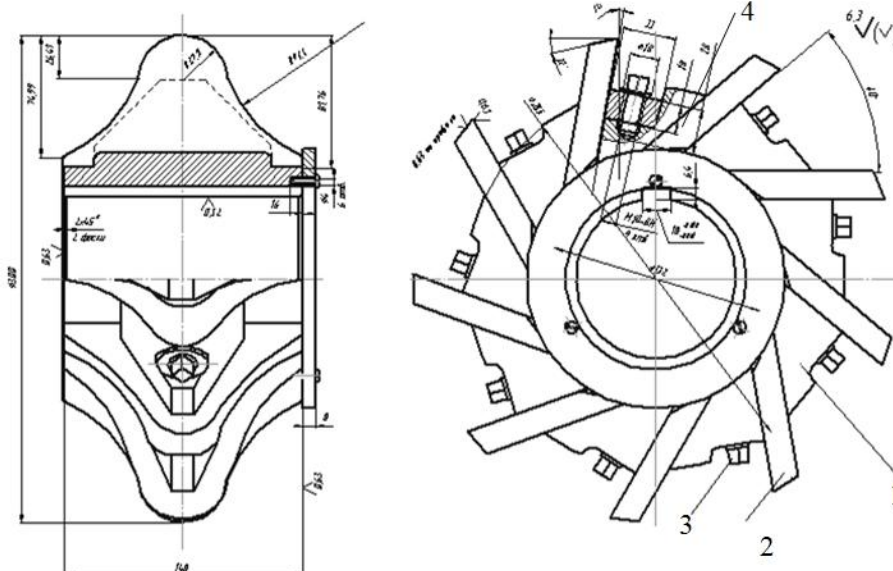
Наличие положительных задних углов у инструмента является необходимым условием обеспечения процесса фрезерования зубчатого колеса. Величины задних углов, рис. 5, зависят как от конструкции инструмента, так и от технологических параметров. Их рекомендуется принимать равными 8 - 15°. Примем задний угол равным 12°. Передний угол при обработке стали согласно [8] принимаем 10°.

Для точной установки зубьев дисковой фрезы и предотвращения их перемещения вдоль оси предусмотрена крышка на правом торце диаметром  $\varnothing 160$ , которая крепится к фрезе с помощью винтов.

Для передачи крутящего момента инструменту в конструкции фрезы предусмотрен шпоночный паз 18Х11Х148 ГОСТ 23360-78.

Окончательный профиль дисковой фасонной фрезы для предварительной обработки зубьев зубчатого колеса очистного комбайна представлен на рис. 6. Сборная фреза состоит из корпуса 1 с девятью пазами прямоугольного сечения,

Корпус сборной дисковой фрезы изготавливается из качественной углеродистой стали 40, 40Х, 50, т.к. корпус фрезы используется многократно, то он должен обладать необходимой износостойкостью и твердостью. Это достигается термообработкой до твердости 40 – 45 HRC.



294

Точность инструмента в значительной мере зависит от точности изготовления пазов. К пазам предъявляются жесткие требования: радиальное биение дна паза не должно превышать 0,01мм. Накопленная погрешность шага паза не более 0,04мм. Смещение базовой стороны паза от оси корпуса выдерживается точностью до 0,01мм.

Таким образом, при обработке профиля зубьев колеса движителя БСП имеет место ряд стратегий, связанных с особенностями конструкции колеса, его материалом и т.п. Предварительная обработка зубьев зубчатого колеса движителя БСП при двухступенчатом методе обработки (предварительная и чистовая) может быть реализована фрезерованием с единичным делением специальной дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке. Разработана схема конструкции специальной сборной фрезы для предварительной обработки зубчатого венца колеса БСП, позволяющую реализовать одновременно и предварительную, и окончательную обработку впадины между зубьями при черновой обработке венца колеса.

**Список литературы:** 1. Грядущий Б.А., Мухин Е.П., Грядущий В.Б. Стратегические направления возрождения угольной отрасли // Уголь Украины. – 2007. – № 1. – с. 9. 2. Бабенко М.О. Исследование точности изготовления реек бесцепных систем подач горных комбайнов // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы/: Материалы восьмого научно-практического семинара. Г. Донецк, 17-20 апреля 2007 г. В 3-х томах. Т.2 – Донецк, ДонНТУ, 2007 – с. 67-70. 3. Горобец И.А., Русланов Р. Г., Оптимизация геометрии зацепления колесно-реечных движителей// Качество машин: Сб. тр. IV международная научно-техническая конференция 10-11 мая 2001 г. Г. Брянск. – Брянск: БГТУ, 2001 – Т.1. – с. 27-29. 4. Горобец И.А. Результаты исследования параметров зацепления движителей БСП очистных комбайнов Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научн.-техн. сб.,- 1991, вып. 88.- с. 31-36. 5. Горобец И. А., Бабенко М. О. "Влияние погрешности профиля зубьев на характеристики колесно-реечных движителей" в сб. тру. XIII Международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006г. В 5-х томах. - Донецк: ДонНТУ, 2006. Т1 - с. 267-270. 6. Зубофрезерование колес цевочных передач внешнего зацепления: Дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01. – М.: РГБ, 2006. 7. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ.ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – с. 846. 8. Червериков С.С. «Металлорежущие инструменты. Проектирование и производство». – М.: Высшая школа, 1965, - 724с.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Аль-Судани Т.Т., Михайлов Д.А. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

**Введение.** В настоящее время в машиностроении широко используются различные методы повышения эксплуатационных свойств изделий [1, 2]. Особенно эффективным для решения этих вопросов является применение вакуумных ионно-плазменных покрытий поверхностей изделий. Однако нанесение покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий является сложным процессом, особенно это проявляется в условиях глубоких отверстий из-за возможности появления теневых зон на поверхностях. Решению этого вопроса посвящен ряд работ [3, 4]. При этом отметим, что, в настоящее время существует проблема, связанная с необходимостью повышения эффективности нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий (рис. 1.).

Цель данной работы заключается в повышение производительности технологических систем для напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий за счет обеспечения рациональной концентрации и структуры рабочих позиций установки. В соответствии с поставленной целью в работе планируется решить следующие задачи: разработать структурно-логические выражения по определению основных параметров производительности в зависимости от структуры технологической системы, исследовать особенности структурных вариантов технологической системы и определить их влияние на параметры производительности, представить зависимости параметров производительности от особенностей процесса нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий.

**Результаты и обсуждения.** Можно отметить, что проблема повышения производительности выполняется особенно эффективно за счет широкого применения принципа концентрации рабочих позиций в технологической системе. Однако использование этого принципа должно базироваться на основных особенностях структуры рабочих позиций в вакуумной камере и параллелизме реализации технологических воздействий на предметы обработки. В этом случае общее количество рабочих позиций определяется по следующей формуле:

$$v_i = \prod_{k=1}^p v_{ik}, \quad (1)$$

где  $v_i$  - общее количество рабочих позиций технологической системы;

$v_{ik}$  - количество позиций в подсистемах  $k$  – го класса установки;

$p$  - количество классов подсистем установки.



Рис. 1. Варианты изделий с покрытиями на ВЦП изделий: а – направляющие кольца насосов, б – втулки подшипников скольжения, в – полумуфты прокатного стана

изделий в технологической зоне обеспечивает возможность параллельного нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности множества изделий. Следует отметить, что для реализации принципа концентрации, обеспечения заданной структуры рабочих позиций и выполнения процесса напыления, вакуумных ионно-плазменных покрытий необходимо реализовать необходимую кинематику движения рабочих позиций, подсистем и всего поворотного устройства [3]. Выполнение этих движений необходимо для осуществления равномерности нанесения покрытий на поверхности для всех изделий в процессе и исключения влияния эффекта «теневая зона», так как в вакуумной камере располагается большое количество изделий. А так же это потребно для выполнения стабильности других параметров технологического процесса.

Можно отметить, что состав структуры рабочих позиций оказывает существенное влияние на цикловую производительность технологической системы. Она находится в функциональной зависимости от числа классов подсистем и от количества позиций в каждой подсистеме. Однако при формировании структуры элементов и подсистем пово-

Количество классов подсистем и количество позиций в подсистемах установки оказывает существенное влияние на общее количество рабочих позиций. Поэтому на базе этих параметров, возможно, вести решение вопросов обеспечения заданной производительности технологической системы.

Для обеспечения принципа параллелизма при нанесении покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий в вакуумной камере необходимо определенным образом расположить рабочие позиции и реализовать их необходимую кинематику движений [3] в технологической системе. Эти вопросы решаются с помощью обеспечения параллельно действующей структуры рабочих позиций в вакуумной камере.

Принцип концентрации

ротного устройства следует учитывать компактность рабочих позиций в технологической зоне. От этого критерия зависит общая производительность всей технологической системы. Поэтому процесс проектирования поворотного устройства следует вести с учетом компактности на базе принципов пространственной ориентации и функциональной ориентации рабочих позиций в вакуумной камере.

Заметим, что на цикловую производительность оказывает существенное влияние длительность полного технологического цикла нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий. К примеру, для установок типа Булат (Булат – 3, Булат – 6, ННВ 6.6-И1), длительность полного технологического цикла может достигать от одного до трех часов. Общая длительность полного технологического цикла зависит от двух составляющих, а именно основного и вспомогательного времени технологического воздействия [4]. Эти параметры на практике могут быть различны. Это зависит от особенностей оборудования, параметров его эксплуатации и обслуживания, а также выполнения вакуумной гигиены.

На рис. 2 представлена зависимость цикловой производительности установки от параметров длительности полного технологического цикла нанесения покрытий. Здесь, на рис. 2,а показана зависимость цикловой производительности от основного времени технологического воздействия для структурного варианта, представленно-

го вариантом структуры  $Str_4 = \bigwedge_{\eta_{i2}=1}^3 \bigwedge_{\eta_{i1}=1}^3 y_{i(\eta_{i2}, \eta_{i1})}$ , для различных значений вспомогательного времени. На рис. 2,б показана зависимость цикловой производительности от вспомогательного времени технологического воздействия для структурного варианта, представленного вариантом структуры  $Str_3 = \bigwedge_{\eta_{i2}=1}^6 \bigwedge_{\eta_{i1}=1}^3 y_{i(\eta_{i2}, \eta_{i1})}$ , для различных значений основного времени.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить зависимость скорости напыления нитрид титанового покрытия на внутренние цилиндрические поверхности изделий от некоторых параметров, а именно: в зависимости от тока дуги  $I_d$  для фиксированных значений углов наклона продольных осей изделий; и от угла наклона продольной оси изделия для фиксированных значений тока дуги  $I_d$ . Эти данные были получены на установке Булат – 6 со специально модернизированным поворотным устройством [2]. Они дают возможность определять параметры нанесения покрытий от технологических параметров установки.

Для определения влияния скорости напыления покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность изделия на цикловую производительность установки проведены специальные исследования. Эти исследования выполнялись при следующих параметрах процесса:  $v_i = 8$ ,  $t_{o1} = 0$  с,  $t_{o2} = 600$  с,  $t_{o4} = 900$  с,  $t_g = 1500$  с. Они позволили определить зависимость цикловой производительности вакуумной ионно-плазменной установки от скорости напыления покрытия на внутренние цилинд-

рические поверхности изделий для нескольких вариантов толщин покрытий, а также зависимость толщины напыляемого покрытия на цилиндрическую внутреннюю поверхность изделия от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы. Данные исследования выполнены для следующих параметров процесса:  $t_{o1} = 0$  с,  $t_{o2} = 600$  с,  $t_{o4} = 900$  с,  $v_k = 0,3 \cdot 10^{-2}$  мкм,  $t_g = 1500$  с, а также при фиксированных параметрах тока дуги.

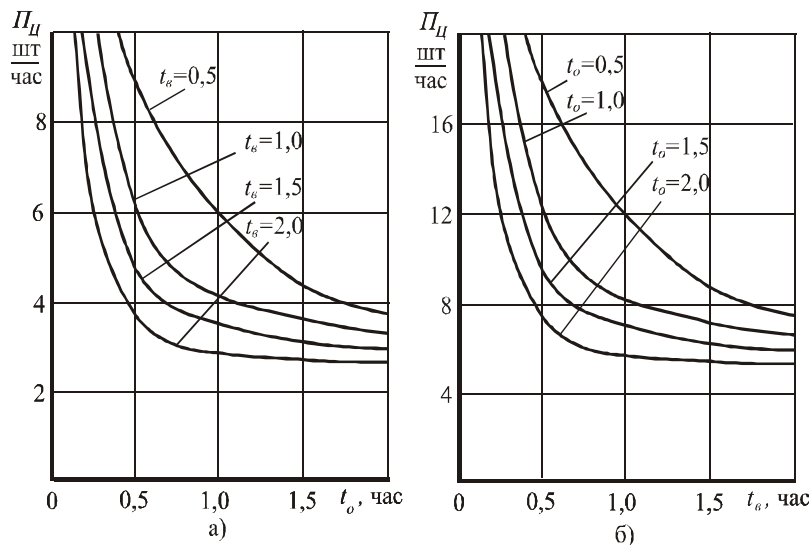


Рис. 2. Зависимость цикловой производительности установки от параметров длительности полного технологического цикла нанесения покрытий: а – основного времени, б – вспомогательного времени

гической системы и определено их влияние на параметры производительности. При этом полученные зависимости параметров производительности от особенностей процесса нанесения покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий позволяют производить направленный поиск структурных вариантов технологической системы для определенных конкретных практических условий нанесения покрытий на различные изделия машиностроения.

**Список литературы:** 1. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент / Ю.Н. Внуков, А.А. Марков, Л.В. Лаврова, Н.Ю. Бердышев. – К.: Тэхника, 1992. – 143 с. 2. Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Специальные ионно-плазменные вакуумные покрытия изделий машиностроения // Инженер. Студенческий научно-технический журнал. – Донецк: ДонНТУ, 2004. №5. С. 12 – 16. 3. Михайлова Е.А. Некоторые особенности напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий машиностроения // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. Вип. 31. С. 124-132. 4. Михайлов А.Н., Михайлов В.А., Михайлова Е.А. Основы формообразования и повышения производительности при напылении вакуумных ионно-плазменных покрытий изделий машиностроения // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип. 29. С. 132-147.

**Выводы.** В заключении можно отметить, что выполненные исследования позволили разработать структурно-логические выражения по определению основных параметров производительности в зависимости от структуры технологической системы. А это дает возможность выявлять наиболее рациональные структурные варианты компоновки рабочих позиций в вакуумной камере технологической системы. А также в данной работе исследованы особенности структурных вариантов техно-



## МАРШРУТИЗАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ В ПОТОЧНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Ищенко А.Л., Михайлов Д.А. (ДонНТУ,  
г.Донецк, Украина)**

Функционирование поточно-пространственной технологической системы [1] представляет собой сложный процесс, который задается ее структурой и определяется как множество последовательных во времени состояний множества блоков технологического воздействия (элементов). Их функционирование – это стабильная способность к целенаправленным технологическим воздействиям орудий и средств обработки (блоков технологического воздействия) на изделия, выполняемых в соответствии со структурой технологической системы по заданному алгоритму.

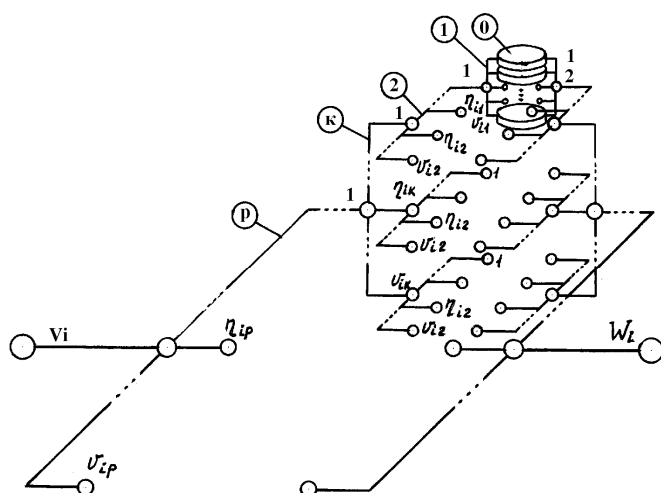


Рис. 1. Структура многомерной супергруппы

Поточно-пространственная технологическая система непрерывного действия [1] обычно состоит из большого числа подсистем и технологических элементов (блоков технологического воздействия), структура, которой строится на базе многомерных супергрупп (рис.1). Это вызывает сложный процесс функционирования такой технологической системы, который проявляется возникновением сложной структуры маршрутов движения изделий по позициям и подсистемам

технологической системы. При этом определение и управление показателями качества функционирования поточно-пространственной технологической системы невозможно без исследования параметров маршрутизации изделий. Поэтому в данной работе выполняются исследования, связанные с определением основных параметров маршрутизации изделий в поточно-пространственных технологических системах с разветвляющимися потоками и имеющих многомерную структуру блоков технологического воздействия.



В работе [1,2,3] решены вопросы определения параметров маршрутизации изделий в поточно-пространственной технологической системе, структура которой описывается многомерной супергруппой и имеющей один входной и выходной поток изделий. Можно заметить, что определение параметров маршрутизации изделий для поточно-пространственной технологической системы с помощью обычной алгебры групп [4] не представляется возможным. Потому в работе [1] разработана многомерная алгебра группы, позволяющая определить параметры маршрутизации изделий, проходящих по многомерным супергруппам и представляющих собой замкнутые рекуррентные многомерные группы.

Супергруппа (рис.1) множества  $A_i$  элементов (блоков технологического воздействия) порядка  $v_i$  состоит из множества  $p$ -го класса подсистем  $A_{ip}$  порядка  $v_{ip}$ , каждая из которых также состоит из множества  $(p-1)$ -го класса подсистем  $A_{i(p-1)}$  порядка  $v_{i(p-1)}$  (более низкого класса), которые также состоят из множества подсистем еще более низкого класса, и так далее, причем последние подсистемы состоят уже из элементов (блоков технологического воздействия). Здесь следует отметить, что множество подсистем каждого класса в поточно-пространственной технологической системе является замкнутой рекуррентной циклической группой, каждая из подсистем которой в свою очередь является замкнутой рекуррентной циклической группой, и так далее. То есть в супергруппе существует многомерность построения элементов. Порядок подсистем многомерной супергруппы определяется множеством:

$$v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ip}\},$$

где  $v_{ik}$  порядок подсистемы  $k$ -го класса;

$p$  - число классов подсистем супергруппы.

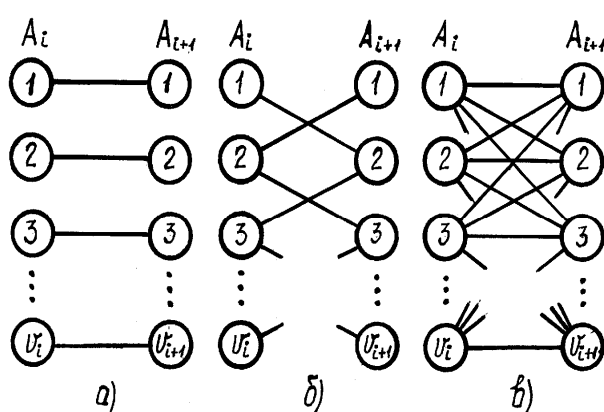


Рис.2. Отображения множества  $A_i$  в  $A_{i+1}$ : а – инъективное, б – биективное, в – сюръективное

Можно заметить, что отображение одномерных групп, например  $A_i$  на  $A_{i+1}$  может быть трех типов [5] (рис.2):

- инъективное отображение (рис.2, а);
- биективное отображение (рис.2, б);
- сюръективное отображение (рис.2, в).

Основные параметры этих отображений для одномерных циклических рекуррентных

групп могут быть найдены с помощью алгебры групп [4]. С точки зрения маршрутизации изделий в технологических системах непрерывного действия, выполненных на базе роторных или роторно-конвейерных линий [6], отображения множеств (рис.2) можно выразить с помощью следующих видов маршрутизации изделий:

- простая маршрутизация (рис.2, а);
- неполная маршрутизация (рис. 2,б);
- сложная маршрутизация (рис.2, б).

Если множества  $A_i$  и  $A_{i+1}$  представляют собой многомерные рекуррентные супергруппы [1], то между каждым классом подсистем может действовать одно из трех типов отображений, число которых будет равно количеству классов подсистем супергруппы. Общее число возможных различных композиций отображений в супергруппе по классам подсистем определяется по формуле:

$$S = 3^{p_i},$$

где  $p_i$  - число классов подсистем  $i$  – й супергруппы поточно-пространственного технологического модуля.

Можно отметить, что когда взаимодействующие соседние поточно-пространственные технологические модули имеют только один входной и выходной потоки изделий, то здесь параметры отображений определяются на основании методики приведенной в работах [1, 2, 3]. Однако на практике возможны случаи, когда поточно-пространственная технологическая система имеет сложную структуру, выполненную в виде супергрупп, содержит несколько входных или выходных потоков изделий. Это особенно часто встречается на многоменклатурных и сборочных технологических системах. Заметим, что для технологических систем состоящих из одноциклических групп и имеющих несколько

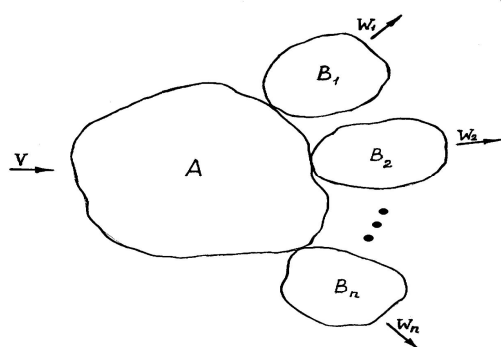


Рис. 3. Гипотетическая модель поточно-пространственной технологической системы с несколькими входными или выходными потоками

входных или выходных потоков изделий параметры отображений элементов групп (параметры маршрутизации) определены в работе [7]. При этом определение параметров маршрутизации изделий в поточно-пространственных технологических системах, с разветвляющимися потоками изделий, является крайне необходимой задачей для изучения и управления их процессом функционирования. Поэтому далее приводится решение этой проблемы на

На рис. 3 показана гипотетическая модель поточно-пространственной технологической системы с разветвляющимися потоками изделий. Здесь представлено:  $V$  – вход изделий,  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$  – обобщенный выход изделий,  $A$  – входной поточно-пространственный технологический модуль (входная многомерная замкнутая рекуррентная супергруппа элементов (блоков технологического воздействия)),  $B_i$  –  $i$ -й выходной поточно-пространственный технологический модуль ( $i$ -я выходная многомерная замкнутая рекуррентная супергруппа элементов (блоков технологического воздействия)),  $n$  – общее число выходных технологических модулей.

$$A = \{A_p, A_{p-1}, \dots, A_k, \dots, A_2, A_1\}. \quad (1)$$
$$\left. \begin{aligned} A_p &= \{A_{(p-1)1}, A_{(p-1)2}, \dots, A_{(p-1)u_p}\}; \\ A_{p-1} &= \{A_{(p-2)1}, A_{(p-2)2}, \dots, A_{(p-2)u_{(p-1)}}\}; \\ &\bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ A_k &= \{A_{(k-1)1}, A_{(k-1)2}, \dots, A_{(k-1)u_k}\}; \\ &\bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \\ A_2 &= \{A_1, A_{12}, \dots, A_{1u_2}\}; \\ A_1 &= \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1u_1}\}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$A_{(k-1)m}$  -  $\eta$ -я подсистема  $(k-1)$ -го класса в подсистеме  $k$ -го класса;

$a_{lm}$  –  $m$ -й элемент множества  $A_l$ .

$$B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}. \quad (3)$$
$$B_i = \{B_{ip_i}, B_{i(p_i-1)}, \dots, B_{ik_i}, \dots, B_{i2}, B_{i1}\}, \quad (4)$$

[illegible]

303

$n$  - число выходных технологических модулей;

$B_{i(k-1)\eta}$  -  $\eta$ -я - подсистема  $(k-1)$ -го класса в подсистеме  $k$ -го класса множества  $i$ -го выходного технологического модуля;

$v_{ki}$  - порядок множества  $B_{ik}$ ;

$b_{ilm}$  -  $m$ -й элемент множества  $B_{il}$ ;

$p_i$  - число классов подсистем множества  $B_i$ ;

В системах уравнений (2) и (5) общий порядок блоков технологического воздействия множеств  $A$  и  $B_i$  определяется выражениями:

$$u = \prod_{k=1}^p u_k, \quad (6)$$

$$v_i = \prod_{k_i=1}^p v_{ki}. \quad (7)$$

Можно отметить, что в случае, когда один из поточно-пространственных технологических модулей технологической системы имеет одномерную замкнутую структуру, то выражения (1) и (4) принимают следующие значения:

$$\begin{aligned} A &= \{A_1\}, \\ B_i &= \{B_{i1}\}. \end{aligned}$$

Для решения данной задачи зададимся начальными условиями:

1. Поточно-пространственная технологическая система состоит из одного входного технологического модуля и  $n$  выходных, структура которых определяется множествами (1), (2) и (3), (4), (5) или (1),(2), (3), (4), (5) и частично (6), (7).

2. Пронумеруем элементы и подсистемы входного технологического модуля: в подсистеме  $A_1$  1-го класса позиции элементов  $1, 2, \dots, \eta_1, \dots, u_1$ ; в подсистеме  $A_2$  2-го класса позиции подсистем 1-го класса  $1, 2, \dots, \eta_2, \dots, u_2; \dots$ ; в подсистеме  $A_k$ -го класса позиции подсистем  $(k-1)$ -го класса  $1, 2, \dots, \eta_k, \dots, u_k; \dots$ ; в подсистеме  $A_p$   $p$ -го класса позиции подсистем  $(p-1)$ -го класса  $1, 2, \dots, \eta_p, \dots, u_p$ .

3. Пронумеруем выходные технологические модули обозначаемые множеством  $B$  следующими позициями  $1, 2, \dots, i, \dots, n$ .

4. Пронумеруем элементы и подсистемы  $i$ -го выходного технологического модуля: в подсистеме  $B_{i1}$  1-го класса позиции элементов  $1, 2, \dots, \eta_1, \dots, v_1$ ; в подсистеме  $B_{i2}$  2-го класса позиции подсистем 1-го класса  $1, 2, \dots, \eta_2, \dots, v_2; \dots$ ; в подсистеме  $B_{ik_i}$   $k_i$ -го класса позиции подсистем  $(k_i-1)$ -го класса  $1, 2, \dots, \eta_{k_i}, \dots, v_{k_i}; \dots$ ; в подсистеме  $B_{ip_i}$   $p_i$ -го класса позиции подсистем  $(p_i-1)$ -го класса  $1, 2, \dots, \eta_{p_i}, \dots, v_{p_i}$ .

5. Зададимся тем, что первый маршрут проходит по первым позициям элементов и подсистем каждого класса.

6. Позиции и подсистемы каждого класса являются замкнутыми рекуррентными последовательностями.

7. Изделия с входного технологического модуля последовательно поочередно поступают в  $1, 2, \dots, i, \dots, n$  выходные технологические модули, затем циклы повторяются.

Для нахождения параметров маршрутизации изделий в поточно-пространственных технологических системах с разветвляющимися потоками изделий в работе предусматривается выполнить следующее:

- найти общее число различных маршрутов движения изделий по позициям технологической системы;

- установить число изделий, после прохождения которых в технологической системе завершается полный кинематический цикл движения ее элементов и подсистем, то есть случай когда все позиции и подсистемы технологической системы возвращаются в исходное положение;

- определить номера позиций элементов и подсистем технологической системы по которым проходит маршрут любого номера изделия;

- определить число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного технологического модуля, с которыми взаимодействует фиксированная позиция элементов подсистемы 1-го класса  $i$ -го выходного технологического модуля системы.

Решение этих задач является основой определения параметров маршрутизации изделий в разветвляющихся поточно-пространственных технологических системах, без знаний которых не представляется возможным ведение управления показателями качества выпускаемых изделий.

Используя предложения, теоремы и формулы многомерной алгебры групп [1] общее число различных маршрутов движения изделия по позициям технологической системы с разветвляющимися потоками будет определяться на основании следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= \sum_{i=1}^n HOK \left( G, \prod_{k_i=1}^{p_i} v_{k_i} \right); \\ G &= \frac{HOK \left( \prod_{k=1}^p u_{k,n} \right)}{n}, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где –  $N_1$  общее число различных маршрутов движения изделий по позициям технологической системы;

$HOK\left(G, \prod_{k_i=1}^{p_i} v_{k_i}\right)$  - наименьшее общее кратное двух чисел.

При этом количество изделий, после прохождения которых, в технологической системе завершается полный кинематический цикл движений ее элементов и подсистем, определяется по следующей форме:

$$N_2 = nHOK\left[G, HOK\left(\prod_{k_1=1}^{p_1} v_{k_1}, \prod_{k_2=1}^{p_2} v_{k_2}, \dots, \prod_{k_n=1}^{p_n} v_{k_n}\right)\right], \quad (9)$$

В полученной формуле (9) величина  $G$  вычисляется на основании выражения (8).

Номера позиций элементов и подсистем технологической системы, по которым проходит маршрут  $S_t$  любого изделия определяется на основании следующих систем уравнений:

- для входного технологического модуля

$$\left. \begin{aligned} S_t &= m_p u_p + r_p; \\ m_{p-1} + \frac{r_p}{\xi_p} &= m_{(p-1)} u_{(p-1)} + r_{(p-1)}; \\ m_{p-1} + \frac{r_{p-1}}{\xi_{p-1}} &= m_{(p-2)} u_{(p-2)} + r_{(p-1)}; \\ &\bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \\ m_2 + \frac{r_2}{\xi_2} &= m_1 u_1 + r_1, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

- для  $i$ -го выходного технологического модуля

$$\left. \begin{aligned} S_t &= m_n n + i; \\ m_n + \frac{i}{\xi} &= m_{p_i} v_{p_i} + r_{p_i}; \\ m_{p_i} + \frac{r_{p_i}}{\xi_{p_i}} &= m_{(p_i-1)} v_{(p_i-1)} + r_{(p_i-1)}; \\ &\bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \bullet \\ m_2 + \frac{r_2}{\xi_2} &= m_1 v_1 + r_1, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где  $S_t$ — номер изделия поступающего в технологическую систему;

$m_k, m_{ki}$ — целые числа, представляющие повторяемость циклов позиций подсистем  $(k-1)$ - го или  $(k_i-1)$ -го класса в подсистеме  $k$ -го или  $k_i$ -го класса входного или  $i$ -го выходного технологического модуля;

$r_k, r_{ki}$  - номер позиции подсистемы  $k$ -го ли  $k_i$ -го класса входного или  $i$ -го выходного технологического модуля, составляющий маршрут движения  $S_i$  изделия.

Следует иметь ввиду, что при вычислении параметров по системе уравнений (10) необходимо чтобы выполнялись следующие условия:

- для правой части уравнений

$$\text{если } r_k = 0, \text{ то } r_k = u_k;$$

- для левой части уравнений

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } r_k = 0, \text{ то } \xi_k = u_k; \\ \text{если } r_k = 0 \text{ то } \xi_k = a. \end{array} \right\}$$

Для системы уравнений (11) необходимо, чтобы также выполнялись следующие условия:

- для правой части уравнений

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } i = 0, \text{ то } i = n; \\ \text{если } r_{k_i} = 0, \text{ то } r_{k_i} = v_{k_i}; \end{array} \right\}$$

- для левой части уравнений

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } i = 0, \text{ то } \xi = n; \\ \text{если } i = b, \text{ то } \xi = b; \\ \text{если } r_{k_i} = 0, \text{ то } \xi_{k_i} = v_{k_i}; \\ \text{если } r_{k_i} = c, \text{ то } \xi_{k_i} = c. \end{array} \right\}$$

Число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного технологического модуля с которыми взаимодействует фиксированная позиция элементов подсистемы 1-го класса  $i$ -го выходного технологического модуля определяется на основании нахождения порядка нормального делителя [1] и выражается следующими формулами:

$$\left. \begin{array}{l} R_1 = \frac{НОК\left(\prod_{k=1}^P u_k, n\right)}{n}; \\ R_2 = \frac{НОК\left(R_1, \prod_{k_i=1}^{P_i} v_{k_i}\right)}{\prod_{k_i=1}^{P_i} v_{k_i}}, \end{array} \right\}$$

где  $R_1$ – число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного технологического модуля с которым взаимодействует один выходной технологический модуль;

$R_2$ -число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного технологического модуля с которыми взаимодействует фиксированная позиция элементов подсистемы 1-го класса  $i$ -го выходного технологического модуля.

Таким образом, разработанный подход и предлагаемые формулы, полученные на основе многомерной алгебры групп [1], позволяют определить основные параметры маршрутизации изделий в разветвляющихся поточно-пространственных технологических системах. А это дает возможность управлять показателями качества изготовления изделий и функционирования технологических систем, повысить уровень автоматизации производственных процессов на базе технологических систем непрерывного действия.

**Список литературы:** 1. Михайлов А.Н. Разработка методов проектирования высокоэффективных поточно-пространственных технологических систем. Дис... д-ра техн. наук – Харьков: ХПИ 1991. – 498 с. 2. Михайлов А.Н., Тернюк Н.Э. К расчету параметров маршрутизации изделий в поточно-пространственных технологических системах // Известия вузов. Машиностроение, 1990, № 11. С.60-63. 3. Михайлов А.Н. Структура маршрутов и закономерности движений изделий в поточно-пространственных технологических системах // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1998. Вып. 3. С.64-79. 4. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. – М.: Наука, 1971.- 431 с. 5. Математический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 847 с. 6. Фролович Е.Н., Тиняков Г.А. Маршрутизация объектов обработки в автоматических роторных и роторно-конвейерных линиях // Теория машин автоматического действия. М.: Наука, 1970. С. 93-97. 7. Ищенко А.Л., Михайлов А.Н., Кречин Д.Н. Проблемы маршрутизации изделий в роторных системах сборки с разветвляющимися потоками // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1998. Вып. 5. С. 72-77.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДЛОЖКА-ПОКРЫТИЕ

Михайлов А.Н., Сидорова Е.В. (ДонНТУ, Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [sydorova@gmail.com](mailto:sydorova@gmail.com)

**Abstract:** Complexity of the description of physical and mechanical properties of the substrate-coating for coatings PVD complicates their analysis by finite element modeling. To solve this problem, propose a method in which the adhesive properties of the system are described by cohesive elements in a software ABAQUS Explicit.

**Key words:** coating PVD, substrate, cohesive element, ABAQUS Explicit, traction-separation law.

Сложность описания физико-механического состояния системы подложка-покрытие для вакуумных ионно-плазменных покрытий затрудняет их анализ посредством конечно-элементного моделирования. Перспективным решением данной проблемы является представление адгезионных свойств данной системы с помощью введения когезивных элементов в программной среде ABAQUS Explicit.

Для моделирования граничных процессов в структуре подложка-покрытие были использованы следующие физические характеристики TiAlN и WCCo, представленные в таблице 1. Параметры, характеризующие сцепление системы подложка-покрытие, представлены в таблице 2.

Таблица 1- Физические характеристики покрытия TiAlN и подложки WCCo

параметры	подложка WCCo	покрытие TiAlN
размеры (мкм)	100×1000	5×1000
плотность, $\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	14800	7400
модуль Юнга, $E$ (ГПа)	560	600
коэффициент Пуассона, $\nu$	0,23	0,20
теплопроводность, $\lambda$ (Вт м <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> )	55	22
удельная теплопроводность, $c_p$ (Дж кг <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	295	480
коэффициент термического расширения, $\alpha$ (мм·мм <sup>-1</sup> ·°C <sup>-1</sup> )	0,0000045	0,0000094

Таблица 2 - Параметры, характеризующие сцепление системы подложка-покрытие

параметры	значение
отношение между нормальной и тангенциальной жёсткостью, $k_t/k_n$	0,09
энергия разрушения (Дж/м <sup>2</sup> )	4,3
начальное сопротивление, $\sigma_{max}$ (МПа)	71
максимальное сопротивление, $\tau_0$ МПа	4600
критическая скорость освобождения энергии, $G_c$ Н/м	190

С целью моделирования процессов трещинообразования и отслаивания в системе подложка-покрытие используют когезивную модель. В данной модели применяют когезивные элементы малых размеров, которые вводятся в покрытие в нормальном направлении, чтобы охарактеризовать поведение материала при тангенциальных нагрузках. Также имеется когезивный слой между подложкой и покрытием, предназначенный для моделирования поведения материала при нормальных нагрузках. Общая схема модели представлена на рис. 1.

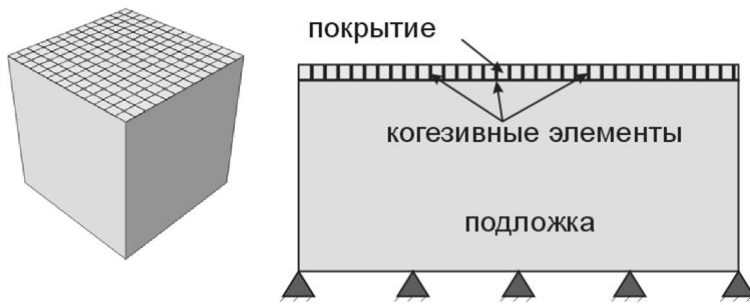


Рис. 1. Когезивная модель системы подложка-покрытие

Поведение когезивной зоны в ABAQUS описывается законом растяжения-разрыва. Для этого предварительно примем поведение системы линейным и эластичным.

Уравнение функции напряжение-сжатие пред-

ставлено в следующем виде:

$$\begin{Bmatrix} t_n \\ t_s \\ t_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{nn} & \square & \square \\ \square & K_{ss} & \square \\ \square & \square & K_{tt} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \varepsilon_n \\ \varepsilon_s \\ \varepsilon_t \end{Bmatrix}$$

где  $t_n$ ,  $t_s$ ,  $t_t$  – номинальные растяжения в нормальном направлении и в двух локальных тангенциальных направлениях,  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_t$  – нормальные напряжения. [1]

Моделирование повреждения осуществляется за счёт начальной линейной реакции когезивного элемента.

Максимальный критерий повреждения описывается повреждением, которое возникает, когда отношение максимального номинального растяжения и максимального номинального сжатия достигнет значения 1. Данный критерий представлен следующим образом:

$$\max \left\{ \frac{t_n}{t_n^0}, \frac{t_s}{t_s^0}, \frac{t_t}{t_t^0} \right\} = 1;$$

$$\max \left\{ \frac{\langle \varepsilon_n \rangle}{\varepsilon_n^0}, \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^0}, \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^0} \right\} = 1. [1]$$

Квадратичный критерий описывает повреждение, которое возникает, когда функция квадратичного взаимодействия с учётом степени номинальных напряжений достигают значения 1. Данный критерий представлен следующим образом:

$$\left\{ \frac{\langle \varepsilon_n \rangle}{\varepsilon_n^0} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s^0} \right\}^2 + \left\{ \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_t^0} \right\}^2 = 1. [1]$$

Развитие повреждения определяется функцией распространяемой энергии в процессе эволюции повреждения (энергия разрушения). Энергия разрушения равна площади под кривой растяжение-разрыв (рис. 3). Поведение материала описывается линейным или экспоненциальным законом.

Нормальная жёсткость:

$$K_n = \frac{\sigma_{max} \cdot e}{\delta_0},$$

где  $\sigma_{max}$  – начальное граничное сопротивление,  $\delta_0$  – длина когезивной зоны [2] :

$$\delta_0 = \left( E \cdot \frac{G_c}{\tau_0^2} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot t^{\frac{3}{4}},$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $G_c$  – критическая скорость освобождения энергии,  $\tau_0$  – максимальное граничное сопротивление,  $t$  – толщина покрытия. [40]

Таким образом:

$$\delta_0 = \left( 6 \cdot 10^{11} \cdot \frac{190}{(4,6 \cdot 10^9)^2} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot (5 \cdot 10^{-6})^{\frac{3}{4}} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}$$

$$K_n = \frac{(4600 \cdot 10^6) \cdot e}{1,4 \cdot 10^{-6}} = 8,931 \cdot 10^{12} \text{ (Н/м}^3\text{)}$$

Отношение между нормальной и тангенциальной жёсткостью  $K_t/K_n$  равно 0.09 [4], откуда тангенциальная жёсткость равна  $0.804 \cdot 10^{12}$  Н/м<sup>3</sup>.

Согласно рекомендациям [2] примем период когезивной зоны равным 4.

Таким образом, моделирование системы подложка-покрытие в программной среде ABAQUS Explicit включает следующие основные этапы: разработка CAD модели, внедрение физических параметров подложки и покрытия, разработка поведения и внедрение когезивных элементов.

**Список литературы: 1.** Khalighi Y. A study of bond between fibre reinforced polymer and concrete under quasi-static and impact loading. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in the faculty of graduate studies (civil engineering). – Vancouver, 2009. **2.** Han J., Siegmund T. Computational simulations of delamination wear in a coating system. // Wear 267. – 2009, p. 1680–1687. **3.** Turon A., Darvila C.G., Camanho P.P., Costa J.. An engineering solution for mesh size effects in the simulation of delamination using cohesive zone models. // Engineering Fracture Mechanics 74. – 2007, p. 1665–1682. **4.** Bouzakis K.-D., Skordaris G., Gerardis S., Katirtzoglou G., Makrimalakis S., Pappa M., Lili E., M'Saoubi R. Ambient and elevated temperature properties of TiN, TiAlN and TiSiN PVD films and their impact on the cutting performance of coated carbide tools. // Surface & Coatings Technology 204. – 2009, p. 1061–1065.

## ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ НОНАМАТЕРИАЛОВ

Михайлов А.Н. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

### 1. Введение

Для повышения эксплуатационных возможностей технических систем работающих в различных областях техники изготавливают их элементы из различных материалов. Наиболее широко используются для элементной базы машин изделия из кристаллических и аморфных материалов с крупнозернистой и субмикроструктурной структурой (рис. 1). Для обеспечения нетрадиционных свойств изделий все шире начинают использоваться материалы с размерами частиц (зерен), расположенных (условно) в верхней и нижней зонах рис. 1. С точки зрения теории

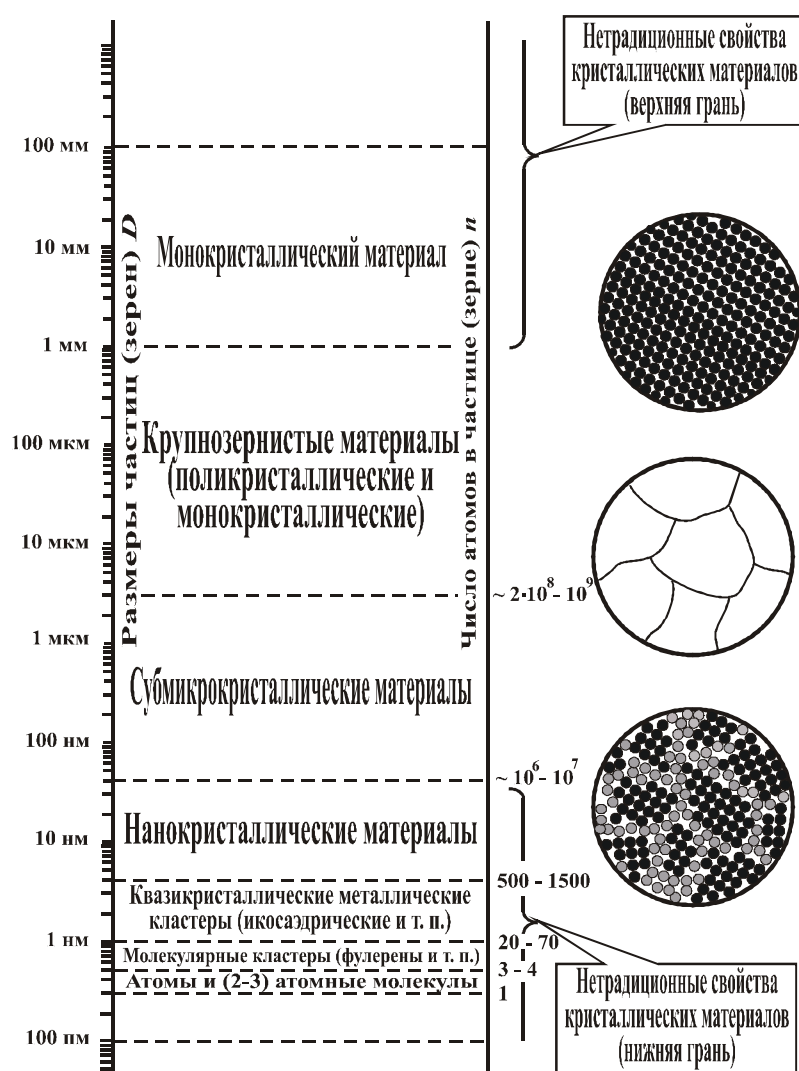


Рис. 1. Структурные группы, классификация кристаллических веществ и материалов по размеру  $D$  частиц (зерен)

структур, эти зоны можно отнести к верхней и нижней граням [1] структурных вариантов материалов, определяемых размерами  $D$  частиц (зерен). Верхняя грань относится к монокристаллическим материалам [2], а нижняя грань к сверхмелкозернистым материалам [3]. Именно в этих областях обнаруживаются новые нетрадиционные свойства материалов и изделий, изготовленных на базе этих материалов. Между этими гранями поликристаллический материал имеет различные переходные свойства, определяемые составом, структурой, дисперсностью и особенностью связей отдельных зерен.

Монокристаллический материал [2] имеет уникальные параметры свойств, которые можно обеспечить за счет однородности структуры монокристалла по объему с учетом анизотропии и незначительных параметров его дефектности. Изделия, изготовленные из монокристаллов, широко используются в микроэлектронике, оптоэлектронике, лазерной и атомной технике. А также в настоящее время монокристаллические материалы начинают использоваться в авиационной и космической технике. Например, для изготовления лопаток и отдельных элементов газотурбинных авиационных двигателей [4] с нетрадиционными свойствами (двигатели 5-го поколения), а также для повышения качества и скорости роста пленок в вакуумных ионно-плазменных установках в качестве подложки применяется монокристаллический материал и так далее. Выращивание монокристаллических материалов может выполняться на базе одно- многокомпонентных систем из различных фазовых состояний, а именно жидкого, газового или твердого. При этом методы выращивания монокристаллического материала определяется материалом и функциональным назначением изделия. Технологии выращивания монокристаллического материала можно отнести к **высоким технологиям**, так как они требуют значительных научно-технических затрат фундаментального и прикладного характеров.

В настоящее время, в технике все шире начинают использоваться наноматериалы [3]. Это обусловлено тем, что с уменьшением размеров элементов (частиц, кристаллитов, зерен) ниже порогового значения (в пределах нижней грани) происходит существенное изменение свойств материала в целом. При этом свойства наноматериалов, элементы (кластеры) которых имеют размеры соответствующие нижней грани (рис. 1), становятся нетрадиционными, и конечно определяются составом, структурой, дисперсностью и связями элементов. Поликристаллические сверхмелкозернистые материалы со средним размером зерен менее 40 нм принято считать нанокристаллическим. Структурные группы и условная классификация кристаллических веществ и материалов по размеру  $D$  частиц (зерен) представлена на рис. 1. Наноматериалы начинают использоваться в авиационной промышленности, в производстве микроэлектронных устройств, при синтезе многослойных покрытий и тому подобного. Для создания сверхмелкозернистых материалов используются нанотехнологии.

**Нанотехнология** это совокупность комбинированных процессов и обеспечения, образованная для выполнения заданного алгоритма технологических воздействий материального, энергетического и информационного характеров, который позволяет одновременно синтезировать и размельчать структуру материала до наноразмеров, а также управлять его свойствами в зависимости от структуры, размеров и связей наноэлементов.

Можно отметить, что в настоящее время разработано множество методов получения наноматериалов [2, 3, 5, 6] и выполнены глубокие исследования

свойств различных наноматериалов [5, 6, 7]. Вместе с тем, проведенный анализ современного состояния особенностей создания нанотехнологий показывает, что сейчас разработаны только отдельные методы получения наноматериалов и нет общих рекомендаций по созданию нанотехнологий. Поэтому эти вопросы нуждаются в дальнейшем исследовании и углублении.

Целью данной работы является разработка общего подхода создания нанотехнологий и повышения качества изделий на базе наноматериалов на основе универсальной структуры синтеза технологических процессов их изготовления и установление закономерностей из структуризации.

В соответствии с поставленной целью в данной работе определены следующие задачи: выполнить анализ существующих методов синтеза нанотехнологий; разработать универсальную структуру синтеза нанотехнологий, позволяющую генерировать множество возможных вариантов структур нанотехнологий и выбирать рациональные; исследовать особенности синтеза структуры нанотехнологий и повышения качества изделий на базе наноматериалов. Эти задачи и решаются в данной работе.

## **2. Общие особенности синтеза нанотехнологий**

Выполненный анализ существующих алгоритмов синтеза различных наноматериалов [2, 3] показывает, что главным условием синтеза наноматериала является его размельчение до наноразмеров. В качестве исходного материала может быть одно конкретное вещество и/или группа веществ и/или композиция веществ (рис. 2). Процесс размельчения может реализовываться в процессе синтеза материала, состоящего из вещества и/или группа веществ и/или композиции веществ. Однако для того, чтобы начать процесс нанокристаллического или молекулярного размельчения необходимо выполнить подготовку материала для преобразований за счет обеспечения особых его свойств. При этом синтез и наноразмельчение материала выполняется на базе технологических воздействий материи  $M$ , энергии  $E$  и информации  $I$  путем реализации **комбинированных и гибридных методов обработки**. Здесь возможно два варианта синтеза наноматериалов по виду дисперсности, а именно:

- синтез нанокристаллического порошка, квазикристаллических и молекулярных кластеров;
- синтез нанокристаллического компактированного материала (bulk).

На этом этапе возникает проблема сохранить размеры наноэлементов от возможного увеличения при перекристаллизации и росте зерна.

Особые состояния материала при его подготовке к преобразованиям могут быть следующих видов (рис. 3): плазменное состояние, газообразное состояние, жидкое состояние, твердое состояние, коллоидное состояние. Процесс синтеза материала из одного конкретного вещества и/или группы веществ и/или композиции веществ может включать следующие методы (рис. 4) [2, 3]: плазмохими-

ческие превращения, газофазные превращения, термические превращения, механосинтез, коллоидные превращения, детонация и синтез, кристаллизация аморфных сплавов, многофазных превращений, упорядочивание нестехиометрических соединений, синтез высокодисперсных оксидов в жидких металлах, самораспространяющийся высокотемпературный синтез и другие методы.

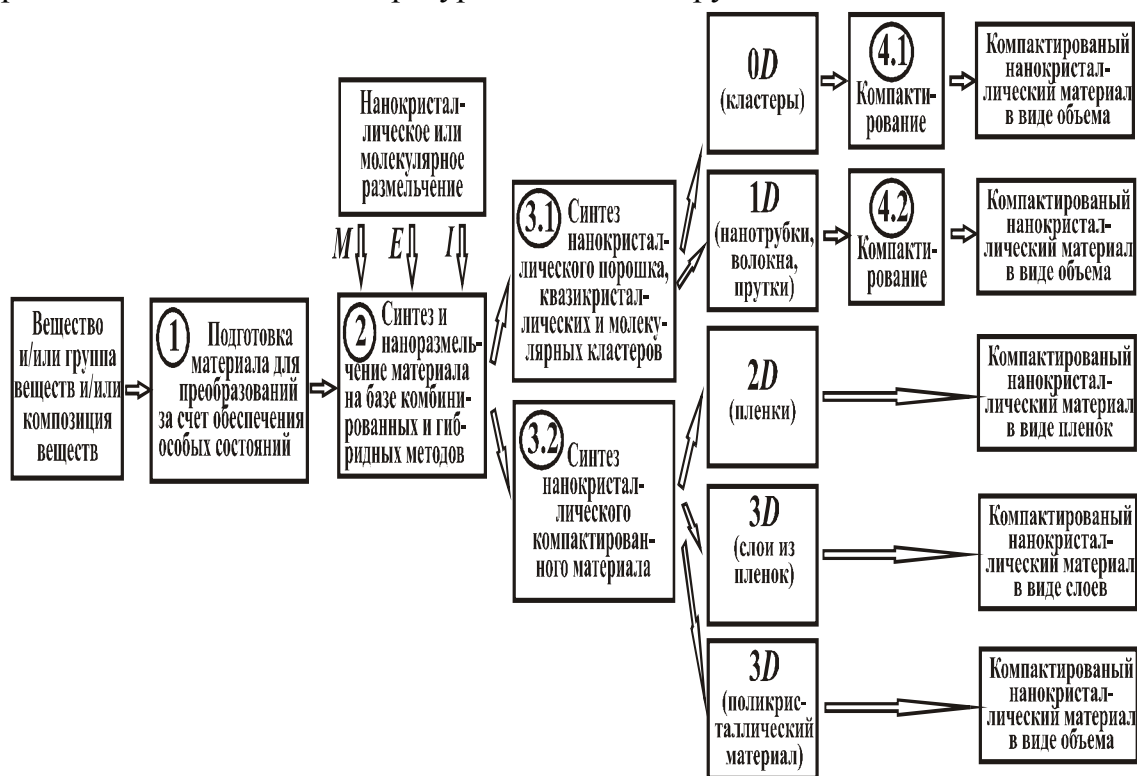


Рис. 2. Основные этапы универсального технологического процесса синтеза нанокристаллического материала

Полученные этими методами новые металлические материалы обладают высокими резервами и потенциалом в обеспечении качественно новой совокупности свойств, а изделия изготавливаемые на базе этих материалов - качественно новой мерой полезности.

Основным при синтезе наноматериала является наноразмельчение кристаллического материала. Процесс размельчения материалов может выполняться аддитивно (последовательно) или мультипликативно (параллельно). А также процесс может реализовываться прерывисто, непрерывно и одновременно. Одновременное размельчение зерен также может выполняться по линии, поверхности (пленки) и объемно (массивный материал). В целом процесс наноразмельчения кристаллического материала может выполняться следующих видов (рис. 5):

- посредством высокомогущных внешних воздействий потоками материи, энергии и информации (облучение частицами; электронной, ионной или атомной бомбардировки; высокой скорости изменения температуры; высокой скорости изменения давления; комбинации высокой скорости изменения температуры и

давления; воздействия ультразвуком; других видов быстрого изменения внешних воздействий);

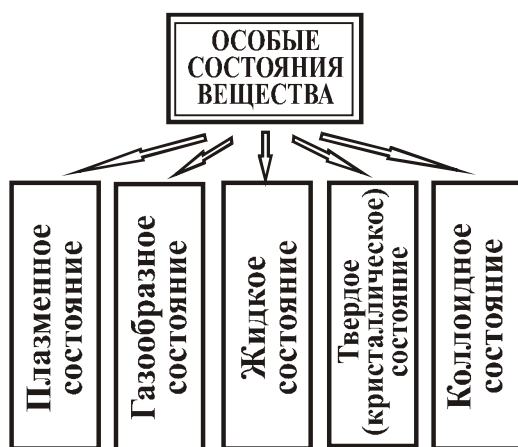


Рис. 3. Особые состояния вещества



Рис. 4. Основные методы синтеза наноматериалов

- посредством внутренних особенностей материала (фазовых переходов и изменения вида, объема кристаллической решетки материала; упорядочивания нестехиометрических соединений; прерывания химических реакций; других внутренних особенностей материала);

- посредством комбинации внешних воздействий и внутренних особенностей материала.

При синтезе нанокристаллического порошка, квазикристаллических и молекулярных кластеров возможно два варианта дисперсного материала, а именно (рис. 2):  $0D$  – кластеры,  $1D$  – нанотрубки, волокна, прутки). В этом случае, для создания компактного материала - порошки необходимо компактировать (рис. 2), в результате получается нанокристаллический материал в виде объемов.



Рис. 5. Основные виды наноразмельчения кристаллического материала

Математическую модель  $0D$  –кластера можно представить следующим образом:



$$0D \rightarrow dl_s \times dl_t \times dl_v, \quad (1)$$

где  $dl_s \times dl_t \times dl_v$  - обозначение  $0D$  –кластера в направлениях  $s, t, v$  в виде элементарных размеров с помощью декартова произведения.

Для  $1D$  –кластера математическая модель будет следующая:

$$1D \rightarrow \bigwedge_{s=1}^{k_1} (dl_s \times dl_t \times dl_v), \quad (2)$$

$k_1$  - количество элементов (молекул) в направлении  $v$ .

При компактировании множества  $0D$  –кластеров в объем получаем компактированный объемный материал (bulk). Математическая модель  $3D$  компактированного объемного материала может быть представлена следующим образом:

$$3D \rightarrow \bigvee_{v=1}^n \bigvee_{t=1}^m \bigvee_{s=1}^k (dl_s \times dl_t \times dl_v), \quad (3)$$

где  $k, m, n$  количество  $0D$ -кластеров в направлениях  $s, t, v$ .

В случае синтеза нанокристаллического компактированного материала в зависимости от метода синтеза (рис. 2) получаются следующие его варианты: в виде пленок  $2D$ , в виде слоев из пленок  $3D$  и в виде объема  $3D$ .

Математическую модель пленки  $2D$  состоящей из  $0D$ -кластеров можно представить следующим образом

$$2D \rightarrow \bigvee_{t=1}^m \bigvee_{s=1}^k (dl_s \times dl_t \times dl_v), \quad (4)$$

Для слоя, состоящего из пленок математическую модель можно представить следующим выражением

$$3D^0 \rightarrow \bigvee_{v=1}^n (\bigvee_{t=1}^m \bigvee_{s=1}^k (dl_s \times dl_t \times dl_v)).$$

Таким образом, выполненный анализ вариантов процессов синтеза наноматериалов позволил разработать общий **алгоритм универсального технологического процесса синтеза наноматериалов**, который состоит из следующих основных этапов (рис. 2):

1. Подготовка материала для преобразований за счет обеспечения особых состояний.
2. Синтез и наноразмельчение материала на базе комбинированных и гибридных методов.
3. Синтез нанокристаллического порошка, квазикристаллических и молекулярных кластеров (подэтап 3.1), синтез нанокристаллического компактированного материала (подэтап 3.2). На этом этапе необходимо обеспечить сохранение наноразмеров размельченного материала.

4. Для нанокристаллического порошка, квазикристаллических и молекулярных кластеров необходимо обеспечить компактирование объемного материала.

При синтезе нанокристаллического компактированного материала на этапе 3.1 может реализовываться его варианты в следующих видах:

- в виде пленок  $2D$ ,
- в виде слоев из пленок  $3D^0$ ,
- в виде объемов  $3D$ .

С помощью разработанного универсального технологического процесса синтеза нанокристаллического материала можно создавать различные варианты наноматериалов.

### **3. Повышение качества изделий на базе компактных наноматериалов**

Для изготовления конкретных изделий из уже компактных наноматериалов необходимо обеспечить их наноструктуру в виде пленки  $2D$ , в виде слоев из пленок  $3D^0$  или в виде объемного материала  $3D$ . Описание основных методов получения наноструктурных компактных материалов достаточно широко описаны в работах [2, 3, 4]. В этих работах приведены данные относительно свойств различных материалов.

Можно отметить, что на базе различных нанопленок можно варьировать свойствами слоев материала, можно создавать модульные, градиентные слои покрытий, суперрешетки и тому подобные покрытия, свойства которых могут изменяться в зависимости от эксплуатационных свойств изделия.

Для изготовления изделий из дисперсного порошкового материала нанопрошки необходимо компактировать. Существует множество методов компактирования нанопорошков [2, 3, 4, 5]. Однако в настоящее время нет универсальных методов, в каждом конкретном случае компактирование нанопорошков имеет свои специфические особенности. Наиболее распространенными являются традиционные методы порошковой технологии, то есть различные виды прессования и спекания, модифицированные применительно к нанопорошкам [2]. Эти материалы обеспечивают нетрадиционные свойства изделий [6].

Вместе с тем, можно отметить, что при компактировании нанопорошков главным условием является обеспечение заданных свойств изделия в целом. Особенно ценным является то, что из нанопорошков можно создавать изделия с изменяющимися на наноуровне свойствами изделия по объему в зависимости от его эксплуатационных свойств. В этом случае, применимы функционально-ориентированные технологии [7], которые позволяют наряду с достоинствами наноматериалов дополнительно создавать качественно новую совокупность свойств и меру их полезности. А также адаптировать изделие при изготовлении к особенностям его эксплуатации и обеспечить заданный, требуемый или предельный их эксплуатационный потенциал.

В процессе компактирования объемного наноматериала из порошка возможно обеспечение постоянных и/или переменных свойств изделия в пространстве и/или во времени. При этом переменные свойства могут быть зависимыми, независимыми и ступенчатыми. Обеспечение переменных свойств в пространстве объемного компактированного материала можно выполнять за счет композиции в различной пропорции группы нанопорошков с различными свойствами. Изменение свойств объемного материала во времени может реализовываться также за счет применения нанопорошков в которых со временем изменяется структура наноматериала, происходит старение материалов, изменяется тип кристаллической решетки и тому подобное.

Таким образом, выполненный анализ особенностей создания изделий из наноматериалов позволил установить, что здесь существует большой потенциал в обеспечении новых и нетрадиционных свойств изделий [2, 6].

#### **4. Заключение**

В представленной работе выполнен анализ существующих методов синтеза нано технологий. При этом установлено, что в настоящее время существует множество различных методов синтеза наноматериала, и нет общих рекомендаций по созданию универсальных нанотехнологий его синтеза. В данной работе разработана универсальная структура синтеза нанотехнологий, позволяющая генерировать множество возможных вариантов структур нанотехнологий и выбирать рациональные. В работе даны общие рекомендации повышения качества изделий за счет применения наноматериалов, показаны основные пути обеспечения качественно новой совокупности свойств изделий.

**Список литературы:** 1. Биркгоф Г. Теория структур. - М.: ИЛ, 1952. – 407 с. 2. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» /Под ред. В.С. Чередниченко. – М.: Омега – Л, 2009. – 752 с. – ISBN 978-5-370-00876-4. 3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 416 с. - ISBN 978-5-9221-0582-8. 4. Sheka E.F. The Nanoscience of Fullerenes. /Recent Developments in Advanced Materials and Processes. Selected Papers presented at the 7<sup>th</sup> Conference of the Yugoslav Materials Research Society held in Herceg Novi, Serbia and Montenegro September 12-16, 2005, Switzerland, 2006. P. 1 - 8. ISBN 0-87849-405-7. 5. Наночастицы в конденсированных средах: сб. науч. ст. / НАН Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена. - Минск: БГУ, 2008. – 286 с. – ISBN 978-985-476-589-1. 6. Бутенко В.И. Научные основы нанотрибологии. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. – 275 с. 7. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. - - ISBN 966-7907-24-4.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

**Момот А.И., Самойлов П.И.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел. +38 (062)301-08-92 E-mail: [quality@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:quality@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** In article one of ways of increase of overall performance of the enterprises - the general care of the equipment is considered, the formula of an estimation of efficiency of functioning of the enterprise is offered, kinds of equipment downtimes are found out and their likelihood distribution is analysed, optimum stages of introduction of system of the general care are offered by the equipment.

**Key words:** full efficiency, criteria of efficiency, process, the cause and effect diagramme.

В современных условиях актуальной задачей развития экономики Украины является повышение эффективности производства. Особое внимание необходимо уделять увеличению отдачи основных фондов во всех отраслях промышленности. Одним из основных направлений повышения эффективности использования основных фондов, их активной части является своевременность и качество поддержания и восстановления параметров функционирования основных фондов. Эффективность использования оборудования связана с качеством выпускаемой продукции, бесперебойной работой оборудования, его качественным и постоянным обслуживанием, совершенством технологического обеспечения.

ТРМ – система общего технического обслуживания оборудования, которая позволяет обеспечить наивысшую эффективность работы оборудования. Задачей ТРМ является сведение к минимуму непредусмотренного и экстренного обслуживания оборудования, исключение или значительное уменьшение вероятности срыва работ вследствие незапланированного простоя оборудования. Как и все новые технологии, система ТРМ базируется на использовании человеческого фактора. Именно от персонала, его заинтересованности и мотивации будет зависеть эффективность внедрения.

Вопросами повышения эффективности работы оборудования с использованием системы TotalProductiveMaintenance занимались как отечественные,

так и зарубежные ученые: Кеннеди Р., Мацца Л., Федина С.Ю., Бурашников А.Ю., Пшенников В.В. и многие другие.

Эффективность системы ТРМ достигается за счет полной ликвидации всех потерь. В системе производительного обслуживания оборудования с участием всего персонала специалисты Японской ассоциации производственного обслуживания (JIMR) выделяют 16 основных видов потерь, снижающих эффективность производственных систем [5].

Эффект от внедрения системы ТРМ напрямую зависит от энтузиазма, заинтересованности и компетентности сотрудников предприятия. Поэтому персонал должен понимать: какая перед ним стоит цель, чего в итоге необходимо добиться, какими методами достичь поставленные цели, что в итоге это даст работникам.

При внедрении ТРМ очень важно начинать с количественного измерения потерь, которые комплексно характеризует степень эффективности использования оборудования.

Расчет эффективности использования оборудования позволяет узнать, какие именно потери снижают эффективность использования станков. Регулярно отслеживая эффективность, можно выявить закономерности и тенденции, вызывающие проблемы в функционировании оборудования. Кроме того, измерение этого показателя дает возможность увидеть результаты действий по улучшению использования оборудования[3].

Эффективность использования оборудования в общем случае можно представить в следующем виде:

$$\mathcal{E} = f(G, P, K, C) \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность использования оборудования;

$G$  – показатель готовности оборудования к выпуску продукции;

$P$  – показатель производительности выпуска продукции;

$K$  – показатель качества выпущенной продукции;

$C$  – показатель себестоимости продукции, сформированной под влиянием работы оборудования.

Для нахождения значения эффективности использования оборудования комплексный критерий принимался в виде:

$$\mathcal{E} = q_G^{\alpha_G} \cdot q_P^{\alpha_P} \cdot q_K^{\alpha_K} \cdot q_C^{\alpha_C} \quad (2)$$

где  $\alpha_G, \alpha_P, \alpha_K, \alpha_C$  - коэффициенты весомости;

$q_i$  - относительные единичные показатели эффективности работы оборудования.

Именно потери снижают эффективность использования станков. Регулярно отслеживая коэффициент эффективности, можно выявить закономерности и тенденции, вызывающие проблемы в функционировании оборудования. Кроме того, измерение этого показателя дает возможность увидеть результаты действий по улучшению использования оборудования[3].

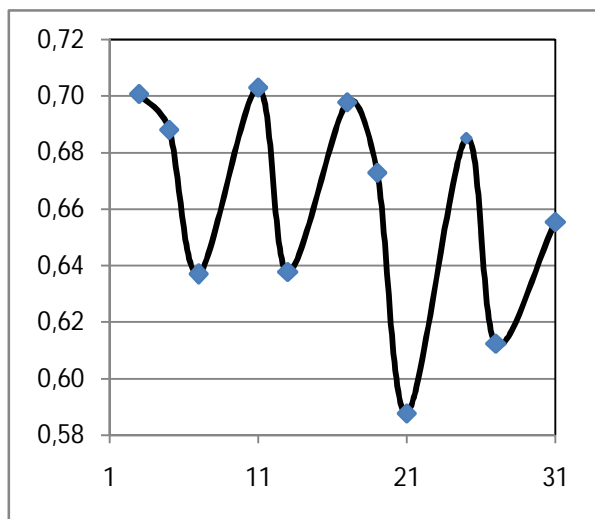


Рисунок 1 - График изменения коэффициента эффективности использования оборудования до внедрения системы TPM

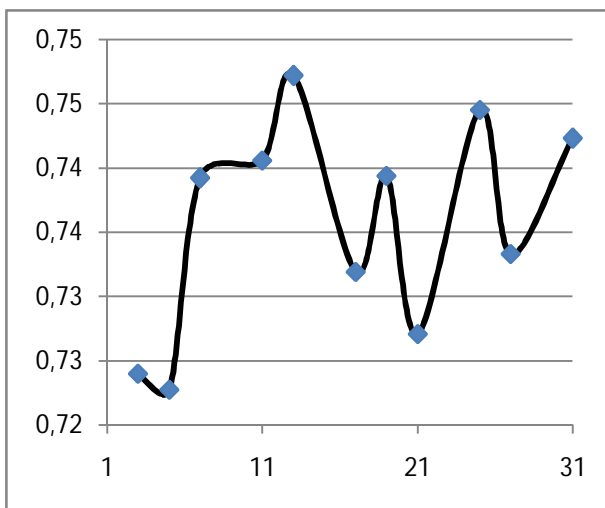


Рисунок 2 - График изменения коэффициента эффективности использования оборудования после внедрения системы TPM.

В данной работе приведены значения коэффициента эффективности при изготовления сетки крученой на сетковязальной машине на ООО «Донецкий сеточный завод». На рисунках 1, 2 приведен график изменения коэффициента эффективности использования оборудования в течение нескольких рабочих смен. Анализ проводился в течении двух месяцев в обычные рабочие дни в одну смену. Как следует из анализа данных, в целом оборудование используется достаточно эффективно - из 11 анализируемых смен в трех случаях коэффициент эффективности составляет около 70%., но как показывает международная практика для непрерывного производства он должен быть равен 80%. После внедрения мероприятий TPM и контроля за соблюдением норм и методики работы на оборудовании коэффициента эффективности уве-

личился и составил около 74%. В данный момент дальнейшие работы по внедрению ТРМ ведутся для достижения мирового уровня эффективности.

### **Выводы:**

1. Эффективность использования оборудования напрямую зависит от системы его обслуживания. Правильная организация системы обслуживания позволит сократить количественные величины потерь, возникающие при работе оборудования.

2. За короткий период без значительных дополнительных затрат применение системы всеобщего обслуживания оборудования приведет к повышению уровня эффективности использования оборудования даже в автоматизированном производстве.

3. Для достижения оптимального уровня использования оборудования, необходим правильный подход к организации управления состоянием оборудования. Выполнение мероприятий по проведению обслуживания оборудования ложится на персонал и требует активизации его возможностей. Полное раскрытие персонала невозможно без дополнительного стимулирования, как в материальном, так и в моральном отношении.

**Список литературы:** 1. Кеннеди Р., Мацца Л. Взаимодействие 5S и ТРМ в системе ТРМ [Текст]/ Р.Кеннеди, Л. Мацца // «Методы менеджмента качества», 2004, №8, - С. 9 – 15. 2. Момот А.И. Экономический механизм управления качеством [Текст]/А.И. Момот // Министерство образования и науки Украины. ДонНТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 383 с. 3. Федина С.Ю., Бурашников А.Ю. Внедрение системы ТРМ: продолжение следует [Текст]/ С.Ю. Федина, А.Ю. Бурашников // «Методы менеджмента качества», 2006, №2, С. 12-16. 4. Пшенников В.В. Качество через ТРМ, или О предельной эффективности промышленного оборудования[Текст]/В.В. Пшенников// «Методы менеджмента качества», – 2001. – № 10, С. 10-15. 5. Итикава А., Такаш И., Такэбэ Ю. и др. ТРМ в простом и доступном изложении / Пер. с яп. А.Н. Стерляжникова; Под науч. ред. В.Е. Растимешина, Т.М. Куприяновой. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. — 128 е., ил. 6. Мора Э. Как добиться успеха при внедрении ТРМ[Текст]/Э. Мора // Методы менеджмента качества. – 2003. - № 6. – С. 45-46.

## ПУТИ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Момот А.И., Скибенко Г.Г. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина )

Тел. +38(062)3010892; E-mail: [galina\\_skibenko@mail.ru](mailto:galina_skibenko@mail.ru)

**Abstract:** *The task of this article is to consider such a factor of cause - effect diagram influence on quality production output as "personnel". There are kinds of moral and material encouragement suggested here. Such a form of self-realization as "quality group" is suggested as well. These suggestions should be used at industrial enterprises for increasing of the personnel involvement in the processes of enterprise activity.*

**Key words:** *Motivation, quality, the personnel, System quality management*

Современные условия рынка диктуют предприятиям условия жесткой конкуренции. Для выхода на новый международный уровень часто используют внедрение стандартов серии ISO 9000, что является негласным требованием Европы для предприятий стран СНГ, это касается и Украины. Система менеджмента на соответствие ISO 9000 предполагает ряд требований, одним из которых является обязательное вовлечение персонала в деятельность предприятия. Персонал – капитал предприятия, который может стать основной движущей силой при правильном менеджменте, который должен быть нацелен непосредственно на стимулирование и заинтересованность трудового коллектива.

Тейлор еще в 1911 году в своей книге «Принципы научного менеджмента» обращал внимание на прямую связь производительности и мотивации труда [1]. Так же теорией мотивации персонала занимались А. Маслоу [2], Ф. Герцберг, Дуглас Макгрегор и многие другие. Сейчас ведутся исследования, посвященные этому направлению которыми занимаются: Малова И.И., Коблева А.Л., Григориев Х.Ю., Дудин А.С.

Цель работы. Подробно рассмотреть фактор «Персонал» на влияние выпуска качественной продукции. Выявить методы повышения мотивации персонала в системе менеджмента качества.

К руководству любой компании рано или поздно приходит понимание того, что для повышения эффективности и возможностей предприятия, обеспечения конкурентных преимуществ, получения новых и расширения старых рынков сбыта необходимо упорядочивание всех направлений деятельности. Одним из возможных направлений этой работы является внедрение на предприятии систе-



мы менеджмента качества, основанной на международных стандартах серии ISO 9000, в которую могут быть успешно интегрированы в существующие на предприятии системы управления различными процессами и ресурсами (маркетинг, реклама, финансы, человеческие ресурсы, логистика и т.п.). [3]

Выпуск качественной продукции предполагает влияние ряда факторов, которые наглядно можно рассмотреть с помощью причинно - следственной диаграммы Исикавы (другими словами 5М). 5М - это факторы первого порядка, а для более детального анализа необходимо рассмотреть каждый фактор отдельно. В данной статье более подробно будет оценен такой фактор, как персонал (рисунок 1). Факторы влияющие на персонал можно также разбить на под факторы, что более подробно можно рассмотреть на причинно-следственной диаграмме (рисунок 1). Мотивация персонала играет огромную роль не только в его вовлечении к выпуску качественной продукции, но и для понимания системы менеджмента качества в целом. Стимулирование персонала в этом смысле может происходить не только в виде финансового, но и морального поощрения. Особое внимание необходимо уделить проблеме морального стимулирования. Зачастую сотрудники предприятия не чувствуют себя полноправными членами и составной частью единого целого – предприятия, хотя формально внедрена система менеджмента качества, которая предполагает вовлечение всего персонала в деятельность компании и наличие корпоративного духа. В связи с вышеизложенным, можно предложить ввести систему поощрений для персонала, которая будет заключаться не только в премировании сотрудников денежными средствами, но и моральном стимулировании за достижение определенных трудовых результатов.

Эта система должна включать установленные законодательством надбавки (в соответствии с Генеральным соглашением между Кабинетом Министров Украины, всеукраинскими объединениями организаций работодателей и предпринимателей и всеукраинскими профсоюзами и профобъединениями на 2008-2009 гг. от 15.04.08 [4]), а так же учитывать особенности предприятия. Данную систему поощрений можно рассмотреть, как факторы причинно-следственной диаграммы, влияющие на мотивацию (рисунок 2).

Материальное стимулирование может включать премии: за улучшение качества продукции, за снижение себестоимости продукции, за улучшение производственных показателей, за интенсивность труда. Данные для премирования могут выходить из условий поощрений, которые следуют из отчетов подразде-

лений по выполнению планов, отчетов по браку и рекламациям, отчетов по выполнению прибыли и т.д. Для каждой категории премии устанавливается определенный процент, в зависимости от эффективности данной категории. Размер надбавок установлен законодательно, в зависимости от тарифной сетки. Основные рекомендации по мотивации персонала предложены на рисунке 2.

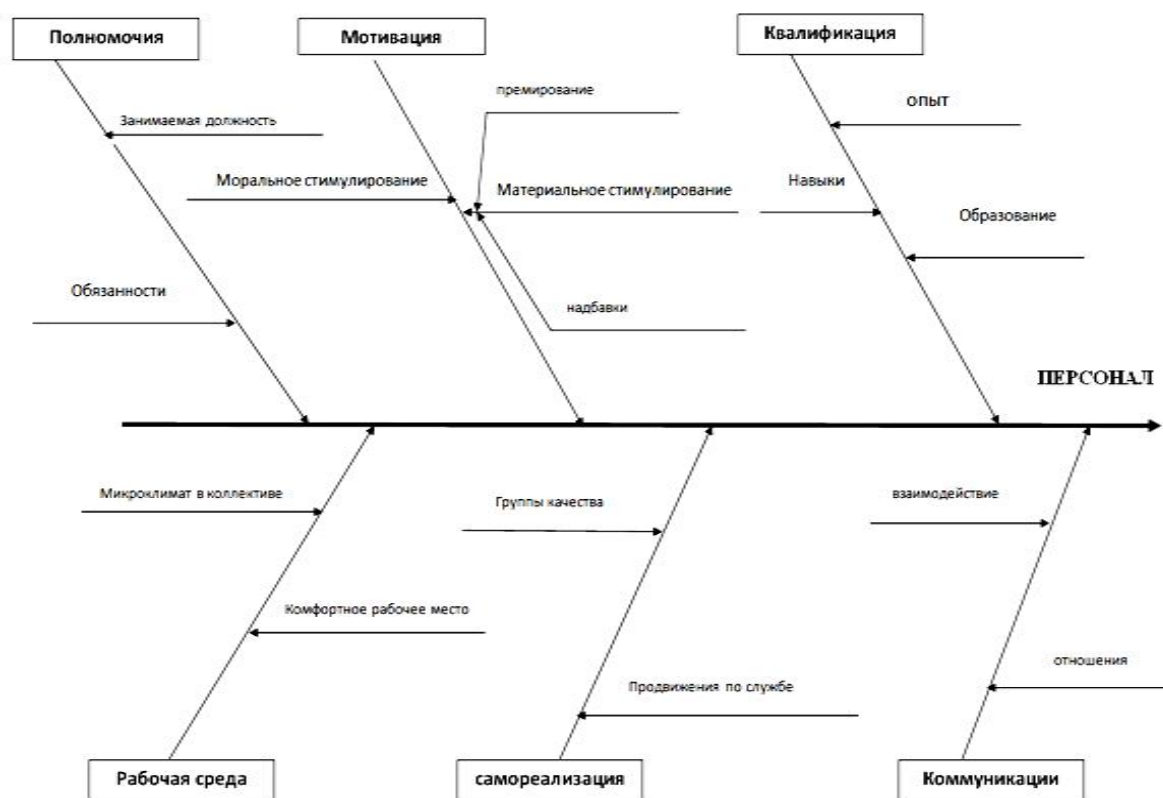


Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма, фактор Персонал

Чаще всего данные для начисления поощрения предоставляет отдел кадров и начальники отделов подразделений. На предприятии предлагается ввести трудовые соревнования между подразделениями и между рабочими в цехах и отделах. За лучшего рабочего месяца назначить подарочные билеты на двоих человек, например, в театр или кинотеатр. Необходимо равномерно распределять должностные обязанности, для исключения перегрузки основных сотрудников. Следует также предоставлять привилегии ответственным и работоспособным сотрудникам при выборе времени отпуска, свободных от работы дней. Для предприятия эти затраты будут несоизмеримо малы по сравнению с затратами на премии. Такие поощрения можно внедрять при кризисной ситуации, когда на другие виды вознаграждения не будет возможности выделять денежных средств.

Данная система поощрений должна в определенной мере улучшить систему мотивации персонала. Но учитывая особенности национального менталитета необходимо не только внедрять систему поощрения, но и оставить существующую систему наказания, т.е. лишение надбавок и премий за прописанные нарушения.



Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма, мотивация персонала

**Список литературы: 1.** Тейлор Ф. Принципы научного менеджмента, 1911 [ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ]. - <http://www.ek-lit.agava.ru/books.htm> . **2.** Maslow, A. (1943) A Theory of Human Motivation Psychological Review, 1943, p. 382. **3.** Системы менеджмента качества и управления трудовыми ресурсами: проблемы и решения. О.Н. Шинкаренко консультант по управлению персоналом Опубликовано в номере: Кадры предприятия №4 / 2004. **4.** Генеральное соглашение между Кабинетом Министров Украины, всеукраинскими профсоюзами и профобъединениями на 2008-2009 годы от 15.04.2008г.

## КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ДОНБАСУ

Момот О.І., Городничук Н.В. (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

Тел. +38 (062) 3010892; E-mail: natalina2007@mail.ru

**Abstract:** *The aim is to analyze the theoretical, methodological and practical foundations of identifying and addressing manufacturing defects. This is done to develop recommendations for improving the management of nonconforming product.*

*The practical significance of the work is to evaluate the existing control mechanism of nonconforming product on metallurgical enterprise of Donetsk region in order to improve the process in accordance with international standards ISO 9000.*

**Key words:** *Defective, quality, standard, production, expenses.*

В умовах сучасних ринкових відносин на міжнародному та європейському ринках вкрай актуальним для України залишається підвищення конкурентоспроможності експорту. Для цього на підприємствах впроваджується інтегрований механізм, орієнтований як на мінімізацію всіх видів витрат, так і на узгоджене функціонування виробничих циклів. Не залишається осторонь і сфера менеджменту, для якої на перший план постає питання забезпечення підвищення якості продукції. Отож, на підприємствах постійно впроваджуються новітні технології та посилюється контроль якості виробів у процесі технологічного циклу, здійснюється моніторинг головних показників, що характеризують якість готової продукції, насамперед, здатність виробу задовольнити вимоги конкретного споживача.

Серед непрямих показників якості особливе місце займає показник виробничого браку. З одного боку, величина невідповідної продукції характеризує ефективність діяльності системи менеджменту якості (СМЯ) на підприємстві, з іншого – впливає на собівартість виготовленої продукції, збільшуючи ціну реалізованих товарів.

Визначення бракованої продукції наведено у Державному класифікаторі України (Класифікатор відходів ДК 005-96), затвердженому наказом Держстандарту від 29.02.96 р. № 89, відповідно до якого браком вважається продукція, передача якої споживачеві неприпустима з-за наявності дефектів [1].

Серія міжнародних стандартів ISO 9000, що визначає функціонування системи менеджменту якості на підприємстві також приділяє увагу процесу управління невідповідною продукцією. Відповідно до ДСТУ ISO 9000:2007 під браком розуміється дефект (невідповідність) продукції, що характеризує невиконання вимог, пов'язаних з передбачуванним або встановленим використанням продукції [2].

Крім того, ДСТУ ISO 9001:2009 «Система менеджменту якості. Вимоги» [3] в пункті 8.3 визначає вимоги до процесу управління невідповідною продукцією, згідно з якими документація СМЯ, що діє на підприємстві має містити документовану процедуру, щоб описувала алгоритм дій з продукцією невідповідною якості і виробничим браком.

Огляд теоретичних джерел в області контролю якості і систем управління якістю свідчить про те, що показник браку продукції виступає важливим елементом витрат на якість.

При такому підході до структури витрат співвідношення між витратами на брак та якістю продукції наступне: витрати на виправлення браку, гарантійний ремонт, повернення продукції та ін. є функцією рівня якості і знижуються по мірі його підвищення. Однак, зв'язок між якістю продукції і величиною браку не є однозначним. Зростання кількості бракованої продукції не обов'язково спричиняє погіршення її якості, як вважається. Рівень браку — це передусім показник якості роботи, налагодженості технологічних процесів і чіткої організації виробництва, а також показник порушення ритму виробництва, погіршення організації та контролю за виробництвом в цілому.

Тому, для зниження величини браку у виробництві важливими умовами профілактики є:

- висока культура та організація виробництва;
- стабільний ритм роботи і постачання;
- упровадження у виробництво сучасних технологій та устаткування;
- кваліфікація персоналу, його дисциплінованість і відповідальність.

Таким чином, показник виробничого браку з одного боку характеризує рівень ефективності виробництва і дієвості СМЯ підприємства, а з іншого боку впливає на загальну прибутковість діяльності підприємства у вигляді статті витрат у собівартості продукції. На нашу думку, в цьому полягає необхідність його вивчення під час виробництва, а також важливість використання наукового підходу до аналізу цього показника в рамках оцінки загальної ефективності функціонування СМЯ підприємства.

Управління браком в рамках СМЯ базується на положеннях міжнародного стандарту ISO 9001:2008, а також здійснюється на основі комплексу відповідної нормативної документації, що розроблена й прийнята на підприємстві. До неї варто віднести Настанову з якості, стандарти підприємства, інструкції та положення.

Для оцінки ефективності існуючого на підприємстві підходу до управління бракованою металопродукцією необхідно дослідити тенденції, що характеризують зміни в обсягах показника виробничого браку. Особливістю обліку рівня браку на підприємстві є те, що обсяги забракованої металопродукції відображаються за допомогою двох категорій – «фактичний брак» і «звітний брак». Відмінність цих категорій можна виразити наступною формулою [1].

$$\text{Звітний брак} = \text{Фактичний брак} - \text{Продукція, переведена з браку в придатне} \quad (1)$$

Тобто, до фактичного браку відноситься вся забракована продукція підприємства в поточному періоді, а до звітного – лише її частина, за вирахуванням забракованої в попередніх періодах продукції, що реалізується за іншими замовленнями. Отож, з точки зору об'єктивного аналізу, до категорії звітного браку потра-

пляє тільки чистий брак (а саме металопродукція, яка не може бути реалізована споживачу за будь-яких умов), в той час як фактичний брак включає ще й ту продукцію, що не задовольняє умови конкретного замовлення (не відповідає вимогам конкретного контракту), проте може бути реалізована іншому покупцеві.

Відмінність цих категорій наочно продемонстрована на прикладі обліку виробничого браку в електросталеплавильному цеху (ЕСПЦ) одного з металургійних підприємств Донбасу. У табл. 1 представлено співвідношення обсягів фактичного та звітного браку в цьому цеху за 2007-2009 рр.

Таблиця 1 – Відношення обсягів фактичного та звітного браку для ЕСПЦ за 2007-2009 рр. (тони)

Вид браку	2007	2008	2009
Фактичний брак	4864,965	5075,49	2798,48
Звітний брак	3781,379	4522,75	2472,049
Переведено в придатне	1083,586	552,735	326,431

Як видно з табл. 1, за проаналізований період часу кількість продукції, що переводилася в придатну до реалізації істотно зменшилася: з 1083,59 т в 2007 р. до 552,74 т і 326,43 т в 2008 і 2009 рр. відповідно, або майже в 3,3 рази. Хоча це й свідчить про зменшення відриву між обсягам фактичного та звітного браку, все ж для більш об'єктивної оцінки динаміки показника рівня браку на підприємстві варто використовувати дані щодо обсягів звітного браку.

Безпосередньо аналіз показника браку включатиме наступні напрямки:

- горизонтальний аналіз загальних обсягів звітного браку і за цехами;
- порівняльний аналіз обсягів фактичного і звітного браку для ЕСПЦ;
- вертикальний аналіз звітного браку на прикладі ЕСПЦ.

Для удосконалення процесу управління невідповідною продукцією на даному підприємстві рекомендовано наступне:

- затвердити на підприємстві бланк Акта про брак, що дозволить розширити напрямки аналізу даних про брак і прискорить документообіг;
- запровадити моніторинг витрат на брак та інших елементів витрат на якість за допомогою складання звіту про витрати на якість з метою відстеження впливу змін в обсягах витрат на показники якості готової продукції загалом, зокрема на рівень браку;
- доповнити існуючий аналіз обсягів виробничого браку в напрямку виявлення головних причин його появи (наприклад, використовуючи діаграму Парето і діаграму Ісікави) з метою мінімізації витрат на брак.

**Список літератури:** 1. Державний класифікатор України (Класифікатор відходів ДК 005-96). – К.: Держстандарт України, 1996. 2. ДСТУ ISO 9000:2007 «Системи управління якістю. Основні положення та словник». – К.: Держстандарт України, 2007. 3. ДСТУ ISO 9001:2009 «Системи управління якістю. Вимоги». -К.: Держстандарт України, 2009.

## СРЕДСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ

Носко О.Э., Булейко В.Г. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7(8634)37-16-97, E-mail: la@tsure.tu

**Abstract:** *The application of modern information technology is a prerequisite of quality and innovative educational process. The introduction of spatial stereoscopic visualization and in particular the complex Wallvision can bring engineering education to a new level, to develop understanding and improve skills of students.*

**Key words:** *Spatial visualization, computer, Designing, The three-dimensional image.*

В рамках современной парадигмы развития системы высшего образования, существует острая необходимость в углублении и актуализации знаний студентов и молодых специалистов. Прошло то время, когда работодатель переучивает выпускника ВУЗа на своем более современном оборудовании, теряя на это время и ресурсы. Очевидно, что рассматривая экономическую сторону, работодатель заинтересован, более того, остро нуждается в молодых кадрах, которые проходят обучение на новейшем оборудовании, работают в современных САПР-продуктах и знают новейшие технологии.

Одной из особенностей подготовки авиационных специалистов является изучение большого числа сложных технических систем, глубокое понимание работы которых может прийти только благодаря изучению образцов в «железе». Ранее это задача решалась в так называемых «классах конструкции» (Рис.1), где находились агрегаты самолетов, препарированные двигатели, и другие образцы авиационной техники. По большей части это была списанная техника «Аэрофлота» или с военных баз. В связи с тем, что в современных реалиях получение новых образцов не возможно, а старые образцы морально устарели, становится острая проблема обучения будущих специалистов с применением современных средств и инновационных технологий.

В Южном Федеральном Университете на кафедре «Летательные аппараты» эта проблема была решена с помощью комплекса пространственной стереоскопической визуализации Wallvision. Внедрение в образовательный процесс этого комплекса с использованием 3D технологий позволяет максимально возможно заменить наличие физических образцов устаревшей техники математическими моделями современных летательных аппаратов. Так преподаватели ведущие курсы «проектирования», «конструирование агрегатов и систем» и «конструкции самолетов и вертолетов» благодаря этим технологиям могут в современной форме легко показать студентам работу авиационных конструкций и сложных технических систем. Работа с комплексом Wallvision является одной из определяющих для студентов



старших курсов, ведь уровень визуализации позволяет буквально разобрать самолет на детали и получить полное представление о его конструкции.

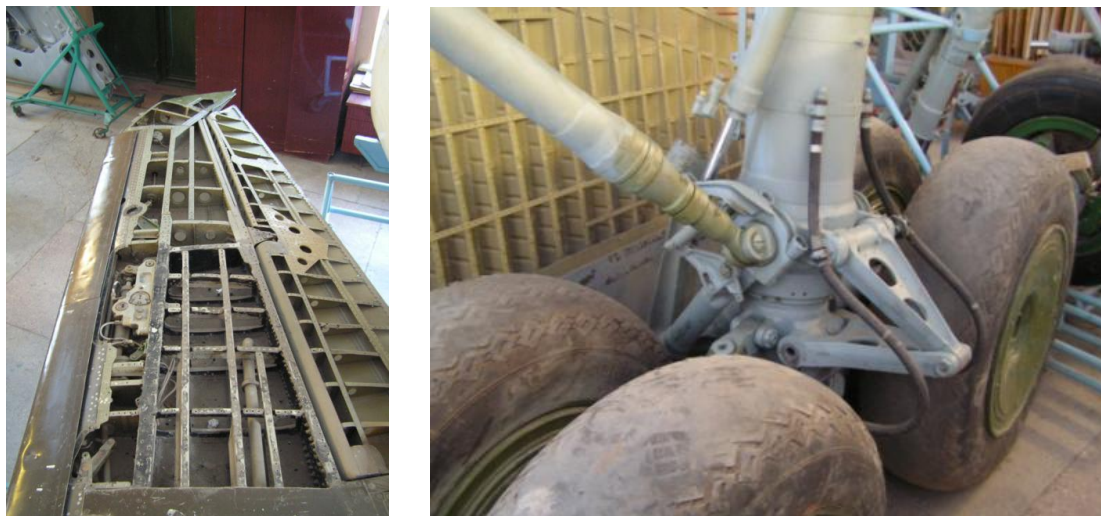


Рис. 1.

Система Wallvision представляет собой экран обратной проекции габаритами 3x5 м. Четыре проектора подключенные к высокопроизводительной графической системе, на базе Quadro FX5600, участвует в формировании единого стереоскопического изображения, основанного на принципе вертикальной и горизонтальной поляризации. Просмотр производится в поляризационных очках, что дает эффект «полного погружения» (рис.2).

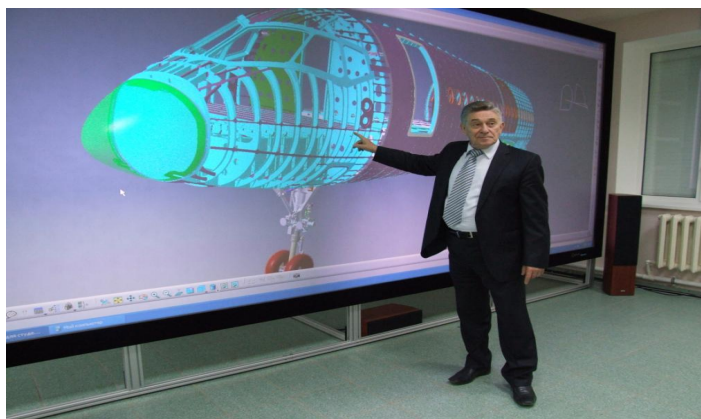


Рис. 2.

Для работы на этом комплексе используются следующие программные продукты: CATIA V5 (Рис.3), MSC University Bundle, Flowvision, которые являются лидерами в своих сегментах и позволяют решать сложные задачи моделирования.

Так же в рамках процесса обучения этот комплекс используется для демонстрации

научных фильмов, просмотра чертежей. Студенты и аспиранты выполняют с его помощью научно исследовательские работы. Данный комплекс нашел свое применение в курсовом и дипломном проектировании (Рис.4) и в выполнении лабораторных работ по «Прочности авиационных конструкций», «Аэродинамики самолета», «Строительной механики авиационных конструкций».

Особую ценность системе, объединение выделенным высокоскоростным оптоволоконным каналом с Центром коллективного пользования супервычислительными ресурсами (ЦКПСР) (Рис.5), что делает систему Wallvision прямым средством визуализации сложных расчетов, производимых на супер-ЭВМ ЮФУ.



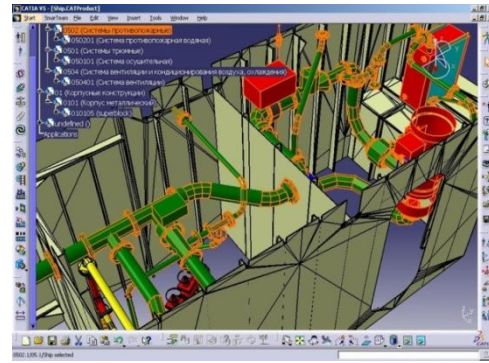
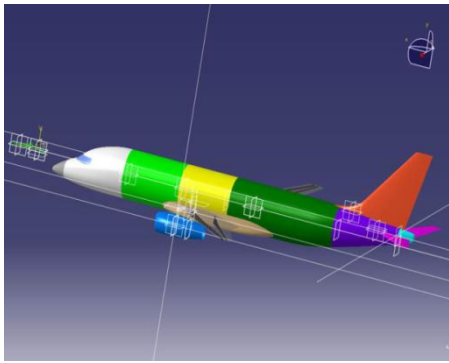


Рис. 3.

Следующим шагом, на наш взгляд, является применение технологии не для групп студентов, как было ранее, а индивидуально. Толчком развития этого направления может послужить развитие технологии в области графических ускорителей и появление жидкокристаллических матриц с высокой скоростью

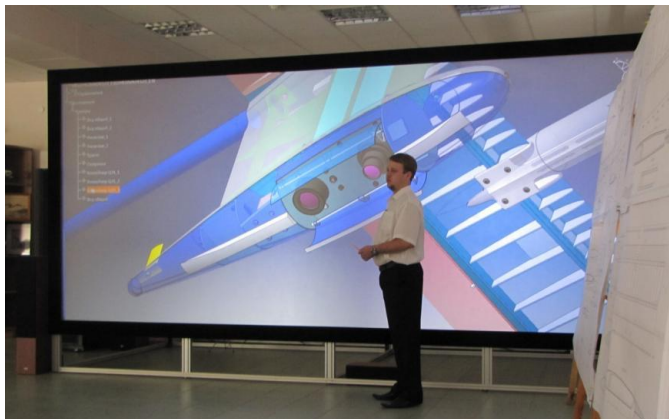


Рис. 4.

отклика. Примером такой технологии является nVIDIA 3D Vision. Для использования 3D Vision нужен ЖК, плазменный или OLED-монитор с частотой развёртки 120 Hz или выше, видеокарта от nVIDIA с 3D Vision и специальные очки. Внедрение технологии стереоотображения в процесс обучения не только на лекционном этапе, но и на этапе

индивидуальной, практической и лабораторной работы непосредственно каждым обучающимся в отдельности.

Применяемый в Южном Федеральном Университете комплекс пространственной стереоскопической визуализации и разработанные учебные курсы являются уникальным учебным средством и позволяют открыть новые грани современного

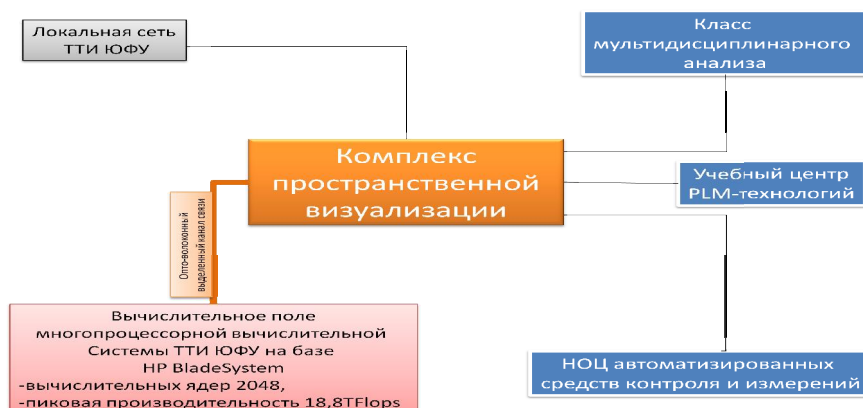


Рис. 5.

образовательного процесса, что подтверждено опытом целевой подготовки специалистов для нужд компаний: ОАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева», ООО «НИК» (Boeing), ООО «АвиаОК» и другие.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЗУБА КОНИЧЕСКОЙ ШЕСТЕРНИ С ДВОЯКОВЫПУКЛО-ВОГНУТЫМИ ЗУБЬЯМИ

Онищенко В.П., Кузнецова А.В. (ДонНТУ, г.Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (062) 3010835; E-mail: [opm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:opm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *The article investigates stiffness of bevel gearings with circular biconvex-concave teeth. The deformation of teeth in the contact place was calculated with the help of the analysis of gears teeth tension-deformed state by the method of final elements. Specific stiffness of pinion teeth is calculated. Normal force in the gearing and contact stress were defined considering the engagement phases.*

**Key words:** *stiffness, gearing, biconvex-concave tooth, deformation, tension-deformed state, engagement.*

В последние годы с целью повышения несущей способности зубчатых передач применяют зубчатые передачи с двояковыпукло-вогнутыми зубьями (ДВВ) с кривизной по длине зуба и, в частности, конические передачи [1]. Конические колеса с ДВВ-зубьями выгодно отличаются от конических прямозубых колес высокой нагрузочной способностью, большей плавностью зацепления и значительным снижением шума. Преимущество конических передач с ДВВ-зубьями перед коническими колесами с круговым зубом заключается в том, что они имеют разную кривизну в двух направлениях (шестерня выполняется с двояковыпуклыми, а колесо с двояковогнутыми зубьями), вследствие чего уменьшаются контактные напряжения.

Опыт эксплуатации показал, что конические обкатные колеса с круговыми ДВВ-зубьями внешнего зацепления имеют высокую работоспособность. Однако, если расчету жесткости зубьев цилиндрических эвольвентных передач уделяется большое внимание [2,3], то в настоящее время данные по жесткости конических передач с ДВВ-зубьями отсутствуют. Для исследования динамики зубчатых колес требуется оценить степень влияния формы профиля на жесткость контакта в зоне приложения нагрузки. Следовательно, исследование жесткости зубьев конических передач с ДВВ-зубьями является актуальным.

В настоящей работе рассматривалось влияние на жесткость зацепления только упругой деформации зубьев. Влияние остальных факторов считалось незначительным, что, однако, не исключает дальнейшего совершенствования разработанных методик расчета путем учета этих факторов.

Исследования жесткости зубьев проводились на базе анализа зацепления зубчатой передачи угольного комбайна 2РКУ10 производства горловского машиностроительного завода (Донецкая обл., Украина). Параметры исследуемой передачи представлены в таблице.

Таблица 1- Основные параметры исследуемой зубчатой передачи

Параметр	шестерня	колесо
Средний нормальный модуль	13 мм	
Внешний окружной модуль	15,4647 мм	
Числа зубьев	13	24
Коэффициенты смещения исходного контура	0,55	0,95
Межосевой угол	90°	
Средняя арифметическая шероховатость	6,3 мкм	
Ширина зубчатого венца	70 мм	
Угловая скорость ведущего вала	27,69 рад/сек	
Вращающий момент на ведущем валу	10420 Н·м	
Удельная нагрузка по длине зуба	1866,9 Н/мм	
Материал и термическая обработка	сталь 20Х2Н4А цементация, закалка 57÷63HRC <sub>э</sub>	

Для моделирования напряженно-деформированного состояния зуба методом конечных элементов в настоящей работе была использована универсальная программная система конечно-элементного анализа ANSYS. Конечно-элементная модель шестерни исследуемой передачи, полученная в этой программе, представлена на рисунке 1.

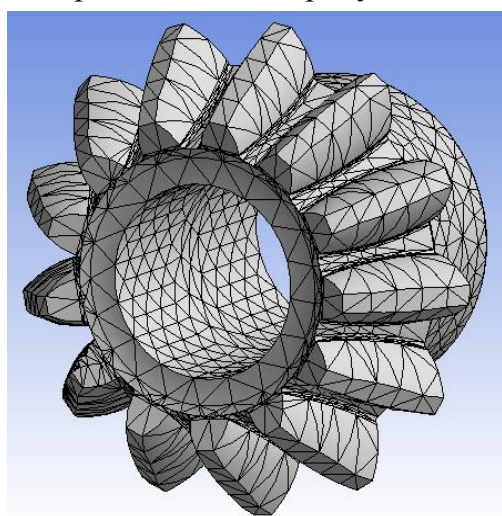


Рис. 1. Конечно-элементная модель шестерни для исследования напряженно-деформированного состояния зуба

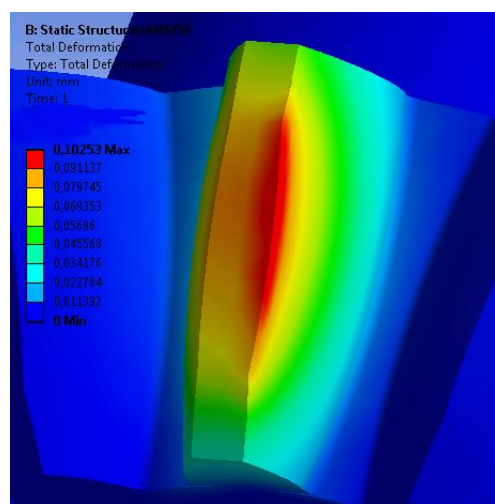


Рис. 2. Распределение деформации на зубьях шестерни

Распределенная по длине зуба нагрузка прикладывалась по линии контакта. Было заложено 32 варианта нагружения, соответствующих последовательному приложению распределенной нагрузки по высоте зуба. Ширина каждого варианта нагружения соответствовала половине ширины герцовой полосы контакта зубьев. Пример определения полной деформации зубьев в месте контакта показан на рисунке 2.

На рисунке 3 приведен трехмерный график распределения деформации по длине и высоте зуба шестерни.

Удельная жесткость шестерни определяется как отношение нормальной погонной нагрузки к полному перемещению точки ее приложения, т.е. сумме изгибной деформации зуба шестерни и контактной деформации (сближение центров кривизны) в зоне зацепления [3]

$$C = \frac{q}{\delta}, \quad (1)$$

где  $C$  – удельная жесткость зубьев шестерни,  $\text{кН}/\text{мм}^2$ ;  $q$  – нормальная погонная нагрузка на зуб шестерни,  $\text{кН}/\text{мм}$ ;  $\delta$  – деформация зубьев шестерни в зоне контакта с колесом,  $\text{мм}$ .

График распределения жесткости по высоте зуба шестерни для среднего сечения представлен на рисунке 4.

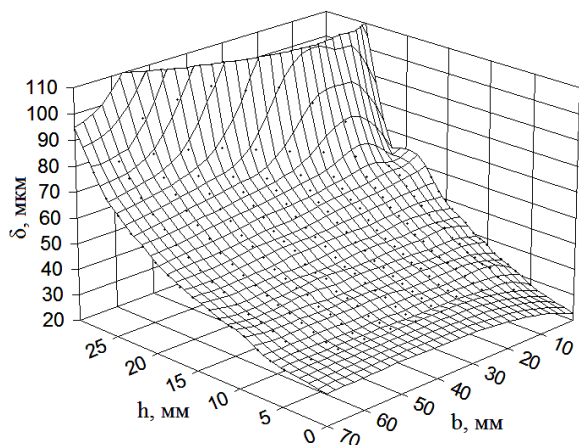


Рис. 3. Распределение деформации  $\delta$  по длине зуба  $b$  и высоте зуба  $h$

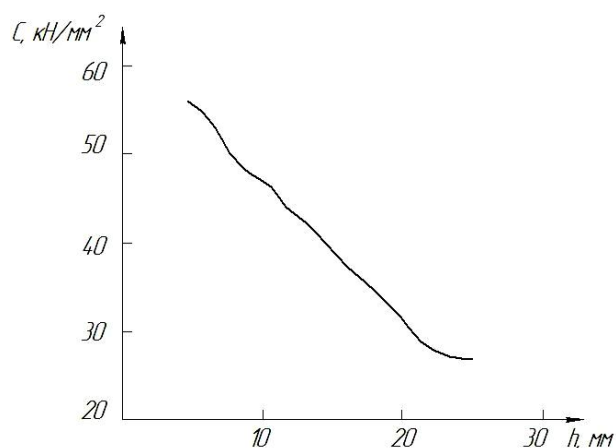


Рис. 4. Распределение жесткости по высоте зуба

Таким образом, предложенный подход позволяет учесть упругие характеристики зубьев зубчатой передачи, что обеспечивает большую степень приближения создаваемых моделей к реальным объектам. Полученные значения жесткости зацепления являются одним из исходных параметров модели для исследования динамических процессов в зацеплении, а также модели изнашивания зубьев, учитывающей взаимовлияние параметров контакта на форму профиля зуба и формы зуба на параметры контакта, в результате чего существенно повышается надежность расчетов зубчатых передач на прочность и долговечность.

**Список литературы:** 1. СТП 12.44.28.028 – 76 «Передачи зубчатые конические с круговыми двояковыпукло-вогнутыми зубьями». 2. Валентин Онищенко. Прогнозирование долговечности тяжело нагруженных зубчатых передач на основе моделирования износа зубьев. – Gliwice (Polska): Politechnika Śląska Z. 131 (1410) Mechanika, 1999. – 199 с. 3. Кудрявцев В.Н. Зубчатые передачи. М., «Машгиз», 1957, 263 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГОГО ОТЖАТИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА

Пашинин А.В., Чернышев Е.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./факс: +38(062)3010805, e-mail: chernyshev81@mail.ru

**Abstract:** The paper presents description of the order of finding deformation in metal cutting by means of method, taking into account dynamics of cutting process.

**Keywords:** cutting, deformation, dynamics, vibrations.

При обработке резанием всегда возникает упругое отжатие в системе СПИД. Одним из методов определения отжатия при резании металлов является статический метод [1]. Этот метод заключается в нахождении отжатия как отношения действующей на тело силы к коэффициенту жесткости. Однако этот метод не учитывает динамики процесса резания, поэтому дает большую погрешность.

Целью данной статьи является определение упругого отжатия резца и заготовки как увода, т.е. с учетом динамики процесса резания. Для решения поставленной задачи рассмотрим токарную обработку и силы, действующие на резец и заготовку (рис.1). При этом резец и заготовку представим приведенными к точке  $A$  массами  $m_1$  и  $m_2$ .

Составим уравнения динамики колебаний:

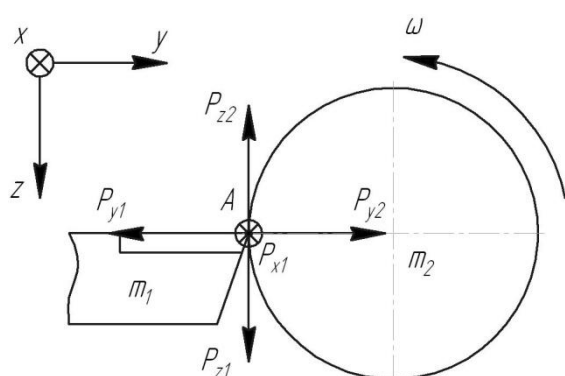


Рис. 1. Схема сил при токарной обработке внешней цилиндрической поверхности

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{z}_1 + b_1 \dot{z}_1 + c_1 z_1 &= P_z, \\ m_2 \ddot{z}_2 + b_2 \dot{z}_2 + c_2 z_2 &= -P_z, \\ m_1 \ddot{y}_1 + b_1 \dot{y}_1 + c_1 y_1 &= P_y, \\ m_2 \ddot{y}_2 + b_2 \dot{y}_2 + c_2 y_2 &= -P_y, \\ m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 &= -P_x, \\ m_2 \ddot{\varphi}_2 + b_2 \dot{\varphi}_2 + c_2 \varphi_2 &= M, \end{aligned} \right\}$$

где правая часть зависит от малых колебательных перемещений и их скоростей, причем  $M$  – крутящий момент, равный разности момента на двигателе и момента резания.

Пренебрежем осевыми перемещениями заготовки, считая их малыми из-за большой жесткости шпинделя в том же направлении, обеспечиваемой упорными подшипниками.

В общем случае систему (1) можно решить описанным ниже образом.

Составляющие силы резания ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ ) представим зависимыми от малых перемещений ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), и запишем систему (1) в виде:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 &= P_1(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2 \dot{x}_2 + c_2 x_2 &= P_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \\ &\dots \\ m_n \ddot{x}_n + b_n \dot{x}_n + c_n x_n &= P_n(x_1, x_2, \dots, x_n). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Чтобы однозначно найти увод по всем координатам, линеаризуем правую часть системы (2). Пренебрежем инерционными и диссипативными членами, рассматривая только упругие. Это связано с тем, что координаты увода (особой точки) описываются условием экстремума потенциальной энергии, которая не зависит от скоростей и ускорений. В результате получим систему алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} c_1 x_1 &= P_1^0 + \frac{\partial P_1}{\partial x_1} x_1 + \frac{\partial P_1}{\partial x_2} x_2 + \dots + \frac{\partial P_1}{\partial x_n} x_n, \\ c_2 x_2 &= P_2^0 + \frac{\partial P_2}{\partial x_1} x_1 + \frac{\partial P_2}{\partial x_2} x_2 + \dots + \frac{\partial P_2}{\partial x_n} x_n, \\ &\dots \\ c_n x_n &= P_n^0 + \frac{\partial P_n}{\partial x_1} x_1 + \frac{\partial P_n}{\partial x_2} x_2 + \dots + \frac{\partial P_n}{\partial x_n} x_n. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Представив систему (3) в матричном виде  $C \cdot X = P_0$ , где  $C$  - матрица коэффициентов жесткости;  $P_0$  - вектор составляющих сил резания без учета колебаний,

$$C = \begin{bmatrix} c_1 x_1 - \frac{\partial P_1}{\partial x_1} & \frac{\partial P_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial P_2}{\partial x_1} & c_2 x_2 - \frac{\partial P_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial P_n}{\partial x_1} & \frac{\partial P_n}{\partial x_2} & \dots & c_n x_n - \frac{\partial P_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}, P_0 = \begin{bmatrix} P_1^0 \\ P_2^0 \\ \dots \\ P_n^0 \end{bmatrix},$$

найдем матрицу перемещений  $X$ , характеризующую упругое отжатие в процессе резания:

$$X = C^{-1} \cdot P_0$$

Применение описанного метода позволяет учесть динамику процесса резания при определении отжатия, возникающего при обработке.

**Список литературы:** 1. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с., ил. 2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с. 3. Беллман Р. Введение в теорию матриц. – М.: Наука, 1969. – 368с.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НА ЕНЕРГОВИТРАТИ МАНІПУЛЯТОРА

Плетенець О.В., Горобець І.О. (ДонНТУ, м.Донецьк, Україна)

### 1. Загальні положення

На цей час для сучасних підприємств актуальна задача автоматизації виробничих процесів. Одним із методів рішення цієї задачі є використання маніпуляторів з паралельною структурою. На рис. 1 наведено автоматичну лінію для упаковки кондитерських виробів, з використанням дельта-роботів.



Рис. 1. Автоматична лінія для упаковки кондитерських виробів

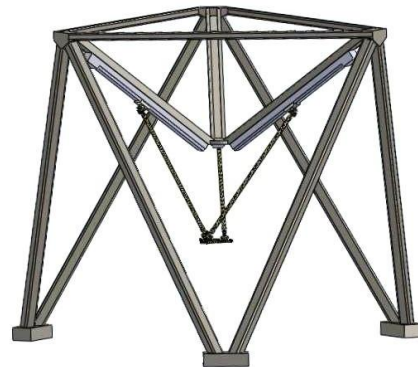


Рис. 2. Загальний вигляд робота

Для дослідження характеристик візьмемо робот, рис.2, конструкція якого була розроблена у [1]. Механізм складається з двох платформ, рухливою і нерухомою, а також з трьох ідентичних кінцівок, що мають однакову кінематичну структуру. Кожна кінцівка з'єднує нерухому платформу з рухомою за допомогою призматичного шарніра, а також послідовно сполучених карданних з'єднань. Поступальні пари управляються за допомогою лінійних приводів.

Метою дослідження було визначення впливу параметрів маніпулятора на його енерговитрати. Експериментальні дослідження проведемо з використанням програмної системи MATLAB.

### 2. Теоретичні положення щодо проведення дослідження

З обліком того, що в якості приводу використовується двигун постійного струму і шарикогвинтові пари, споживана електрична енергія визначатиметься за формулою:

$$Q = P * t, \quad (1)$$

де  $P$  – це потужність двигуна,  $t$  - час.

При цьому потужність двигуна пропорційна струму якоря  $P \sim I$ .

Момент на вихідному валу двигуна постійного струму визначається по формулі [2]:

$$M = C * \Phi * I, \quad (2)$$

де  $\Phi$  - магнітний потік,  $C$  - коефіцієнт залежний від конструктивних особливостей двигуна,  $I$  - струм якоря. У свою чергу взаємозв'язок між моментом електродвигуна і тягових зусиль  $f$  лінійного приводу визначається по формулі [3]:

$$M = \frac{f \cdot P_{ho}}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_p} \quad (3)$$

де  $P_{ho}$  - коефіцієнт, що визначає геометричні параметри ходового гвинта;  $\eta_p$  - ККД гвинтової пари.

Таким чином, між силою, діючою на повзун, і споживанням електричної енергії буде прямо пропорційна залежність, оскільки виходячи з приведених вище формул:

$$Q \sim I \sim M \sim f, \quad (4)$$

Таким чином

$$Q \sim f \quad (5)$$

Сумарні витрати електричної енергії двигунів для переміщення платформи на задану відстань можна розрахувати як суму витрат енергії трьох приводів :

$$\Sigma Q = |Q_1| + |Q_2| + |Q_3|. \quad (6)$$

На підставі формул 5 і 6 можна зробити висновок, що

$$\Sigma Q \sim \Sigma f \sim f_1 + f_2 + f_3. \quad (7)$$

### 3. Реалізація дослідження в середовищі MATLAB

Розрахунок витраченої енергії на переміщення платформи, зробимо для наступних умов. Розглянемо частину робочого циклу маніпулятора. Діаметр робочої зони складає 0,8 м.

На рис.3 наведено графіки характеру руху платформи.

На основі Simulink моделі для вирішення зворотного завдання динаміки складемо модель для сил, діючих на повзуни для забезпечення заданого характеру руху. На рис. 4 приведена Simulink модель.

Початковими даними для моделювання являтиметься маніпулятор з наступними параметрами : радіус кола, на якому лежить точка  $A_i$   $a=0,19$  м; радіус кола, на якому лежить точка  $B_i$   $b=0,08$  м; довжина кожної з 3х штанг  $l=0,85$  м; кут нахилу направляючих повзунів  $\alpha=36^\circ$ ; прискорення вільного падіння  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup>; маса повзуна  $m_s=1$ кг; маса штанги  $m_1=1$ кг; маса рухливої платформи з урахуванням встановленого на неї устаткування  $m_p=0,6$ кг; маса шарніра  $m_j=2$ кг.

При цих параметрах маніпулятора приводи діють на повзуни з силами, що змінюються за законами, представленими на рис.5. Максимальні значення сил приводів при цьому складатимуть 891 Н.

### 4. Аналіз результатів дослідження

#### 4.1. Вплив мас шарнірів на енерговитрати маніпулятора.

Визначимо вплив мас шарнірів на величину електроспоживання приводів. Шарніри, встановлені в цьому роботі, мають масу 2 кг. Така велика маса шарнірів обумовлена їх високою точністю, для забезпечення високої точності позиціонування. Проте для вирішення завдання переміщення об'єктів вимоги до точності позиціонування не такі високі, тому можна скористатися шарнірами нижчої точності, що витримують ті ж навантаження, але що мають значно меншу масу.



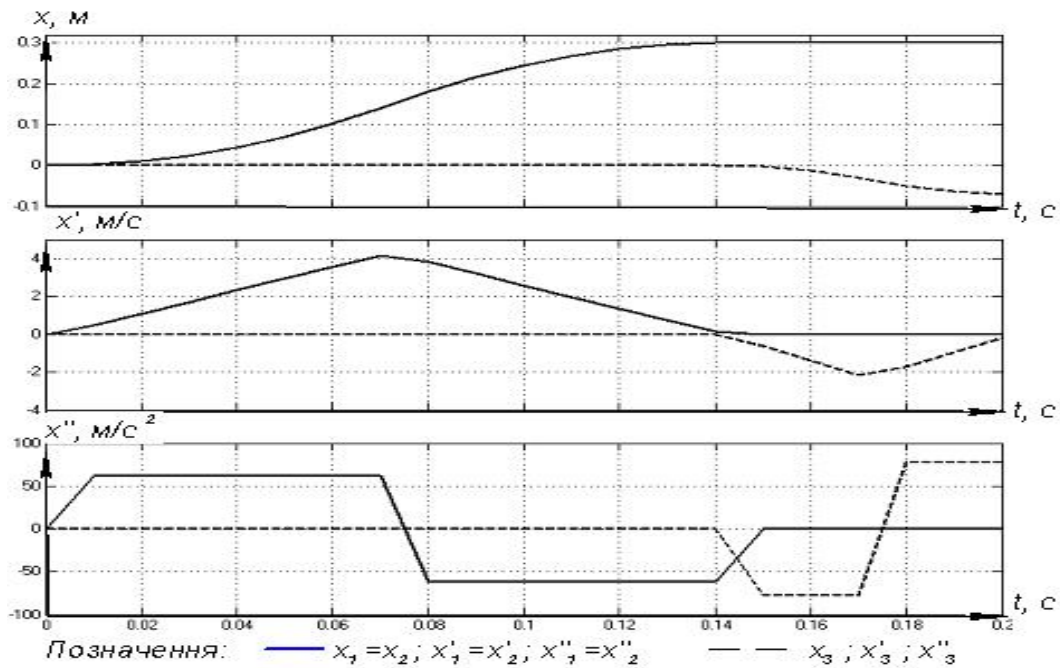


Рис. 3. Графіки переміщення, швидкості і прискорення платформи

Мінімальна маса шарніра, що витримує необхідне навантаження, складає  $m_j=0,2\text{кг}$  [4]. Оцінити енерговитрати маніпулятора можна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях

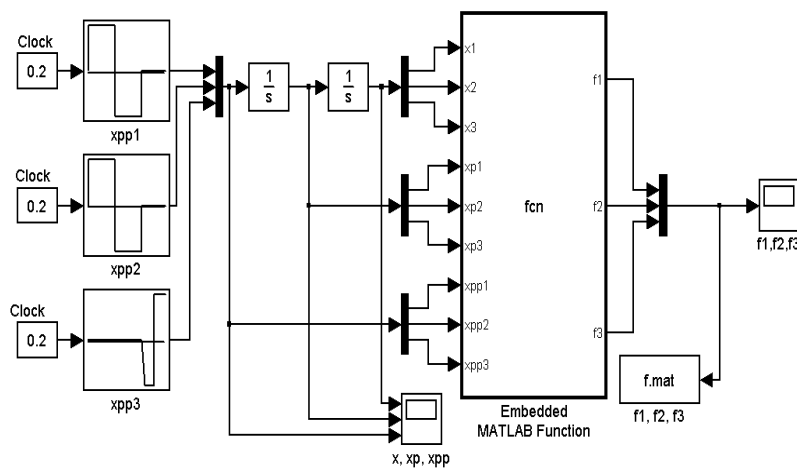


Рис. 4. Simulink модель для визначення необхідних тягових зусиль приводів

#### 4.2. Вплив мас штанг на енерговитрати маніпулятора

Визначимо вплив мас штанг на величину електроспоживання приводів. Штанги, встановлені в цьому роботі, мають масу 1 кг. Штанги зроблені з карбону. Карбон є одним з найбільш легких матеріалів, з яких можна виготовити штанги. Проте використавши штанги у вигляді порожнистих трубок можна зменшити масу штанг до 3 разів і задовольнивши при цьому усі вимоги по заданій міцності. Мінімальна маса штанги, що витримує необхідне навантаження, складає  $m=0,3\text{кг}$  [5]. Оцінити енерговитрати маніпулятора мо-

мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

На рисунку 6 наведено графік економії електричної енергії залежно від мас шарнірів.

Таким чином, використавши шарнір масою  $m_j=0,2\text{ кг}$  можна зменшити енерговитрати на 59,7 %.

жна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

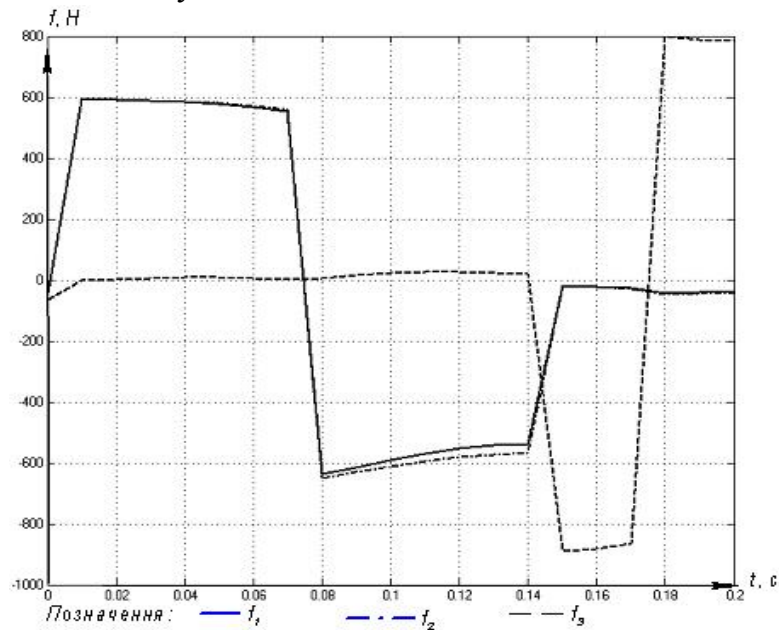


Рис. 5. Графік сил приводів

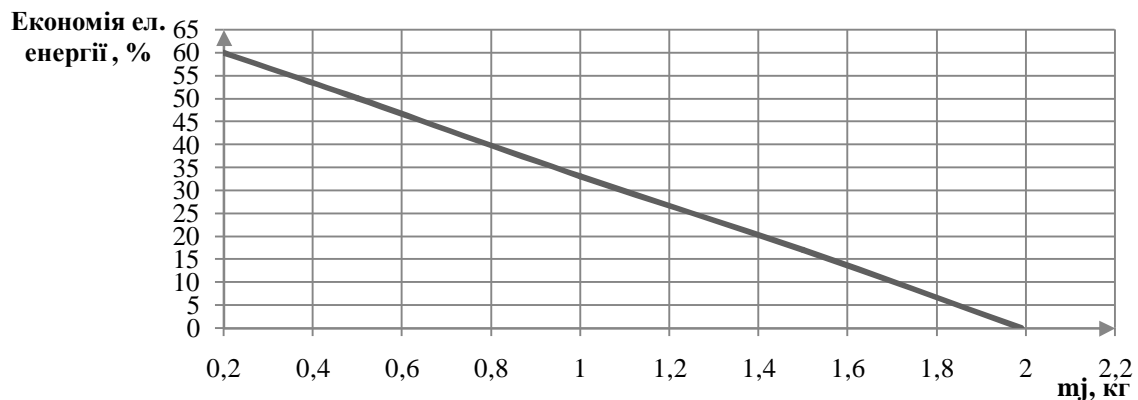


Рис. 6. Графік залежності економії електричної енергії від мас шарнірів

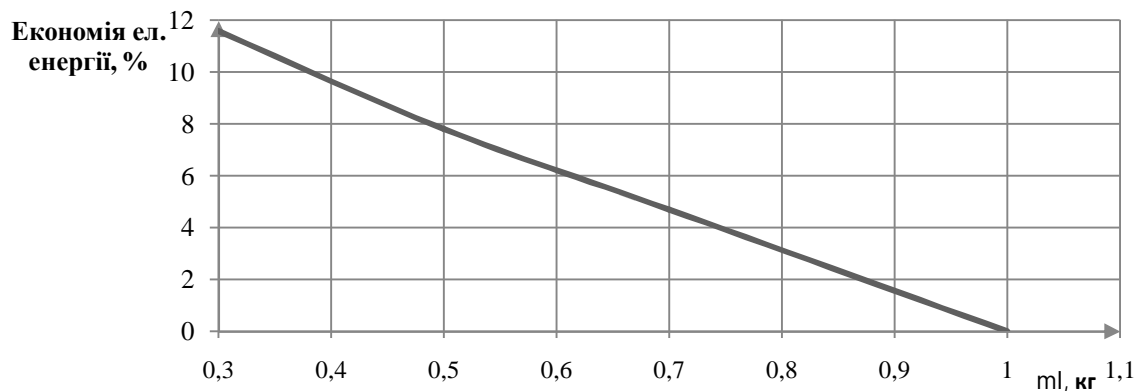


Рис.7. Графік залежності економії електричної енергії від мас штанг

Таким чином, використавши штанги масою  $m_1=0,3\text{кг}$  можна зменшити енерговитрати на 11,6 %.

#### 4.3. Вплив мас повзуна на енерговитрати маніпулятора

Визначимо вплив мас повзунів на величину електроспоживання приводів. Повзуни приводів, встановлені в цьому роботі, мають масу 1 кг кожен. Використання приводів, що мають зменшену масу рухливих частин- повзунів, проте що мають технічні характеристики, що задовольняють мінімальним технічним вимогам, приводить до зменшення мас повзунів. Мінімальна маса повзуна, що задовольняє заданим вимогам, складає  $m_s=0,3\text{кг}$  [3]. Оцінити енерговитрати маніпулятора можна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

На рис. 8 приведено графік економії електричної енергії залежно від мас штанг.

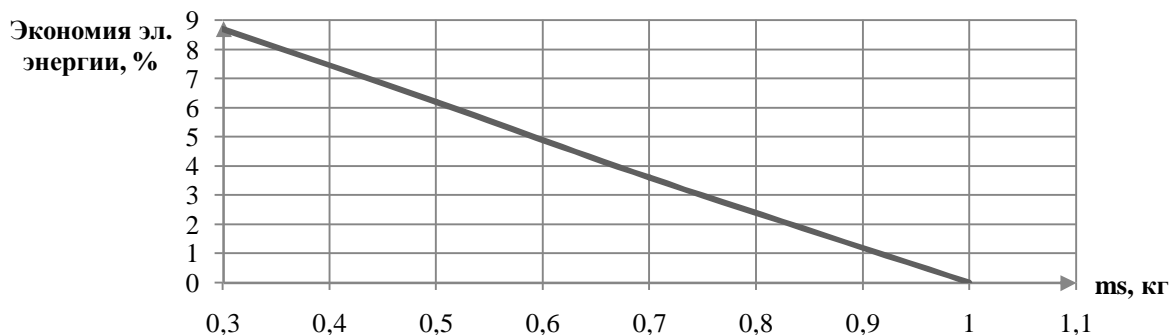


Рис. 8. Графік залежності економії електричної енергії від мас повзунів

Таким чином, використавши повзуни масою  $m_s=0,3\text{кг}$  можна зменшити енерговитрати на 8,4 %.

#### 4.4 Вплив кута нахилу напрямної $\alpha^\circ$ на енерговитрати маніпулятора

Визначимо вплив кута нахилу напрямної  $\alpha^\circ$  на величину електроспоживання приводів. Оцінити енерговитрати маніпулятора можна за допомогою діючих з боку приводів на повзуни сил, необхідних для забезпечення заданого характеру руху платформи, які будуть пропорційні енергоспоживанню двигунів. Оскільки сили змінюються за законами, що мають однаковий вигляд при різних значеннях мас, то оцінити величину діючих сил можна по їх максимальних значеннях.

На рис. 9 приведено графік економії електричної енергії залежно від кута нахилу напрямних.

Таким чином, при вугіллі нахилу напрямних  $\alpha=36^\circ$  енерговитрати робота будуть мінімальними.

#### 5. Дослідження конструкції робота з раціональними параметрами

Проаналізувавши результати дослідження і вибравши параметри, при яких величина економії електричної енергії буде максимальною, проведемо дослідження конструкції з вибраними параметрами. Рекомендованими параметрами для моде-

лювання будуть наступні параметри маніпулятора : радіус кола, на якому лежить точка  $A_i$   $a=0,19$  м; радіус кола, на якому лежить точка  $B_i$   $b=0,08$  м; довжина кожної з 3х штанг  $l=0,85$  м; кут між осями  $x_o$  і  $u_p$  систем координат  $O$  і  $P$   $\theta=0^\circ$ ; кут нахилу напрямних повзунів  $\alpha=36^\circ$ ; прискорення вільного падіння  $g=9,8$  м/с<sup>2</sup>; маса повзуна  $m_s = 0,3$ кг; маса штанги  $m_l = 0,3$  кг; маса рухомої платформи з урахуванням встановленого на неї устаткування  $m_p=0,6$  кг; маса шарніра  $m_j=0,2$  кг.

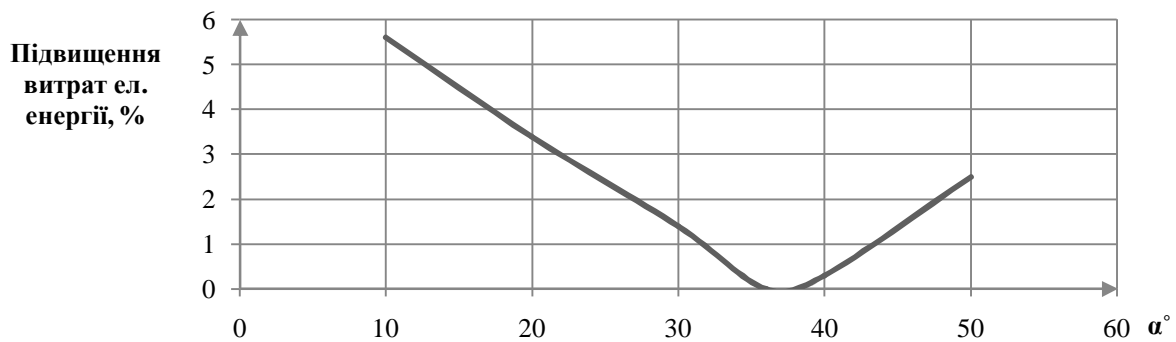


Рис. 9. Графік залежності економії електричної енергії від мас повзунів

Максимальні значення сил приводів при цьому складатимуть 175 Н. При цьому економія електричної енергії складе 80% і витрати електричної енергії маніпулятора з цими параметрами, в порівнянні з маніпулятором з початковими параметрами будуть низчими у 5,1 разів.

## 6. Висновки

Визначено вплив параметрів маніпулятора на його енерговитрати. Для цього в додатку Simulink програми MATLAB була складена модель маніпулятора і розроблена програма для вирішення оберненої задачі динаміки. Наведено дослідження впливу мас шарнірів, штанг і повзунів, а також кута нахилу напрямних на витрати електричної енергії маніпулятора. Встановлено, що найбільший вплив на витрати енергії має маса шарнірів. Таким чином, при використанні шарнірів масою  $m_j=0,2$  кг економія електричної енергії складає 59,7%. Дослідження конструкції робота з раціональними параметрами дозволило встановити зменшення споживання електричної енергії робота в 5 разів, у порівнянні з конструкцією з початковими параметрами.

**Перелік літератури:** 1. Перекопський С. П. „Дослідження кінематичних характеристик та синтез конструкції структури паралельного робота для використання при пакуванні готової продукції“. Магістерська робота - Донецьк, ДонНТУ, 2010. 2. Википедия, Электродвигатель постоянного тока <http://ru.wikipedia.org/>. 3. Сервотехника, Каталог линейных приводов <http://www.servotechnica.ru/files/doc/documents/file-303.pdf>. 4. Каталог шарниров <http://www.avtomash.ru>. 5. John Wiley & Sons, New York “Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators”, N.Y., 1999.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ РЕЗАНИИ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Полтавец В.В., Шаповалова Н.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел.: +38(062) 3010731; E-mail: [vvardon@mail.ru](mailto:vvardon@mail.ru)

**Abstract:** *In the paper the formulas for determination of normal and shearing stress are offered for materials being machined under temperature and speed conditions of cutting. These formulas are deduced by means of method of thermomechanical factors.*

**Key words:** *cutting, thermomechanical factor, normal stress, shearing stress, temperature.*

Согласно теории А. Надаи, сопротивление металлов деформации  $\sigma$  описывается уравнением

$$d\sigma = \frac{\partial \sigma_m}{\partial T} dT + \frac{\partial \sigma_m}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial \sigma_m}{\partial \tau} d\tau + \frac{\partial \sigma_m}{\partial u} du, \quad (1)$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести;

$T$  – температура;

$\varepsilon$  – относительная деформация;

$\tau$  – время деформации;

$u$  – скорость деформации.

Слагаемые уравнения (1) учитывают влияние на сопротивление деформации температуры, наклепа (относительной деформации), разупрочнения во времени, изменения напряжений в зависимости от скорости деформации с учетом вязкости металла.

Теоретические данные, необходимые для решения уравнения (1), в настоящее время в полном объеме отсутствуют. Поэтому на практике для определения напряжений в различных условиях используют экспериментальные данные в виде конкретных дискретных значений для определенных условий деформирования и марок сталей или зависимости, аппроксимирующие экспериментальные данные [1].

При испытаниях материалов на испытательных машинах для получения экспериментальных данных можно воспроизвести заданный закон деформации

ции во времени, менять степень и скорость деформации в исследуемом интервале этих параметров, производить испытания при высоких температурах, измерять усилия и величины деформации в функции времени. Однако скорости деформации, характерные для процесса механической обработки (при лезвийной обработке в зоне резания скорость деформации достигает  $10^6 \text{ с}^{-1}$ , а при обработке шлифованием –  $10^7 \text{ с}^{-1}$ ), при проведении таких испытаний недостижимы.

По характеру наиболее значимых процессов, происходящих в металле, к резанию ближе всего холодная деформация при обработке давлением. Для этого вида обработки разработан ряд методов определения механических характеристик по данным пластометрических испытаний, из числа которых наиболее удобными при применении ЭВМ являются методы, основанные на использовании термомеханических коэффициентов [1, 2, 3]. Применение термомеханических коэффициентов дает возможность расчленить многозначную функциональную зависимость  $\sigma = f(\varepsilon, T, u)$  на ряд частных однозначных зависимостей.

Целью данной работы получение зависимостей для определения напряжений в обрабатываемом материале при резании на основе применения метода термомеханических коэффициентов.

Сущность метода термомеханических коэффициентов состоит в том, что сопротивление деформации определяют при средних значениях термомеханических параметров в области динамических испытаний, а затем при помощи термомеханических коэффициентов  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_u$  распространяют на всю исследуемую область динамических испытаний. Этот метод основан на использовании усредненного значения степенного коэффициента  $k_\varepsilon$  (для  $\varepsilon = \text{const}$ ) во всей области динамических испытаний. Показано, что, несмотря на то, что  $k_\varepsilon$ , строго говоря, не является постоянным при различных значениях температуры и скорости деформации, его отклонения от номинальных значений не большие [4].

Расчетное значение сопротивления деформации в зависимости от различных значений температуры, скорости и степени деформации В.И. Зюзиным предложено определять по следующей зависимости [2]

$$\sigma_m = \sigma_{00} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u. \quad (2)$$

Среднее или базисное сопротивление деформации  $\sigma_{0\partial}$  в работах [2, 3] в динамической области деформации принято при следующих параметрах;  $t = 1000$  °С,  $\varepsilon = 0,1$  и  $u = 10$  с<sup>-1</sup>. Для этих условий и даны значения коэффициентов  $k_t$ ,  $k_\varepsilon$ ,  $k_u$ .

Как уже отмечалось, метод термомеханических коэффициентов дает возможность расчленить многозначную функциональную зависимость  $\sigma(t, \varepsilon, u)$  на ряд зависимостей между тремя переменными  $k_t(t)$ ,  $k_\varepsilon(\varepsilon)$ ,  $k_u(u)$ . Для большой группы конструкционных сталей и сплавов зависимость сопротивления деформации от температуры, выраженная коэффициентом  $k_t$ , может быть представлена в экспоненциальной форме  $k_t = A_1 e^{-m_1 t}$ , а зависимости коэффициентов  $k_\varepsilon$  и  $k_u$  от степени и скорости деформации – в степенной форме  $k_\varepsilon = A_2 \varepsilon^{m_2}$ ,  $k_u = A_3 u^{m_3}$ , где  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  – постоянные коэффициенты, зависящие от материала [3].

С учетом изложенного уравнение (2) представлено в работе [3] в таком виде

$$\sigma_m = A_1 A_2 A_3 \cdot e^{-m_1 t} \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot u^{m_3} \cdot \sigma_{0\partial}. \quad (3)$$

Зависимость (3) достаточно удобна для использования при расчете параметров процесса деформирования на ЭВМ.

При использовании метода термомеханических коэффициентов для определения напряжений в материале при резании зависимость предела прочности стали от температуры при скорости деформации, соответствующей резанию, можно представить в следующем виде:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_m(T, \varepsilon, u) + \Delta\sigma, \quad (4)$$

где  $\sigma_m(T, \varepsilon, u)$  – зависимость предела текучести стали соответственно от температуры, степени деформации и скорости деформации по данным динамических испытаний;

$\Delta\sigma$  – поправка, учитывающая отличие термомеханических параметров при динамических испытаниях и при обработке резанием.

В качестве первого слагаемого в выражении (4) используем выражение (3). Если в этом выражении в качестве переменной величины оставить температуру, остальные термомеханические параметры принять постоянными, то после преобразования констант и постоянных коэффициентов получим

$$\sigma_m = A_{0\partial} \cdot \exp(-m_1 \cdot T), \quad (5)$$

где  $A_{0\partial}$  – постоянная величина для данного материала, которая рассчитывается по формуле:

$$A_{0\partial} = A_1 A_2 A_3 \cdot \varepsilon^{m_2} \cdot u^{m_3} \cdot \sigma_{0\partial}.$$

Поправку  $\Delta\sigma$  в формуле (4), которая учитывает отличие термомеханических параметров при динамических испытаниях обрабатываемого материала и при его обработке резанием, также представим показательной зависимостью от температуры

$$\Delta\sigma = B_{\sigma} \cdot m_{\sigma}^T, \quad (6)$$

где  $B_{\sigma}$ ,  $m_{\sigma}$  – постоянные коэффициенты уравнения регрессии.

Коэффициенты в выражении (6) определяются методами регрессионного анализа на основе сравнения значений предела прочности обрабатываемого материала, определённого экспериментально для условий резания, и предела текучести, рассчитанного по формуле (5) на основе использования термомеханических коэффициентов, для температурного диапазона, соответствующего условиям обработки при резании [5].

С учётом (5) и (6) формула (4) принимает вид:

$$\sigma_{\varepsilon} = A_{об} \cdot \exp(-m_1 \cdot T) + B_{\sigma} \cdot m_{\sigma}^T, \quad (7)$$

Используя известное соотношение между характеристиками материалов  $\tau_s = \sigma_{\varepsilon} / \sqrt{3}$ , из формулы (7) получим выражение для касательного напряжения вдоль условной плоскости сдвига

$$\tau_s = \frac{A_{об}}{\sqrt{3}} \exp(-m_1 \cdot T) + \frac{B_{\sigma}}{\sqrt{3}} m_{\sigma}^T. \quad (8)$$

Зависимости (7) и (8) могут быть использованы для определения нормальных и касательных напряжений, а также иных механических характеристик обрабатываемых материалов при обработке резанием.

**Список литературы:** 1. Коновалов Ю.К., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчёт параметров листовой прокатки: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. – 430 с. 2. Зюзин В.И. – Труды ВНИИМетмаш. Сб. № 8. – М.: ВНИИМетмаш, 1963. – С. 74-89. 3. Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. – М.: Металлургия, 1964. – 270 с. 4. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с. 5. Полтавец В.В. Определение сопротивления деформации хромоникелевых сталей в условиях шлифования с помощью термомеханических коэффициентов/ Наукові праці ДонНТУ. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 5 (139). – Донецьк: ДонНТУ, 2008.– С. 68-74.



## ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Польченко В.В., Богуславский В.А., Юрлов А.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

**Abstract:** The way of an estimation of ability to processing natural and artificial stones by definition of technological productivity for fixed time is offered.

**Keywords:** *artificial stones, productivity, estimation, machinability.*

Трудоемкость обработки камня зависит от различных технологических свойств: наличия в породе твердых включений и ее анизотропных свойств; способа и направленности обработки камня, степени изменения прочностных характеристик при одинаковой его твердости; степени кристаллизации породы и размеров кристаллов, дифференциации пористости. Все это затрудняет классификацию камня по обрабатываемости и назначение оптимальных режимов обработки для достижения качества и снижения трудоемкости.

Существующее понятие обрабатываемости охватывает совокупность нескольких механических и технологических свойств породы. При оценке обрабатываемости учитываются конкретные особенности и условия процесса обработки: способ обработки, конструктивные особенности станка и инструмента. Для ориентировочных расчетов вычисляют коэффициент обрабатываемости, принимая за основной показатель прочность камня [1]. Коэффициент обрабатываемости  $K_o$  при распиловке породы определяют по формуле

$$K_o = R/C,$$

где  $R$  – эталонная прочность на сжатие, Мпа (в качестве эталона принят мрамор Коеглинского месторождения с  $R=70$  Мпа);  $C$  – коэффициент, зависящий от вида породы, который составляет для гранита 400, мрамора – 700, туфа – 1250.

При этом способе оценки не учитываются такие технологические свойства камня как пористость материала, степень кристаллизации и размеры кристаллов, минералогический состав и др.

В работе [2] обрабатываемость оценивается технологической производительностью, полученной при резании образцов алмазным отрезным кругом при постоянном значении потребляемой мощности. При этом под обрабаты-

ваемостью понимается способность камня поддаваться обработке, принимая заданную форму и фактуру в результате воздействия на него инструмента, и оценивается коэффициентом обрабатываемости, который представляет собой отношение производительности станка при обработке камня, принятого за эталон, к производительности при обработке данного вида камня. В этом случае за эталонный камень также рекомендуется принимать коеглинский мрамор.

Недостатком этого способа оценки обрабатываемости является сложность организации работ в производственных условиях, а также недостаточная точность вследствие сложности стабилизации резания по мощности. Кроме этого, свойства эталонного камня даже одного месторождения не стабильны, что приводит к значительным разбросам результатов эксперимента по определению обрабатываемости. На основании полученных результатов можно оценить принадлежность данного материала к одной из групп обрабатываемости, но нельзя прогнозировать режимы механической обработки материала данного каменного блока и изменение режущих способностей отрезного алмазного круга по мере обработки блока.

С целью устранения указанных недостатков, повышения точности оценки обрабатываемости камня, назначения оптимальных режимов обработки, позволяющих снижать трудоемкость обработки камня, авторами статьи предлагается усовершенствованный экспериментальный способ, обеспечи-

вающий уменьшение времени на оценку обрабатываемости, увеличение точности этой оценки, упрощение организации работ по оценке обрабатываемости в производственных условиях

В предлагаемом способе оценки обрабатываемости горных пород и искусственного камня определяется технологическая производительность при резании образцов алмазным отрезным кругом [3]. Процесс резания осуществля-

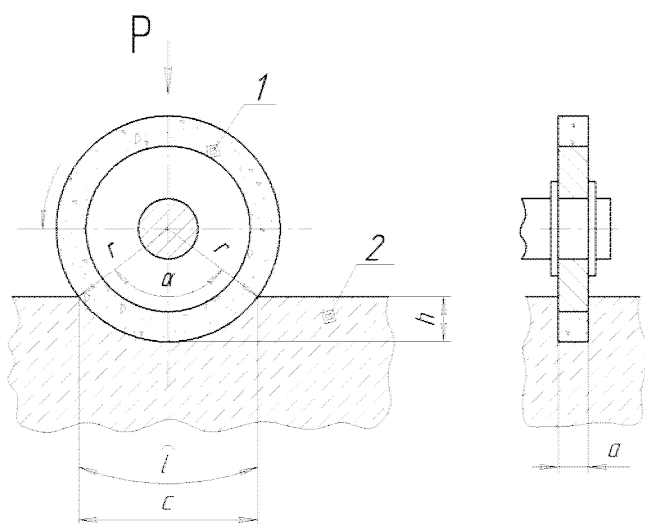


Рис.1. К определению технологической производительности

ется при постоянной величине усилия прижима  $P$  алмазного круга к исследуемому образцу (Рис. 1). Технологическая производительность оценивается временем заглабления алмазного отрезного круга в образец на необходимую величину.

Экспериментальная оценка обрабатываемости камня состоит из следующих этапов. На первом этапе осуществляется подготовка образца или каменного блока, которая заключается в устранении влияния на результаты эксперимента шероховатости и отклонения от плоскостности. Для этого алмазный отрезной круг заглабляют в образец на величину (0,005 - 0,015) диаметра отрезного круга. На втором этапе при постоянном усилии прижима круга к образцу производят отсчет времени заглабления круга на величину (0,0025 - 0,075) диаметра круга. Диаметр круга выбирают в диапазоне 160 - 250 мм. При этом больший диаметр круга принимают для более прочных и твердых образцов, чем обеспечивается большая скорость резания и повышенная производительностью при эксперименте. Величина заглабления алмазного отрезного круга ограничивается специальной опорой.

Для обеспечения стабильных режущих свойств алмазного круга перед каждым испытанием его подвергают правке путем распиливания абразивного бруска соответствующих характеристик и размеров, которые подбираются в зависимости от характеристики применяемого алмазного круга.

Такие действия обеспечивают стабильность начальной и конечной дуги контакта алмазного круга и образца и уменьшают влияние шероховатости отклонения от плоскостности каменного блока или образца.

Технологическая производительность  $K$  определяется по зависимости

$$K = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

где  $V$  - объем, снятого абразивным кругом материала,  $см^3$ ,  $t$  - время заглабления круга на заданную величину  $c$ .

Объем  $V$  определяется по формуле

$$V = Fa, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь сегмента снятого материала,  $см^2$ ;  $a$  - толщина абразивного круга,  $см$ .

$$F = \frac{1}{2}[rl - c(r - h)], \quad (3)$$

$$l = 0,01745 rd, \quad (4)$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{c}{2(r-h)} \quad (5)$$

Условные обозначения, входящие в формулы (3), (4), (5) понятны из рис. 1.

Устройство для оценки обрабатываемости камня должно обеспечивать постоянное усилие прижатия круга, точное определение времени достижения заданного заглубления круга, а также рационального способа правки круга для достижения стабильных режущих свойств.

Достоинства способа оценки обрабатываемости камня были опробованы на образце гранита Токовского месторождения. Эксперименты выполнялись на универсальном заточном станке с применением специального приспособления, которое надежно закрепляет образец и обеспечивать постоянное усилие прижатия алмазного круга к образцу. Алмазный отрезной круг имел следующую характеристику – 1А1 160 х 4,5АС15 100/80 2М2-01 ДСТ.

Перед экспериментом алмазный круг подвергался правке с помощью распиловки абразивного бруска БКв14А8СМ18ДО5 ДСТ 2456-82. Предварительное заглубление круга ограничивалось специальной опорой. Такой же опорой ограничивалось заглубление круга при отсчете времени, в течение которого удалялся объем материала.

Результаты эксперимента показали соответствия времени заглубления алмазного круга на заданную величину и оптимальных режимов обработки камня. Полученные результаты сопоставимы с режимами обработки, которые рекомендуются технической литературой и применяются в производственных условиях.

Развитие способа оценки обрабатываемости природных искусственных камней может быть направлено на повышение точности способа за счет совершенствования экспериментальных устройств.

**Список литературы:** 1. Бакка Н.Т., Ильченко И.В. Облицовочный камень: Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений. – М.: Недра, 1992.- 236с. 2. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. – М.: Стройиздат, 1985.-312 с. 3. Деклараційний патент України 63487 А. Опубл. 15.01.2004 Бюл. №1.

## МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Тринеев Е.А., Шевченко Ю.Н., Звягинцева А.В. (Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)

E-mail: [zvygincevaav@mail.ru](mailto:zvygincevaav@mail.ru)

**Abstract:** *The analysis of the data of archival sample on arising contingency situations, the reasons of their occurrence and actions for liquidation and consequences of failures on the objects of power located in territory of Bobrovsky of area of the Voronezh region is carried out*

**Key words:** *The dangerous natural phenomena, power, failure, monitoring, forecasting, reliability*

Устойчивое функционирование сетевого электроэнергетического комплекса невозможно без надежной и качественной работы распределительных электрических сетей, которые являются завершающим звеном в системе обеспечения потребителей электрической энергией и находятся в непосредственном взаимодействии с конкретным потребителем. Совокупность предлагаемых мероприятий: управленческих, организационных и технических на основе новых научно обоснованных решений и технологий, направлены на повышение надежности электроснабжения потребителей [1, 2, 3].

В последние годы из-за недостатка финансирования сократились темпы реконструкции, технического перевооружения и нового строительства сетей. В результате износ сетевых объектов увеличился до 52 % и более. Более 45 % воздушных линий, 51 % подстанций находятся в эксплуатации дольше срока службы.

Цель данной работы состоит в следующем:

- определение мероприятий для своевременного и эффективного выполнения работ по предупреждению и ликвидации последствий аварийных ситуаций в дополнение к системе планово-предупредительных работ (ППР) на объектах энергетики, находящихся на балансе производственного отделения «Лискинские энергетические сети» филиала ОАО «МРСК Центра»

- «Воронежэнерго», расположенных на территории Бобровского муниципального района.

Анализ статистических данных показал, что возможными источниками аварийных ситуаций могут быть:

1. На воздушных линиях (ВЛ) напряжением 35-110 кВ:

- падение опор на ВЛ напряжением 110 кВ с нарушением электроснабжения потребителей;
- обрыв провода или грозозащитного троса;
- повреждение единичных опор;
- повреждение заградителей и конденсаторов ВЧ связи.

2. На ВЛ напряжением 10-6-0,4 кВ:

- массовые повреждения ВЛ с обрывом проводов, падение опор из-за налипания мокрого снега, гололеда и сильного ветра;
- обрыв провода;
- повреждение единичных опор.

3. На ПС напряжением 110-35 кВ:

- повреждение коммутационных аппаратов (выключатели 6-10-35-110 кВ, разъединители 6-10-35-110 кВ и других);
- повреждение единичных силовых трансформаторов 35-110 кВ (от 1,6 до 25 МВА);
- повреждение заградителей и конденсаторов ВЧ связи.

4. На КТП напряжением 10/0,4 кВ - повреждение силового трансформатора или КТП.

Анализ возможных ситуационных моделей наиболее опасных аварий и их социально-экономических последствий для персонала, населения и окружающей среды показал, что таковыми являются:

- падение опор на ВЛ-110 кВ с нарушением электроснабжения потребителей;
- повреждение единичных силовых трансформаторов 35-110 кВ (от 1,6 до 25 МВА);
- массовые повреждения ВЛ-10 кВ с обрывом проводов, падение опор из-за налипания мокрого снега, гололеда и сильного ветра;
- обрыв провода или грозозащитного троса на ВЛ-110 кВ (до 3-х км);
- повреждение единичных опор (до 5 шт.) ВЛ-110 кВ.

Возможными последствиями указанных аварийных ситуаций могут быть временное прекращение электроснабжения отдельных населенных пунктов или отдельных районов населенных пунктов, а также отдельных объектов экономики или инфраструктуры [4]. В работе проведен анализ данных архивной выборки по возникающим аварийным ситуациям, причинам их возникновения и мероприятиям по ликвидации последствий аварийных ситуаций на территории Бобровского района Воронежской области.

В результате, показатели надежности электроснабжения в последние годы практически не изменяются. В Воронежской области сетях напряжением 6-10 кВ в среднем происходит 463 отключений в год (в среднем это составляет 2,26 отключения на каждые 100 км воздушных линий), в сетях напряжением 0,4 кВ происходит 1270 отключений (в среднем это составляет 5,47 отключения на каждые 100 км воздушных линий). В результате происходит до 5-6 отключений потребителя в год, а в технически развитых зарубежных странах до 1-2.

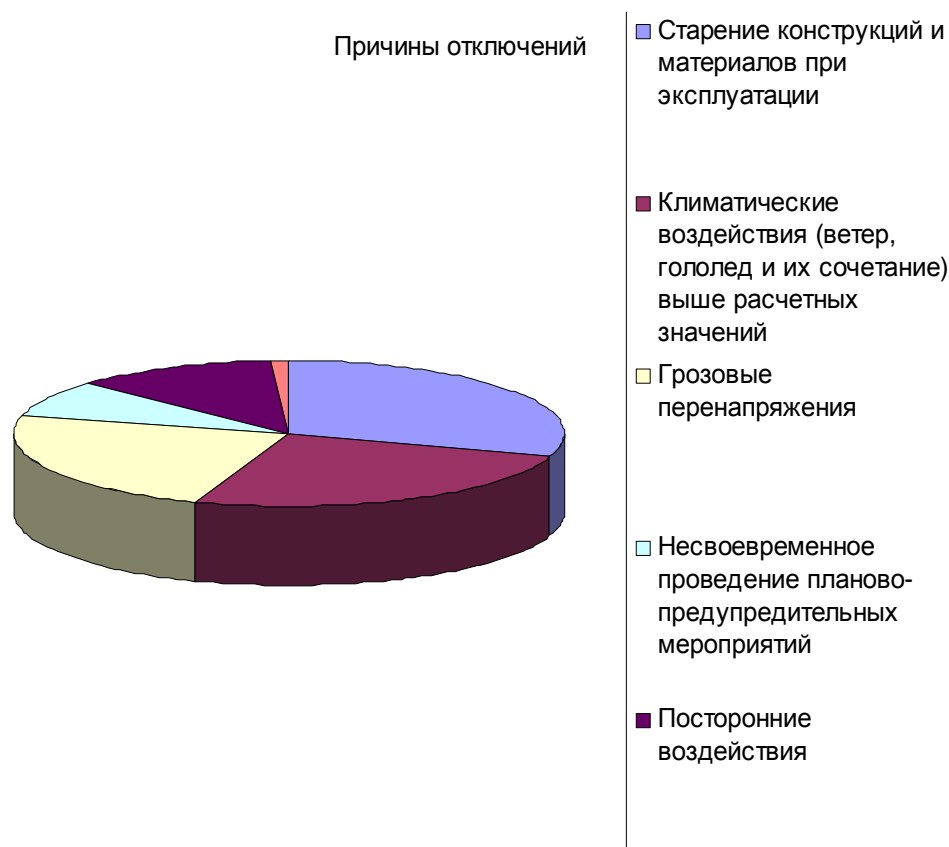


Рис. 1. Причины отключения электроэнергии

Причины отключения электроэнергии Бобровского района Воронежской области, полученные из анализа статистических данных, схематически показаны на рис. 1.

Анализ статистических данных по отключению электроэнергии показал, что причинами повреждений воздушных линий напряжением 6-10 кВ являются: 1.Старение конструкций и материалов при эксплуатации (20 %); 2.Климатические воздействия (ветер, гололед и их сочетание) выше расчетных значений (24 %); 3.Грозовые перенапряжения (22 %); 4.Несвоевременное проведение планово-предупредительных мероприятий (6 %); 5.Посторонние воздействия (10 %); 6.Невыясненные причины повреждений (1%). Таким образом, основное влияние на устойчивое функционирование объектов энергообеспечения имеют опасные природные процессы.

В связи с вышесказанным, необходимо исследование влияния метеорологических условий, таких как гололед, грозы, град, шквал и сильный ветер на провода линий электропередач энергетических систем. В настоящее время традиционно используется физико-статистический способ прогноза опасных природных явлений погоды путем построения различных графиков и номограмм, в которых учитывается ограниченное число предикторов, обычно не более 2-3. Применение регрессионного анализа в оценке вероятности их возникновения позволит создать более совершенную методику прогноза с учетом большего числа предикторов [5].

В данной работе были определены совокупность технических, управленческих и организационных мероприятий, направленных на повышение эффективности технического уровня и безопасности распределительных электрических сетей на основе новых технических решениях.

Таким образом, развитие электроэнергетики в РФ и в нашей области требуют учета климатических параметров при проектировании объектов энергетики с тем, чтобы избежать аварий и не допустить неоправданных материальных и людских потерь.

**Список литературы:** 1.Постановление правительства Российской Федерации от 30.12.2003 №794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». 2. Приказ РАО «ЕЭС России» от 29.09.2005 №650. 3. Приказ ОАО «Воронежэнерго» от 19.10.2005 №605. 4. Правила устройства электроустановок, издание 6, 7, 2005г. 5. Заводченков А.Ф. Воронежская область: природа и природные чрезвычайные ситуации / А.Ф. Заводченков, В.И. Федотов. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. – 98 с.



## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКРЫТОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Фоменко Е.С. (ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)

Тел. +7 (8634) 371622, E-mail: [Elena.sergeevna.fomenko@gmail.com](mailto:Elena.sergeevna.fomenko@gmail.com)

**Abstract:** Analysis results of modern researches testify that the condition of details superficial layers material after its machining is estimated by size of the energy saved up during machining. Also quality of a superficial layer should be described not only by geometrical characteristics of a surface, but also by its energy condition. This paper contains theoretical researches of method for the deformation latent energy size numerical calculation in view of a technological heredity.

**Key words:** latent energy, superficial layer, energy condition, technological heredity, dispositions density.

Результаты современных исследований определенно свидетельствуют о том, что качество поверхностного слоя (ПС) материала в значительной мере зависит от совокупности наследуемых факторов, накопившихся в результате механической обработки. При этом неоспоримо, что качество ПС описывается не только геометрическими характеристиками поверхности, но и ее энергетическим состоянием.

Результаты анализа современных исследований свидетельствуют о том, что состояние материала ПС детали после ее механической обработки оценивается величиной накопленной в процессе механической обработки энергии [1-6]. Скрытая энергия деформации является параметром, определяющим свойства поверхностных слоев обработанной детали, так как трансформация свойств этих слоев относительно исходных является результатом изменения энергии межатомных или межмолекулярных связей в пределах данного объема, то есть результатом поглощения или выделения энергии. Перенос свойств, приобретенных деталью в результате предыдущих операций, оказывает неоспоримое влияние на качество готового изделия и на эффективность всех последующих операций, и связан, безусловно, с понятием технологической наследственности (ТН). То есть, для успешного исследования качества ПС деталей необходимо рассматривать изменение скрытой энергии деформации с точки зрения ТН. Ко всему прочему стоит отметить, что процесс накопления металлами энергии характеризуется некоторой стадийностью.

При выборе возможных этапов изменения накопленной энергии деформации можно ориентироваться, например, на стадии механической обработки детали. Однако для получения общей картины изменения энергетического состояния ПС детали лучше рассматривать этот процесс как постепенное накопление пластической деформации. В таком случае, в качестве этапов изменения латентной энергии можно использовать стадии деформационного упрочнения материала ПС.

Обычно различают три стадии упрочнения, которые в зависимости от типа решетки кристаллов могут иметь разное развитие или совсем отсутствовать. Исходя из отмеченных стадийностей, сопоставление стадий изменения скрытой энергии деформирования со стадиями кривых деформационного упрочнения металлов (подробно исследуемых в литературе) представляет как чисто научный, так и практический интерес. Подобное сопоставление уже было представлено в работах Прокофьева М.А. [7]. Однако для получения более точной картины можно сопоставить не только теоретически описанные стадии, но и конкретные кривые деформационного упрочнения и поглощения энергии для конкретных сплавов.

Для построения кривой изменения скрытой энергии деформирования в первую очередь определить метод вычисления данной величины. В литературных источниках приводится несколько различных формул для расчета латентной энергии. Однако большинство из них представляют собой линейные зависимости, что свидетельствует о том, что вычисления при помощи этих формул носят очень приблизительный характер или применимы в узком диапазоне значений. Характер изменения энергетического состояния ПС носит сложный нелинейный характер. Об этом свидетельствуют теоретические и практические исследования в этой области. При этом стоит упомянуть, что основную роль при накоплении латентной энергии играют такие дефекты кристаллического строения, как дислокации, которые аккумулируют энергию, не перешедшую в работу резанья. Поэтому наиболее достоверной представляется следующая формула[1]:

$$W_{ск} = \frac{G \cdot b_k^2}{4\pi(1-\nu)\sqrt{A_{тек}}} \ln \frac{1}{b_k \sqrt{A_{тек}}}, \quad 1)$$

где  $G$  – модуль сдвига обрабатываемого материала;  $b_k$  – вектор Бюргерса;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $A_{тек}$  – текущее значение плотности дислокаций.

Однако на практике данная формула определяет не общее значение накопленной энергии деформирования, а изменение количества энергии в ходе определенной операции. Так, например, эта формула лежит в основе энергетического подхода к выбору абразивного инструмента для бездефектного шлифования [8]. Для использования же данной зависимости при определении изменения

скрытой энергии деформации формулу (1) необходимо подвергнуть некоторым преобразованиям.

Для наглядного представления изменения скрытой энергии деформации от плотности дислокаций упростим формулу (1) до следующего вида:

$$f(x) = \frac{1}{x} \cdot \ln \frac{1}{x} = -\frac{\ln x}{x}. \quad (2)$$

Данная формула описывает убывающий график функции. Это объясняется тем, что формула ориентирована на определение энергии, не вошедшей в общую работу резания, т.е. величины недостающей (латентной энергии). Соответственно, для определения энергии, накопленной металлом ПС в ходе обработки необходимо взять обратную функцию. В упрощенном виде формула обратной функции будет иметь вид:

$$g(x) = \frac{\ln x}{x}. \quad (3)$$

Найдем точки экстремума полученных функций:

$$f'(x) = \frac{\ln x - 1}{x^2} = 0, \quad (4)$$

$$g'(x) = \frac{1 - \ln x}{x^2} = 0. \quad (5)$$

При  $x=e$  функция  $f(x)$  достигнет точки минимума, а  $g(x)$  – максимума.

Построим графики полученных функций (рис. 1).

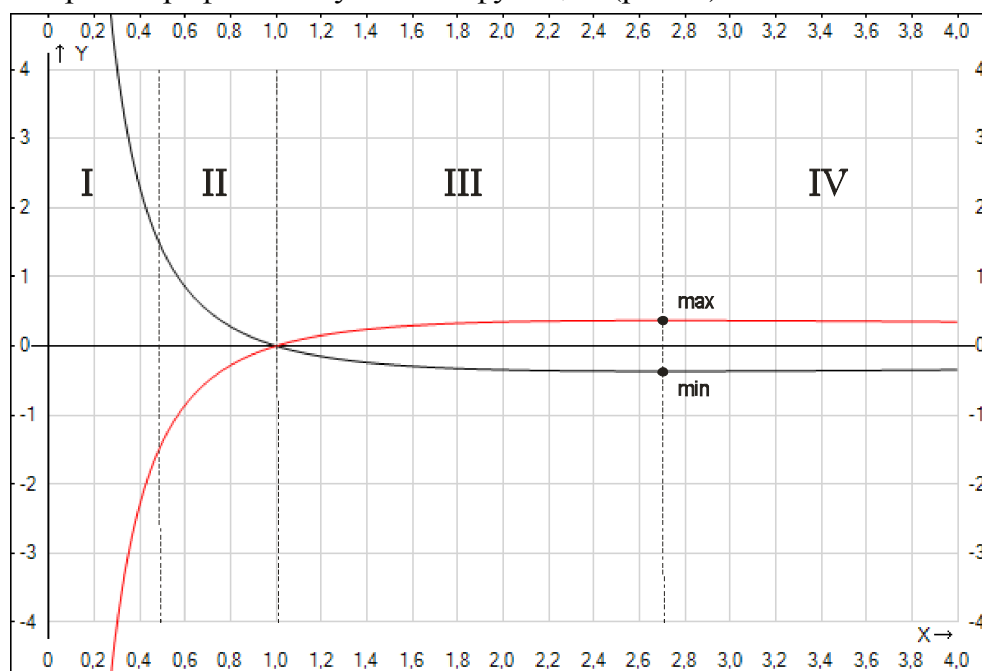


Рис. 1. Графики функций:

$$f(x) = -\frac{\ln x}{x} \quad - \quad \underline{\hspace{2cm}},$$

$$g(x) = \frac{\ln x}{x} \quad - \quad \underline{\hspace{2cm}}.$$

Однако, для решения поставленной задачи – а именно, определения скрытой энергии деформации ПС на различных операциях механической обработки детали – необходимо получить формулу, позволяющую при помощи теоретических вычислений получить значения, максимально приближенные к фактическим значениям накопленной энергии. Для этого в преобразуемую формулу (1) введем величину, описывающую общее энергетическое состояние металла ПС.

Энергия деформации, накопленная в материале за счет образования дислокаций, может быть определена по формуле [9]:

$$W = Q \cdot G \cdot b^2 \cdot V \cdot A, \quad (6)$$

где  $W$  – удельная накопленная энергия, Дж/м<sup>3</sup>;

$Q$  – коэффициент пропорциональности,  $Q=0,5 - 1$ ;

$G$  – модуль сдвига, Па;

$b$  – модуль вектора Бюргерса, м;

$V$  – объем металла, подвергшегося пластической деформации;

$A$  – плотность дислокаций, м<sup>-2</sup>.

Для математического описания распределения накопленной энергии в деформированной области можно принять изменение микротвердости материала ПС ( $HV - HV_0$ ).

Таким образом, для теоретического определения скрытой энергии деформации ПС деталей на операциях механической обработки предлагается следующая формула:

$$W_{ск} = Q \cdot G \cdot b^2 \cdot (HV - HV_0) \cdot A_0 - \frac{G \cdot b_k^2}{4\pi(1-\nu)\sqrt{\Lambda_{мек}}} \ln \frac{1}{b_k \sqrt{\Lambda_{мек}}}, \quad (7)$$

где  $A_0$  – начальная плотность дислокаций.

Однако стоит сделать исключение для процессов абразивной обработки, направленных на удаление дефектов кристаллического строения (шлифование). В данном случае формула примет вид:

$$W_{ск} = Q \cdot G \cdot b^2 \cdot (HV - HV_0) \cdot A_0 + \frac{G \cdot b_k^2}{4\pi(1-\nu)\sqrt{\Lambda_{мек}}} \ln \frac{1}{b_k \sqrt{\Lambda_{мек}}}, \quad (8)$$

так как энергия дислокаций при шлифовании не накапливается, а наоборот, выделяется.

Таким образом, получены формулы для теоретического определения скрытой энергии деформации на различных стадиях пластического деформирования при механической обработке деталей. Исследование конструкционных материалов по модели, описанной в работе [10], при использовании данных формул даст возможность прогнозирования и управления качеством обрабатываемых деталей.

**Список литературы:** 1. Старков В.К. Дислокационные представления о резании материалов. – М.: Машиностроение, 1979 – 160 с. 2. Федонин О.Н. Инженерия поверхностного слоя деталей с позиции накопленной внутренней энергии. /Справочник. Инженерный журнал. – Приложение. - №8. – 2002. – С. 23-24. 3. Панин В.Е., Федоров В.В., Ромашов Р.В. и др. Явление структурно-энергетической аналогии процессов механического разрушения и плавления металлов и сплавов. / Синергетика и усталостное разрушение металлов. – М.: Наука, 1989. – С. 23-24. 4. Коршунов В.Я. Повышение эксплуатационных свойств машин прогнозированием и технологическим обеспечением физико-механических параметров на основе принципов синергетики. / Вестник машиностроения. 2002, №11. – С. 63-65. 5. Бутенко В.И. Электронно-дислокационная теория взаимодействия поверхностей твердых тел. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 264 с. 6. Полетаев В.А. Методы обеспечения требуемого качества поверхностного слоя деталей машин: учебное пособие. - Иваново: Б.и., 2008.—120 с. 7. Прокофьев М.А. Технологическое обеспечение параметров наклепа поверхностного слоя деталей при шлифовании на основе определения скрытой энергии деформации : диссертация ... кандидата технических наук . 8. Бутенко В.И., Фоменко Е.С., Гусакова Л.В. Энергетический подход к выбору абразивного инструмента при шлифовании кремнистых сталей /Металлообработка № 6 (60) 2010. – С.2 – 7. 9. Чалмерс. Физическое металловедение. – М.: Металлургия, 1963. – 455 с. 10. Фоменко Е.С. Обеспечение качества деталей машин путем регулирования энергетического состояния материала поверхностного слоя / Известия ТТИ ЮФУ–ДонНТУ. Материалы Одиннадцатого Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн. – Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФУ. Кн. 3. 2010, № 10. – С.243 – 250.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **СЕКЦИЯ №3**

**Компьютерное моделирование, компьютерная техника, техническая кибернетика и системы управления.**

**Авдюшина А.Е., Звягинцева А.В.**

ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРИРОДНЫХ  
ОБЪЕКТОВ..... 3

**Баркалов А. А., Лаврик А.С., Мирошкин А. Н.**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЗАМЕНЫ ЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ В СХЕМЕ  
УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ С РАЗДЕЛЕНИЕМ КОДОВ..... 8

**Баркалов А.А., Цоллоло С.А., Биайрак Х.**

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ АППАРАТУРНЫХ ЗАТРАТ В СХЕМЕ  
КМУУ С ЭЛЕМЕНТАРНЫМИ ЦЕПЯМИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НА  
ЗАКАЗНЫХ МАТРИЦАХ..... 13

**Беляев А.О.**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГИБРИДНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ  
ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПОМОЩИ NTC  
ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ..... 18

**Беляков С.Л., Коломийцев Я.А.**

УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
КАРТОГРАФИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В СОЦИАЛЬНЫХ  
СООБЩЕСТВАХ ИНТЕРНЕТ..... 22

<b>Бобынцев Д.О., Борзов Д.Б.</b> УСТРОЙСТВО АНАЛИЗА ПЕРЕКРЫТИЙ КАНАЛОВ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОДПРОГРАММ В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ.....	25
<b>Волощенко В. Ю., Волощенко А. П., Тарасов С. П.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ВОДА-ВОЗДУХ ДЛЯ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ.....	29
<b>Волощенко В.Ю.</b> ЛОКАТОР ДЛЯ ЭХОПОИСКА НА МЕЛКОВОДЬЕ.....	33
<b>Клевцов С.И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СГЛАЖИВАЮЩЕГО ВРЕМЕННОГО РЯДА НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ.....	37
<b>Ковалёв С.А., Шишко С.Н., Клименко К.В.</b> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МИКРОПРОГРАММНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ С КЭШ-ПАМЯТЬЮ.....	41
<b>Ковалев С.А., Зеленева И.Я., Татолов Е.Р.</b> ПОДХОД К УНИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА МПА МУРА ДЛЯ FPGA.....	45
<b>Корниенко В.Т., Шостак А.Н.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В СРЕДЕ LABVIEW ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ ЧАСТОТНЫХ СКРЕМБЛЕРОВ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ .....	49

<b>Корниенко В.Т., Шостак А.Н.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В СРЕДЕ LABVIEW ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ ВРЕМЕННЫХ СКРЕМБЛЕРОВ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ.....	54
<b>Кузнецов Ф.И.</b> МЕТОД УСРЕДНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН С КОМПЕНСАЦИЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ.....	58
<b>Ли В.Г., Комар А.В.</b> ВНЕШНЯЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА.....	62
<b>Ли В.Г., Сапрунов В.Н., Комар А.В.</b> ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РТС.....	68
<b>Мальчева Р.В., Мохаммад Юнис</b> ПРИМЕНЕНИЕ СТРОЧНОЙ МЕЖПИКСЕЛЬНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ТРАССИРОВАНИЯ ЛУЧЕЙ.....	72
<b>Панычев А.И., Саградов Т.Г.</b> ТРАССИРОВКА ЛУЧЕЙ СТАНЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ВНУТРИ СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	75
<b>Панычев А.И.</b> ПЕРЕДАЧА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВOK ПРИ ПОЛНОМ ЗАТЕНЕНИИ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ.....	80



<b>Петров Н.С.</b> КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ.....	84
<b>Приходько. Т.О.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА КАНАЛЬНОМ УРОВНЕ МОДЕЛИ OSI.....	88
<b>Пьявченко О.Н.</b> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ МОДУЛЕЙ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.....	91
<b>Самойленко А.П., Петренко Е.Б.</b> АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.....	95
<b>Самойленко А. П., Рудь Д. Е.</b> ОСОБЕННОСТИ ТРАФИКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВХОДНЫМ ПОТОКОМ.....	99
<b>Сербиновский М.Ю., Состина Е.В., Сербиновский А.М.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЛЕНТ. 1. МОДЕЛЬ ФОРМОВАНИЯ.....	105

<b>Сербиновский М.Ю., Состина Е.В., Сербиновский А.М.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЛЕНТ. 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТКАНЕВЫХ ОБОЛОЧЕК И ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ.....	109
---	-----

<b>Скубилин И.М., Скубилин М.Д.</b> ШАРЖИРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ДВИГАТЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	112
--	-----

<b>Скубилин М.Д.</b> К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРОПУНКТУРНОЙ РЕФЛЕКСОТЕРАПИИ.....	119
--	-----

<b>Скубилин М.Д.</b> ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	127
--	-----

<b>Удод Е.В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ДАТЧИКОВ В ПОЛИМОДУЛЬНЫХ 4Х-ЯРУСНЫХ СИСТЕМАХ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РЕШЕНИЕМ ЗАДАЧ.....	132
---	-----

#### **СЕКЦИЯ №4**

##### **Современные проблемы техносферы. Автоматизация, техноло- гия и качество в производственных процессах.**

<b>Артемьев А.С., Долженкова В.В., Звягинцева А.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЫБРОСАМИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ.....	136
---	-----

<b>Байков А.В., Михайлов А.Н., Грубка Р.М., Билищук К.А.</b> ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛАСТИЧНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН В МАТРИЦЕ.....	141
<b>Барковская Д.В., Звягинцева А.В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА РИСКА ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОСФЕРЫ.....	144
<b>Болтян А.В., Болтян М.А.</b> ХАРАКТЕР НАГРУЗКИ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНЫМ СТАНКОМ С ЧПУ.....	150
<b>Буленков Е. А., Зайцева И. Ю.</b> СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ РОТОРНЫХ МАШИН.....	154
<b>Бутенко В.И.</b> ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ НА ЕГО ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ.....	156
<b>Бутенко В.И.</b> РОЛЬ НАНОТРИБОЛОГИИ В СОЗДАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МАШИН И УСТРОЙСТВ.....	168
<b>Бутенко В.И., Кулинский А.Д., Гусакова Л.В.</b> ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ.....	175

<b>Водолазская Н.В.</b> МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОТОРНО-МНОГОЯРУСНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	182
<b>Головин В.С., Мирошниченко Е. В.</b> АНАЛИЗ ТЕМПОВ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ.....	188
<b>Горобец И.А., Голубов Н.В., Горбулин И.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ.....	193
<b>Грубка Р.М., Михайлов А.Н., Шадиев А.Ю.</b> УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ ВТУЛОК ЗУБЧАТЫХ МУФТ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ.....	200
<b>Гусакова Л.В.</b> ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПЕРЕМЕННОЙ ЗЕРНИСТОСТИ.....	205
<b>Диденко Д.И., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г.</b> ПОВЕРХНОСТНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА С ОДНОВРЕМЕННЫМ НАГРЕВОМ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ.....	212
<b>Диденко Д.И., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г.</b> ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА АБРАЗИВА И ТВЕРДОСТИ СВЯЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ.....	218

<b>Дуров Д.С.</b> КОНВЕРТОПЛАНЫ С КРИОГЕННЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ – ВИНТОКРЫЛЫЙ ПРИОРИТЕТ ДЕЛОВОЙ И ПАЛУБНОЙ АВИАЦИИ.....	226
<b>Енин Е.Е., Звягинцева А.В.</b> АНАЛИЗ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ НА ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.....	231
<b>Ермолаева Н.В., Емельянова З.Н.</b> ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СФЕРЕ ЖКХ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.....	236
<b>Ермолаева Н.В., Литвин Н.В., Муромцев В.В.</b> ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ.....	240
<b>Захарченко А.Д.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МАСШТАБНОГО ФАКТОРА ДЛЯ ГИБКИХ КОЛЕС ВОЛНОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ.....	244
<b>Захарченко А.Д.</b> ОЦЕНКА МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ ПАР ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	248
<b>Захарченко А.Д., Гусакова Л.В.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....	252
<b>Ивченко Т.Г., Витохина Д.В.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЧУГУНА ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ.....	257

<b>Ивченко Т.Г., Петряева И.А., Полякова Е.В.</b> УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ И ТЕМПЕРАТУРАМИ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ТЕПЛООБМЕНЕ.....	261
<b>Ищенко А.Л., Байков А.В., Лисняк С.Л.</b> СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТРИЦЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА.....	265
<b>Калафатова Л.П., Кондратенко А.Е.</b> ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МАГНИТНО-АБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ.....	269
<b>Кульбида О.О., Ищенко А.Л., Бережная О.О.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АФФИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ НА АВТОМАТИЧЕСКОМ СБОРОЧНОМ РОТОРЕ.....	273
<b>Лахин А.М., Михайлов А.Н., Тимченко Е.В.</b> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ЭЛМЕНТОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО- ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА.....	277
<b>Мамутов Б.В.</b> МОДЕЛЬ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА С НЕЧЕТКИМИ ИНТЕРВАЛАМИ.....	283
<b>Масюк Л.Н., Гаркавый Е.Я., Дреко Ю.О.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ И НАНОТЕХНОЛОГИИ.....	285

<b>Мирошниченко О. А., Горобец И. А.</b> ВЫБОР ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ КОЛЕСА ДВИЖИТЕЛЯ БСП ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА.....	290
<b>Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Аль-Судани Т.Т., Михайлов Д.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ НАНЕСЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	296
<b>Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Ищенко А.Л., Михайлов Д.А.</b> МАРШРУТИЗАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ В ПОТОЧНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	300
<b>Михайлов А.Н., Сидорова Е.В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДЛОЖКА- ПОКРЫТИЕ.....	309
<b>Михайлов А.Н.</b> ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ НОНАМАТЕРИАЛОВ.....	312
<b>Момот А.И., Самойлов П.И.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ.....	320
<b>Момот А.И., Скибенко Г.Г.</b> ПУТИ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА.....	324

<b>Момот О.І., Городничук Н.В.</b> КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ДОНБАСУ.....	328
<b>Носко О.Э., Булейко В.Г.</b> СРЕДСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ.....	331
<b>Онищенко В.П., Кузнецова А.В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЗУБА КОНИЧЕСКОЙ ШЕСТЕРНИ С ДВОЯКОВЫПУКЛО-ВОГНУТЫМИ ЗУБЬЯМИ.....	334
<b>Пашинин А.В., Чернышев Е.А.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГОГО ОТЖАТИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА.....	337
<b>Плетенець О.В., Горобець І.О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НА ЕНЕРГОВИТРАТИ МАНІПУЛЯТОРА.....	339
<b>Полтавец В.В., Шаповалова Н.Н.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПРИ РЕЗАНИИ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ.....	345
<b>Польченко В.В., Богуславский В.А., Юрлов А.А.</b> ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ ПРИРОДНОГО КАМНЯ.....	349
<b>Тринеев Е.А., Шевченко Ю.Н., Звягинцева А.В.</b> МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ.....	353



**Фоменко Е.С.**

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКРЫТОЙ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	357
--	-----