

- Информационные технологии

4/2 (40) 2009

Содержание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- | | |
|----|--|
| 4 | Анализ атаки пассивного перехвата на пинг — понг протокол с полностью перепутанными парами кутритов
Е.В. Василиу, Р. С. Мамедов |
| 12 | Обнаружение пачки радиоимпульсов с расширением спектра сигнала псевдослучайной перестройкой рабочей частоты
А.Г. Сорочан |
| 23 | Современные методы и средства диагностики статических деформаций стопы человека
Ю.Н. Задерей, В.С. Качер, А.В. Гадяцкий, Н.Т. Ковалько, Л.К. Роман, И.Н. Василенко |
| 27 | Персоніфікаційна класифікація Веб-сайтів
О.Л. Березко |
| 32 | Контроль знаний с ответами на естественном языке
Ю.Ю. Черепанова |
| 37 | Среда разработки и исследования систем автоматического управления технологическими процессами ASPS-LAB
В.К. Тытюк, И.А. Луценко |
| 42 | SIMD-реализация алгоритма SAXPY на GPU
С.Ю. Скрупский, Р.К. Кудерметов |

- 46 Оптимізація витрат на управлінські функції виробничої підсистеми промислового підприємства
 Ю.А. Бабіченко
- 49 Класифікація промислових комп'ютерних мереж
 С.М. Бабчук
- 52 Учебный стенд на базе оборудования компании HONEYWELL
 Р.Б. Медведев, А.А. Евтушенко, О.В. Сангинова
- 57 Методи розрахунку навчального навантаження в інформаційній технології планування і моніторингу обсягів навчальної роботи студентів і викладачів ВНЗ III-IV рівня акредитації
 А.О. Білощицький, С.В. Білощицька
- 63 Однобайтові палітрові графічні формати для зберігання цифрових кольорових зображень
 В.І. Загребнюк, В.Ю. Кумиш

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Б. Бойник
Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

Т. В. Бутько
Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

М. Д. Годлевский
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

В. Н. Гринева
Доктор экономических наук, профессор.
Харьковский государственный экономический университет. УКРАИНА

В. Г. Дацько
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

Д. А. Демин
Кандидат технических наук, доцент.
Технологический Центр. УКРАИНА

М. Д. Кац
Доктор технических наук, профессор.
Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля. УКРАИНА

Б. В. Клименко
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

Г. И. Львов
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

П. Г. Перерва
Доктор экономических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

А. А. Пермяков
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

М. А. Подригало
Доктор технических наук, профессор.
Национальный автомобильный технический университет. УКРАИНА

А. Е. Попов
Кандидат экономических наук, доцент.
Харьковский государственный экономический университет. УКРАИНА

Л. А. Рыбак
Доктор технических наук, профессор.
Старооскольский технологический институт. РОССИЯ

В.Б. Самородов
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

В. Н. Самсонкин
Доктор технических наук, профессор.
Государственный научно-исследовательский центр
железнодорожного транспорта Украины. УКРАИНА

Ю. В. Соболев
Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

А. Л. Становский
Доктор технических наук, профессор
Одесский государственный политехнический университет. УКРАИНА

В. В. Стариков
Кандидат физико-математических наук, доцент.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

Р. Д. Сытник
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

А. Д. Тевяшев
Доктор технических наук, профессор.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники. УКРАИНА.

Т. А. Терещенко
Доктор технических наук, профессор.
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт». УКРАИНА

В. Я. Терзиян
Доктор технических наук, профессор.
Университет Ювяскюля. ФИНЛЯНДИЯ.
Харьковский Национальный университет радиоэлектроники. УКРАИНА

И. А. Фурман
Доктор технических наук, профессор.
Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства. УКРАИНА

Главный редактор

И. Г. Филиппенко
Доктор технических наук, профессор.
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

Учредители

ЧП «Технологический Центр»
Украинская Государственная Академия
железнодорожного транспорта

Дизайн обложки

А. Н. Сергиенко

Аттестовано

Высшей Аттестационной Комиссией Украины
Перечень № 12 постановления Президиума ВАК № 1-05.36
от 11.06.03

Рекомендовано

Ученым Советом
Украинской Государственной Академии
железнодорожного транспорта
протокол № 5 от 26.05.2009

Свидетельство о государственной регистрации журнала

КВ № 6520 от 13.09.2002

Адрес редакции и издательства:

Украина, 61145, г. Харьков, ул. Новгородская, 3-а,
Технологический Центр
тел. +38 (057) 750-89-90

E-mail: nauka@jet.com.ua

Сайт: <http://www.jet.com.ua>

Подписано в печать 29.05.2009 г. Формат 60 × 84 1/8.

Цена договорная.

Тираж 1000 экз.

Частичное или полное тиражирование любым способом
материалов, опубликованных в этом издании, разрешается
только с письменного согласия редакции

Подписка:

оформляется через подписные агентства

«Идея»

«Периодика»

«Саммит»

или через редакцию

УДК 003.26:621.39+530.14

На основі методів квантової теорії інформації проаналізована атака пасивного перехвату з використанням допоміжних квантових систем на пінг – понг протокол з повністю переплутаними парами тривимірних квантових систем – кутритів. Отримано вираз для кількості інформації агента, що підслуховує, як функції від імовірності виявлення атаки. Показано, що стійкість до атаки пінг – понг протоколу з парами кутритів вище стійкості протоколу з парами кубітів

Ключові слова: пінг – понг протокол з кутритами, атака пасивного перехоплення, кількість інформації зломисника, асимптотична безпека

На основе методов квантовой теории информации проанализирована атака пассивного перехвата с использованием вспомогательных квантовых систем на пинг – понг протокол с полностью перепутанными парами трехмерных квантовых систем – кутритов. Получено выражение для количества информации подслушивающего агента как функции от вероятности обнаружения атаки. Показано, что стойкость к атаке пинг – понг протокола с парами кутритов выше стойкости протокола с парами кубитов

Ключевые слова: пинг – понг протокол с кутритами, атака пассивного перехвата, количество информации подслушивающего агента, асимптотическая безопасность

On the basis of methods of quantum information theory the eavesdropping attack with the use of auxiliary quantum systems on ping – pong protocol with completely entangled pair of three – dimensional quantum systems – qutrits is analyzed. The formula for quantity of the eavesdropper's information as functions from probability of attack's detection is deduced. It is shown, that the resistance against the attack of ping – pong protocol with pairs of qutrits is above the resistance of the protocol with pair of qubits

Key words: ping – pong protocol with qutrits, eavesdropping attack, amount of eavesdropper's information, asymptotic security

АНАЛИЗ АТАКИ ПАССИВНОГО ПЕРЕХВАТА НА ПИНГ – ПОНГ ПРОТОКОЛ С ПОЛНОСТЬЮ ПЕРЕПУТАННЫМИ ПАРАМИ КУТРИТОВ

Е. В. Василиу

Кандидат физико-математических наук, доцент

Кафедра информатизации и управления

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, Украина, 65029

Контактный тел.: 8-067-302-99-49

E-mail: vasiluu@ua.fm

Р. С. Мамедов

Аспирант, начальник телекоммуникационного узла

ПО "Азтелеком"

ул. М.Э. Расудзаде, 1, г. Ширван, Азербайджанская

республика

E-mail: r.s.mamedov@mail.ru

1. Введение

В настоящее время квантовая криптография является одним из быстро развивающихся приложений квантовой теории информации и предлагает новый,

основанный на законах квантовой физики, подход к решению важной проблемы защиты телекоммуникационных каналов от прослушивания неавторизованными лицами. Одно из направлений квантовой криптографии – квантовые протоколы безопасной связи [1

– 4], в которых секретное сообщение, закодированное в состояниях квантовых систем, передается по квантовому каналу связи без предварительного шифрования этого сообщения. Таким образом, квантовые протоколы безопасной связи являются бесключевыми протоколами, что позволяет обойти сложную проблему генерации, хранения и распределения секретных ключей.

Одним из протоколов квантовой безопасной связи является пинг – понг протокол, который может быть реализован с полностью перепутанными состояниями пар или групп кубитов. Разработано несколько вариантов пинг – понг протокола с кубитами, а также исследована их стойкость к различным атакам [1 – 9]. Использование вместо кубитов квантовых систем с большей размерностью позволит увеличить информационную емкость источника. Так, протокол с полностью перепутанными парами трехмерных квантовых систем (кутритов) и квантовым сверхплотным кодированием для кутритов будет иметь емкость $\log_2 9 = 3.17$ битов на цикл вместо двух битов на цикл для протокола с парами кубитов. Отметим, что с технологической точки зрения оперировать с кутритами пока сложнее, чем с кубитами, однако ряд экспериментов по созданию перепутанных пар кутритов выполнен к настоящему времени [10,11].

Недавно предложен протокол квантовой безопасной связи с перепутанными парами кутритов, использующий схему пинг – понг протокола, а также передачу кутритов блоками [12]. Однако в [12] не рассмотрены полностью даже операции, необходимые для режима контроля подслушивания, не говоря уже о полном анализе атаки перехвата на предложенный протокол. Таким образом, к настоящему времени пинг – понг протокол с перепутанными парами кутритов не разработан полностью, а также не проведен анализ его стойкости к атакам. Целью настоящей работы является анализ атаки пассивного перехвата на пинг – понг протокол с перепутанными парами кутритов, а также сравнение стойкости этого протокола со стойкостью протоколов с кубитами.

2. Пинг – понг протокол с полностью перепутанными парами кутритов

Существует девять полностью перепутанных ортонормированных состояний пары кутритов (белловские состояния пары кутритов) [12]:

$$|\Psi_{00}\rangle = (|00\rangle + |11\rangle + |22\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{10}\rangle = (|00\rangle + e^{2\pi i/3}|11\rangle + e^{4\pi i/3}|22\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{20}\rangle = (|00\rangle + e^{4\pi i/3}|11\rangle + e^{2\pi i/3}|22\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{01}\rangle = (|01\rangle + |12\rangle + |20\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{11}\rangle = (|01\rangle + e^{2\pi i/3}|12\rangle + e^{4\pi i/3}|20\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{21}\rangle = (|01\rangle + e^{4\pi i/3}|12\rangle + e^{2\pi i/3}|20\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{02}\rangle = (|02\rangle + |10\rangle + |21\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{12}\rangle = (|02\rangle + e^{2\pi i/3}|10\rangle + e^{4\pi i/3}|21\rangle)/\sqrt{3};$$

$$|\Psi_{22}\rangle = (|02\rangle + e^{4\pi i/3}|10\rangle + e^{2\pi i/3}|21\rangle)/\sqrt{3}. \quad (1)$$

Состояния (1) могут быть преобразованы одно в другое применением локальных унитарных операций к одному из кутритов пары [12]. Таким образом, имеется возможность реализовать квантовое сверхплотное кодирование для пары кутритов, т.е., передавая по квантовому каналу связи только один из кутритов перепутанной пары, передать при этом два классических трита информации.

Принимающая сторона (Боб) готовит одно из двухкутритных состояний (1), пусть это будет состояние $|\Psi_{00}\rangle$, а затем посылает один из кутритов передающей стороне (Алисе). Пусть Боб оставляет у себя первый кутрит из пары – “домашний” кутрит, и посылает Алисе второй – “передаваемый” кутрит.

Алиса выполняет одну из девяти кодирующих операций над полученным кутритом, в соответствии с парой классических тритов (троичной биграммой), которую она хочет послать. Например, состояние $|\Psi_{00}\rangle$ соответствует “00”, $|\Psi_{10}\rangle$ – “10”, $|\Psi_{20}\rangle$ – “20” и т.д. Алиса и Боб договариваются о таком соответствии заранее. Затем Алиса отправляет передаваемый кутрит обратно Бобу, который выполняет измерение над обоими кутритами в базисе Белла для кутритов, представляющем собой набор из девяти операторов $\{|\Psi_{ij}\rangle\langle\Psi_{ij}|\}$, где $i, j = 0...2$. Тем самым Боб точно определяет состояние, созданное кодирующей операцией Алисы, и, соответственно, троичную биграмму, которую она послала. Описанная последовательность операций называется режимом передачи сообщения. Кодирующие операции Алисы, действующие на второй кутрит пары и преобразующие состояние $|\Psi_{00}\rangle$ в состояния $|\Psi_{00}\rangle \dots |\Psi_{22}\rangle$ соответственно, имеют вид [12]:

$$U_{00} = |0\rangle\langle 0| + |1\rangle\langle 1| + |2\rangle\langle 2|;$$

$$U_{10} = |0\rangle\langle 0| + e^{2\pi i/3}|1\rangle\langle 1| + e^{4\pi i/3}|2\rangle\langle 2|;$$

$$U_{20} = |0\rangle\langle 0| + e^{4\pi i/3}|1\rangle\langle 1| + e^{2\pi i/3}|2\rangle\langle 2|;$$

$$U_{01} = |1\rangle\langle 0| + |2\rangle\langle 1| + |0\rangle\langle 2|;$$

$$U_{11} = |1\rangle\langle 0| + e^{2\pi i/3}|2\rangle\langle 1| + e^{4\pi i/3}|0\rangle\langle 2|;$$

$$U_{21} = |1\rangle\langle 0| + e^{4\pi i/3}|2\rangle\langle 1| + e^{2\pi i/3}|0\rangle\langle 2|;$$

$$U_{02} = |2\rangle\langle 0| + |0\rangle\langle 1| + |1\rangle\langle 2|;$$

$$U_{12} = |2\rangle\langle 0| + e^{2\pi i/3}|0\rangle\langle 1| + e^{4\pi i/3}|1\rangle\langle 2|;$$

$$U_{22} = |2\rangle\langle 0| + e^{4\pi i/3}|0\rangle\langle 1| + e^{2\pi i/3}|1\rangle\langle 2|. \quad (2)$$

Поскольку подслушивающий агент (Ева) не имеет доступа к домашнему кутриту, хранящемуся в квантовой памяти у Боба в течение одного цикла протокола, то она не может получить никакой информации, просто перехватив передаваемый кутрит на пути Алиса → Боб и измерив его состояние. Состояние передаваемого кутрита полностью смешанное – его редуцированная ма-

трица плотности имеет вид $\rho_{\text{red}} = \frac{1}{3}(|0\rangle\langle 0| + |1\rangle\langle 1| + |2\rangle\langle 2|)$. Однако, Ева имеет возможность провести атаку с помощью дополнительных квантовых систем (проб), перепутываемых с передаваемым кутритом на пути Боб $\rightarrow$ Алиса (рис. 1). Затем Ева выполняет измерение над составной квантовой системой "передаваемый кутрит – проба" на пути Алиса $\rightarrow$ Боб. Поэтому, кроме режима передачи сообщения в пинг – понг протоколе необходим также режим контроля подслушивания, позволяющий обнаружить перепутывающую операцию Евы.

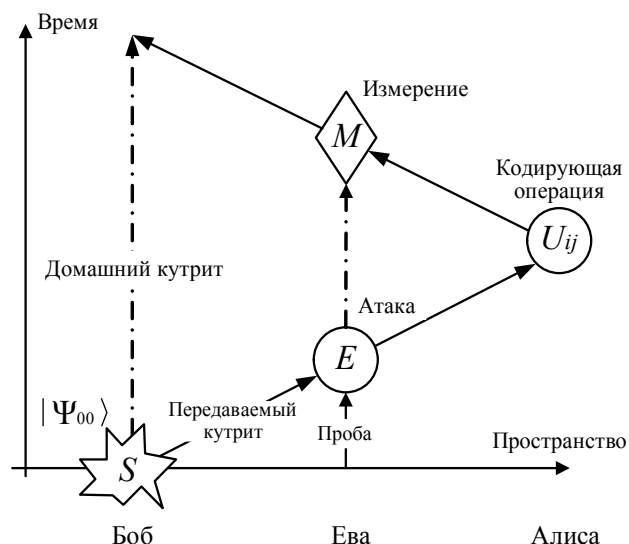


Рис. 1. Схема атаки на пинг-понг протокол с парами кутритов (S – источник перепутанных пар кутритов)

Алиса переключается в режим контроля подслушивания случайным образом с некоторой вероятностью q . В этом режиме Алиса не выполняет кодирующих операций (2), а случайно выбирает один из взаимно несмещенных (дополнительных) измерительных базисов, измеряет в этом базисе передаваемый кутрит и сообщает Боба по классическому (не квантовому) каналу связи результат измерения и выбранный базис.

Всего имеется четыре взаимно несмещенных базиса для кутритов, из которых два называются z-базисом и x-базисом [12], а два других назовем v-базисом и t-базисом:

$$\begin{aligned} |z_0\rangle &= |0\rangle, & |z_1\rangle &= |1\rangle, & |z_2\rangle &= |2\rangle; \\ |x_0\rangle &= (|0\rangle + |1\rangle + |2\rangle)/\sqrt{3}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} |x_1\rangle &= (|0\rangle + e^{2\pi i/3}|1\rangle + e^{-2\pi i/3}|2\rangle)/\sqrt{3}, \\ |x_2\rangle &= (|0\rangle + e^{-2\pi i/3}|1\rangle + e^{2\pi i/3}|2\rangle)/\sqrt{3}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} |v_0\rangle &= (e^{2\pi i/3}|0\rangle + |1\rangle + |2\rangle)/\sqrt{3}, \\ |v_1\rangle &= (|0\rangle + e^{2\pi i/3}|1\rangle + |2\rangle)/\sqrt{3}, \\ |v_2\rangle &= (|0\rangle + |1\rangle + e^{2\pi i/3}|2\rangle)/\sqrt{3}; \\ |t_0\rangle &= (e^{-2\pi i/3}|0\rangle + |1\rangle + |2\rangle)/\sqrt{3}; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} |t_1\rangle &= (|0\rangle + e^{-2\pi i/3}|1\rangle + |2\rangle)/\sqrt{3}; \\ |t_2\rangle &= (|0\rangle + |1\rangle + e^{-2\pi i/3}|2\rangle)/\sqrt{3}. \end{aligned} \quad (6)$$

Измерение Алисы в любом из базисов дает один из трех возможных результатов – "0", "1" или "2", каждый с вероятностью $1/3$. Получив от Алисы результат измерения и выбранный базис, Боб выполняет измерение состояния своего домашнего кутрита. При этом Боб должен выбрать измерительный базис в со-

$$\begin{aligned} |\Psi_{00}\rangle &= (|00\rangle + |11\rangle + |22\rangle)/\sqrt{3} = (|x_0x_0\rangle + |x_1x_2\rangle + |x_2x_1\rangle)/\sqrt{3} = \\ &= (|t_0v_0\rangle + |t_1v_1\rangle + |t_2v_2\rangle)/\sqrt{3} = (|v_0t_0\rangle + |v_1t_1\rangle + |v_2t_2\rangle)/\sqrt{3}. \end{aligned} \quad (7)$$

ответствии с правилами, которые вытекают из записи состояния $|\Psi_{00}\rangle$ в четырех базисах (3) – (6):

Выражения (7) получены путем прямого вычисления действия проекционных операторов в базисах (4) – (6) на состояние $|\Psi_{00}\rangle$, записанное в вычислительном базисе (3), т.е. на $|\Psi_{00}\rangle = (|00\rangle + |11\rangle + |22\rangle)/\sqrt{3}$.

Из (7) следуют правила для измерения Боба. Так, если Алиса выбрала z-базис и получила результат "0", то Боб тоже должен выбрать z-базис и его результат с определенностью будет "0". Аналогично, если результат Алисы при измерении в z-базисе "1" или "2", то и Боб в этом базисе должен получить "1" или "2" соответственно. Если Алиса выбрала x-базис, то Боб тоже должен выбрать этот базис. При результатах Алисы "0", "1" или "2" (соответствующих состояниям $|x_0\rangle$, $|x_1\rangle$ и $|x_2\rangle$) Боб с определенностью получит "0", "2" или "1" соответственно. Если же Алиса выберет v-базис, то согласно (7) Боб должен выбрать t-базис, и наоборот, а результаты измерений Боба в зависимости от результатов Алисы также следуют из (7).

Если результаты Боба отличаются от вышеприведенных, то это означает, что состояние $|\Psi_{00}\rangle$ изменено при передаче кутрита от Боба к Алисе. Это может быть обусловлено двумя причинами: атакой Евы или шумом в квантовом канале связи. Мы не рассматриваем реализацию пинг – понг протокола в канале с шумом и считаем, что легитимные пользователи используют идеальный квантовый канал. В таком случае несоответствие результата измерения Боба ожидаемому свидетельствует об атаке Евы и легитимные пользователи должны немедленно прервать сеанс связи. Однако, для пинг – понг протоколов с группами перепутанных кубитов атака Евы не приводит к тому, что Алиса и Боб обнаруживают изменение приготовленного Бобом состояния сразу же при первом контроле подслушивания [1, 5, 6]. В протоколах с кубитами атакующая операция Евы обнаруживается за один раунд контроля подслушивания с некоторой вероятностью и легитимные пользователи должны выполнить некоторое количество раундов для того, чтобы сделать вероятность обнаружения атаки сколь угодно близкой к единице [6]. Для пинг – понг протокола с парами перепутанных кутритов ситуация будет аналогичной, а конкретное число раундов контроля подслушивания, необходимых для обнаружения атаки с заданной наперед вероятностью, можно определить, проанализировав атаку Евы.

Результаты такого анализа изложены в следующем разделе статьи.

3. Атака с использованием квантовых проб на пинг – понг протокол с перепутанными парами кутритов

Согласно схеме пинг – понг протокола, Алиса сообщает Бобу по классическому открытому каналу о переключении в режим контроля подслушивания после получения от него передаваемого кутрита. Ева, прослушивая этот канал, узнает о переключении в режим контроля подслушивания после выполнения атакующей операции Е, но до своего финального измерения (см. рис. 1). Следовательно, в этом случае Ева не будет выполнять измерение. Таким образом, легитимные пользователи могут выявить только атакующую операцию Е на линии Боб $\rightarrow$ Алиса.

Согласно теореме расширения Стайнспринга [13], атакующая операция Евы на линии Боб $\rightarrow$ Алиса может быть реализована унитарным оператором в гильбертовом пространстве проб H_E , размерность которого удовлетворяет условию $\dim H_E \leq (\dim H_B)^2$, где H_B – размерность гильбертова пространства передаваемого Бобом кутрита ($\dim H_B = 3$). Таким образом, Ева может, в частности, использовать для атаки пробы, состоящие из одного ($\dim H_E = 3$) или двух ($\dim H_E = 9$) кутритов. Атака с использованием двухкутритных проб является более общей и соответственно более сильной, поэтому проанализируем эту атаку.

Так как состояние передаваемого кутрита полностью смешанное, то, аналогично пинг – понг протоколу с кубитами [2, 3, 5], в данном случае можно считать, что Боб посылает кутрит в одном из состояний $|0\rangle$, $|1\rangle$ или $|2\rangle$ с одинаковой вероятностью $1/3$.

Таким образом, состояния составной системы "передаваемый кутрит – проба Евы" после атаки могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} |\Psi^{(0)}\rangle &= E|0, \Phi\rangle = \alpha_0|0, \Phi_{00}\rangle + \beta_0|1, \Phi_{01}\rangle + \gamma_0|2, \Phi_{02}\rangle; \\ |\Psi^{(1)}\rangle &= E|1, \Phi\rangle = \alpha_1|0, \Phi_{10}\rangle + \beta_1|1, \Phi_{11}\rangle + \gamma_1|2, \Phi_{12}\rangle; \\ |\Psi^{(2)}\rangle &= E|2, \Phi\rangle = \alpha_2|0, \Phi_{20}\rangle + \beta_2|1, \Phi_{21}\rangle + \gamma_2|2, \Phi_{22}\rangle, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\{|\Phi_{ij}\rangle\}$, $i, j = 0...2$ – множество состояний двухкутритной пробы Евы.

Матричное представление атакующей операции Евы имеет вид:

$$E = \begin{bmatrix} \alpha_0 & \alpha_1 & \alpha_2 \\ \beta_0 & \beta_1 & \beta_2 \\ \gamma_0 & \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Из условия унитарности операции Е следуют такие соотношения между параметрами проб Евы:

$$\alpha_i^* \alpha_j + \beta_i^* \beta_j + \gamma_i^* \gamma_j = \delta_{ij}, \quad (10)$$

где δ_{ij} – символ Кронекера, $i, j = 0...2$.

Также по причине того, что состояние передаваемого кутрита полностью смешанное, должны выполняться следующие соотношения:

$$|\alpha_0|^2 = |\beta_1|^2 = |\gamma_2|^2; \quad |\alpha_1|^2 = |\beta_2|^2 = |\gamma_0|^2; \quad |\alpha_2|^2 = |\beta_0|^2 = |\gamma_1|^2. \quad (11)$$

Рассмотрим сначала случай, когда Боб "посылает $|0\rangle$ ". В этом случае состояние системы "передаваемый кутрит – проба Евы" после атаки Е становится $|\Psi^{(0)}\rangle$ (см. (8)).

После выполнения Алисой кодирующих операций U_{00} , U_{10} , U_{20} , U_{01} , ... (2) с частотами P_{00} , P_{10} , P_{20} , P_{01} , ... соответственно, оператор плотности системы "передаваемый кутрит – проба Евы" будет иметь вид:

$$\rho^{(0)} = \sum_{i,j=0}^2 P_{ij} |\Psi_{ij}^{(0)}\rangle \langle \Psi_{ij}^{(0)}|, \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} |\Psi_{00}^{(0)}\rangle &= U_{00} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |0\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 |1\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 |2\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{10}^{(0)}\rangle &= U_{10} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |0\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 e^{2\pi i/3} |1\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 e^{4\pi i/3} |2\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{20}^{(0)}\rangle &= U_{20} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |0\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 e^{4\pi i/3} |1\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 e^{2\pi i/3} |2\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{01}^{(0)}\rangle &= U_{01} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |1\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 |2\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 |0\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{11}^{(0)}\rangle &= U_{11} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |1\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 e^{2\pi i/3} |2\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 e^{4\pi i/3} |0\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{21}^{(0)}\rangle &= U_{21} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |1\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 e^{4\pi i/3} |2\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 e^{2\pi i/3} |0\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{02}^{(0)}\rangle &= U_{02} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |2\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 |0\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 |1\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{12}^{(0)}\rangle &= U_{12} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |2\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 e^{2\pi i/3} |0\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 e^{4\pi i/3} |1\rangle |\Phi_{02}\rangle, \\ |\Psi_{22}^{(0)}\rangle &= U_{22} |\Psi^{(0)}\rangle = \alpha_0 |2\rangle |\Phi_{00}\rangle + \beta_0 e^{4\pi i/3} |0\rangle |\Phi_{01}\rangle + \gamma_0 e^{2\pi i/3} |1\rangle |\Phi_{02}\rangle. \end{aligned} \quad (13)$$

Максимальная классическая информация I_0 , которая доступна Еве после измерения над составной системой "передаваемый кутрит – проба", определяется энтропией Холево [14]:

$$I_0 = S(\rho^{(0)}) - \sum_{i,j=0}^2 P_{ij} S(\rho_{ij}^{(0)}) = S(\rho^{(0)}), \quad (14)$$

где $\rho_{ij}^{(0)} = |\Psi_{ij}^{(0)}\rangle \langle \Psi_{ij}^{(0)}|$; S – энтропия фон Неймана и все $S(\rho_{ij}^{(0)})$ равны нулю, так как состояния (13) при выполнении условий (10) – чистые. Таким образом,

$$I_0 = S(\rho^{(0)}) \equiv -\text{Tr}\{\rho^{(0)} \log_3 \rho^{(0)}\} = -\sum_i \lambda_i \log_3 \lambda_i \quad (\text{трит}), \quad (15)$$

где λ_i – собственные значения оператора плотности $\rho^{(0)}$ (12).

Величина I_0 показывает, сколько информации может получить Ева после финального измерения над составной системой "передаваемый кутрит – проба".

Для нахождения собственных значений λ_i оператора плотности $\rho^{(0)}$ (12), этот оператор был записан в матричном виде в следующем ортогональном базисе:

$$\{|0, \Phi_{00}\rangle, |1, \Phi_{00}\rangle, |2, \Phi_{00}\rangle, |0, \Phi_{01}\rangle, |1, \Phi_{01}\rangle, |2, \Phi_{01}\rangle, |0, \Phi_{02}\rangle, |1, \Phi_{02}\rangle, |2, \Phi_{02}\rangle\}. \quad (16)$$

Полученная матрица имеет размер 9×9 и здесь не приводится ввиду ее громоздкости.

С помощью инструментария символьных вычислений программы Mathematica 7 было найдено, что уравнение на собственные значения для этой матрицы плотности может быть разложено на произведение трех кубических уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} & \lambda^3 - (p_{00} + p_{10} + p_{20})\lambda^2 + 3(|\alpha_0|^2|\beta_0|^2 + |\alpha_0|^2|\gamma_0|^2 + |\beta_0|^2|\gamma_0|^2) \times \\ & \times (p_{00}p_{10} + p_{00}p_{20} + p_{10}p_{20})\lambda - 27|\alpha_0|^2|\beta_0|^2|\gamma_0|^2 p_{00}p_{10}p_{20} = 0; \\ & \lambda^3 - (p_{01} + p_{11} + p_{21})\lambda^2 + 3(|\alpha_0|^2|\beta_0|^2 + |\alpha_0|^2|\gamma_0|^2 + |\beta_0|^2|\gamma_0|^2) \times \\ & \times (p_{01}p_{11} + p_{01}p_{21} + p_{11}p_{21})\lambda - 27|\alpha_0|^2|\beta_0|^2|\gamma_0|^2 p_{01}p_{11}p_{21} = 0; \\ & \lambda^3 - (p_{02} + p_{12} + p_{22})\lambda^2 + 3(|\alpha_0|^2|\beta_0|^2 + |\alpha_0|^2|\gamma_0|^2 + |\beta_0|^2|\gamma_0|^2) \times \\ & \times (p_{02}p_{12} + p_{02}p_{22} + p_{12}p_{22})\lambda - 27|\alpha_0|^2|\beta_0|^2|\gamma_0|^2 p_{02}p_{12}p_{22} = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Аналогичным образом рассматриваются остальные случаи в (8), т. е. когда Боб вместо $|0\rangle$ "посылает $|1\rangle$ или $|2\rangle$ ". В этих случаях собственные значения матриц плотности $\rho^{(1)}$ и $\rho^{(2)}$, с учетом соотношений (11), определяются теми же уравнениями (17).

Как следует из первого выражения в (8), в случае, когда Боб "посылает $|0\rangle$ " и в режиме контроля подслушивания используется измерительный базис z , вероятность обнаружить атаку

$$d_z = |\beta_0|^2 + |\gamma_0|^2 = 1 - |\alpha_0|^2. \quad (18)$$

Аналогично, если Боб "посылает $|1\rangle$ или $|2\rangle$ ", то

$$\begin{aligned} d_z &= |\alpha_1|^2 + |\gamma_1|^2 = 1 - |\beta_1|^2 = 1 - |\alpha_0|^2, \\ d_z &= |\alpha_2|^2 + |\beta_2|^2 = 1 - |\gamma_2|^2 = 1 - |\alpha_0|^2 \end{aligned} \quad (19)$$

соответственно, с учетом соотношений (11). Таким образом, общее выражение для вероятности обнаружения атаки при использовании в режиме контроля подслушивания z -базиса имеет вид (18).

Используя соотношение (18), из уравнений (17) можно для случая симметричной атаки Евы ($|\beta_0|^2 = |\gamma_0|^2 = d_z/2$) исключить параметры проб α_0 , β_0 и γ_0 , введя в уравнения (17) вероятность обнаружения атаки d_z . Это позволит в конечном итоге выразить количество информации Евы I_0 (15) через d_z .

Так как при симметричной атаке

$$|\alpha_0|^2|\beta_0|^2 = |\alpha_0|^2|\gamma_0|^2 = (1-d_z)\frac{d_z}{2}, \quad |\beta_0|^2|\gamma_0|^2 = \frac{d_z^2}{4}$$

$$\text{и } |\alpha_0|^2|\beta_0|^2|\gamma_0|^2 = (1-d_z)\frac{d_z^2}{4},$$

то уравнения (17) принимают вид:

$$\begin{aligned} & \lambda^3 - (p_{00} + p_{10} + p_{20})\lambda^2 + 3\left(d_z - \frac{3}{4}d_z^2\right)(p_{00}p_{10} + p_{00}p_{20} + p_{10}p_{20})\lambda - \\ & - \frac{27}{4}(d_z^2 - d_z^3)p_{00}p_{10}p_{20} = 0; \\ & \lambda^3 - (p_{01} + p_{11} + p_{21})\lambda^2 + 3\left(d_z - \frac{3}{4}d_z^2\right)(p_{01}p_{11} + p_{01}p_{21} + p_{11}p_{21})\lambda - \end{aligned}$$

$$- \frac{27}{4}(d_z^2 - d_z^3)p_{01}p_{11}p_{21} = 0;$$

$$\begin{aligned} & \lambda^3 - (p_{02} + p_{12} + p_{22})\lambda^2 + 3\left(d_z - \frac{3}{4}d_z^2\right)(p_{02}p_{12} + p_{02}p_{22} + p_{12}p_{22})\lambda - \\ & - \frac{27}{4}(d_z^2 - d_z^3)p_{02}p_{12}p_{22} = 0. \end{aligned} \quad (20)$$

На рис. 2 приведены зависимости I_0 от d_z при симметричной атаке Евы и различных значениях частот $p_{00} \dots p_{22}$ кодирующих операций Алисы (табл. 1). Для получения этих зависимостей уравнения (20) решались численно при определенных значениях $p_{00} \dots p_{22}$ и полученные девять значений $\lambda_1 \dots \lambda_9$ подставлялись в (15).

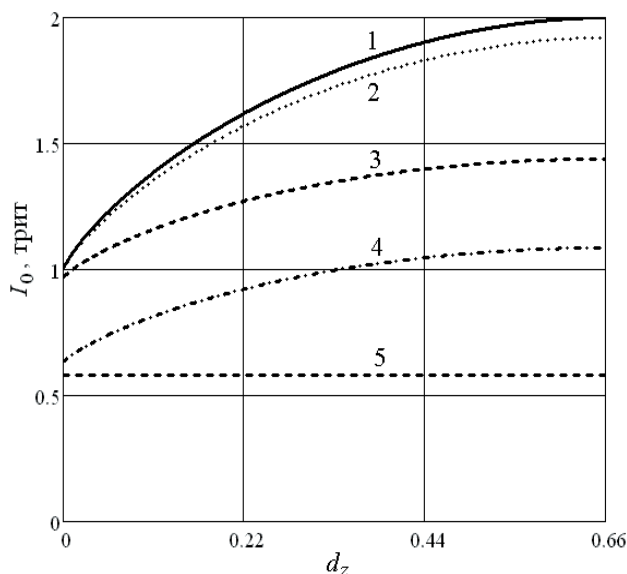


Рис. 2. Зависимость количества информации Евы I_0 от вероятности d_z обнаружения атаки при симметричной атаке

Таблица 1

Частоты $p_{00} \dots p_{22}$ троичных биграмм и соответствующая энтропия источника $H = -\sum_{i,j=0}^2 p_{ij} \log_3 p_{ij}$ (трибит/биграмму)

№ кривой на рис. 2	p_{00}	p_{10}	p_{20}	p_{01}	p_{11}	p_{21}	p_{02}	p_{12}	p_{22}	H
1	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	1/9	2.000
2	1/6	1/9	1/18	1/6	1/18	1/9	1/18	1/9	1/6	1.921
3	2/9	0	2/9	0	2/9	0	2/9	0	1/9	1.439
4	0.4	0.1	0	0	0.4	0.1	0	0	0	1.086
5	2/3	0	0	0	1/3	0	0	0	0	0.579

Как видно из рис. 2, для большинства наборов $p_{00} \dots p_{22}$ количество информации Евы I_0 монотонно возрастает с ростом вероятности обнаружения атаки d_z и достигает максимума при $d_z = 2/3$. Это значение d_z можно считать максимальным, так как при $d_z > 2/3$ количество информации Евы начинает убывать (на графиках не показано). Соответственно, Ева не будет выбирать параметры своих проб, от которых зависит d_z , так, чтобы d_z превышало $2/3$ – для Евы не имеет

смысла увеличивать вероятность обнаружения атаки при уменьшении доступной ей информации. Также из рис. 2 видно, что максимум количества информации I_0 Евы, соответствующий $d_z = 2/3$, равен энтропии источника при любых значениях частот $p_{00} \dots p_{22}$. Это означает, что при $d_z = 2/3$ и только при таком значении d_z Ева получит полную информацию (при симметричной атаке). Также факт равенства I_0 и H при $d_z = 2/3$ свидетельствует о правильной асимптотике формул (20).

Из рис. 2. видно также, что при $d_z = 0$ количество информации Евы не равно нулю, однако оно ниже своего максимального значения при $d_z = 2/3$. Таким образом, для пинг – понг протокола с перепутанными парами кутритов существует ”невидимый” режим подслушивания, при котором Ева получает частичную информацию, но ее операции не могут быть обнаружены легитимными пользователями, когда они используют в режиме контроля подслушивания только один измерительный базис. Отметим, что аналогичная ситуация имеет место и для пинг – понг протокола с перепутанными группами кубитов [3,5]. Поэтому необходимо рассмотреть вероятности обнаружения атаки при использовании легитимными пользователями в режиме контроля подслушивания остальных базисов (4) – (6), а также зависимости между этими вероятностями.

4. Вероятности обнаружения атаки при использовании легитимными пользователями x- v- и t-базиса, сравнение стойкости протоколов с кутритами и кубитами

Рассмотрим атаку Евы, считая, что в силу полной смешанности состояния передаваемого кутрита он теперь находится в одном из состояний $|x_0\rangle, |x_1\rangle$ или $|x_2\rangle$ (4). Тогда формулы (8) заменяются на следующие:

$$\begin{aligned} |\psi_x^{(0)}\rangle &= E|x_0, \Phi\rangle = a_0|x_0, \Phi_{00}\rangle + b_0|x_1, \Phi_{01}\rangle + c_0|x_2, \Phi_{02}\rangle; \\ |\psi_x^{(1)}\rangle &= E|x_1, \Phi\rangle = a_1|x_0, \Phi_{10}\rangle + b_1|x_1, \Phi_{11}\rangle + c_1|x_2, \Phi_{12}\rangle; \\ |\psi_x^{(2)}\rangle &= E|x_2, \Phi\rangle = a_2|x_0, \Phi_{20}\rangle + b_2|x_1, \Phi_{21}\rangle + c_2|x_2, \Phi_{22}\rangle. \end{aligned} \quad (21)$$

Далее, все формулы (9) – (17) остаются справедливыми при замене $\alpha_0 \rightarrow a_0, \beta_0 \rightarrow b_0, \gamma_0 \rightarrow c_0, \alpha_1 \rightarrow a_1, \beta_1 \rightarrow b_1$ и т. д.

Таким образом, выражение (18) переходит в выражение

$$d_x = |b_0|^2 + |c_0|^2 = 1 - |a_0|^2. \quad (22)$$

Используя (8) и (21), можно получить следующие выражения, связывающие параметры α_0, β_0 и γ_0 с параметрами a_0, b_0 и c_0 :

$$\begin{aligned} |\alpha_0|^2 &= \frac{1}{3}|a_0 + b_0 + c_0|^2, \quad |\beta_0|^2 = \frac{1}{3}|a_0 + e^{2\pi i/3}b_0 + e^{-2\pi i/3}c_0|^2, \\ |\gamma_0|^2 &= \frac{1}{3}|a_0 + e^{-2\pi i/3}b_0 + e^{2\pi i/3}c_0|^2. \end{aligned} \quad (23)$$

В табл. 2 приведены несколько рассчитанных наборов параметров a_0, b_0 и c_0 , удовлетворяющих соотношениям, аналогичным (10) и (11), а также соответствующие этим наборам параметров значения d_x и d_z . Значения d_z получены с использованием (18) и первой формулы в (23).

Таблица 2

Параметры атакующей операции и соответствующие им значения d_x и d_z

a_0	b_0	c_0	d_x	d_z
Несимметричная атака: $ b_0 ^2 \neq c_0 ^2$				
-0.910684	0.244017	-0.333333	0.170655	0.666667
-0.807162	0.309719	-0.502558	0.348490	0.666667
-0.709081	0.331451	-0.622370	0.497204	0.666667
-0.666667	0.333333	-0.666667	0.555556	0.666667
-0.577406	0.325969	-0.748563	0.666603	0.666667
0.530210 - 0.8i	0.169304 - 0.1i	0.014630 + 0.2i	0.078878	0.666667
-0.909127 + 0.1i	-0.133042 - 0.2i	0.125653 - 0.3i	0.163489	0.666667
0.204236 + 0.83i	0.026660 - 0.3i	0.136663 + 0.4i	0.269388	0.666667
0.737034 + 0.3i	-0.031581 - 0.5i	0.160573 - 0.3i	0.366781	0.666667
0.674712 + 0.3i	0.525520 + 0.2i	-0.220436 - 0.3i	0.454764	0.666667
-0.531662 + 0.3i	0.463325 + 0.2i	-0.531662 + 0.3i	0.627335	0.666667
-0.497557 + 0.293i	0.459068 + 0.2i	-0.570890 + 0.3i	0.666667	0.666667
Симметричная атака: $ b_0 ^2 = c_0 ^2$				
-0.953939 + 0.1i	-0.2i	-0.2i	0.08	0.666667
0.305505 + 0.8i	0.305505 - 0.2i	0.305505 - 0.2i	0.266667	0.666667
0.027387 + 0.7i	0.463276 - 0.2i	0.463276 - 0.2i	0.50925	0.666667
0.577350	-0.288675 + 0.5i	-0.288675 + 0.5i	0.666667	0.666667
0.577350i	0.5 - 0.288675i	0.5 - 0.288675i	0.666667	0.666667
0.577350	0.288675 + 0.5i	0.288675 + 0.5i	0.666667	0.222222

Как показывают расчеты, условие унитарности атакующей операции Евы приводит к важной зависимости между d_z и d_x , а именно: вне зависимости от значения одной из этих величин вторая всегда равна своему максимальному значению (см. табл. 2). Таким образом, при использовании двух измерительных базисов в режиме контроля подслушивания ”невидимого” режима подслушивания уже не существует и пинг – понг протокол с белловскими парами перепутанных кутритов обладает асимптотической безопасностью, аналогично протоколам с группами перепутанных кубитов [3, 5].

Аналогичным образом атака может быть проанализирована для случаев использования легитимными пользователями v-базиса (5) и t-базиса (6). Расчеты показывают, что вышеприведенное правило для d_z и d_x справедливо для любой из пар $d_z - d_x, d_z - d_v, d_z - d_t, d_x - d_v, d_x - d_t, d_v - d_t$: вне зависимости от значения одной из этих величин вторая всегда равна своему максимальному значению.

Отсюда следует, что для обнаружения подслушивания легитимным пользователям достаточно выбрать два любых взаимно несмещенных базиса из четырех возможных (3) – (6) и нет необходимости использовать в режиме контроля подслушивания три или четыре базиса – это не увеличит вероятности обнаружения атаки.

При использовании в режиме контроля подслушивания двух измерительных базисов (например, z и x) вероятность обнаружить атакующую операцию Евы:

$$d = q_z d_z + q_x d_x, \quad (24)$$

где q_z и q_x – вероятности использования Алисой и Бобом z - и x -базисов соответственно ($q_z + q_x = 1$). Наименьшие значения d_z и d_x равны нулю, но когда одна из этих величин равна нулю, другая равна своему максимальному значению $2/3$. Поскольку легитимные пользователи не знают заранее, какую стратегию атаки выберет Ева, т.е. в каком из базисов она будет стремиться создать меньшее значение вероятности обнаружения, то значения q_z и q_x разумно будет выбрать равными друг другу, т.е. $q_z = q_x = 1/2$. Тогда наименьшее значение d получится, когда либо $d_z = 0$ и $d_x = 2/3$, либо наоборот. Согласно (24), при таких условиях $d = (1/2) \cdot (2/3) = 1/3$, т.е. минимальное значение вероятности обнаружения атаки при использовании в режиме контроля подслушивания двух измерительных базисов (с равными вероятностями) равно $1/3$.

Отметим, что при такой стратегии Ева получит лишь частичную информацию о переданной строке тритов. Если же Ева захочет получить всю информацию, то она должна будет так выбрать параметры своих проб, чтобы $d_z = d_x = 2/3$ и при этом, согласно (24), $d = 2/3$.

Сравним теперь зависимости количества информации Евы от вероятности обнаружения атаки для протокола с белловскими парами кутритов и протоколов с группами кубитов. На рис. 3 показаны зависимости I_0 от d_z для протокола с парами кутритов при $p_{00} = \dots = p_{22} = 1/9$, а также для протокола с парами кубитов и квантовым сверхплотным кодированием [3], протокола с ГХЦ – триплетами [5] и протокола с ГХЦ – четверками кубитов [15] при одинаковых значениях частот кодирующих операций Алисы. Видно, что кривая $I_0(d_z)$ для протокола с кутритами лежит близко к соответствующей кривой для протокола с ГХЦ – триплетами кубитов. При этом информационные емкости этих двух вариантов пинг – понг протокола также близки: 3.17 бита на цикл для протокола с парами кутритов и 3 бита на цикл для протокола с ГХЦ – триплетами кубитов.

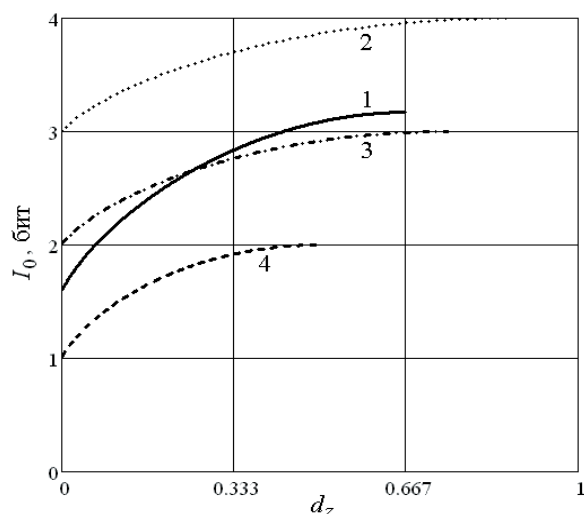


Рис. 3. Зависимости количества информации Евы от вероятности обнаружения атаки.

Протокол: с белловскими парами кутритов (1); с ГХЦ – четверками кубитов (2); с ГХЦ – триплетами кубитов (3); с белловскими парами кубитов (4)

В табл. 3 приведены минимальные и максимальные значения вероятности обнаружения атаки для этих четырех вариантов пинг – понг протокола при использовании в режиме контроля подслушивания двух измерительных базисов с одинаковыми вероятностями $q_z = q_x = 1/2$. Как видно из табл. 3, значения $d_{\min}$ и $d_{\max}$ для протокола с белловскими парами кутритов также наиболее близки к соответствующим значениям для протокола с ГХЦ – триплетами кубитов.

Таблица 3

Минимальные $d_{\min}$ и максимальные $d_{\max}$ значения вероятности обнаружения атаки при использовании в режиме контроля подслушивания двух измерительных базисов с одинаковыми вероятностями

Протокол	$d_{\min}$	$d_{\max}$
с белловскими парами кутритов	1/3	2/3
с белловскими парами кубитов	1/4	1/2
с ГХЦ – триплетами кубитов	3/8	3/4
с ГХЦ – четверками кубитов	7/16	7/8

5. Выводы

В работе впервые проанализирована атака пассивного перехвата на пинг – понг протокол с белловскими парами трехмерных квантовых систем – кутритов. Получена матрица плотности составной квантовой системы "передаваемый кутрит – проба подслушивающего агента" и вычислением собственных значений матрицы плотности получено выражение для количества информации подслушивающего агента как функции от вероятности обнаружения атаки.

Показано, что при использовании для реализации протокола белловских пар кутритов вместо белловских пар кубитов увеличивается не только информационная емкость, но и уровень стойкости протокола к атаке, так как максимальная вероятность обнаружения подслушивания (при однократном контроле подслушивания) для протокола с кутритами равна $2/3$, а для протокола с кубитами – $1/2$. Стойкость протокола с парами кутритов оказывается приблизительно такой же, как протокола с ГХЦ – триплетами кубитов. При этом для протокола с парами кутритов, аналогично протоколам с группами кубитов, существует "невидимый" режим подслушивания, если легитимные пользователи используют в режиме контроля подслушивания только один измерительный базис. Использование второго измерительного базиса устраняет возможность необнаружимой атаки и, следовательно, является необходимым.

При использовании в режиме контроля подслушивания двух измерительных базисов пинг – понг протокол с белловскими парами кутритов, опять таки аналогично протоколам с группами кубитов, обладает только асимптотической безопасностью, так как для обнаружения подслушивания с вероятностью, сколь угодно близкой к единице, легитимным пользователям необходимо выполнить некоторое количество раундов

контроля подслушивания. При этом, так как режим контроля подслушивания необходимо чередовать с режимом передачи сообщения (иначе подслушивающий агент вообще не будет производить атакующих операций, так как будет знать, что сообщение не передается), то некоторое количество информации будет попадать к подслушивающему агенту. Оценка этого количества в зависимости от параметров протокола и стратегии подслушивания, а также необходимые меры по усилению безопасности пинг – понг протокола с кутритами, будут предметом следующих работ.

Литература

1. Boström K., Felbinger T. Deterministic secure direct communication using entanglement // *Physical Review Letters*. – 2002. – V. 89, № 18. – 187902.
2. Cai Q.-Y., Li B.-W. Improving the capacity of the Boström-Felbinger protocol // *Physical Review A*. – 2004. – V. 69, № 5. – 054301.
3. Василю Е.В. Анализ безопасности пинг-понг протокола с квантовым плотным кодированием // *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*. – 2007, № 1. – С. 32 – 38.
4. Василю Е.В., Василю Л.Н. Пинг – понг протокол с трех- и четырехкубитными состояниями Гринбергера – Хорна – Цайлингера // *Труды Одесского политехнического университета*. – 2008. – Вып. 1 (29). – С. 171 – 176.
5. Василю Е.В. Стойкость пинг-понг протокола с триплетами Гринбергера – Хорна – Цайлингера к атаке с использованием вспомогательных квантовых систем // *Информатика: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси*. – 2009, № 1 (21). – С. 117 – 128.
6. Василю Е.В., Василю Л.Н. Анализ асимптотической безопасности трех вариантов пинг – понг протокола квантовой безопасной связи // *Современный научный вестник*. – Белгород: "Руснаучкнига". – 2009, № 3 (59). – С. 74 – 80.
7. Zhang Zh.-J., Li Y., Man Zh.-X. Improved Wojcik's eavesdropping attack on ping-pong protocol without eavesdropping-induced channel loss // *Physics Letters A*. – 2005. – V. 341, № 5–6. – P. 385 – 389.
8. Cai Q.-Y. The «ping-pong» protocol can be attacked without eavesdropping // *Physical Review Letters*. – 2003. – V. 91, № 10. – 109801.
9. Boström K., Felbinger T. On the security of the ping-pong protocol // *Physics Letters A*. – 2008. – V. 372, № 22. – P. 3953 – 3956.
10. Thew T., Acin A., Zbinden H., Gisin N. Experimental realization of entangled qutrits for quantum communication // *Quantum Information and Computation*. – 2004. – V. 4, № 2. – P. 93 – 101.
11. Vaziri A., Pan J., Jennewein T., Weihs G., Zeilinger A. Concentration of higher dimensional entanglement: qutrits of photon orbital angular momentum // *Physical Review Letters*. – 2003. – V. 91, № 22. – 227902.
12. Wang Ch., Deng F.-G., Li Y.-S., Liu X.-S., Long G. L. Quantum secure direct communication with high dimension quantum superdense coding // *Physical Review A*. – 2005. – V. 71, № 4. – 044305.
13. Stinespring W.F. Positive functions on C^* -algebras // *Proceedings of the American Mathematical Society*. – 1955. – V. 6. – P. 211 – 216.
14. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. – М.: Мир, 2006. – 824 с.
15. Васілю Є., Ніколаєнко С. Підсилення безпеки пінг – понг протоколу квантового безпечного зв'язку з n-кубітними ГХЦ – станами // *Комп'ютерні науки та інженерія: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених CSE-2009*. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – С. 299 – 301.

УДК 621.396.712.3

ОБНАРУЖЕНИЕ ПАЧКИ РАДИОИМПУЛЬСОВ С РАСШИРЕНИЕМ СПЕКТРА СИГНАЛА ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

А.Г. Сорочан

Доцент

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, 83000

Контактный тел.: 8-066-250-07-60

Розглядається метод виявлення пачки радіоімпульсів із псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти. Здійснюється статистичний аналіз приймача виявлення. Розкриваються особливості обробки сигналу і супровідного його шуму. Показано, що запропонований метод обробки дозволяє виключити вплив шумів лінійного тракту на вихідне відношення сигнал/шум. Отримано вирази, що визначають вихідне відношення сигнал/шум, чутливість приймача

Ключові слова: виявлення, кореляційна функція, спектр, відношення сигнал/шум, дисперсія, коефіцієнт кореляції, лінія затримки, режекція, згортка спектрів, крутість

Рассматривается метод обнаружения пачки радиоимпульсов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Проводится статистический анализ приемника обнаружения. Раскрываются особенности обработки сигнала и сопровождающего его шума. Показано, что предложенный метод обработки позволяет исключить влияние шумов линейного тракта на выходное отношение сигнал/шум. Получены выражения, определяющие выходное отношение сигнал/шум, чувствительность приемника

Ключевые слова: обнаружение, корреляционная функция, спектр, отношение сигнал/шум, дисперсия, коэффициент корреляции, линия задержки, режекция, свертка спектров, крутизна характеристики

Consider of the method of detection of group radio-impulse with pseudo tuning of work frequencies. Making of statistic analysis of the detection receiver. Describing of differences of signal decompile and its noise. Was shown that this method of decompile allows to exclude the noise impact of linear channel on ratio signal/noise. Functional expressions of signal/noise comparison and receiver sensitivity were found.

The key words: a detection, a correlation function, a spectrum, a signal-to-noise ratio, a variance, a correlation coefficient, a delay line, a rejection, a spectra convolution, a slope of curve

В последние годы для скрытности передачи информации в радиоканале все шире используется программная перестройка частоты. Структура сигнала имеет вид пачки длительностью θ , состоящей из периодической последовательности информационных радио-

импульсов длительностью τ и периодом следования T . Внутреннее заполнение импульсов представляет собой информационную посылку манипулированную по фазе. Несущая частота каждого радиоимпульса изменяется по псевдослучайному закону с опреде-

ленным шагом перестройки в заданном диапазоне рабочих частот. Выход на связь каждого абонента осуществляется в течение отведенного ему стандартного временного интервала (СВИ), длительностью $T_{\text{СВИ}}$. Уникальный характер таких систем радиосвязи, их широкие возможности определяются структурой сигнала и нетрадиционными методами организации обмена информацией.

Все это ставит задачу обнаружения пачки радиоимпульсов с расширением спектра сигнала псевдослучайной перестройкой рабочей частоты одной из актуальнейших задач. Примером такой системы может быть система радиосвязи, описанная в [1].

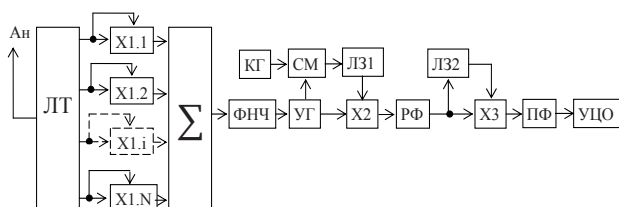


Рис. 1. Структурная схема приемника обнаружения сигнала

На рис. 1 приведена структурная схема приемника обнаружения сигнала системы радиосвязи [2], в которой используется описанная выше структура сигнала. В приемник входит: приемная антенна Ан.; линейный тракт (ЛТ), состоящий из N каналов; корреляционные детекторы – X1.1 – X1.N; сумматор – Σ; фильтр нижних частот – ФНЧ; управляемый напряжением генератор – УГ; смеситель – СМ; кварцевый генератор – КГ; первая и вторая линии задержки – ЛЗ1 и ЛЗ2; первый и второй умножители – X2 и X3; режекторный фильтр – РФ; полосовой фильтр – ПФ; устройство цифровой обработки сигнала – УЦО.

Цель работы – раскрыть основные особенности обработки сигнала предложенным методом, получить соотношения, определяющие отношение сигнал/шум, чувствительность приемника обнаружения.

Информационную посылку сигнала системы радиосвязи на стандартном временном интервале можно представить в виде

$$S(t) = A(t) \cos[W_{\text{н}} t + \pi \gamma(t)],$$

где $A(t)$ – огибающая информационных импульсов, представляющая собой пачку периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов длительностью τ и периодом T ; $W_{\text{н}}$ – несущая частота сигнала, значение которой для каждого видеоимпульса изменяется скачком по псевдослучайному закону; l – порядковый номер несущей частоты сигнала; $\gamma(t)$ – информационное сообщение в виде цифровой последовательности 1 и 0.

Линейный тракт приемника разбит на N каналов.

Полоса пропускания каждого канала ΔW (рис. 2). Линейным трактом входной диапазон частот каждого канала сносится вниз по частоте к некоторой центральной частоте W_c . Выходное состояние каждого канала линейного тракта приемника можно представить в виде:

$$U_i(t) = S_i(t) + n_i(t) \quad \text{в } i\text{-ом канале, где есть сигнал;}$$

$U_j(t) = n_j(t)$ – в остальных N-1 каналах, где нет сигнала, причем $j \neq i$,

Здесь $S_i(t) = A_i(t) \cos[W_{\text{н}} t + \pi \gamma(t)]$ – радиоимпульс или некоторая последовательность радиоимпульсов из информационного пакета, выделение которых i -ым каналом определяется законом перестройки несущей частоты входного сигнала приемника; $A_i(t)$ – огибающая радиоимпульса или некоторая последовательность огибающих радиоимпульсов; $W_{\text{н}}$ – несущая частота радиоимпульса выделенного i -ым каналом, полученная как результат преобразования входного сигнала с частотой $W_{\text{н}}$. Значение $W_{\text{н}}$ определяется неравенством $W_c - 0,5\Delta W \leq W_{\text{н}} \leq W_c + 0,5\Delta W$; $n_i(t)$ – случайный шумовой процесс с нормальным законом распределения и корреляционной функцией вида $R_{\text{ш}}(z) = \sigma_{\text{ш}}^2 \rho(z)$, где $\sigma_{\text{ш}}^2$ – дисперсия шумового процесса, $\rho(z) = \sin(\Delta W z) / \Delta W z$ – коэффициент корреляции.

Результат детектирования выходных сигналов линейного тракта корреляционными детекторами X1.1 – X1.N (рис. 2) запишется в виде

$$U_{\text{ид}}(t) = A^2(t) + S_i(t)n_i(t) + n_i^2(t) \quad \text{в } i\text{-ом канале, где есть сигнал;}$$

$$U_{\text{ид}}(t) = n_j^2(t) \quad \text{в остальных N-1 каналах.}$$

Сумма $S_i(t)n_i(t) + n_i^2(t)$ представляет собой некоторый шумовой процесс с определенным уровнем мощности, которая, в зависимости от уровня входного сигнала $S_i(t)$, перераспределяется между рассматриваемыми слагаемыми. Учитывая то, что решение поставленной задачи будет проводиться при условии малого уровня входного сигнала $S_i(t)$, второе слагаемое в $U_{\text{ид}}(t)$ можно исключить.

Полагаем, что шумы всех каналов – независимые процессы, имеют одинаковые законы распределения, описываются одной и той же корреляционной функцией. В этом случае можно записать

$$n_i(t) = n_j(t) = n(t)$$

Сигналы всех каналов объединяются сумматором (см. рис. 2), выходной сигнал которого запишется в виде

$$U_+(t) = A^2(t) + \sqrt{N} n^2(t).$$

Полученное равенство следует из того, что

$$\sum_{i=1}^N A_i^2(t) = A^2(t); \quad \sum_{i=1}^N n_i^2(t) = \sqrt{N} n^2(t).$$

Полагаем, что период следования информационных импульсов $T \ll \theta$. Тогда огибающая $A^2(t)$ на временном отрезке действия информационного пакета описывается выражением

$$A^2(t) = \frac{E_0^2 \tau}{T} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin 0,5n\Omega\tau}{0,5n\Omega\tau} \cos n\Omega t \right],$$

где E_0^2 – амплитуда сигнала; n – порядковый номер гармонической составляющей спектра; $\Omega = \frac{2\pi}{T}$.

Корреляционная функция составляющей шума $n^2(t)$ на выходе каждого корреляционного детектора определяется выражением $R_{\text{шш}}(z) = \sigma_{\text{ш}}^4 \rho^2(z)$ и связана с корреляционной функцией шума на его входе квадратичной зависимостью, это означает, что составляющая шума имеет ширину спектра вдвое большую исходной, т.е. $2\Delta W$. Такой шумовой процесс является белым с равномерным распределением спектра, однако не является нормальным [3]. В результате прохождения

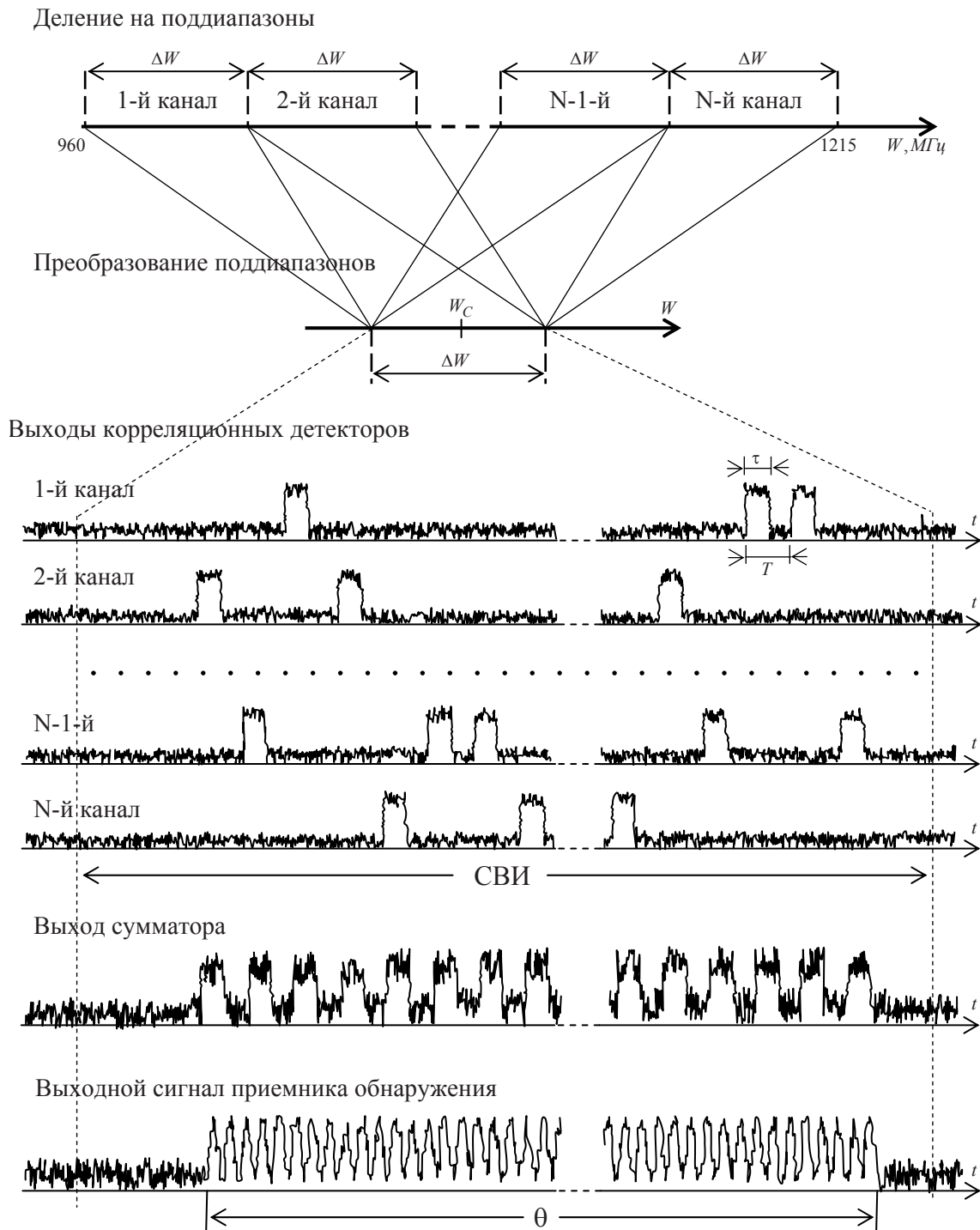


Рис. 2. Формирование выходного сигнала

суммарного сигнала через развязывающие звенья и фильтр ФНЧ (с полосой пропускания $\Delta\Omega$) на его выходе формируется нормальный случайный процесс $\xi_1(t)$, с математическим ожиданием равным нулю и корреляционной функцией вида

$$R_{\xi_1}(z) = 0,5N\sigma_{\text{ш}}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} \rho_{\xi_1}(z) = \sigma_{\xi_1}^2 \rho_{\xi_1}(z), \quad (1)$$

где $\rho_{\xi_1}(z) = \frac{\sin \Delta\Omega z}{\Delta\Omega z}$ – коэффициент корреляции.

Выходной сигнал ФНЧ (рис. 2.)

$$U_{\Phi}(t) = [A^2(t) + \xi_1(t)]$$

модулирует по частоте УГ. Следовательно, выходной сигнал УГ запишется как

$$U_{\text{УГ}}(t) = U_0 \cos[(W_{\text{УГ}} + W_{\text{см}})t + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \sin(n\Omega t) + S_y \int_0^t \xi_1(t) dt], \quad (2)$$

где U_0 – амплитуда генератора УГ; $W_{\text{УГ}}$ – несущая частота УГ; $W_{\text{см}} = \frac{S_y E_0^2 \tau}{T}$ – частота смещения несущей УГ, определяемая уровнем импульсов модулирующей последовательности и их скважностью; S_y – крутизна

характеристики управления генератора УГ (рад/с В);

$\beta_n = \frac{S_y E_o^2 \tau}{T n \Omega} \frac{\sin 0,5 n \Omega \tau}{0,5 n \Omega \tau}$ – парциальный индекс модуляции.

Известно [4], что результатом интегрирования нормального процесса с нулевым математическим ожиданием является нормальный процесс, имеющий математическое ожидание равное нулю. В таком случае интегрированный шумовой процесс удобно представить в виде

$$S_y \int_0^t \xi_i(t) dt = \eta_i(t),$$

где $\eta_i(t)$ – шумовой процесс с нормальным законом распределения и нулевым математическим ожиданием, характеризующий отклонение фазы сигнала УГ под действием шумов модулирующего сигнала.

Для полного описания шумового процесса $\eta_i(t)$ необходимо найти его дисперсию, которая для стационарного случайного процесса $\xi_i(t)$ с дисперсией $\sigma_{\xi_i}^2$ определяется выражением [4]

$$\sigma_{\eta_i}^2 = 2 S_y^2 \sigma_{\xi_i}^2 \int_0^z (z-x) \rho_{\xi_i}(x) dx.$$

После подстановки в приведенное выражение коэффициента корреляции $\rho_{\xi_i}(z)$ из (1), получим

$$\sigma_{\eta_i}^2 = S_y^2 \sigma_{\xi_i}^2 \frac{Z}{\Delta \Omega} \left[\text{Si}(\Delta \Omega Z) - \frac{\sin^2\left(\frac{\Delta \Omega Z}{2}\right)}{\left(\frac{\Delta \Omega Z}{2}\right)} \right],$$

где $\text{Si}(\Delta \Omega Z)$ – интегральный синус;

Так как коэффициент корреляции $\rho_{\xi_i}(z)$ не равен нулю при малых значениях параметра $\Delta \Omega z$, то в последнем выражении множитель в квадратных скобках принимает значение $\approx \frac{\Delta \Omega Z}{2}$. В таком случае дисперсия шумового процесса $\eta_i(t)$ запишется в виде

$$\sigma_{\eta_i}^2 = 0,25 S_y^2 N_{\sigma_{\xi_i}}^4 \frac{\Delta \Omega}{\Delta W} Z^2$$

Исходя из выше изложенного, выражение (2) преобразуется к виду

$$U_{yr}(t) = U_o \cos [(W_{yr} + W_{cm})t + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \sin(n \Omega t) + \eta_i(t)] + u_{\text{ш}}(t),$$

где $u_{\text{ш}}(t)$ – шумовое напряжение УГ, т.е. случайный шумовой процесс с нормальным законом распределения и спектральной плотностью N_{yr} , которое определяется особенностями реализации УГ и режимом его работы [5].

Результатом модуляции по частоте УГ на его выходе формируется сигнал, представляющий собой радиоимпульс амплитудой U_o , длительностью θ , равной длительности информационного пакета. Внутриимпульсное заполнение – гармонический сигнал, модулированный по частоте выходным напряжением ФНЧ $U_{\phi}(t)$, состоящим из двух слагаемых: последовательности видеоимпульсов и шумового напряжения. Амплитуда модулирующих импульсов E_o^2 определяет значения парциальных индексов модуляции, а также смещение несущей частоты УГ. Спектр такого сигнала

является несимметричным, т.к. модулирующий сигнал содержит кратные гармонические составляющие.

При дальнейшей обработке сигнал $U_{yr}(t)$ разделяется на две равные части $U_{yr}'(t) = U_{yr}''(t) = 0,5 U_{yr}(t)$, одна из которых $U_{yr}''(t)$

$$U_{yr}''(t) = 0,5 U_o \cos [(W_{yr} + W_{cm})t + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \sin(n \Omega t) + \eta_i(t)] + 0,5 u_{\text{ш}}(t)$$

сносится вниз по частоте на частоту W_r кварцевого генератора КГ, после чего задерживается первой линией задержки ЛЗ1 на постоянную времени τ_1 . В результате получим

$$U_{лз1}(t) = 0,5 U_o \cos [(W_{yr} + W_{cm} - W_r)t + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n \sin(n \Omega t) + \eta_i(t)] + u_{\text{ш}1}(t),$$

где $u_{\text{ш}1}(t)$ – шумовое напряжение, как результат взаимодействия сигнала УГ и КГ.

При этом $u_{\text{ш}1}(t) \approx u_{\text{ш}}(t)$. Такой результат поясняется тем, что на первом входе смесителя СМ действует сигнал кварцевого генератора и сопровождающее его шумовое напряжение с уровнем, близким к шумовому напряжению УГ, т.е. $u_{\text{ш}}(t)$ [5]. На другом входе смесителя СМ действует шумовое напряжение с уровнем $0,5 u_{\text{ш}}(t)$. Можно показать, что в результате преобразования выходное напряжение шумов будет несколько меньшим напряжения $u_{\text{ш}}(t)$. Поэтому, с допустимой погрешностью для практики, полагаем $u_{\text{ш}1}(t) = u_{\text{ш}}(t)$.

Полученное напряжение $U_{лз1}(t)$ перемножается с $U_{yr}'(t)$. Из результата перемножения на частоте W_r выделяется сигнал свертки, который описывается выражением

$$U_1(t) = U_1 \cos[W_r t + \sum_{n=1}^{\infty} \beta'_n \cos n \Omega (t - 0,5 \tau_1) + \chi_1(t) + \phi_1] + u_{\text{ш}2}(t),$$

где U_1 – амплитуда сигнала; $\beta'_n = 4 \beta_n \sin(0,5 n \Omega \tau_1)$ – вновь сформированный парциальный индекс модуляции; $\chi_1(t) = \eta_i(t) - \eta_i(t - \tau_1)$ – разностный шумовой процесс; $\phi_1 = (W_{yr} - W_r) \tau_1$ – начальная фаза сигнала; $u_{\text{ш}2}(t)$ – шумовое напряжение как результат перемножения всех компонент напряжений $U_{yr}'(t)$ и $U_{лз1}(t)$. Учитывая, что уровни шумовых напряжений $U_{yr}'(t)$ и $U_{лз1}(t)$, действующих на входах перемножителя X2, совпадают или равны шумовым напряжениям на входах СМ, и то, что эти процессы не коррелированы, можно считать, что $u_{\text{ш}2}(t) = u_{\text{ш}}(t)$, а его спектральная плотность равна спектральной плотности УГ, т.е. N_{yr} .

Сформированный сигнал $U_1(t)$ является гармоническим колебанием, модулированным по фазе. Несущая частота, ее стабильность определяется параметрами вспомогательного гетеродина КГ. Спектр этого сигнала – симметричный. Установлением временной задержки τ_1 в ЛЗ1 (больше интервала корреляции шумового напряжения $\eta_i(t)$) обеспечивается независимость случайных процессов $\eta_i(t)$ и $\eta_i(t - \tau_1)$, поэтому результирующий процесс $\chi_1(t)$, имея нормальный закон распределения, будет иметь дисперсию $\sigma_{\chi_1}^2 = 2 \sigma_{\eta_i}^2$.

Спектр сигнала $U_1(t)$, выраженный в виде суммы гармонических составляющих с коэффициентами разложения по функциям Бесселя, запишется как

$$U_1(t) = U_1 \sum_{p, r, \dots = -\infty}^{\infty} J_p(\beta'_1) J_r(\beta'_2) \dots \cos[W_r t + (p\Omega + r\Omega + \dots)(t - 0,5\tau_1) + \varphi_1 + \chi_1(t)] + u_{\text{ш}}(t), \quad (3)$$

сигнала и его дисперсию $\sigma_{\chi_1}^2$, то
искомая корреляционная функ-
ция определится в виде

где $j_n \beta$ – функция Бесселя n-порядка от аргумента β .

Из полученного выражения следует, что спектр сигнала содержит ряд гармонических составляющих, расположенных симметрично относительно несущего колебания на частотах кратных Ω и модулированных по частоте шумовым напряжением $\chi_1(t)$ с нормальным законом распределения и дисперсией $\sigma_{\chi_1}^2 = 0,5S_y^2 N \sigma_{\text{ш}}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2$.

Уровень этих составляющих определяется функционалом Бесселя, у которого индекс модуляции зависит от амплитуды модулирующего сигнала E_0 . Уменьшение E_0 ведет к уменьшению значений парциальных индексов модуляции β'_n , к снижению количества спектральных составляющих и перераспределению мощности между составляющими спектра сигнала в соответствии с поведением функционалов Бесселя $j_p(\beta'_1)$, $j_r(\beta'_2)$ и т.д. При $\beta'_n < 0,5$ выходной сигнал будет определяться только функционалами Бесселя нулевого и первого порядков. В этом случае выражение (3) принимает вид

$$U_1(t) = U_1 \sum_{p=-1}^1 j_p(\beta'_1) \cos[W_r t + p\Omega(t - 0,5\tau_1) + \varphi_1 + \chi_1(t)] + u_{\text{ш}}(t), \quad (4)$$

которое будет содержать три составляющих, расположенных на частотах $W_r \pm \Omega$ и W_r . В конечном итоге при $E_0 = 0$ индекс модуляции в сигнале $U_1(t)$ обращается в ноль, т.е. $\beta'_n = 0$. Этот случай соответствует режиму работы приемника обнаружения при отсутствии сигнала на входе приемника. В этом случае спектр сигнала будет определяться одной составляющей, которая описывается выражением

$$U_{\text{ш}}(t) = U_1 J_0(\beta'_1) \cos[W_r t + \varphi_1 + \chi'_1(t)] = U_1 \cos[W_r t + \varphi_1 + \chi'_1(t)];$$

Эту составляющую можно характеризовать как шумовую. В спектре обрабатываемого сигнала она всегда присутствует, независимо от того действует сигнал на входе приемника или нет, меняется лишь ее уровень, определяемый индексом модуляции β'_1 . В свою очередь, индекс модуляции зависит от уровня сигнала, действующего на входе приемника. Следовательно, эта составляющая спектра является паразитной шумовой составляющей. Направляется решение о подавлении этой составляющей. Для эффективного подавления необходимо определить вид этой составляющей спектра.

Вид спектральной составляющей $U_{\text{ш}}(t)$, найдем из ее автокорреляционной функции. Для простоты вычислений представим $U_{\text{ш}}(t)$ в виде

$$U_{\text{ш}}(t) = U_1 J_0(\beta'_1) \text{Re}\{\exp[j(W_r t + \varphi_1) + j\chi'_1(t)]\}.$$

Тогда его автокорреляционная функция будет определена равенством

$$R_{\text{ш}}(z) = \overline{U_{\text{ш}}(t) U_{\text{ш}}(t-z)} = [U_1 J_0(\beta'_1)]^2 \text{Re}\{\exp[-jW_r z] \exp[j\chi_1(t) - j\chi_1(t-z)]\}$$

где черта означает математическое ожидание. Так как математическое ожидание $\exp[j\chi_1(t) - j\chi_1(t-z)]$ может быть выражено через характеристическую функцию

$$R_{\text{ш}}(z) = [U_1 J_0(\beta'_1)]^2 \cos[W_r z] \exp[-0,5S_y^2 N \sigma_{\text{ш}}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2]. \quad (5)$$

В полученном выражении, входящая в показатель экспоненты величина $0,5S_y^2 N \sigma_{\text{ш}}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} = \sigma_w^2$ есть не что иное, как значение дисперсии флуктуации частоты сигнала относительно ее среднего значения W_r , которая определяет эффективную ширину спектра рассматриваемого сигнала как $\Delta\Omega_{\text{эф}} = \sqrt{\sigma_w^2}$.

Спектральная плотность мощности определяется известным равенством

$$S_{\text{ш}}(W) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{\text{ш}}(z) \cos[Wz] dz. \quad (6)$$

Подставляя значение $R_{\text{ш}}(z)$ в (6), находим

$$S_{\text{ш}}(W) = [U_1 J_0(\beta'_1)]^2 \int_{-\infty}^{\infty} \cos[(W_r - W)z] \exp[-\sigma_w^2 z^2] dz.$$

Отсюда, используя табличное значение интеграла [6], определяем выражение, описывающее спектральную составляющую с несущей частотой W_r

$$S_{\text{ш}}(W) = [U_1 J_0(\beta'_1)]^2 \sqrt{\frac{\pi}{\sigma_w^2}} \exp\left[-\frac{(W - W_r)^2}{4\sigma_w^2}\right].$$

Из полученного выражения следует, что шумовая спектральная составляющая имеет колоколообразную огибающую, вид которой будет определяться дисперсией σ_w^2 . При $\sigma_w^2 \rightarrow 0$ спектральная составляющая приобретает вид дискретной составляющей. Следовательно, подавить данную составляющую позволит режекторный фильтр с полосой режекции, равной эффективной ширине $\Delta\Omega_{\text{эф}}$ спектральной составляющей $S_{\text{ш}}(W)$.

Проведя аналогичные выкладки, определим спектры нижней $S_{\text{сн}}(W)$ и верхней $S_{\text{св}}(W)$ боковых спектральной составляющей (рис. 3), получим

$$S_{\text{сн}}(W) = [U_1 J_1(\beta'_1)]^2 \sqrt{\frac{\pi}{\sigma_w^2}} \exp\left[-\frac{(W_r - \Omega - W)^2}{4\sigma_w^2}\right].$$

$$S_{\text{св}}(W) = [U_1 J_1(\beta'_1)]^2 \sqrt{\frac{\pi}{\sigma_w^2}} \exp\left[-\frac{(W_r + \Omega - W)^2}{4\sigma_w^2}\right].$$

Сигнал $U_1(t)$ (4) с выхода перемножителя X2 поступает в режекторный фильтра с частотой режекции W_r и полосой $\Delta\Omega_p$. Выходной сигнал режекторного фильтра запишется в виде

$$U_p(t) = U_1 \sum_{p=-1}^1 J_p(\beta'_1) \cos[W_r t + p\Omega(t - 0,5\tau_1) + \varphi_1 + \chi_1(t)] + U_{\text{шр}}(t) + u_{\text{ш}}(t) = U_c(t) + U_{\text{шр}}(t) + u_{\text{ш}}(t),$$

при $p \neq 0$

Полученный сигнал $U_p(t)$ определяется тремя слагаемыми: первое $U_c(t)$ – сигнальная составляющая, определено действием обрабатываемого сигнала в приемнике, второе $U_{\text{шр}}(t)$ – шумовая составляющая, определено остаточным действием от режектирования шумовой спектральной составляющей, огибающая которой определяется уровнем шумового напряжения

линейного тракта приемника, и третье – определено уровнем шумового напряжения в генераторах УГ и КГ. Для этих устройств можно положить, что их спектральные плотности мощности равны, имеют равномерный спектр с уровнем $N_{\text{уг}}$.

Для определения предельных характеристик обнаружения, необходимо исходить из малого уровня сигнала, действующего на входе приемника. В таком случае индекс модуляции сигнала на выходе УГ мал, поэтому спектр, сформированного сигнала обнаружения, $U_c(t)$ будет состоять из двух спектральных составляющих колоколообразного вида с уровнем $U_1 J_1(\beta_1')$ и центральными частотами $W_r - \Omega$ и $W_r + \Omega$.

Шумовая составляющая $U_{\text{шр}}(t)$ также состоит из двух боковых нижней $U_{\text{шрн}}(t)$ и верхней $U_{\text{шрв}}(t)$. Положение этих составляющих на оси частот определяется значениями: нижняя боковая $W_r - 0,5\Delta\Omega_{\xi} \leq W \leq W_r - 0,5\Delta\Omega_p$ и верхняя $W_r + 0,5\Delta\Omega_p \leq W \leq W_r + 0,5\Delta\Omega_{\xi}$ (рис. 3) и зависят от полосы режекции $\Delta\Omega_p$ фильтра РФ и уровня шумов линейного тракта. Очевидно, и мощность этих шумовых составляющих будут определяться этими величинами.

Другая шумовая составляющая $u_{\text{ш}}(t)$ определяется полосой пропускания Δw_p РФ, которую на данном этапе обработки не следует оптимизировать по ширине спектра обрабатываемого сигнала, а выбирать максимально большой. Таким выбором полосы Δw_p достигается минимальное время корреляции этой шумовой составляющей, что важно на дальнейшем этапе обработки сигнала. На практике полоса пропускания РФ Δw_p ограничена конструктивными особенностями. В результате режекции эта составляющая шума в спектральной области также будет занимать две полосы частот $u_{\text{шн}}(t)$ от $W_r - \Delta w_p$ до $W_r - \Delta\Omega_p$ и $u_{\text{шв}}(t)$ от $W_r + \Delta\Omega_p$ до $W_r + \Delta w_p$. При этом шумовые напряжения в этих полосах частот не коррелированы. Эти шумовые составляющие будут характеризоваться дисперсией $\sigma_{\text{шг}}^2 = 0,5N_{\text{уг}} (\Delta w_p - \Delta\Omega_p)$ и корреляционной функцией

$$R_{\text{шг}}(z) = \sigma_{\text{шг}}^2 \frac{\sin 0,5(\Delta w_p - \Delta\Omega_p)z}{0,5(\Delta w_p - \Delta\Omega_p)z}.$$

Поскольку $\Delta w_p \gg \Delta\Omega_p$, то для удобства анализа будем полагать, что спектр шумового напряжения расположен во всей полосе Δw_p , обладает дисперсией $\sigma_{\text{шг}}^2 = N_{\text{уг}} \Delta w_p$ и корреляционной функцией $R_{\text{шг}}(z) = \sigma_{\text{шг}}^2 \frac{\sin \Delta w_p z}{\Delta w_p z}$, что не приведет к повышению полученных результатов.

Для формирования сигнала обнаружения в режированной от шумов полосе частот сигнал $U_p(t)$ разделяется на две равные части $U_p'(t) = U_p''(t) = 0,5U_p(t)$. Составляющая $U_p''(t)$ на выходе линии задержки ЛЗ2 с временной задержкой τ_2 определится как $U_p''(t - \tau_2)$. Временная задержка τ_2 выбирается из условия превышения интервала корреляции шумового напряжения $\chi_1(t)$ (интервал корреляции шумового напряжения $u_{\text{ш}}(t)$ будет существенно меньше). В результат на выходе перемножителя выходной сигнал запишется в виде

$$U_3(t) = U_p'(t)U_p''(t - \tau_2) =$$

$$[U_{\text{сн}}(t) + U_{\text{св}}(t) + U_{\text{шрн}}(t) + U_{\text{шрв}}(t) + U_{\text{ш}}(t)] \cdot$$

$$\cdot [U_{\text{сн}}(t - \tau_2) + U_{\text{св}}(t - \tau_2) + U_{\text{шрн}}(t - \tau_2) + U_{\text{шрв}}(t - \tau_2) + U_{\text{ш}}(t - \tau_2)] =$$

для упрощения формы записи введем очевидные обозначения, переписав, получим

$$\begin{aligned} &= [U'_{\text{сн}} + U'_{\text{св}} + U'_{\text{шрн}} + U'_{\text{шрв}} + U'_{\text{ш}}] \cdot \\ &\cdot [U''_{\text{сн}} + U''_{\text{св}} + U''_{\text{шрн}} + U''_{\text{шрв}} + U''_{\text{ш}}] = \\ &= [U'_{\text{сн}} U''_{\text{сн}} + U'_{\text{св}} U''_{\text{сн}} + U'_{\text{шрн}} U''_{\text{сн}} + U'_{\text{шрв}} U''_{\text{сн}} + U'_{\text{ш}} U''_{\text{сн}}] + \\ &+ [U'_{\text{сн}} U''_{\text{св}} + U'_{\text{св}} U''_{\text{св}} + U'_{\text{шрн}} U''_{\text{св}} + U'_{\text{шрв}} U''_{\text{св}} + U'_{\text{ш}} U''_{\text{св}}] + \\ &+ [U'_{\text{сн}} U''_{\text{шрн}} + U'_{\text{св}} U''_{\text{шрн}} + U'_{\text{шрн}} U''_{\text{шрн}} + U'_{\text{шрв}} U''_{\text{шрн}} + U'_{\text{ш}} U''_{\text{шрн}}] + \\ &+ [U'_{\text{сн}} U''_{\text{шрв}} + U'_{\text{св}} U''_{\text{шрв}} + U'_{\text{шрн}} U''_{\text{шрв}} + U'_{\text{шрв}} U''_{\text{шрв}} + U'_{\text{ш}} U''_{\text{шрв}}] + \\ &+ [U'_{\text{сн}} U''_{\text{ш}} + U'_{\text{св}} U''_{\text{ш}} + U'_{\text{шрн}} U''_{\text{ш}} + U'_{\text{шрв}} U''_{\text{ш}} + U'_{\text{ш}} U''_{\text{ш}}] \quad (7) \end{aligned}$$

Составляющие $U'_{\text{сн}} U''_{\text{сн}}$, $U'_{\text{ш}} U''_{\text{сн}}$, $U'_{\text{ш}} U''_{\text{св}}$, $U'_{\text{ш}} U''_{\text{шрн}}$, $U'_{\text{ш}} U''_{\text{шрв}}$, а также $U'_{\text{сн}} U''_{\text{ш}}$, $U'_{\text{св}} U''_{\text{ш}}$, $U'_{\text{шрн}} U''_{\text{ш}}$ и $U'_{\text{шрв}} U''_{\text{ш}}$ будут формировать шумовое напряжение в широкой полосе частот, несколько превышающей полосу пропускания Δw_p режекторного фильтра. Это шумовое напряжение и будет определять выходное отношение сигнал/шум. Из этих составляющих $U'_{\text{ш}} U''_{\text{шрн}}$, $U'_{\text{ш}} U''_{\text{шрв}}$ и $U'_{\text{шрн}} U''_{\text{ш}}$, $U'_{\text{шрв}} U''_{\text{ш}}$ будут иметь весьма малый уровень. Таков результат объясняется произведением узкополосного напряжения, полученного от режекции шумовой составляющей с частотой $2W_r$, у которого спектральная плотностью уменьшается по экспоненциальному закону с увеличением частотной отстройки, с шумовым напряжением, занимающим широкую полосу частот. Поэтому этими составляющими можно пренебречь по сравнению с $U'_{\text{ш}} U''_{\text{сн}}$, $U'_{\text{ш}} U''_{\text{св}}$, $U'_{\text{сн}} U''_{\text{ш}}$, $U'_{\text{св}} U''_{\text{ш}}$. В свою очередь уровень этих спектральных составляющих определяется уровнем сигнала действующего на входе приемника. При отсутствии сигнала этих составляющих в спектре обрабатываемого сигнала также не будет. При малых уровнях входного сигнала эти составляющие будут иметь соответственно малый уровень в сравнении с шумовым напряжением, определенным составляющей $U'_{\text{ш}} U''_{\text{ш}}$. Поэтому при определении предельных характеристик приемника составляющие $U'_{\text{ш}} U''_{\text{сн}}$, $U'_{\text{ш}} U''_{\text{св}}$, $U'_{\text{сн}} U''_{\text{ш}}$, $U'_{\text{св}} U''_{\text{ш}}$ не дадут заметного вклада в результирующий уровень шумового напряжения, сопровождающего сигнал обнаружения. Поэтому этими составляющими также пренебрегаем.

Кроме того, на выходе перемножителя ХЗ включен полосовой фильтр ПФ с центральной частотой $2W_r$ и полосой пропускания не более $2\Delta\Omega_p$, который выделяет сигнал обнаружения.

Исходя из этого составляющие $U'_{\text{сн}} U''_{\text{сн}}$; $U'_{\text{шрн}} U''_{\text{сн}}$; $U'_{\text{сн}} U''_{\text{шрн}}$; $U'_{\text{шрн}} U''_{\text{шрн}}$; $U'_{\text{св}} U''_{\text{шрв}}$; $U'_{\text{шрв}} U''_{\text{шрв}}$; формируют спектры, которые расположены вне полосы пропускания фильтра ПФ и поэтому будут подавлены и не повлияют на выходное соотношение сигнал/шум.

Таким образом, выходное напряжение фильтра ПФ будут определяться составляющими

$$\begin{aligned} &U'_{\text{св}} U''_{\text{сн}}, U'_{\text{шрв}} U''_{\text{сн}}, U'_{\text{сн}} U''_{\text{св}}, U'_{\text{шрн}} U''_{\text{св}}, U'_{\text{св}} U''_{\text{шрн}}, \\ &U'_{\text{шрв}} U''_{\text{шрн}}, U'_{\text{сн}} U''_{\text{шрв}}, U'_{\text{шрн}} U''_{\text{шрв}} \text{ и } U'_{\text{ш}} U''_{\text{ш}}. \quad (8) \end{aligned}$$

Так как сигналы $U_{\text{сн}}(t)$, $U_{\text{св}}(t)$, $U_{\text{шрн}}(t)$, $U_{\text{шрв}}(t)$, входящие в полученное выражение, представляют собой сложные шумовые напряжения, то для описания формируемого ими на выходе фильтра ПФ

сигнала обнаружения необходимо воспользоваться методом гармонического анализа [7]. Метод позволяет представить некоторое шумовое напряжение $\mu_{ш}(t)$ со спектральной плотностью мощности $S(W)$ и средней частотой W_{cp} в виде суммы гармонических составляющих, амплитуда которых постоянна и определяется равенством $C_n = \sqrt{2S(W_{cp} + n\delta W)\delta W}$ (δW – интервал частот между соседними спектральными составляющими), а начальная фаза φ_n случайна и распределена по нормальному закону в интервале $0 - 2\pi$, т.е.

$$\mu_{ш}(t) = \sum_{n=-0,5K}^{0,5K} C_n \cos[(W_{cp} + n\delta W)t + \varphi_n],$$

где $W_{cp} + n\delta W$ – частота отдельных спектральных составляющих; K – число спектральных составляющих, на которое может быть разложено напряжение шума.

С учетом изложенного сигнальные и шумовые составляющие спектра сигнала $U_p'(t)$, т.е. $U_{ch}(t)$, $U_{cb}(t)$ и $U_{шрн}(t)$, $U_{шрв}(t)$ запишутся в виде

$$\begin{aligned} U_{ch}(t) &= \\ &= \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} C_{nch} \cos[(W_r - \Omega + n\delta W)t + \chi_1(t) + \varphi_n]; \\ C_{nch}^2 &= [U_1 J_1(\beta'_1)]^2 \sqrt{\frac{\pi}{\sigma_w^2}} \exp\left[-\frac{(W_r - \Omega + n\delta W)^2}{4\sigma_w^2}\right] \delta W; \\ U_{cb}(t) &= \\ &= \sum_{i=-0,5M}^{0,5M} C_{icb} \cos[(W_r + \Omega + i\delta W)t + \chi_1(t) + \varphi_i]; \\ C_{icb}^2 &= [U_1 J_1(\beta'_1)]^2 \sqrt{\frac{\pi}{\sigma_w^2}} \exp\left[-\frac{(W_r + \Omega + i\delta W)^2}{4\sigma_w^2}\right] \delta W; \\ U_{шрн}(t) &= \\ &= \sum_{n=1}^L C_{nшн} \cos[(W_r - 0,5\Delta\Omega_1 + n\delta W)t + \chi_1(t) + \varphi_n]; \\ C_{nшн}^2 &= \\ &= [U_1 J_0(\beta'_1)]^2 \sqrt{\frac{\pi}{\sigma_w^2}} \exp\left[-\frac{(W_r - 0,5\Delta\Omega_1 + n\delta W)^2}{4\sigma_w^2}\right] \delta W; \\ U_{шрв}(t) &= \sum_{i=1}^L C_{iшв} \cos[(W_r + 0,5\Delta\Omega_1 - i\delta W)t + \chi_1(t) + \varphi_i]; \\ C_{iшв}^2 &= [U_1 J_0(\beta'_1)]^2 \sqrt{\frac{\pi}{\sigma_w^2}} \exp\left[-\frac{(W_r + 0,5\Delta\Omega_1 - i\delta W)^2}{4\sigma_w^2}\right] \delta W, \end{aligned}$$

где $n = 1, 2, 3, \dots, L-1, L, L+1, \dots, M$; $i = 1, 2, 3, \dots, L-1, L, L+1, \dots, M$;

$$L = \frac{\Delta\Omega_1 - \Delta\Omega_p}{2\delta W}; \quad M = \frac{\Delta\Omega_1}{\delta W},$$

где $\Delta\Omega_1$ – полоса пропускания РФ

Составляющие $U_p''(t - \tau_2)$ имеют аналогичный вид и получаются из данных выражений заменой t на $(t - \tau_2)$.

На основании полученных выражений составляющие сигнала (8) на выходе фильтра ПФ2 запишутся в виде

$$U_{ch}(t)U_{cb}(t - \tau_2) = 0,5 \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=-0,5M}^{0,5M} C_{nch} C_{icb} \cos[(2W_r +$$

$$+ (n+i)\delta W)t - (W_r + \Omega + i\delta W)] \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n];$$

$$\begin{aligned} U_{ch}(t - \tau_2)U_{cb}(t) &= 0,5 \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=-0,5M}^{0,5M} C_{nch} C_{icb} \cos[(2W_r + \\ &+ (n+i)\delta W)t - (W_r - \Omega + n\delta W) \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{ch}(t)U_{шрв}(t - \tau_2) &= 0,5 \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=1}^L C_{nch} C_{iшв} \cos[(2W_r - \Omega + \\ &+ 0,5\Delta\Omega_1 + (n-i)\delta W)t - \\ &- (W_r + 0,5\Delta\Omega_1 - i\delta W) \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{ch}(t - \tau_2)U_{шрв}(t) &= 0,5 \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=1}^L C_{nch} C_{iшв} \cos[(2W_r - \Omega + \\ &+ 0,5\Delta\Omega_1 + (n-i)\delta W)t - \\ &- (W_r - \Omega + n\delta W) \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{шрн}(t)U_{cb}(t - \tau_2) &= 0,5 \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=1}^L C_{icb} C_{nшн} \cos[(2W_r + \Omega - \\ &- 0,5\Delta\Omega_1 + (n+i)\delta W)t - \\ &- (W_r + \Omega + i\delta W) \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{шрн}(t - \tau_2)U_{cb}(t) &= 0,5 \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=1}^L C_{icb} C_{nшн} \cos[(2W_r + \Omega - \\ &- 0,5\Delta\Omega_1 + (i+n)\delta W)t - \\ &- (W_r - 0,5\Delta\Omega_1 + n\delta W) \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{шрн}(t)U_{шрв}(t - \tau_2) &= 0,5 \sum_{i=1}^L \sum_{n=1}^L C_{nшн} C_{iшв} \cos[(2W_r + \\ &+ (n-i)\delta W)t - (W_r + 0,5\Delta\Omega_1 - i\delta W) \tau_2 + \\ &+ \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{шрн}(t - \tau_2)U_{шрв}(t) &= 0,5 \sum_{n=1}^L \sum_{i=1}^L C_{nшн} C_{iшв} \cos[(2W_r + \\ &+ (n-i)\delta W)t - (W_r - 0,5\Delta\Omega_1 + n\delta W) \tau_2 + \\ &+ \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \end{aligned}$$

$$U_{ш}(t)U_{ш}(t - \tau_2)$$

здесь $\zeta(t) = \chi_1(t) + \chi_1(t - \tau_2)$ – суммарный шумовой процесс.

Так как величина временной задержки τ_2 обеспечивается независимостью шумовых процессов $\chi_1(t)$ и $\chi_1(t - \tau_2)$, то результирующий процесс $\zeta(t)$ характеризуется как нормальный с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\sigma_\zeta^2 = 4\sigma_{\eta_1}^2 = S_y^2 N \sigma_{ш}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2$.

В полученных выражениях объединяем равенства при равных несущих и, суммируя амплитуды составляющих симметричных относительно центральной частоты, с одинаковыми n и i , получим

$$\begin{aligned} U_{cc}(t) &= U_{ch}(t)U_{cb}(t - \tau_2) + U_{ch}(t - \tau_2)U_{cb}(t) = \\ &= \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=-0,5M}^{0,5M} C_{nch} C_{icb} \cos[(2W_r + (n+i)\delta W)t - \end{aligned}$$

$$-[W_r+0,5(n+i) \delta W] \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n]; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} U_{сш}(t) &= U_{сш}(t)U_{шрв}(t-\tau_2) + U_{сш}(t-\tau_2)U_{шрв}(t) = \\ &= \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=0,5L}^{0,5M} C_{сш} C_{шрв} \cos[(2W_r - \Omega + 0,5\Delta\Omega_1 + \\ &+ (n+i) \delta W)t - [W_r + 0,5(0,5\Delta\Omega_1 - \Omega + \\ &+ (n+i) \delta W)] \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n] \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} U_{шс}(t) &= U_{шс}(t)U_{св}(t-\tau_2) + U_{шс}(t-\tau_2)U_{св}(t) = \\ &= \sum_{n=-0,5M}^{-0,5L} \sum_{i=-0,5M}^{0,5M} C_{шс} C_{св} \cos[(2W_r + \Omega - 0,5\Delta\Omega_1 + \\ &+ (n+i) \delta W)t - [W_r + 0,5(\Omega - 0,5\Delta\Omega_1 + \\ &+ (n+i) \delta W)] \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n] \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} U_{шшр}(t) &= U_{шрн}(t)U_{шрв}(t-\tau_2) + U_{шрн}(t-\tau_2)U_{шрв}(t) = \\ &= \sum_{n=-0,5M}^{-0,5L} \sum_{i=0,5L}^{0,5M} C_{шшр} C_{шрв} \cos[(2W_r + (n-i) \delta W)t - \\ &- (W_r + 0,5(n-i) \delta W) \tau_2 + \zeta(t) + \varphi_i + \varphi_n] \end{aligned} \quad (12)$$

$$U_{шшш}(t) = U_{шш}(t)U_{шш}(t-\tau_2) \quad (13)$$

В результате напряжение, выделенное фильтром ПФ, можно представить равенством

$$\begin{aligned} U_{вых}(t) &= U_{с\text{ вых}}(t) + U_{ш\text{ вых}}(t) = U_{сш}(t) + U_{сш}(t) + \\ &+ U_{шс}(t) + U_{шшр}(t) + U_{шшш}(t). \end{aligned}$$

Полученное выражение является сигналом обнаружения и содержит сигнальную составляющую напряжения $U_{с\text{ вых}}(t) = U_{сш}(t)$ и шумовую $U_{ш\text{ вых}}(t) = U_{шс}(t) + U_{шшр}(t) + U_{шшш}(t)$. Сигнальная составляющая $U_{с\text{ вых}}(t)$ представляет собой радиоимпульс (рис. 2), гармоническое заполнение, которого модулировано по частоте шумовым напряжением. Параметром сигнала обнаружения является уровень выходного сигнала $U_{сш}(t)$ и его длительность. Факт работы системы радиосвязи устанавливается, если уровень сигнала превышает некоторое пороговое напряжение $E_{пор}$, которое больше или равно $U_{ш\text{ вых}}(t)$, а его длительность действия оказывается равной длительности информационной посылки θ .

Для определения отношения сигнал-шум в выходном сигнале, а также чувствительности приемника, определим автокорреляционные функции напряжений $U_{сш}(t)$, $U_{шс}(t)$, $U_{шшр}(t)$ и $U_{шшш}(t)$, для этого воспользуемся приведенным ранее уравнением (5), в результате получим

$$\begin{aligned} R_{сш}(z) &= \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=-0,5M}^{0,5M} C_{сш}^2 C_{сш}^2 \cos[(2W_r + (n+i) \delta W)z] \cdot \\ &\cdot \exp[-S_y^2 N \sigma_{ш}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{сш}(z) &= \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=1}^L C_{сш}^2 C_{шрв}^2 \cos[(2W_r - \Omega + 0,5\Delta\Omega_1 + \\ &+ (n+i) \delta W)z] \cdot \exp[-S_y^2 N \sigma_{ш}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{шс}(z) &= \sum_{n=-0,5M}^{0,5M} \sum_{i=1}^L C_{шс}^2 C_{сш}^2 \cos[(2W_r + \Omega - 0,5\Delta\Omega_1 + \\ &+ (n+i) \delta W)z] \cdot \exp[-S_y^2 N \sigma_{ш}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{шшр}(z) &= \sum_{n=1}^L \sum_{i=1}^L C_{шшр}^2 C_{шрв}^2 \cos[(2W_r + \\ &+ (n-i) \delta W)z] \exp[-S_y^2 N \sigma_{ш}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2], \end{aligned}$$

$$R_{шшш}(z) = \sigma_{шр}^4 \left(\frac{\sin 2\Delta w_p z}{2\Delta w_p z} \right), \text{ где } \sigma_{шр}^4 = (N_{yr} \Delta w_p)^2$$

Корреляционная функция $R_{шшш}(z)$ получена из условия, что перемножаемые шумовые процессы имеют одинаковую мощность и одинаковые корреляционные функции, при этом сами перемножаемые шумовые процессы статистически независимы, поэтому их произведение даст равномерный спектр, расположенный в полосе частот $2\Delta w_p$, уровнем $N_{шр} = \frac{\sigma_{шр}^4}{2\Delta w_p}$.

Подставим в полученные выражения значения коэффициентов $C_{сш}^2$ и $C_{шшш}^2$, осуществим переход от приращений δW к дифференциалам dW . После подстановки полученных выражений в равенство (6) и учитывая, что при малых индексах модуляции β значение $J_0(\beta) \approx 1$, спектры напряжений (9) – (13) запишутся в виде

$$S_{сш}(W) = [U_1 J_1(\beta'_1)]^4 \frac{\pi}{\sigma_w^2} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W_r - \Omega - W')^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'.$$

$$\cdot \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W_r + \Omega - W'')^2}{4\sigma_w^2}\right] dW''.$$

$$\cdot \int_{-\infty}^{\infty} \cos[(2W_r + 2W)z] \exp\left[-S_y^2 N \sigma_{ш}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2\right] dz =$$

$$= [U_1 J_1(\beta'_1)]^4 \frac{\sqrt{\pi^3/2}}{\sigma_w^3} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W' - (W_r - \Omega))^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'.$$

$$\cdot \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W'' - (W_r + \Omega))^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'' \exp\left[-\frac{(W - 2W_r)^2}{8\sigma_w^2}\right];$$

$$S_{шс}(W) = [U_1^2 J_1(\beta'_1)]^2 \frac{\pi}{\sigma_w^2} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W_r - \Omega - W')^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'.$$

$$\cdot \int_{W_r+0,5\Delta\Omega_p}^W \exp\left[-\frac{(W_r - W'')^2}{4\sigma_w^2}\right] dW''.$$

$$\cdot \int_{-\infty}^{\infty} \cos[(2W_r - \Omega + W)z] \exp\left[-S_y^2 N \sigma_{ш}^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2\right] dz =$$

$$= [U_1^2 J_1(\beta'_1)]^2 \frac{\sqrt{\pi^3/2}}{\sigma_w^3} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W' - (W_r - \Omega))^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'.$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \int_{W_r+0,5\Delta\Omega_p}^W \exp\left[-\frac{(W''-W_r)^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'' \exp\left[-\frac{(W-(2W_r-\Omega))^2}{8\sigma_w^2}\right]; \\
S_{\text{сш}}(W) &= [U_1^2 J_1(\beta'_1)]^2 \frac{\pi}{\sigma_w^2} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W_r+\Omega-W'')^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'' \cdot \\
& \cdot \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_p}^W \left[-\exp\left[-\frac{(W_r-W')^2}{4\sigma_w^2}\right] \right] dW'. \\
& \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \cos[(2W_r+\Omega-W)z] \exp\left[-S_y^2 N \sigma_w^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2\right] dz = \\
& = [U_1^2 J_1(\beta'_1)]^2 \frac{\sqrt{\pi^3/2}}{\sigma_w^3} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_1}^W \exp\left[-\frac{(W''-(W_r+\Omega))^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'' \cdot \\
& \cdot \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_p}^W \left[-\exp\left[-\frac{(W'-W_r)^2}{4\sigma_w^2}\right] \right] dW' \exp\left[-\frac{(W-(2W_r+\Omega))^2}{8\sigma_w^2}\right]; \\
S_{\text{шшп}}(W) &= U_1^4 \frac{\pi}{\sigma_w^2} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_p}^W \left[-\exp\left[-\frac{(W_r-W')^2}{4\sigma_w^2}\right] \right] dW'. \\
& \cdot \int_{W_r+0,5\Delta\Omega_p}^W \exp\left[-\frac{(W_r-W'')^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'' \cdot \\
& \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \cos[(2W_r-W)z] \exp\left[-S_y^2 N \sigma_w^4 \frac{\Delta\Omega}{\Delta W} z^2\right] dz = \\
& = U_1^4 \frac{\sqrt{\pi^3/2}}{\sigma_w^3} \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_p}^W \left[\exp\left[-\frac{(W'-W_r)^2}{4\sigma_w^2}\right] \right] dW' \cdot \\
& \cdot \int_{W_r-0,5\Delta\Omega_p}^W \exp\left[-\frac{(W''-W_r)^2}{4\sigma_w^2}\right] dW'' \cdot \exp\left[-\frac{(W-2W_r)^2}{8\sigma_w^2}\right]; \\
S_{\text{шш}}(W) &= \begin{cases} \frac{\sigma_{\text{ш}}^4}{2\Delta W_p}, & \text{при } 2W_r-2\Delta W_p \leq W \leq 2W_r+2\Delta W_p \\ 0, & \text{при } W > 2W_r+2\Delta W_p \text{ и } W < 2W_r-2\Delta W_p \end{cases}.
\end{aligned}$$

Из полученных выражений следует, что сигнал, сформированный на выходе перемножителя ХЗ, содержит спектральные составляющие $S_{\text{сш}}(W)$, $S_{\text{шшп}}(W)$ и $S_{\text{сш}}(W)$, $S_{\text{шс}}(W)$, которые имеют колоколообразную огибающую. Положение спектральных составляющих $S_{\text{сш}}(W)$, $S_{\text{шшп}}(W)$ на частотной ось определяется удвоенной частотой гетеродина $2W_r$. Спектральные составляющие $S_{\text{сш}}(W)$ и $S_{\text{шс}}(W)$ расположены в полосе частот от $2W_r-\Omega+\Delta\Omega_\xi$ до $2W_r-\Omega-0,5\Delta\Omega_\xi+0,5\Delta\Omega_p$ и от $2W_r+\Omega+0,5\Delta\Omega_\xi-0,5\Delta\Omega_p$ до $2W_r+\Omega-\Delta\Omega_\xi$ соответственно. На рис. 3 отражено изменение положения спектральных компонент в зависимости от выбора полосы режекции режекторного фильтра. Цифре 1 соответствует полоса режекции $\Delta\Omega_p = \Delta\Omega_{p1}$, цифре 2 – $\Delta\Omega_p = \Delta\Omega_{p2}$, причем $\Delta\Omega_{p1} > \Delta\Omega_{p2}$.

При полосе пропускания фильтра ПФ2 равной $\Delta\Omega_1$ мощности составляющих, на его выходе, определяются из известного равенства

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} S(W) dW,$$

в результате

$$P_{\text{сш}} = 16 [U_1 J_1(\beta'_1)]^4 \sqrt{2\pi^3} \left(\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \right)^2 \Phi\left[\frac{\Delta\Omega_\xi}{2\sigma_w}\right];$$

$$P_{\text{сш}} = 4 [U_1^2 J_1(\beta'_1)]^2 \cdot$$

$$\cdot \sqrt{2\pi^3} \Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \left[\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] - \Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_p}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \right] \cdot$$

$$\cdot \left[\Phi\left[\frac{\Delta\Omega_\xi}{2\sigma_w}\right] - \Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi-0,5\Delta\Omega_p}{2\sigma_w}\right] \right];$$

$$P_{\text{шс}} = 4 [U_1^2 J_1(\beta'_1)]^2 \cdot$$

$$\cdot \sqrt{2\pi^3} \Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \left[\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] - \Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_p}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \right] \cdot$$

$$\cdot \left[\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi-0,5\Delta\Omega_p}{2\sigma_w}\right] + \Phi\left[\frac{\Delta\Omega_\xi}{2\sigma_w}\right] \right];$$

$$P_{\text{шшп}} = 4 U_1^4 \sqrt{2\pi^3} \cdot$$

$$\cdot \left[\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] - \Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_p}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \right]^2 \left[\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi-0,5\Delta\Omega_p}{2\sigma_w}\right] \right];$$

$$P_{\text{шш}} = 4 U_1^4 \sigma_{\text{ш}}^4 \frac{\Delta\Omega_1}{2\Delta W_p}.$$

где $\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp[-\frac{\mu^2}{2}] d\mu$ – функция Крампа.

В полученных выражениях:

$P_{\text{сш}}$ – мощность полезного сигнала;

$P_{\text{сш}}$, $P_{\text{шс}}$, $P_{\text{шшп}}$, $P_{\text{шш}}$ – мощности шумовых напряжений, выделенный на выходе фильтра ПФ2.

Из анализа шумовых напряжений $P_{\text{сш}}$, $P_{\text{шс}}$, $P_{\text{шшп}}$ следует отметить, что каждое из этих выражений содержит множителя

$$\left[\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] - \Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_p}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \right],$$

его значение определяется разностью $\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right]$ и $\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_p}{\sqrt{2}\sigma_w}\right]$. Чис-

ловые значения этих слагаемых определяются эквивалентной шумовой полосой $\Delta\Omega_\xi$ и полосой режекции $\Delta\Omega_p$ режекторного фильтра. При выполнении $\Delta\Omega_p = \Delta\Omega_\xi$, из последних выражений, очевидно, что шумовые составляющие $P_{\text{сш}}$, $P_{\text{шс}}$, $P_{\text{шшп}}$ обращаются в ноль, тогда выходное отношение сигнал/шум запишется в виде

$$\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = \frac{P_{\text{сш}}}{P_{\text{ш}}} = \frac{4 [J_1(\beta'_1)]^4 \sqrt{2\pi^3} \left(\Phi\left[\frac{0,5\Delta\Omega_\xi}{\sqrt{2}\sigma_w}\right] \right)^2 \Phi\left[\frac{\Delta\Omega_\xi}{2\sigma_w}\right]}{\sigma_{\text{ш}}^4 \frac{\Delta\Omega_1}{2\Delta W_p}}.$$

и будет определяться только уровнем шумового напряжения генераторов УГ, КГ и полосой пропускания $\Delta\Omega_1$ фильтра ПФ2. Полоса этого фильтра должна выбираться из условия выделения максимальной мощности сигнала из смеси сигнала и шума, действующих на его входе. Максимальная мощность сигнала на выходе фильтра достигается при выполнении условия

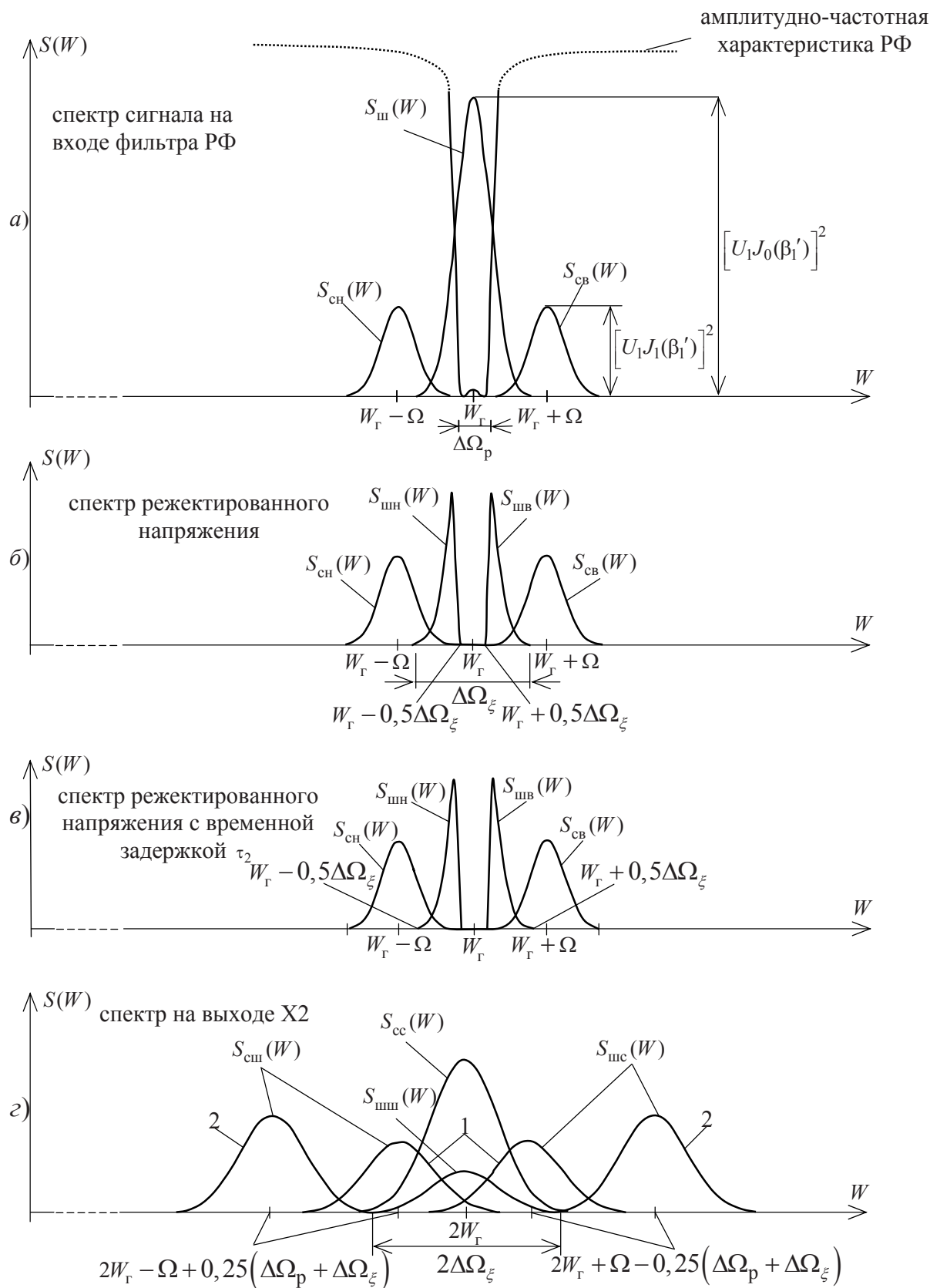


Рис. 3. Изменение положения спектральных компонент в зависимости от выбора полосы режекции режекторного фильтра

$\Delta\Omega_1 \approx 2\Delta\Omega_\xi$, где $\Delta\Omega_\xi$ – эффективная полоса частот, которую занимает спектральная составляющая полезного сигнала.

Для оценки полученного результата, необходимо сопоставить уровни шумовых напряжений, действующих на выходах фильтра ФНЧ (вход УГ) и фильтра

ПФ2. Мощность шумового напряжения, действующего на входе ФНЧ, определяется уровнем приведенных ко входу линейного тракта шумов и его коэффициентом усиления. Значение мощности на выходе ФНЧ оценивается дисперсией (1)

$$\sigma_{\xi 1}^2 = 0,5 N \sigma_{\text{ш}}^4 \frac{\Delta \Omega}{\Delta W}.$$

В то время как уровень мощности шумового напряжения на входе ПФ2 определяется уровнем шумового напряжения активного элемента генератора УГ. Этот уровень шумового напряжения может быть соизмерим с уровнем шумов приведенных ко входу линейного тракта. Из этого следует, что мощность шумового напряжения на входе ПФ2 меньше в число равное коэффициенту усиления линейного тракта. Кроме того, полоса пропускания ФНЧ равная $\Delta \Omega$ намного больше полосы пропускания $\Delta \Omega_1$ в ПФ2.

Цифровая обработка выходного сигнала приемника обнаружения позволяет получить достоверную информацию при выходном отношении сигнал-шум в 10 дБ. Исходя из этого, чувствительность $P_{c \min}$ приемника обнаружения определится как

$$10 \lg \left[\frac{P_{c \min}}{P_{\text{ш}}} \right] = 10 \text{ дБ} \quad P_{c \min} = \sigma_{\text{шг}}^4 \frac{\Delta \Omega_1}{2 \Delta W_p} = P_{\text{ш}}$$

В [8] приводятся теоретические и практические результаты обнаружения сигналов обнаружения, методами изложенными в книге. Наилучший практический результат оценивается входным отношением сигнал/шум равным 0 дБ. Предложенный метод обнаружения позволил получить входное отношение сигнал шум, при обнаружении сигнала с ППРЧ в полосе частот превышающей 200 МГц, определяемое в минус 21 дБ.

Рассмотренный метод обработки сигнала позволяет существенно снизить влияние уровня внутренних шумов линейного тракта приемника на выходное отношение сигнал/шум. При обеспечении равенства полосы режекции в режекторном фильтре эквивалентной

ширине спектральной составляющей сигнала обнаружения, формируемого на частоте вспомогательного генератора W_r , внутренние шумы линейного тракта приемника исключаются из состава обрабатываемого сигнала, а выходное отношение сигнал/шум определяется уровнем шумового напряжения вспомогательных генераторов, которое по своему уровню значительно меньше уровня шумов формируемых линейным трактом приемника обнаружения.

Литература

1. Клименко Н.Н., Кисель В.В., Гончар А.Н. Объединенная система распределения тактической информации ДЖИ-ТИДС// Зарубежная радиоэлектроника. – М., Радио и связь, т. 5, 1988. – с.85 – 96
2. Патент UA 42036 Сорочан А.Г., Привалов Е.М., Литвиненко В.И., Лигинов С.М. Спосіб виявлення сигналу системи зв'язку JTIDS та пристрій для здійснення способу. Опубл. 15.10.2001. Офіційний бюлетень України. Промислова власність, № 9.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы// М., Советское радио, 1977. – 608с.
4. Заездный А.Н. Основы расчетов по статистической радиотехнике// М., Связь, 1969. – 447с.
5. Манасевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование// М. – Связь, 1979. – 384с.
6. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы// – М., Наука, 1966. – 228с.
7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / Баскаков С.И. – М.: Высшая школа, 1983. – 535 с.
8. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигнала методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / [Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др.]. – М.: Радио и связь, 2000 – 384с.

В статті приведено огляд і порівняльний аналіз методів та пристроїв діагностики статичної деформації стопи людини, що знайшов вживання в світовій практиці у цей час. Дається короткий опис принципу роботи пристроїв та задач, які розв'язуються з використанням цих пристроїв

Ключові слова: стопа, статична деформація, патологія, метод, система

В статье приведен обзор и сравнительный анализ методов и устройств диагностики статической деформации стопы человека, нашедшие применение в мировой практике в настоящее время. Дается краткое описание принципа работы устройств и задач, которые решаются с использованием этих устройств

Ключевые слова: стопа, статическая деформация, патология, метод, система

In this article the review and the comparative analysis of methods and devices of diagnostics of static deformation foot of the person, the application in a world practice now is described. The brief description of a principle of work of devices and problems which are solved with use of these devices is given

Keywords: foot, static deformation, pathology, method, system

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ СТАТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА

Ю.Н. Задерей

Младший научный сотрудник*

В.С. Качер

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией*

А.В. Гадяцкий

Научный сотрудник*

Н.Т. Ковалько

Кандидат медицинских наук, научный сотрудник*

Л.К. Роман

Научный сотрудник*

И.Н. Василенко

Младший научный сотрудник*

*Лаборатория биомеханики

УкрНИИ протезирования

ул. Клочковская, 339, г. Харьков, Украина, 6105.

Контактный тел.: 8 (057) 337-75-33

E-mail: lbmdp@mail.ru

1. Введение

Стопа человека представляет собой идеальную анатомическую конструкцию для опоры и передвижения, имея сводчатое строение, она является «живой рессорой», которая позволяет равномерно распределять тяжесть человеческого тела, амортизирует толчки при ходьбе, сообщает плавность походке и упругость стоянию. В результате статических деформаций стопа подвержена не только анатомическим изменениям, но она также не в состоянии эффективно выполнять свои функции. Так при плоскостопии рессорная функция стопы ослабляется, что увеличивает ударные нагрузки на коленные и тазобедренные суставы. Это приводит к быстрой утомляемости человека, сопровождается

болевыми ощущениями в разных частях тела, расположенных далеко от стопы [1].

Тяжесть деформаций стоп на прямую связана с несвоевременным выявлением и лечением той или иной патологии. Поэтому для проведения эффективного лечения актуальной является задача ранней диагностики состояния стоп и оценка коррекции их функций.

2. Методы исследования статических деформаций стопы человека

В настоящее время существует множество различных методов, позволяющих оценить состояние стопы, среди которых выделяют следующие: клинический ме-

тод; подометрия; методы планто-контурографии; рентгенография; гониометрия; ихнография; динамометрия (регистрация опорных реакций); методы видеорегистрации; миография и распределение давления под стопой. Данные методы используются для комплексной оценки стопы как отдельно, так и дополняя друг друга.

Наиболее информативными методами оценки именно статических деформаций стопы являются: клинический метод; подометрия; планто-контурография; рентгенография и оценка распределения давления под стопой или педография [2-10].

Клиническое обследование стопы считается наиболее простым и распространённым методом, который заключается в осмотре медиального (внутреннего) свода стопы и всей её подошвенной поверхности, а также в определении формы стопы [4,5,8]. При визуальном осмотре определяется вид и характер деформации стопы, наличие воспалительных явлений, трофических расстройств, локализация омокостей. При этом выясняются особенности статики и ходьбы пациента, область нагрузки стопы, особенности носимой обуви, определяются границы болезненности, обширность омокостей, стойкость деформации (возможность ручной коррекции и её степень) и подвижность стопы в суставах [5]. Несмотря на простоту применения, данный метод не даёт возможности количественной оценки выявленных нарушений и не позволяет диагностировать скрытые, наиболее ранние проявления патологии.

Подометрия или измерение стопы метрической лентой является одним из наиболее простых, доступных и достаточно информативных методов исследования и используется для диагностики статических деформаций стопы [3,5,8]. Суть метода заключается в следующем – на стопе маркером отмечаются анатомические точки, которые являются ориентиром для последующих измерений, потом измеряются линейные, объёмные и угловые показатели на стопе пациента, из соотношений которых вычисляются различные индексы. Наибольшей информативностью в диагностике статических деформаций обладает такой показатель, как высота костного свода, измеряемая от бугристости ладьевидной кости до плоскости опоры. Используя этот показатель и измерив длину стопы, можно определить подометрический индекс или индекс Фридланда (высота стопы умножается на 100 и делится на длину стопы). Полученный подометрический индекс и высоту костного свода сравнивают с оценочными таблицами [5], в которых указаны выше-названные параметры для людей различного возраста. Метод удобен для обследования и может выявить начальные степени плоскостопия и благодаря своей простоте, нашёл широкое применение в практике массовых медицинских обследований. Однако описанный метод позволяет описать лишь анатомический компонент патологии, не затрагивая функционального.

Плантография – один из наиболее эффективных и доступных методов исследования стопы, позволяющий на основании визуальной и графико-расчётной оценки различных показателей её отпечатка судить о взаимном расположении отделов стопы, а также, косвенно, о высоте внутреннего продольного свода [2,5,6,8]. Для получения чёткой плантограммы исследуемому предлагается наступить на площадку, на которую нанесено красящее вещество (бриллиантовая зелень, раствор Люголя, чернила, типографская краска и др.). На полученном

отпечатке стопы графически отмечаются точки, позволяющие определить расчётные, угловые и линейные показатели. Плантография является наиболее простым методом, который позволяет точно определить форму и степень уплощения стопы. Однако плантография не позволяет получить какую-либо информацию о форме подсводного пространства, поэтому имеет ограниченную информативность, и также описывает только анатомический компонент патологии.

Рентгенография – наиболее распространённый метод диагностики статических деформаций стопы и проводится в различных проекциях (профильная, заднеосевая по методике Д. А. Ярёмко и фасная по методике Фишера-Вазельса), имеющих целью получить изображения тех или иных анатомических образований стопы [5,8,9]. Рентгенографию применяют для более детальной характеристики костного свода стопы, положения, размеров и формы образующих его костей, объективного исследования бокового отклонения костей заднего отдела стопы и динамики изменения свода в процессе лечения. Оценка полученных рентгенограмм проводится на основании угловых и линейных параметров путём сравнения с характеристиками нормальных средне типичных стоп у детей и взрослых [5]. Рентгенография обладает высокой точностью измеряемых характеристик. Однако этим методом проводится оценка лишь анатомического компонента патологии. Не следует также забывать, что ионизирующее излучение оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека и не может использоваться часто.

Одной из главных объективных характеристик для исследования и разработки ортопедических стелек при статических деформациях, особенно в последнее время стал метод оценки распределения давления под стопой или педография [2,7,10]. При этом методе получают картину распределения давления под стопой, и в ходе дальнейшего анализа сравнивается давление под разными областями стопы, атипичное давление указывает на изменения, происходящие в строении стопы. Использование педографии помогает определить деформацию стоп на ранней стадии. Каждой статической деформации стопы соответствует своя картина распределения давления под стопой, которая отличается от нормы. Она может характеризоваться: локальными перегрузками подошвенной поверхности стопы и асимметрией распределения давления под пятками.

Педография может применяться для получения данных о распределении давления, как при статических, так и при динамических измерениях, которые могут быть использованы для оценки изменений стопы, связанных с неврологическими и мышечно-скелетными нарушениями.

В настоящее время появились работы, в которых применяют математические методы обработки данных. В одной из них для автоматизации диагностики статических деформаций стопы по данным распределения подошвенного давления был впервые предложен метод с использованием искусственной нейронной сети [11]. Суть её состоит в том, что изображение стопы в виде картины распределения давления, полученной при помощи статической платформы давления, поступает на вход нейронной сети, где сравнивается с эталонными изображениями, на выходе

нейронной сети формируется диагноз. В результате чего можно не только регистрировать данные, но и накапливать базы знаний по результатам обследований, обобщать и уточнять диагностические параметры, автоматизировать вывод заключений при проведении обследований. Данный метод сравнительно новый и требует клинического подтверждения его применения, хотя в ходе моделирования он показал хорошие результаты.

3. Анализ систем для диагностики статических деформаций стопы

Приведенные выше методы взаимно дополняют друг друга и часто используются в составе различных измерительных комплексов [12-28]. Результатом работы этих комплексов является оценка состояния стопы, как с применением компьютерной техники, так и без неё.

Подометрия. Одним из первых устройств, позволяющих автоматически определять индекс Фридланда, является стопомер [12]. Прибор очень прост в использовании, однако при его применении можно оценить только линейные размеры стопы (длина, высота), которые не дают представление о форме стопы и не характеризуют состояние стопы в целом. Использование стопомера при обследовании пациента в современных условиях является не актуальным.

К современным устройствам, которые автоматизируют данный метод измерений, можно отнести Плантовизор [13] и ДиаСлед-Скан (Россия) [14]. Комплексы обеспечивают возможность сканирования стоп не только снизу, но также сзади и сбоку, что позволяет использовать их для расчёта подометрических показателей. Обследование занимает всего несколько минут, что удобно использовать при большом потоке пациентов и при профилактических осмотрах.

Плантография. Простейшим прибором для получения оттиска стопы является плантограф. Он состоит из металлической стопы без использования компьютерной техники можно выделить Foot Imprinter (США) [15] и Pedoprint (Германия) [16], принцип работы которых идентичен работе с плантографом.

В настоящее время из наиболее простых устройств для получения оттиска стопы без использования компьютерной техники можно выделить Foot Imprinter (США) [15] и Pedoprint (Германия) [16], принцип работы которых идентичен работе с плантографом.

Программно-аппаратные комплексы Плантовизор [13] и ДиаСлед-Скан (Россия) [14] – используются не только для расчёта подометрических индексов, но и предназначенные для регистрации и отображения плантограмм.

В отличие от Плантовизора и ДиаСлед-Скана, программно-аппаратный комплекс – Подоскан (Россия) [17], предназначен только для проведения плантографических исследований с целью диагностики врождённых и приобретённых статических деформаций стоп.

Использование плантографии в программно-аппаратных комплексах, с расчётом плантографических индексов стопы, позволяет объективно оценить деформацию стопы, эффективность лечения и отдаленные результаты ортопедического обеспечения.

Педография. В настоящее время существует большое количество систем, использующих этот метод, выполненных либо в виде стельки, вкладываемой внутрь обуви, либо в виде платформы, установленной на полу. Все системы можно разделить по принципу получения подошвенного давления: подоскопы, изменение интенсивности света, гидроячейки, тензометрические, резистивные и емкостные датчики.

Подоскоп является наиболее простым прибором, который позволяет: визуально оценить состояние стоп и степени их деформации, определить картину распределения давления и зоны локальных перегрузок [18]. Подоскоп состоит из основания со стеклянным верхом, который подсвечивается на каждой стороне лампой дневного света. Зеркало, наклонённое под углом 45°, помещено ниже поверхности стекла для обеспечения видимости подошвенного давления. Количественная оценка подошвенного давления определяется по степени анемизации кожи подошвы [2]. Подоскоп обеспечивает врача быстрым представлением об областях высокого давления под стопой, но определение количественной оценки давления этим устройством довольно условно.

Усовершенствованием подоскопа можно считать более современные устройства ParoScan [19] и DigiPed (Германия) [20], в которых вместо зеркала используется сканирующее устройство, а изображение стопы отображается на мониторе компьютера.

Одной из первых систем, использующих технологию изменения интенсивности света, при помощи которой была получена картина распределения подошвенного давления, является педобарограф (Pedobarograph) [21]. В состав системы входит: лист пластика; прямоугольная стеклянная пластина с боковым освещением; датчики силы, установленные на каждом углу пластины; видеокамера и компьютер для хранения данных. В процессе измерения множество очень маленьких кнопок, которые находятся на нижней поверхности пластика, при контакте стопы выравниваются с поверхностью стекла. Так как лист пластика сжимается по отношению к стеклянной поверхности, интенсивность света, проходящего через стекло изменяется. Эти изменения интенсивности записываются на видеокамеру, а величина силы, приложенной к стеклянной поверхности, определяется датчиками силы. Основываясь на изменении интенсивности света и измеренной силе, компьютер может определить давление, действующее на подошвенную поверхность стопы.

В системе Parotec-System (Германия) [19,22] в качестве измерительных датчиков используются эластичные стельки с размещёнными в них гидроячейками. Гидроячейка состоит из дискретного пьезорезистивного датчика расположенного в гидроэластичной ячейке. Когда к гидроячейке прикладывается нагрузка, приложенная сила заставляет увеличиваться сопротивление внутри гидроячейки. Пьезорезистивный датчик внутри ячейки порождает электрический заряд, как результат повышения сопротивления. Система позволяет количественно определить давление между стопой и

стелькой внутри обуви, а вследствие высокого качества пьезоэлектрического датчика, может измерять поперечные и вертикальные силы.

В комплексе «ДиаСлед» (Россия) [23] используются тензометрические датчики, расположенные в функциональных стельках, которые размещаются внутри обуви. Комплекс предназначен для регистрации и анализа биомеханических характеристик локомоций человека путём накопления и обработки данных о распределении давления под стопами в статике и динамике в реальном масштабе времени. «ДиаСлед» позволяет выявить нарушения опорно-двигательной функции, которые могут быть первыми признаками деформации.

Система резистивных датчиков давления «F-Scan» (США) [24,25], измеряющая распределение давления между двумя контактирующими объектами, представляет собой ультратонкий двухслойный лист полиэфирной плёнки в виде стельки, которую вкладывают внутрь обуви пациента. Токопроводящая краска нанесена на плёнку и покрыта внутри чувствительной к давлению резистивной пастой таким образом, что параллельные ряды электродов верхнего слоя соединяются с параллельными колонками электродов нижнего слоя через резистивную пасту. Пересечения рядов и колонок создают ячейки чувствительные к давлению. В результате изменения сопротивления, чувствительной к давлению резистивной пасты, при воздействии нагрузки на стельку на выходе этой системы, соответственно, изменяется электрический сигнал. Наряду с очевидными преимуществами данная система чувствительна к: состоянию поверхности (не пригодна для использования на твёрдой, не ровной контактирующей поверхности); скорости нагрузки (изменение свойств резистивной пасты); температуре (ограниченное применение при температуре выше 30°C), что является её существенными недостатками.

В системах для измерения подошвенных давлений используются также ёмкостные датчики, объединённые в измерительную матрицу. Принцип работы ёмкостных датчиков основан на изменении ёмкости при воздействии внешних механических сил.

Примерами использования ёмкостных датчиков при создании измерительных стелек могут служить системы Scheinworks [20] и Pedar (Германия) [26]. Ёмкостные элементы применяются в таких диагностических платформах как Zebris [27] и Emed (Германия) [28].

Платформенные системы имеют более высокую надёжность по сравнению со стельными системами.

4. Выводы

1. В настоящее время существует ряд методов, которые применяются для научных исследований и практической деятельности врачей, связанной со своевременной диагностикой статических деформаций стопы.

2. Современные комплексы позволяют в полной мере оценить патологические изменения в состоянии стоп. При этом диагностику стоп желательно осуществлять с использованием нескольких приборов, таким образом, чтобы они дополняли друг друга (рентген, измерение плантограммы и подошвенного давления), что позволит дать более полную оценку деформаций стоп.

3. Перспективным является создание приборов, которые не только отображали бы информацию, но и проводили автоматизированную обработку и анализ полученных данных, накапливали и уточняли базы знаний по существующим патологиям, что в свою очередь позволит свести ошибку диагностики к минимуму и существенно облегчит работу врача.

Литература

1. Мухін В. М. Фізична реабілітація: Підручник для вузів / В. М. Мухін. - 2-ге вид. переробл. та доп. - К.: Олімпійська література, 2005. - Розділ 6. - С.367-369.
2. Янсон Х.А. Биомеханика нижней конечности, -Рига: Зинатне,1975. - Гл.3.-С.159-207.
3. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. -М.: НМФ «МБН»,1996. - Гл.1.-С.10-30.
4. Учебное пособие, Проект «Перераспределение давления», Курс 3, - 31с.
5. Яременко Д. А. Методика исследования, диагностика и ортопедическое снабжение при статических деформациях стоп. - Харьков, 1984. - 45с.
6. Циркунова Н.А. Плантография как метод диагностики плоскостопия. Материалы докладов 3-го пленума межведомственной комиссии по рациональной обуви. М.: ЦИТО. 1968; С.45-46.
7. Novel GmbH, München Germany. Pedographie beim Diabetischen Fuß. // Orthopädie Technik. 2000. № 3. P. 185-186.
8. Травматология и ортопедия: Руководство для врачей / Под ред. Н.В. Корнилова: В 4 томах.- СПб.: Гиппократ, 2004.-Т. 3: Травмы и заболевания нижней конечности / Под ред. Н.В. Корнилова и Э.Г. Грязнухина.- СПб.: Гиппократ, 2006.- Гл.8.- С.566-582.
9. Рентгенологическая диагностика плоскостопия и косолапости: Методические рекомендации для врачей-курсантов рентгенологов /Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей. - Новокузнецк, 1987. - 49с.
10. Duckworth T, Belts RP, Franks CI, Burke J. The measurement of pressures under the foot, Foot Ankle. 1982. №3. P.130-141.
11. Качер В. С., Гадацкий А. В., Задерей Ю. Н., Скрипниченко В. Н. Подход к автоматизации определения нагрузки на подошвенную поверхность стопы. // Вестник НТУ «ХПИ»: Сборник научных трудов. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2007.-№30.-С. 8-13.
12. Остер В. Р. Стопомер, автоматически определяющий индекс Фриндланда // Протезирование и протезостроение. - М.:ЦНИИПП. - 1965.-С.39-41.
13. Internet: <http://intursport.by.ru/>
14. Методика использования комплекса ДиаСлед-Скан при диагностике состояния стопы и назначении ортопедических стелек при плоскостопии. С-Пб.: ФГУ «СПбНЦЭР им. Альбрехта», 2006. - 51с
15. Orlin MN, McPoil TG. Plantar pressure assessment. // Physical Therapy. 2000. № 80. P. 399-409.
16. www.bauerfeind-fussorthopaedie.de
17. www.mbn.ru
18. Новинки медтехники. Подоскоп // ЛФК и массаж. - 2003. - № 4(7). - С. 44-53.

19. www.paromed.de
20. www.schein.de
21. Alexander IJ, Chao EYS, Johnson KA. The assessment of dynamic foot-to-ground contact forces and plantar pressure distribution: a review of the evolution of current techniques and clinical applications. *Foot Ankle*. 1990. № 11. P. 152-167.
22. Schaff PS. An overview of foot pressure measurement systems. *Clin Podiatr Med Surg*. 1993. № 10. P. 403-415.
23. www.diaserv.ru
24. Zong-Ping Luo, Kai-Nan An, Lawrence J. Berglund. Validation of F-Scan pressure sensor system: A technical note // *J. Rehabil. Res. Dev.* 1998. Vol. 35, № 2. P. 186-191.
25. Tadashi Sumiya, Yoshitaka Suzuki, Tomio Kasahara, и др. Sensing stability and dynamic response of the F-Scan in shoe sensing system: A technical note // *J. Rehabil. Res. Dev.* – 1998. – Vol. 35. – № 2. – P. 192 – 200.
26. Margaret C. Hodge, Timothy M. Bach, George M. Carter. Orthotic management of plantar pressure and pain in rheumatoid arthritis // *Clinical Biomechanics*. 1999. Vol. 14, № 8. P. 567-575.
27. www.zebris.de
28. Mittlmeier Th., Weiler A., Söhn T. et al. Functional monitoring during rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction // *Clinical Biomechanics*. 1999. Vol. 14, № 8. P. 576-584.

Введено класифікацію Веб-сайтів, яка є спеціалізованою для вирішення науково-прикладної задачі персоніфікації інформаційного наповнення глобальної системи World Wide Web

Ключові слова: WWW, Веб-сайт, персоніфікація інформаційного наповнення, класифікація Веб-сайтів

Введена классификация Веб-сайтов, которая является специализированной для решения научно-прикладной задачи персонификации информационного наполнения глобальной системы World Wide Web

Ключевые слова: WWW, Веб-сайт, персонификация информационного наполнения, классификация Веб-сайтов

Introduced is Website classification which is dedicated to solving the scientific and applied problem of World Wide Web content personification

Key words: WWW, Website, Web content personification, Website classification

УДК 004.773.2

ПЕРСОНІФІКАЦІЙНА КЛАСИФІКАЦІЯ ВЕБ- САЙТІВ

О.Л. Березко

Аспірант

Кафедра інформаційних систем на мереж
Національний університет "Львівська політехніка"
вул. Ст.Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
Контактний тел.: 8 (067) 369-80-34
E-mail: berezko@gmail.com

1. Вступ

Сьогодні завдяки новим тенденціям розвитку World Wide Web, які набули поширення і отримали спільну назву Веб 2.0 [1], відбулося стрімке зростання обсягів інформаційного наповнення WWW у зв'язку з активністю "звичайних" користувачів в межах форумів, блогів, wiki-систем тощо.

В результаті відбулась трансформація логічної структури інформаційного наповнення WWW від множини документів (Веб-сторінок), з'єднаних між собою гіперпосиланнями, до множини інформаційних результатів активності користувачів (Веб-особистостей) [2], з'єднаних особистими контактами користу-

вачів, які документуються у WWW в різних формах: приналежність до однієї спільноти, цитати, коментарі, спілкування на форумах, декларація стосунків в межах соціальних мереж тощо.

WWW все більше набуває ознак реальної глобальної спільноти людей, для ефективного і толерантного функціонування якої важливим є створення механізмів формування відкритої репутації, систем крос-сайтової ідентифікації та моніторингу активності її учасників.

За таких умов актуальною є персоніфікація інформаційного наповнення глобальної системи World Wide Web, яка неможлива без розробки та впровадження відповідних методів та засобів.

2. Постановка проблеми

Персоніфікація інформаційного наповнення глобальної системи WWW – це процес встановлення та оприлюднення відношень між інформаційними об'єктами та реальними особами, який полягає у наступному:

- наскрізній ідентифікації користувача на множині Веб-сайтів (встановленні відповідностей між множиною псевдонімів, які використовуються для авторизації користувача на Веб-сайтах різних типів та конкретною Веб-особистістю);

- встановленні відношень типу “автор-твір” між інформаційними об'єктами та конкретними Веб-особистостями;

- достовірному оприлюдненню встановлених зв'язків [3].

Персоніфікація інформаційного наповнення WWW зокрема дозволяє:

- підвищити ефективність пошуку та моніторингу інформації про конкретних осіб у WWW;

- Веб-сайтам отримати кількість користувачів, достатню для ефективного функціонування;

- здійснювати ефективну онлайн рекламу об'єктів авторського права певного автора і самого автора, доведення його ідей до широкого загалу тощо;

- підвищити рівень відповідальності автора за свої об'єкти авторського права;

- боротися з плагіатом та сприяти здійсненню захисту авторських прав;

- підвищити популярність Веб-сайтів з персоніфікованим інформаційним наповненням.

Сьогодні у WWW існує ряд засобів персоніфікації, спрямованих зокрема на:

- наскрізну ідентифікацію користувача на багатьох Веб-сайтах (OpenID; Windows CardSpace; DisqUs, Gravatar тощо);

- створення відкритого соціального графу з можливістю автоматичного видобування даних (використання мікроформатів XFN та FOAF для декларації відношень та Google Social Graph API для видобування даних з WWW) [4];

- пошук інформації про людей у WWW (<http://www.pipl.com>, <http://www.zoominfo.com>, прес-портрети від Яндекс <http://news.yandex.ru/people/> тощо);

- створення каталогів відомих людей (наприклад, <http://www.nndb.com>).

Жоден з перелічених засобів не пропонує комплексного підходу до персоніфікації, який би передбачав залучення глобальної Веб-спільноти для акумуляції різнопланової інформації про Веб-особистостей в межах одного відкритого для пошуківців Веб-сайту (або системи кількох Веб-сайтів), з метою формування відкритої репутації Веб-особистостей.

Таким чином актуальною є розробка комплексних методів та засобів персоніфікації інформаційного наповнення глобальної системи WWW.

Для точнішого опису та класифікації конкретних Веб-особистостей з метою ефективної персоніфікації доцільно ввести спеціалізовану персоніфікаційну класифікацію Веб-сайтів, в межах яких особи-прототипи Веб-особистостей [2] здійснюють свою активність.

Така класифікація повинна бути використана зокрема у каталозі Веб-особистостей [3] та у спеціалізованих wiki-ресурсах [5] для введення відповідних категорій.

3. Аналіз останніх досліджень

У науково-технічній літературі та онлайн-джерелах описані різні підходи до опису та класифікації Веб-сайтів та їх інформаційного наповнення. Ці підходи використовують як класифікацію за допомогою експертів, так і автоматичну класифікацію за допомогою спеціалізованих програмних засобів [6,7,8,9].

Класифікація Веб-сайтів здійснюється зокрема за наступними ознаками:

- складністю (вартістю) розробки Веб-сайту;
- складністю (вартістю) позиціонування Веб-сайту;
- способом монетизації Веб-сайту;
- тематикою;
- мовною і/або територіальною приналежністю.

Такі класифікації використовуються зокрема комерційними організаціями, що надають різноманітні послуги, пов'язані з розробкою та підтримкою Веб-сайтів, та у різноманітних каталогах Веб-сайтів.

Для даного дослідження важливішим є погляд на різні Веб-сайти з точки зору їх призначення та функцій у глобальній системі WWW, а саме з точки зору пропонування ними засобів досягнення різноманітних цілей користувачами WWW та особливостей створення і роботи з інформаційним наповненням.

4. Цілі статті

Завданням статті є введення спеціалізованої персоніфікаційної класифікації Веб-сайтів з метою точнішого опису інформаційних результатів активності користувачів WWW (Веб-особистостей).

Введення такої класифікації є комплексною задачею, отже цілями статті є:

- аналіз існуючих підходів до опису та класифікації Веб-сайтів;
- розробка спеціалізованої персоніфікаційної моделі Веб-сайту;
- виділення персоніфікаційних ознак Веб-сайтів;
- виділення категорій Веб-сайтів згідно персоніфікаційних ознак.

5. Основний матеріал. Персоніфікаційна класифікація Веб-сайтів

5.1. Персоніфікаційна модель Веб-сайту

З точки зору персоніфікації інформаційного наповнення WWW, Веб-сайт доцільно розглядати не стільки як компоненту глобальної системи WWW, а в першу чергу як засіб, що дозволяє користувачам створювати інформаційне наповнення та працювати з ним, і який характеризується певними правилами такої роботи, правилами аутентифікації користувачів [10] та правилами надання доступу до інформаційного наповнення і функціоналу сайту (правилами авторизації користувачів) [11,12].

Одним з ключових елементів формальної моделі Веб-сайту є його аудиторія. У науковій літературі існують моделі аудиторії Веб-сайту, зокрема на основі

нечітких множин [9]. Проте, з огляду на задачу персоніфікації інформаційного наповнення WWW, важливо окремо виділити групу користувачів (частину аудиторії), які є авторами інформаційного наповнення Веб-сайту.

Кількість користувачів-авторів та обсяг інформаційного наповнення Веб-сайту (а отже і кількість сторінок Веб-сайту) може змінюватися з часом. Таким чином, з точки зору персоніфікації інформаційного наповнення WWW, Веб-сайт у будь-який момент свого існування може бути формально описаний у такий спосіб:

$$\text{Website} = \left(\{ \text{Page}_i \}_{i=1}^{N_{\text{Page}}}, \{ \text{User}_j \}_{j=1}^{N_{\text{User}}}, \text{Aud}, \text{UserGoal}, \text{RuleAuthen}, \text{RuleWork}, \text{ContFeat} \right) \quad (1)$$

де $\{ \text{Page}_i \}_{i=1}^{N_{\text{Page}}}$ – множина сторінок Веб-сайту, N_{Page} – кількість сторінок Веб-сайту у даний момент часу, $\{ \text{User}_j \}_{j=1}^{N_{\text{User}}}$ – множина користувачів-авторів інформаційного наповнення Веб-сайту, N_{User} – кількість користувачів-авторів Веб-сайту у даний момент часу, Aud – аудиторія Веб-сайту, UserGoal – типові цілі, яких досягають користувачі в межах Веб-сайту; RuleAuthen – правила аутентифікації користувачів Веб-сайту, RuleWork – правила створення та роботи з інформаційним наповненням, ContFeat – особливості інформаційного наповнення Веб-сайту.

Типові цілі користувачів та правила аутентифікації, авторизації і роботи з інформаційним наповненням реальних Веб-сайтів володіють здатністю до зміни в часі лише у такій мірі, яка дозволяє знехтувати цією здатністю у даній моделі. Прикладами таких змін є створення нової групи користувачів з особливими правами в межах Веб-сайту, додавання нового шаблону інформаційного наповнення тощо.

При значних змінах перелічених ознак, а особливо типових цілей користувачів Веб-сайту, з формальної точки зору можна константувати завершення існування одного Веб-сайту і початок існування іншого Веб-сайту з ідентичним доменним іменем, частковим накладанням аудиторії тощо.

Модель (1) дозволяє чітко розмежувати частини комплексних Веб-сайтів, в межах яких передбачено різні правила створення та роботи з інформаційним наповненням та розглядати ці частини як окремі Веб-сайти, що можуть бути об'єднані спільною доменною адресою вищого рівня, спільною системою аутентифікації тощо.

Наприклад, в межах комплексного Веб-сайту “Українська правда” (<http://pravda.com.ua>) можна виділити такі самостійні Веб-сайти, об'єднані спільним доменним іменем та системою аутентифікації, як: блоги відомих осіб, форум, спеціалізований форум “конференції” тощо.

5.2. Персоніфікаційні ознаки Веб-сайтів

Виходячи з вищенаведеної моделі (1), можна виділити ряд ознак Веб-сайтів, які дозволяють здійснити персоніфікаційну класифікацію останніх (ознаки згруповано за категоріями згідно формальної моделі Веб-сайту). Множиною можливих значень усіх наведених нижче ознак є $\{+, -\}$, де

значення “+” та “-” означають відповідно типовість та нетиповість даної ознаки для конкретного типу Веб-сайтів.

1. Типові цілі, яких досягають користувачі в межах Веб-сайту – група ознак, кожна з яких вказує на типовість/нетиповість певних цілей для користувачів даного типу Веб-сайтів.

З метою точнішого аналізу певних специфічних дій користувачів Веб-сайтів, розширимо класифікацію цілей користувача WWW [2], увівши нові підкласи операційних цілей: колаборативні, промоційні та ринкові.

Отже, цілі користувача WWW поділятимемо на наступні класи:

1.1. інформаційні цілі – отримання необхідної інформації зі системи WWW;

1.1.1. навігаційні цілі – знаходження необхідного ресурсу в системі WWW;

1.2 операційні цілі – здійснення в системі WWW певних операцій;

1.2.1. креативні цілі – діяльність, спрямована на створення нових та підтримку/розбудову вже існуючих Веб-сайтів;

1.2.2. колаборативні цілі – діяльність, спрямована на досягнення спільного результату в межах конкретного Веб-сайту декількома користувачами;

1.2.3. промоційні цілі – діяльність, спрямована на поширення та популяризацію інформаційного наповнення у глобальному середовищі з використанням для цього різноманітних Веб-сайтів;

1.2.4. ринкові цілі – діяльність, спрямована на організацію та здійснення купівлі, продажу та обміну різноманітних товарів у WWW.

1.3. комунікативні цілі – спілкування в системі WWW з іншими користувачами.

2. Правила аутентифікації користувачів Веб-сайту:

2.1. можливість реєстрації – можливість створення облікового запису користувача на Веб-сайті із вказанням певних даних користувача;

2.2. можливість аутентифікації – процес перевірки належності користувачу Веб-сайту наданого ним ідентифікатора (як правило, імені користувача та пароля) [10].

Реєстрація з наступною аутентифікацією з використанням багаторазових паролів є надзвичайно розповсюдженою серед сучасних Веб-сайтів із соціальною складовою та стала де-факто стандартом для організації роботи з користувачами для таких Веб-сайтів.

Проте, існують певні типи Веб-сайтів, які дозволяють користувачам реєструватися без наступної аутентифікації (наприклад, Веб-сайти онлайн-петицій та соціальних акцій [13]) і навпаки – здійснювати аутентифікацію без попередньої реєстрації, наприклад, за допомогою системи тріпкодів (tripcode), розповсюдженої насамперед серед іміджбордів (imageboard) та форумів.

Сьогодні у WWW існують децентралізовані засоби авторизації користувачів, наприклад OpenID [14] та DisqUs [15], які дозволяють використовувати єдині ідентифікаційні дані для авторизації на усіх Веб-сайтах, що підтримують дані технології. Проте, наявність можливості такої авторизації не може бути самостійною ознакою Веб-сайту, оскільки будь-який Веб-сайт, який підтримує можливість реєстрації та аутентифікації користувачів, може отримати необхідний функціонал за рахунок встановлення додаткового програмного забезпечення.

3. Правила створення та роботи з інформаційним наповненням:

3.1. можливість відкритого доступу до інформаційного наповнення – можливість перегляду основного інформаційного наповнення Веб-сайту без авторизації (важливість цієї ознаки полягає в тому, що основна кількість інформаційного наповнення багатьох Веб-сайтів не може бути переглянута неавторизованими користувачами а, отже, не може бути проіндексованою глобальними пошуковими системами та цитована з прямим посиланням іншими Веб-сайтами);

3.2. можливість створення нових Веб-сторінок власником сайту (під власником не обов'язково слід розуміти особу, яка формально володіє правом власності на домен і/або хостинг, де розміщений Веб-сайт, а власника-адміністратора, людину, яка зацікавлена в існуванні та розвитку Веб-сайту, здійснює його технічну підтримку, позиціонування тощо);

3.3. можливість створення нових Веб-сторінок “внутрішніми” аутентифікованими користувачами Веб-сайту, які мають відношення до його адміністрації (наприклад, журналісти он-лайн видання);

3.4. можливість створення нових Веб-сторінок “зовнішніми” аутентифікованими користувачами Веб-сайту, які не мають відношення до його адміністрації;

3.5. можливість створення нових Веб-сторінок анонімними користувачами;

3.6. можливість зміни основного інформаційного наповнення сторінок Веб-сайту “зовнішніми” користувачами, які не є авторами цих сторінок;

3.7. можливість обговорення інформаційного наповнення користувачами Веб-сайту – можливість он-лайн-обговорення інформаційного наповнення Веб-сайту його користувачами у різній формі (текстові коментарі, мультимедіа-коментарі тощо);

3.8. можливість публічного обговорення Веб-сайту (частини Веб-сайту) – можливість розміщення повідомлень, що стосуються Веб-сайту чи його частини, в різній формі у спеціальному розділі (розділах) Веб-сайту; прикладом такого обговорення є “гостьові книги”, популярні серед Веб-сайтів першого покоління та “стіни” у профілях користувачів багатьох сучасних соціальних мереж.

4. Особливості інформаційного наповнення сайту:

4.1. організація хронології дописів користувачів – автоматична фіксація дати створення Веб-сторінок, коментарів тощо та сортування їх за цією ознакою в межах Веб-сайту;

4.2. обмеженість часу існування сторінок Веб-сайту – ознака, яка вказує на те, що час існування сторінок Веб-сайту є непорівнянно меншим, ніж час існування самого Веб-сайту;

4.3. обмеженість обсягу інформаційного наповнення дописів Веб-сайту – ознака, яка вказує на існування обмеження обсягу інформаційного наповнення дописів на Веб-сайті, пов'язаного з їх призначенням та логікою організації (обмеження, пов'язані з технічними обмеженнями як-от: максимальний обсяг бази даних, зображень, відеофайлів тощо не враховуватимемо);

4.4. типовість певного формату інформаційного наповнення для даного Веб-сайту – група ознак, кожна з яких вказує на типовість/нетиповість певного формату інформаційного наповнення для конкретного типу Веб-сайтів.

Серед форматів інформаційного наповнення виділятимемо:

4.4.1. текст – текстове інформаційне наповнення, до якого зокрема належать статичні сторінки різного призначення, дописи у блогах, гілки форумів тощо;

4.4.2. посилання – колекції гіперпосилань на різноманітні Веб-сторінки (інформаційне наповнення, основною (важливою) частиною якого є посилання, типові для каталогів, Веб-сайтів соціальних закладок та соціальних новин тощо);

4.4.3. зображення – галереї зображень та окремі зображення;

4.4.4. аудіо-наповнення – окремі треки та радіоканали, що можуть бути прослухані в режимі онлайн;

4.4.5. відео-наповнення – окремі відеофайли та канали, що можуть бути переглянуті в режимі онлайн.

5.3. Персоніфікаційна класифікація Веб-сайтів

Ознаки, наведені вище, дозволяють виділити ряд категорій Веб-сайтів, кожній з яких можна поставити у відповідність унікальний набір значень цих ознак.

В табл.1 наведено персоніфікаційну класифікацію Веб-сайтів, популярних сьогодні у WWW. Список є авторським і був сформований в процесі аналізу наступних груп Веб-сайтів:

- популярних Веб-сайтів різної тематики та призначення (зокрема було проаналізовано 500 найбільш популярних Веб-сайтів світу [16] та 100 найбільш популярних Веб-сайтів України [17] станом на 1 травня 2009р. за даними <http://alexa.com>);

- Веб-сайтів, описаних у авторитетних каталогах, зокрема в рубриці “Україна” Яндекс каталогу (понад 7000 Веб-сайтів) [18] та рубриці “Ukrainian” каталогу Open Directory Project (понад 4000 Веб-сайтів) [19];

- Веб-сайтів, сторінки яких були популярними в межах сервісів соціальних закладок <http://del.icio.us>, <http://stumbleupon.com> та сервісів соціальних новин <http://digg.com> та <http://reddit.com> протягом квітня 2009р. (список популярних Веб-сайтів був фіксованим раз на добу) – понад 1500 Веб-сайтів.

Всього було проаналізовано 9312 Веб-сайтів (відбулося часткове накладання вищенаведених груп).

Наведені категорії сайтів не вичерпують усі можливі варіанти наборів значень ознак. Це свідчить про те, що дана класифікація передбачає існування у WWW унікальних непопулярних видів Веб-сайтів, невідомих автору, та появу нових унікальних типів Веб-сайтів і поєднань існуючих типів, які можливо набудуть популярності у майбутньому.

Проте, наведена класифікація є достатньо повною, оскільки більше 98% проаналізованих Веб-сайтів можна з впевненістю віднести до однієї з наведених категорій.

Яскравим прикладом появи нового унікального типу Веб-сайтів є Google Knol (<http://knol.google.com>) – онлайн-енциклопедія з можливістю вільного додавання статей користувачами, введена в експлуатацію у липні 2008 року.

Google Knol поєднує у собі ознаки wiki-спільнот та блогів. Таким чином, цей Веб-сайт формує окрему категорію, якій можна поставити у відповідність унікальний набір значень ознак (див. табл.1).

Таблиця 1

Категорії сучасних Веб-сайтів

№	КАТЕГОРІЇ САЙТІВ	Ознаки сайтів																									
		1. Типові цілі користувачів сайту								2. Пр. автор.		3. Правила створення та роботи з інформаційним наповненням								4. Особливості інформаційного наповнення сайту							
		навігаційні	інші інформаційні	креативні	коллаборативні	промоційні	ринкові	інші операційні	комунікативні	можл. реєстрації	можл. аутентифікації	можл. відкритого доступу	створ. стор. - власник	створ. стор. - "внутр." кор.	створ. стор. - "зовн." кор.	створ. стор. - анонім. кор.	змін. інф нап. не автором	можл. обговор. інф. нап.	можл. обговорення сайту	орг-я хронології дописів	обмеж. часу існув. стор.	обмеж. обс. інф. нап. стор.	типовість текст. наповн.	типовість наповн. з посил.	типовість зображень	типовість аудіо-наповн.	типовість відео-наповн.
1	Сайти першого покоління (Веб 1.0)																										
1.1	- Статичні сайти 1-го покоління	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
1.2	- Динамічні сайти 1-го покоління	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-
2	Сайти з обмеженою соц. складовою																										
2.1	Представницькі сайти	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-
2.2	Інформаційні сайти	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
3	Каталоги	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
4	Сайти-сервіси (Веб-додатки)	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
5	Портали	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
6	Веб-магазини	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-
7	Веб-спільноти																										
7.1	- Форуми	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-
7.2	- Іміджборди (imageboard)	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
7.3	- Онлайн-петиції та соціальні акції	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-
7.4	- Блоги	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+
7.5	- Мікроблоги	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-
7.6	- Соціальні закладки	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-
7.7	- Соціальні новини	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-
7.8	- Соціальні мережі	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+
7.9	- Рейтингові спільноти	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-
7.10	- Фотохостинги	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-
7.11	- Відеохостинги	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+
7.12	- Онлайн-радіостанції	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
7.13	- Онлайн-аукціони	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-
7.14	- Wiki-спільноти	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-
—	http://knol.google.com	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	+

6. Висновки

Введено класифікацію Веб-сайтів, яка є спеціалізованою для вирішення науково-прикладної задачі персоніфікації інформаційного наповнення глобальної системи World Wide Web і повинна бути використана у засобах персоніфікації: каталозі Веб-особистостей [3] та спеціалізованих wiki-ресурсах [5].

Наведена класифікація зокрема дозволяє:

- прогнозувати особливості Веб-особистостей, до яких належить інформаційне наповнення Веб-сайтів конкретних категорій;
- розробляти типові сценарії персоніфікації інформаційного наповнення конкретних категорій Веб-сайтів;
- давати рекомендації з розвитку та позиціонування Веб-сайтів, що належать до певних категорій.

Література

1. Пелешишин А.М. Аналіз сучасних концепцій розвитку глобального середовища WWW. // Пелешишин А.М., Березко О.Л. / Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". – 2006. – №565 – С.57-64.
2. Пелешишин А.М. Формальні аспекти ідентифікації особистості у WWW. // Пелешишин А.М., Березко О.Л. /

Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі". – 2005. – №546 – С.126-131.

3. Березко О.Л. Каталог Веб-особистостей. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі". – 2008. – №630. – С.12-16.
4. Google Social Graph API. – [website]. – <http://code.google.com/apis/socialgraph/>
5. Березко О.Л. Використання шаблонів для агрегації персоніфікованих даних в межах вікі-проекту // Тези доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції "Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем" (MPZIS-2008). – 12-14 листопада 2008р., м.Дніпропетровськ. – С.38-39.
6. Kriegel H.-P. Classification of Websites as Set of Feature Vectors. // Kriegel H.-P., Schubert M. / Proceedings of the IASTED International Conference Databases and Applications. – February 17-19, 2004, Innsbruck, Austria – [website] <http://romblon.dbs.informatik.uni-muenchen.de/Publikationen/Papers/dba2004-WSKNN.pdf>
7. Pierre J. M. On the automated classification of web sites. // Linköping Electronic Articles in Computer and Info. Science – 6, 2001 – [website] http://arxiv.org/PS_cache/cs/pdf/0102/0102002v1.pdf

8. Website. Wikipedia, the free encyclopedia. – [website]. – <http://en.wikipedia.org/wiki/Website>
9. Пелешишин А.М. Позиціонування сайтів у глобальному інформаційному середовищі (монографія) / Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2007. 260 с.
10. Lampson B. Authentication in distributed systems: theory and practice // Lampson B., Abadi M., Burrows M., Wobber E. / ACM Transactions on Computer Systems (TOCS). – Nov. 1992. – v.10 n.4. – P.265-310.
11. Fernandez E.B. An authorization model for a shared database // Fernandez E.B., Summers R.C., Coleman C.D. / Proceedings of the ACM-SIGMOD International Conference, 1975 – ACM, New York.
12. Rabitti F. A model of authorization for next-generation database systems // Bertino E., Kim W., Woelk D. / ACM Transactions on Database Systems (TODS). – March 1991. – v.16 n.1. – C.88-131.
13. Gibson R.K. Online Participation in the UK: Testing a 'Contextualised' Model of Internet Effects // Gibson R.K., Lusoli W., Ward S. / The British Journal of Politics and International relations (BJPIR). – 2005. – vol.7. – P.561-583.
14. Recordon D. OpenID 2.0: a platform for user-centric identity management // Recordon D., Reed D. / Proceedings of the second ACM workshop on Digital identity management. – November 03-03, 2006, Alexandria, Virginia, USA. – P.11-16.
15. Disqus, a service and tool for web comments and discussions. – [website]. – <http://disqus.com/docs/about/>
16. The top 500 sites of the Web. Alexa, The Web Information Company. – [website]. – <http://alexa.com/topsites>
17. The top 100 sites in Ukraine. Alexa, The Web Information Company. – [website]. – <http://alexa.com/topsites/countries/UA>
18. Рубрика "Україна". Яндекс Каталог. – [Електронний ресурс]. – <http://yaca.yandex.ru/yaca/geo/CIS/Ukraine/>
19. Рубрика "Ukrainian". DMOZ, Open Directory Project. – [Електронний ресурс]. – <http://www.dmoz.org/World/Ukrainian/>

Розглянуто проблему тестування теоретичних знань в автоматизованих системах контролю. Запропоновано методи тестування теоретичних знань на основі використання тезауруса семантичних полів для побудови концептуальних моделей тексту відповіді на природній мові

Ключові слова: тестування знань, відповідь на природній мові, тезаурус

Рассмотрена проблема тестирования теоретических знаний в автоматизированных системах контроля. Предложены методы тестирования теоретических знаний на основе использования тезауруса семантических полей для построения концептуальных моделей текста ответа на естественном языке

Ключевые слова: тестирование знаний, ответы на естественном языке, тезаурус

The problem testing of theoretical knowledge by automated testing systems is considered. Methods of construction of semantic models of natural language answer by means of the thesaurus of semantic fields are proposed

Key words: testing of knowledge, natural language answer, thesaurus

УДК 681.3:519.76

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ С ОТВЕТАМИ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Ю. Ю. Черепанова

Ассистент

Кафедра ПОЭВМ

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: 8 (057) 402-14-46

E-mail: cher_y@list.ru

1. Введение

Эффективность любой системы образования во многом определяется качеством средств контроля знаний обучаемого. Контроль необходим как при предварительном тестировании для определения начального

уровня знаний, так и после прохождения курса обучения для контроля усвоения материала. Это касается и автоматизированных обучающих систем, и самообразования, и традиционного образования, основанного на взаимодействии «учителя» и «ученика». В связи с возрастанием роли дистанционного обучения зада-

ча повышения эффективности и интеллектуальности средств анализа ответов стала особенно актуальной. Особенности дистанционного образования объясняются новыми требованиями к системам контроля.

Во-первых, диалог между системой и обучаемым должен идти на языке, максимально приближенном к естественному. Человечество выражает свои знания вербально. Каково бы ни было внутреннее представление знаний, но о них всегда можно рассказать. Сохраняются знания и передаются следующим поколениям также в виде написанных текстов. Поэтому можно говорить, что наиболее эффективным контроль знаний будет тогда, когда диалог между системой и обучаемым будет происходить на естественном языке.

Во-вторых, наряду с тестированием практических знаний, предметом такого диалога должна быть «теория» – те знания, которые выражаются на естественном языке и представляют собой основные понятия, концепции, законы той области знаний, которая изучалась и по которой идет тестирование.

В-третьих, в связи с высокой скоростью обновления знаний, система контроля должна быть способна к «обучению» - адаптации к новым знаниям, то есть должны быть усовершенствованы функции, облегчающие ее наполнение. Перечисленные требования выдвинуты на основе анализа проблем тестирования знаний при дистанционном обучении, однако, они не теряют актуальности и в других системах образования.

2. Анализ существующих методов тестирования теоретических знаний

Рассмотрим существующие методы тестирования теоретических знаний, понимая под теоретическими знаниями сведения, выраженные на естественном языке, и содержащие основные теоретические положения в какой-либо области знания.

Одним из наиболее легко реализуемых и потому очень часто применяемых является метод тестирования с использованием выборочных ответов [1-3]. Обучаемому предоставляется вопрос и альтернативы ответов, из которых необходимо выбрать один или несколько правильных. Достоинствами данного метода является то, что он обладает высокой реактивностью, позволяет экономить память и трудозатраты со стороны автора обучающего курса. Однако этот метод обладает и недостатками. Велика вероятность просто случайного выбора правильного варианта. Таким образом, тестирование сводится к угадыванию, интуитивному определению правильного ответа. Кроме того, даже человек, сознательно выбравший верный ответ, не всегда правильно сформулирует нужное теоретическое положение. А между тем, наиболее ценны и осознанны те знания, которые человек может вербализовать. И речь идет не о том, чтобы заученно воспроизвести нужный отрывок из книги, а суметь изложить основные положения теории в свободной форме, не обязательно в «книжной» формулировке.

Эта свободная формулировка является ограничением для применения другого метода анализа ответов, когда для каждого вопроса в систему закладываются все возможные шаблоны ответа на предметно-ограниченном естественном языке, и правильность получен-

ного от тестируемого ответа определяется наличием его в списке верных шаблонов. Недостатком такого подхода является то, что количество возможных конструкций даже на ограниченном естественном языке очень велико и трудно их все предугадать, поэтому велика вероятность задания неполного списка правильных шаблонов. Кроме того, даже полное перечисление всех возможных вариантов ответа неоправданно увеличивает затраты ресурсов - памяти компьютера и времени автора. Чтобы ввести в систему контроля знаний вопрос, разработчик программы (или эксперт, ее наполняющий) должен перечислить все возможные ответы на него, и таких же трудозатрат требует каждый следующий вопрос.

Не всегда дают полную картину оценки знаний и правильное выполнение заданий с ограничениями на ответ, когда диалог идет на естественном языке, но для ответа требуется ввести строго ограниченные слова. К этому виду ответов относятся такие, которые представляют собой лишь заполнение некоторых пропущенных параметров в предоставленном системой готовом тексте ответа. Другим примером использования фиксированно-конструируемых ответов являются однословные ответы, например в том случае, когда обучаемому в вопросе предъявляется формулировка определения и для ответа необходимо привести термин. Такие методы в большей степени проверяют ассоциативную память, а не знания по теме вопроса. То, что человек по определению термина или описанию явления даст правильный термин или название явления, не всегда означает обратное.

Наибольшее распространение в системах контроля знаний находит универсальный и простой метод анализа по ключевым словам [1, 2], когда в эталоне ответа на вопрос указываются слова и синонимы, которые должны присутствовать в ответе. Чаще всего при этом не учитывается порядок слов. Данный метод обладает высокой реактивностью и простотой реализации, но не позволяет распознавать смысл текста. Кроме того, возникает та же проблема перечисления всех слов, которые могут входить в правильные конструкции ответа. При чрезмерном ограничении естественного языка, недостаточном количестве вариантов возможна неадекватная оценка правильного ответа, при избыточном количестве вариантов из-за большого числа ключевых слов велика вероятность признания ошибочной конструкции языка как правильной.

3. Цель

Для более адекватной оценки знаний обучаемого возникает необходимость в нахождении новых методов тестирования знания теоретического материала с высокой реактивностью, простотой реализации и минимальными трудозатратами автора обучающего курса. Наилучшим методом представляется способ тестирования, при котором проводится анализ смыслового соответствия естественно-языкового ответа обучаемого и теории с целью установления степени его адекватности. При этом минимальными трудозатраты автора будут в том случае, если теория будет представлена в системе в виде естественно-языковых текстов

либо модели, которую возможно построить по таким текстам с наиболее полной автоматизацией. Следовательно, возникает необходимость в механизме построения смысловой модели по естественно-языковому тексту. В настоящее время еще не существует полного решения данной задачи, но даже частное решение имеет реальный практический интерес.

4. Построение моделей текста с использованием тезауруса семантических полей

Одним из возможных решений поставленной задачи может стать включение в состав системы контроля знаний тезауруса семантических полей [4] и использование его при тестировании для автоматизированного построения концептуальной модели текста на естественном языке. Результат тестирования при этом определяется на основе сравнения полученной модели с концептуальными моделями предметной области или эталона ответа. Эталонная модель также может быть получена по неформализованному естественно-языковому тексту всего курса либо по тексту одного наиболее полного правильного ответа на конкретный вопрос. Таким образом, достоинством такого подхода является то, что эталонная модель строится автоматически, как и модель ответа тестируемого, что уменьшит трудозатраты автора. Эксперту по данной предметной области не обязательно разбираться в методах построения модели, и не надо перечислять все варианты ответов, достаточно дать один расширенный ответ на естественном языке. Несколько ответов может понадобиться ввести в том случае, если ответы на вопрос могут быть разными с концептуальной точки зрения. Такая ситуация может возникнуть в том случае, например, если проверяется знание понятия, которое имеет несколько верных толкований, которые могут использоваться в смежных областях знания.

Можно предложить несколько вариантов построения концептуальных моделей по тексту ответа, построенных с применением тезауруса семантических полей. В таблице 1 рассмотрены методы построения и анализа соответствия данных моделей.

Семантический объем понятия представляет собой набор семантических множителей, соответствующих содержанию этого понятия.

Понятие может быть представлено как словом, так и словосочетанием.

Методы и алгоритмы построения семантического объема и кодирования слов в семантические множители рассмотрены в [5].

5. Структура тезауруса

Под тезаурусом семантических полей не имеется в виду фиксированный дескрипторный тезаурус, аналогичный применяемым в информационно-поисковых системах или в системах автоматического индексирования. Для возможности использования тезауруса семантических полей в системе контроля знаний к нему предъявляются следующие требования:

- тезаурус семантических полей должен содержать информацию, необходимую для построения концептуальных моделей текста;
- для выполнения требования упрощения наполнения системы контроля знаний должны существовать методы автоматизированного построения тезауруса семантических полей.

Для реализации предложенных методов проверки правильности ответов, тезаурус семантических полей должен содержать информацию следующего вида (схема объектов и отношений, фиксируемых в тезаурусе, представлена на рисунке 1):

1. объекты:
 - перечень слов представляющий собой словарь тезауруса (СТ) ;
 - словоформы, соответствующие этим словам, которые встречаются в обрабатываемых текстах представляющий собой словник тезауруса (СлТ);
 - определения слов, входящих в СТ в текстовой форме (О) ;
 - перечень семантических множителей – словарь множителей тезауруса (СМТ);
 - словарь устойчивых терминов (СТТ).
2. отношения, фиксируемые в тезаурусе:

Таблица 1

Методы построения концептуальных моделей текста

Наименование метода	Построение модели	Анализ соответствия моделей
1. Метод множества	По тексту строится семантический объем	Находится пересечение семантических объемов ответа и эталона, при наличии в семантическом объеме ответа более 50% семантических множителей, входящих в семантический объем эталона, ответ считается удовлетворительным.
2. Метод линейного множества	По тексту строится семантический объем с приписыванием семантическим множителям последовательности встречаемости слова в тексте.	Рассчитывается коэффициент корреляции, учитывающий, кроме вхождения в семантический объем семантических множителей, и порядок следования слов.
3. Метод подстановки	Для каждого слова ответа ищется корреляционный заменитель (попадающий в то же парадигматическое семантическое поле) среди слов эталона, или наоборот.	Вводятся уровни соответствия моделей – если а) найдены все заменители; б) найдено более 50% заменителей; в) найдены все имеющие низкую частоту и высокую значимость в данной предметной области слова, - то ответ верен на определенном уровне.
4. Метод подстановки с учетом типа связи в предложении	При построении модели для каждого заменителя указывается тип связи с другими словами в ответе и эталоне.	Для анализа вводится корреляционный коэффициент, учитывающий, кроме проверки наличия заменителя, и совпадение связи между словами.

- связи между СТ и СлТ, отражающие, какая словоформа определенного слова появилась в обрабатываемых текстах (Отношение "слово-словоформа" - ОССл)
- словарь словоупотреблений (СС);
- связи между отношениями ОССл, отражающие наличие синтагматической связи между словами, в определенных формах, встретившиеся в текстах (отношение "ОСС") – словарь синтагматических ссылок (ССС);
- связь между словом и определением, показывающая наличие дефиниции данного слова, заполняющийся из толковых и терминологических словарей
- словарь дефиниций (СД);

При такой организации тезауруса, синтагматические связи фиксируются в словаре, а связи между словами и кодами, и парадигматические связи между словами могут быть получены алгоритмически, поэтому нецелесообразно хранить их в тезаурусе постоянно [6,7]. Алгоритмическое получение данных связей по необходимости имеет преимущество возможной модификации критериев выделения связей в зависимости от цели их получения (например, изменение частотных критериев при получении парадигматического поля, уровня компонентного анализа при построении семантического объема), что делает тезаурус более универсальным, расширяя сферу его применения.

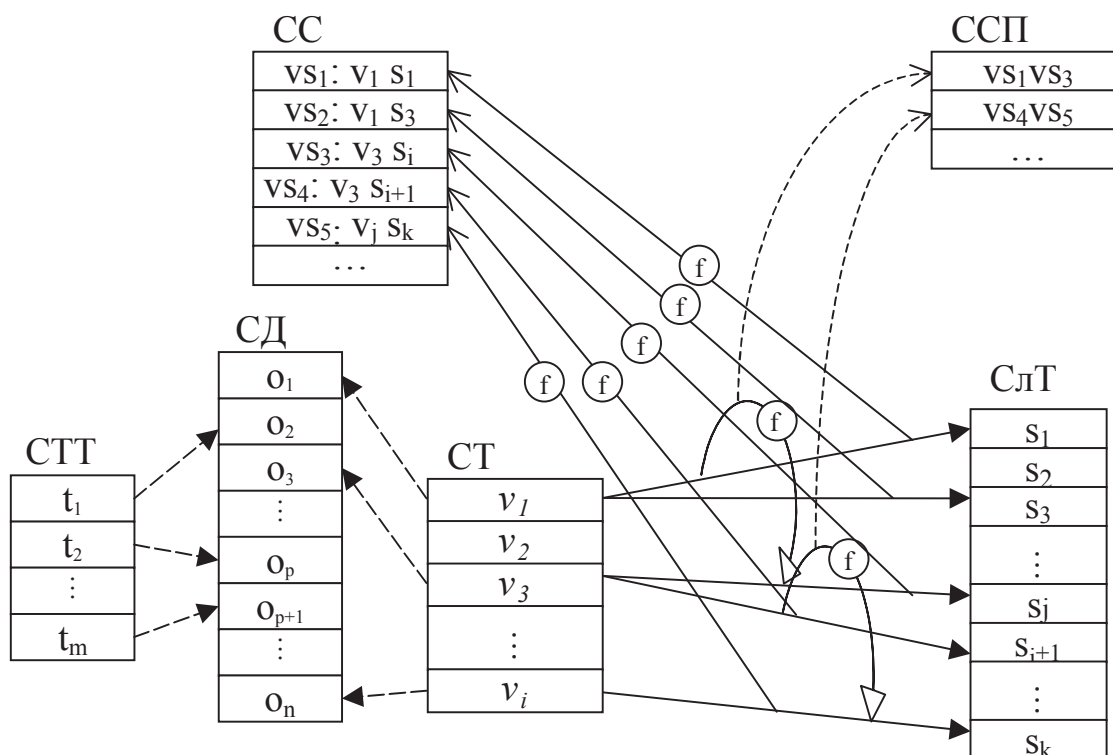


Рис. 1. Схема объектов и отношений в тезаурусе

6. Алгоритм наполнения тезауруса

На вход данного алгоритма могут поступать тексты на естественном языке, включая и тексты по тематике тезауруса, и обрабатываемые дефиниции. На выходе – тезаурус, изменивший свое состояние. t – анализируемый текст,

1-й шаг Разбиение текста t на массив входящих в него словоформ. $i=1$.

2-й шаг Получаем по словоформе S_i код. Находим в СлТ слово, которому соответствует данный код.

2.1 Если слова нет – перейти к шагу 3.

2.2 Если слово есть, перейти к шагу 4.

2.3 Если слов, соответствующих данному коду несколько, то применить алгоритм разрешения неоднозначности, определить, к какому слову относится данная словоформа, перейти к шагу 4.

3-й шаг Найти в словаре дефиниций определение, код слова которого соответствует анализируемому

коду. Если слово найдено, включаем данное слово в СТ. Если слово не найдено, то запросить у источника данных (внешний словарь или пользователь) информацию о слове и его определении по словоформе.

4-й шаг Если в словаре СлТ нет словоформы S_i , то включить S_i в СлТ;

5-й шаг Занести запись в словарь словоупотреблений, СС имеющий формат: код_словаря-код_словника-частота. Если запись о словоупотреблении (без частоты) отсутствует в СС, то вносим такую запись с частотой 1, иначе увеличиваем частоту нужной записи на 1.

6-й шаг Определить синтагматические связи в окружении слова, занести данные в таблицу синтагматических ссылок, имеющую формат: код_словоупотребления1-код_словоупотребления2-связь-частота. Если запись об определенной связи (без частоты) отсутствует в таблице синтагматических ссылок, то вносим такую запись с частотой 1, иначе увеличиваем частоту нужной записи на 1. $i=i+1$, переходим к шагу 2.

Предложенные схема и алгоритм построения тезауруса позволяют вносить в него любые типы синтагматических связей, дифференцируя их. В зависимости от целей применения тезауруса, можно выбирать различные их типы. Разные исследователи различали разные виды семантических связей [7,8], однако данная структура тезауруса позволяет сохранять и получать все основные виды синтагматических связей, для их нахождения можно использовать дистрибутивный и статистический анализы текстов выбранной тематики [9].

Для определения используемого в тексте актуализированного значения полисемантического слова можно использовать анализ семантических объемов значений слов контекста. Характерным для правильных значений слов, дающих оптимальное осмысление предложения, является наличие ряда общих семантических множителей [10]. Используемое значение полисемантического слова может определяться по максимальной повторяемости семантических множителей в пределах предложения.

Описанные методы позволяют выполнить автоматизированное построение тезауруса семантических полей, используя информацию толковых и терминологических словарей и естественно-языковые тексты выбранной предметной области.

7. Выводы

Предложенные методы позволяют решить некоторые проблемы повышения эффективности тестирования теоретических знаний в системах контроля знаний за счет уменьшения трудозатрат автора при наполнении системы. Для эффективного применения предложенных методов необходимо:

- совершенствование методов построения семантических полей, в частности комплексного поля;
- разработка эффективных механизмов анализа соответствия концептуальных моделей.

Разработанная структура тезауруса позволит осуществить тестирование не только предложенным методом (построением и анализом концептуальных моделей текста), но и применить метод анализа правильности ответа по ключевым словам, повысив его эффективность за счет автоматизированного построения списка ключевых слов. При этом в качестве ключевых слов могут быть использованы парадигматические поля слов, входящих в эталон ответа. Парадигматическое поле слова можно в явном виде в тезаурусе не сохранять, а при необходимости получать на основе сравнения семантических объемов по наличию у слов общих множителей. Для повышения значимости семантической связи в поле можно использовать критерий частотности семантического множителя. Так как более значимые множители будут иметь более низкую частоту появления, чем множители широкой семантики, следовательно, может быть установлена

наибольшая частота множителя, используемого для включения слова в поле. Таким образом может регулироваться ширина парадигматического поля и, следовательно, размер списка ключевых слов, что может быть использовано для градации правильности ответа.

Метод построения концептуальных моделей текста может быть также использован в документографических информационно-поисковых системах. При этом концептуальная модель первого вида может быть использована для предварительной проверки релевантности документа запросу, а модель второго вида – для более точной оценки.

Литература

1. Романов А. Н., Торощов В. С., Григорович Д. Б. Технология дистанционного обучения в системе заочного экономического образования. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 303 с.
2. Автоматизированные обучающие системы на базе ЭВМ / [А. Ф. Чернявский, А. М. Мухарский, А. В. Орлов и др.] Под ред. А. Ф. Чернявского. – Мн.: Изд-во БГУ, 1980. – 176 с.
3. Бухараев Р. Г., Сулейманов Д. Ш. Семантический анализ в вопросно-ответных системах. – Казань: Изд-во КГУ, 1990. – 123 с.
4. Павлов П. Ф., Черепанова Ю. Ю., Шубин И. Ю. О возможности построения тезауруса семантических полей и его применения в информационных системах // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць. – Вип. 108. – Харьков: ХДПУ, 2000. – С. 41-46.
5. Черепанова Ю.Ю. Методы и алгоритмы построения семантического объема слова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. 4/2(34)2008. С.21-25.
6. Черепанова Ю.Ю. О теоретико-множественном и теоретико-категорном подходах к моделированию семантических полей // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2001. – Вып 54. – С.75-78.
7. Павлов П.Ф., Бабина О.И., Черепанова Ю.Ю. О проблеме автоматизированного выявления семантических полей. // Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць. – Вип. 42. – Харьков: ХДПУ, 1999. – С.81-85.
8. Полевые структуры в системе языка / З. Д. Попова, И. А. Стернин, Е. И. Беляева и др. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. – 196 с.
9. Арнольд И. В. Основы научных исследований в лингвистике: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1991. – 140 с.
10. Апресян Ю. Д. Избранные труды. Том 1. Лексическая семантика. – М.: Восточная литература, 1995. – 472 с.

Наведено теоретико-множинне обґрунтування системи блочного проектування САК, описано досвід практичної реалізації програмного комплексу, заснованого на принципах вільно розповсюдженого первинного коду, призначеного для проектування та дослідження САК складними системами

Ключові слова: теоретико-множинне обґрунтування, блочне моделювання, системи управління

Приведено теоретико-множественное обоснование системы блочного проектирования САУ, описан опыт практической реализации программного комплекса, основанного на принципах свободно распространяемого исходного кода, предназначенного для проектирования и исследования САУ сложными системами

Ключевые слова: теоретико-множественное обоснование, блочное моделирование, системы управления

There is a set-theoretic justification of ACS unit design, described the experience of practical implementation of software system based on the principles of free source code for the design and the ACS study complex systems

Key words: set-theoretic reasoning, block modeling, control system

СРЕДА РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ASPC-LAB

В. К. Тютюк

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: (0564) 92-16-92

E-mail: dinalt2006@gmail.com

И. А. Луценко

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой*

*Кафедра электроснабжения и ресурсосбережения

Криворожский технический университет

Контактный тел.: (0564) 28-10-97

E-mail: sitsr@e-mail.ua

1. Введение

Предварительный анализ систем автоматического управления технологическими процессами методами математического моделирования является важным этапом разработки таких систем, обеспечения высокого уровня их функциональности, повышения качества их работы. В связи с ростом конструктивной и математической сложности систем управления для их математического моделирования получил широкое распространение объектно-ориентированный подход, при котором САУ представляется в виде набора блоков, соединенных между собой необходимым образом, выполняющих функции отдельных технических элементов.

2. Современное состояние вопроса

В настоящее время разработано и применяется несколько популярных программ, предназначенных для блочного моделирования динамических систем, в том числе и систем управления технологическими

процессами, такие как MATLAB, Mathcad, LabView, AnyLogic и другие. Все перечисленные программы характеризуются рядом особенностей: закрытая архитектура исполнительской части программы; отсутствие в стандартном наборе поставки требуемых для решения задач анализа процессов управления технологическими процессами готовых специализированных компонентов; высокая стоимость лицензий на такие программы.

Закрытая архитектура подсистемы выполнения разработанной модели снижает уровень контроля разработчика над корректностью полученных в ходе математического моделирования результатов, снижает уровень доверия к ним. В [1] прямо указывается, что использование популярных пакетов прикладных программ — MATLAB, Mathcad, Scilab и многих других — может приводить к ошибочным результатам расчета и становится причиной аварий и катастроф, приводя к рекомендациям по поиску и устранению такого рода ошибок.

Любопытно отметить, что именно в задачах синтеза систем управления, доставляющих минимум квадратичным критериям качества, впервые на практике

столкнулись с явлением изменения корректности задачи при эквивалентных преобразованиях — причем столкнулись, не понимая еще сущности явления.

Перечисленные выше программы обладают развитыми возможностями создания пользовательских блоков за счет применения встроенных языков программирования. Это приводит к необходимости постоянного совершенствования этих языков программирования и требует непрерывного контроля работоспособности ранее разработанных моделей в новых версиях программ. Кроме того, встроенные языки программирования являются, как правило, менее гибкими и менее функциональными, имеют более ограниченную техническую поддержку по сравнению с общепризнанными языками программирования C и Pascal, являющимися фактически стандартом de facto для разработчиков программного обеспечения.

3. Цель исследований

Преодоление ограничений известных программ исследования систем автоматического управления, разработка альтернативного подхода к разработке и исследованию процессов управления сложными системами. Актуальным является создание библиотеки свободно-распространяемых макро-блоков систем автоматического управления, обеспечить свободный доступ к системам разработки и анализа САУ, что даст возможность упростить исследование процессов управления и разработку систем автоматического управления сложными системами.

4. Теоретико-множественные аспекты построения блочных моделей

Основой для составления модели является множество классов C – объединение определенных вполне различаемых прототипов механизмов систем автоматического управления, которые обладают некоторым общим набором свойств и различаются значением этих свойств:

$$C_i = (c_1, \dots, c_i)$$

Каждый прототип механизмов САУ обладают множеством параметров $P_m = (p_1, \dots, p_m)$, множеством входных сигналов $I_j = (i_1, \dots, i_m)$ и множеством выходных сигналов $O_k = (o_1, \dots, o_k)$. Значения m, j, k принадлежат множеству натуральных чисел N , а, следовательно, множества P, I, O являются конечными множествами. Отдельный элемент множества прототипов механизмов САУ будем обозначать следующим образом: $c_i(P_m, I_j, O_k)$.

Математическая модель системы автоматического управления состоит из множества некоторых механизмов, соединенных между собой определенным способом, и содержит две основные сущности:

1. Состав модели - множество элементов, входящих в состав САУ совместно с заданными значениями множества параметров каждого элемента;

2. Структура модели - порядок (схема) соединений блоков модели.

Процесс создания модели САУ с математической точки зрения можно описать следующим образом:

Пусть L – некоторое множество, которое мы назовем множеством целочисленных индексов $l, l \in L$.

Для каждого элемента C с помощью специально многозначного отображения создается конечное множество B_l , содержащее несколько (N_l) одинаковых элементов C_l : $\forall C \rightarrow B$.

Множество B_l может быть пустым, если элемент типа l не используется в модели. Значение N_l определяет, сколько элементов типа l необходимо для работы модели. Например, как правило, в модели САУ используется несколько сумматоров, источников сигналов и т.п.

Тогда модель системы автоматического управления может быть определена в виде формального математического выражения как обобщенное объединение множества C . Модель САУ является множеством M , определяемым как объединение семейства подмножеств $\{B_k | k \in K\}$, являющееся множеством $\{x | \exists k (k \in K \wedge x \in B_k)\}$. Это множество обозначают так: $\bigcup_{k \in K} B_k$. Размерность модели САУ можно вычислить по формуле $K_c = \sum_{v \in C} N_l$

Когда состав модели определен в виде множества M , можно задать структуру модели. Для этого вначале определим множество всех входных сигналов модели AI и множество всех выходных сигналов модели AO . Эти множества могут быть вычислены как объединения множеств входных и выходных сигналов соответственно для всех блоков модели: $AI = \bigcup_{v \in M} I$, $AO = \bigcup_{v \in M} O$.

Структура модели устанавливает взаимное однозначное соответствие между множествами входных AI и выходных AO сигналов модели, причем к каждому входу может быть непосредственно подключен только один выход какого-либо блока. Таким образом, структура модели S является однозначным отображением (функцией) множества выходных сигналов модели во множество входных сигналов модели: $S = AO \rightarrow AI$. Структуру модели S можно трактовать как отношение между множествами AO и AI и отождествлять его с некоторым подмножеством декартова произведения $AO \times AI$, называемым графиком отображения S и определяемым следующим образом

$$S = \{(x, y) | x \in AO \wedge y \in AI \wedge S(x) = y\}$$

5. Прикладные концепции и практическая реализация

Разрабатываемый программный комплекс ASPC-Lab функционально состоит из двух основных частей: из набора блоков, строительных блоков для создания моделей систем автоматического управления и управляющего ядра, обеспечивающего сборку модели, ее выполнение и визуализацию полученных результатов.

Реализация отдельных блоков - механизмов систем автоматического управления выполнена в виде подключаемых модулей – плагинов, практически реализуемых в виде динамически подключаемых библиотек (DLL). Такой подход позволяет в конечном итоге избавиться от ограничений на используемые языки программирования, позволит вести разработку различных блоков широкому сообществу пользователей, независимо друг от друга и от разработчиков исполнительного ядра программы.

Управляющее ядро программы при этом подходе выполняет функции определения состава модели, соз-

дания таблицы соединений модели, исполнения модели и визуализации полученных результатов. Эта часть программы не содержит в себе реализации конкретных блоков. Управляющая программа разрабатывается с использованием концепции открытого кода с использованием свободно распространяемых программных продуктов. В частности, авторами был использован свободно распространяемый компилятор Lazarus Free Pascal.

Программа содержит список всех доступных и зарегистрированных в программе блоков-прототипов. Для хранения информации о структуре модели, параметрах блоков и таблицы соединений использована свободно распространяемая база данных Firebird. Такое решение является более продуктивным по сравнению с разработкой специализированных файлов для хранения параметров модели. Пользователь имеет возможность создавать свою модель через серию последовательных шагов, сохраняя промежуточные состояния модели, что заметно упрощает разработку и отладку модели. В процессе описания структуры модели пользователь создает список экземпляров классов, которые будут входить в модель. Каждый блок в пределах модели получает уникальное, автоматически формируемое имя. В специальных таблицах для каждого блока, включенного в модель, необходимо задать числовые значения параметров блока и при необходимости – значения начальных условий для динамических блоков.

После создания структуры модели можно переходить к созданию таблицы соединений модели. Сведения о соединениях модели хранятся в отдельной таблице базы данных. К каждому входу блока может быть подключен выход только одного блока. Не допускается существование неподключенных входов. После задания числовых значений параметров и создания таблицы соединений разрабатываемая модель готова к выполнению.

На уровне управляющего ядра программы отдельный блок представлен в виде экземпляра общего уни-

версального класса TModule, реализующего функции подключения к DLL блока и выполнения стандартных функций, определяемых протоколом обмена. Таким образом, все общие сведения о прототипе блока, такие как количество входных и выходных сигналов, условные названия входов и выходов, сведения о параметрах блока определены внутри DLL блока. Наиболее важной функцией DLL является функция Run, реализующая прикладную функциональность блока. Функция Run вычисляет значения выходных сигналов блока на момент времени $t + \Delta t$ по известным входным сигналам блока на момент времени t .

На уровне управляющего ядра программы модель изучаемой системы представляется в виде динамического массива экземпляров класса TModule. При создании каждого экземпляра ему передаются сведения об используемой этим экземпляром DLL, что полностью определяет его видовой функциональность, и присваиваются числовые значения параметров. После создания динамического массива модели запускается главный цикл программы, выполняющий следующие действия: - вычисляются выходные сигналы блоков-источников сигналов (безвыходных блоков); вычисляются сигналы на входах прочих блоков в соответствии с созданной на этапе конструирования модели таблицей соединений; методом Run вычисляются выходные сигналы блоков; выходные сигналы выводятся на графики и в протокол работы модели. Протокол работы модели позволяет сохранять результаты работы в файлы, совместимые с Microsoft Excel, что повышает удобство при обмене данными и расширяет возможности визуализации полученных результатов.

На рис. 1. представлено главное окно программы ASPC-Lab. На рисунке изображены результаты разработки модели системы автоматического управления процессом нагрева.

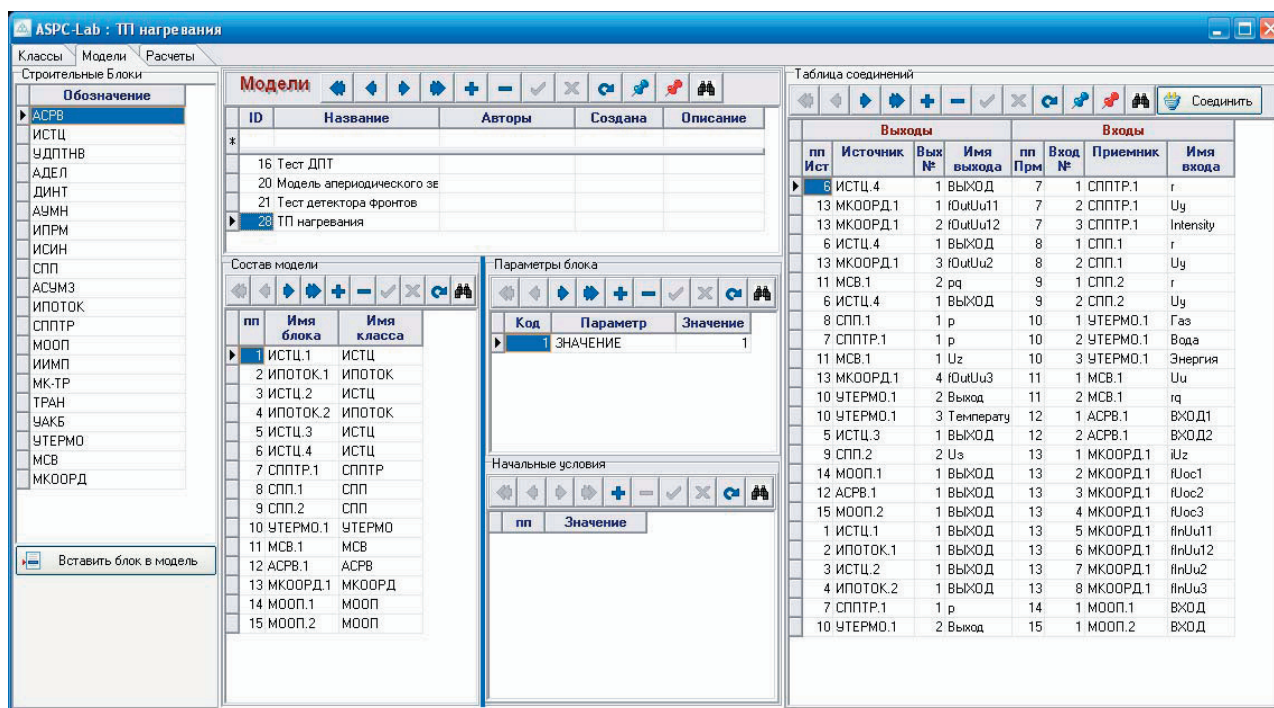


Рис. 1. Главное окно программного комплекса ASPC-Lab

Разработана стартовая версия исполнительного ядра ASPC-Lab, предложены первые версии технической документации для разработчиков новых блоков, разработан стартовый набор блоков, включающий в себя типовые блоки источников сигналов, арифметико-логические блоки, элементарные динамические звенья. Общая работоспособность предложенной концепции проверялась на простейших моделях.

Для расширенной проверки работоспособности предложенной программы была разработана матема-

тическая модель системы управления технологическим процессом нагрева.

Технологический процесс нагрева включает в себя механизмы подачи нагреваемой заготовки, механизм подачи термоагента (электроэнергии, газа), механизм выгрузки нагретой заготовки, механизм нагрева, механизм координации, синхронизирующий последовательное выполнение различных стадий процесса.

На рис. 2. представлена разработанная схема полной модели САУ процессом нагрева.

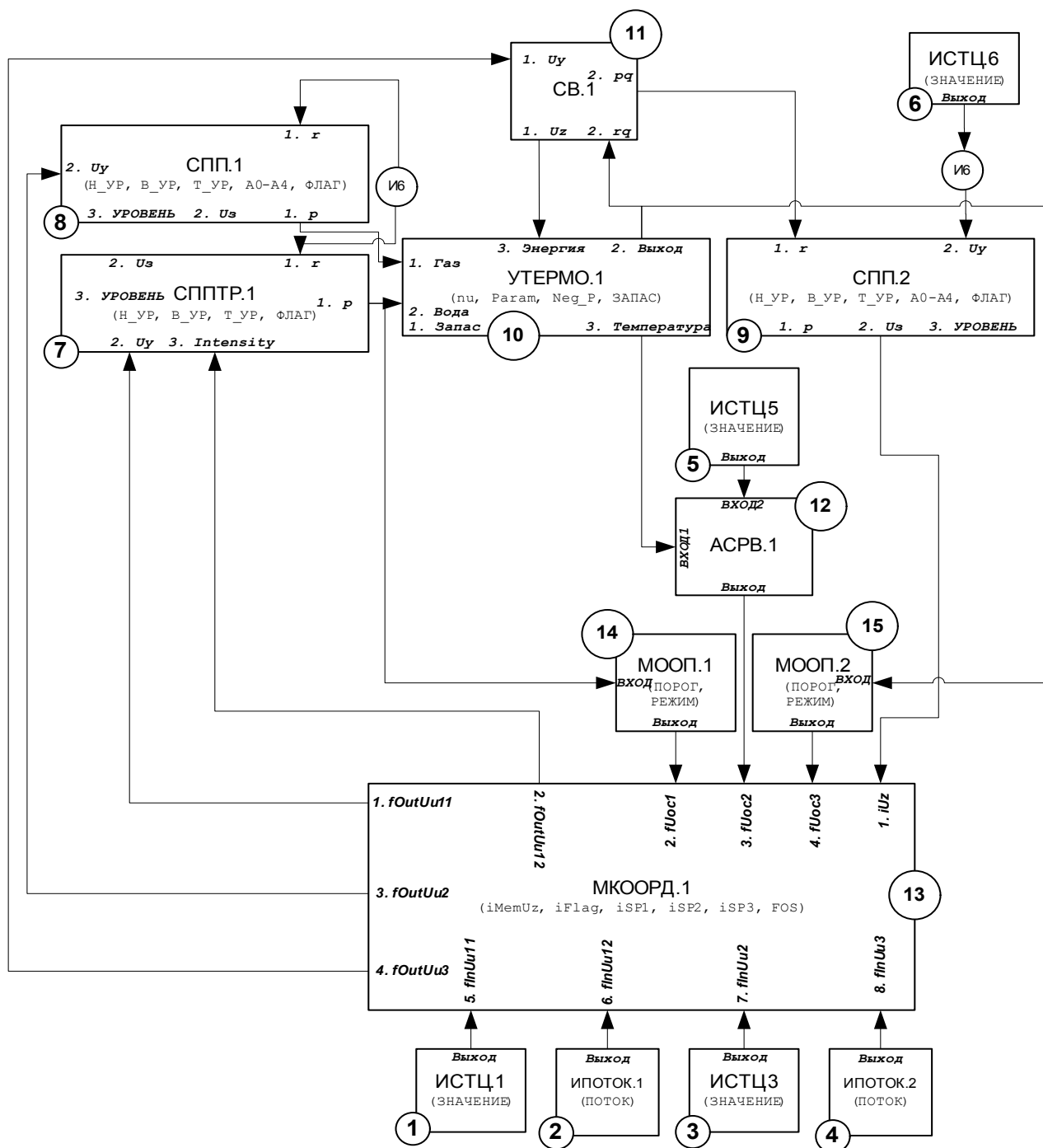
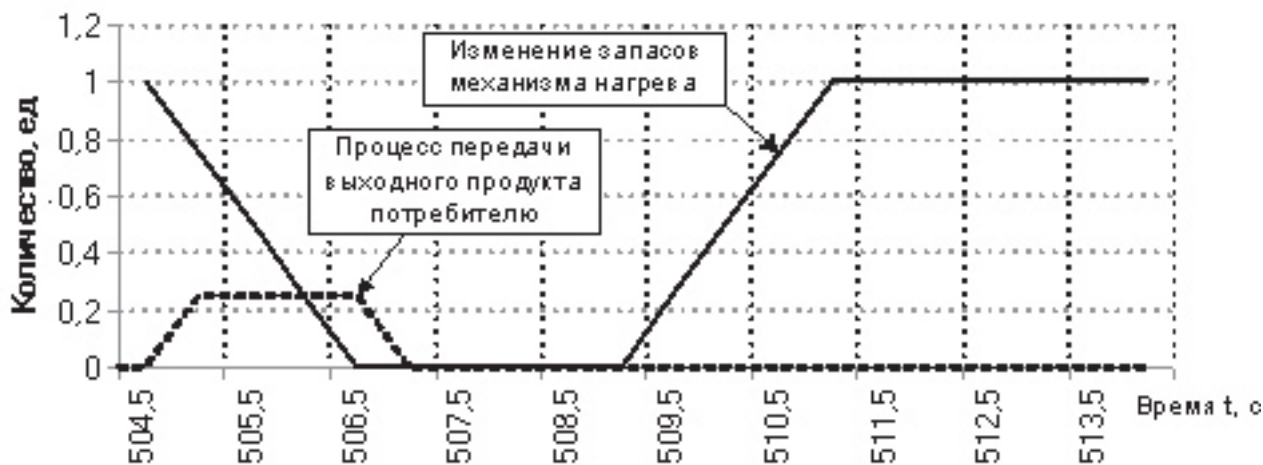
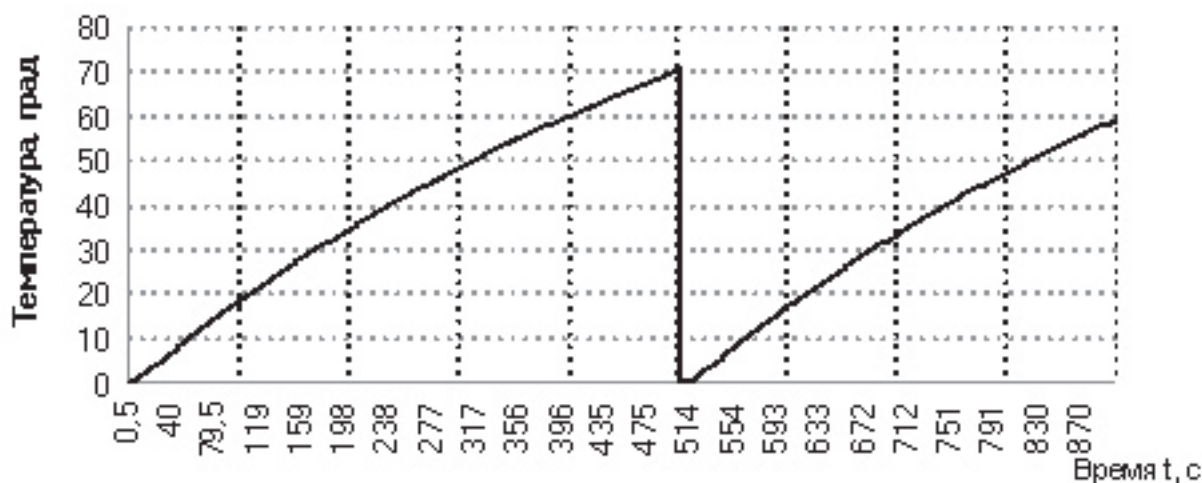


Рис. 2. Структурная схема САУ системы управления нагревом с партионной подачей входных продуктов в системе ASPC-Lab, разработанная в MS Visio

На рис. 3. изображены временные диаграммы изменения учетных (а) и качественного (б) параметров технологического процесса нагрева.



а)



б)

Рис. 3. Временные диаграммы процессов изменения учетных параметров
а) и качественного параметра
б) технологического процесса нагрева с партионной подачей входных продуктов

6. Выводы

Предложена теоретико-множественная концепция построения блочных систем моделирования, на основе которой разработана блочная система проектирования и исследования систем автоматического управления сложными процессами, работоспособность разработанного программного комплекса проверена на системе автоматического управления технологическим процессом нагрева с партионной подачей входных продуктов.

Литература

1. Петров Ю. П., Петров Л. Ю. Непредвиденное в математике и его связь с авариями и катастрофами. — 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 240 с: ил. ISBN 5-94157-543-2.
2. Н. Бурбаки. Теория множеств. Пер. с французского под ред. В. А. Успенского. Изд. «МИР», Москва, 1965, 455с.

УДК 004.27

Досліджені архітектури ядер CPU та GPU. Реалізовано алгоритм SAXPY на GPU. Отримані залежності часу виконання алгоритму на CPU і GPU від розмірів векторів. Зроблено висновок про доцільність використання GPU для SIMD-обчислень

Ключові слова: CPU, GPU, SAXPY, ядро, архітектура, нитка

Исследованы архитектуры ядер CPU и GPU. Реализован алгоритм SAXPY на GPU. Получены зависимости времени выполнения алгоритма на CPU и GPU от размеров векторов. Сделан вывод о целесообразности применения GPU для SIMD-вычислений

Ключевые слова: CPU, GPU, SAXPY, ядро, архитектура, блок, нить

Research of architecture of kernel CPU and GPU is executed. Algorithm SAXPY on GPU is realised. Dependences of the performance time of algorithm on CPU and GPU from the sizes of vectors are received. The conclusion is drawn on expediency of application GPU for SIMD-calculations

Key words: CPU, GPU, SAXPY, core, architecture, block, thread

SIMD-РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА SAXPY НА GPU

С. Ю. Скрупский

Студент*

Контактный тел.: 8 (061) 267-25-45

E-mail: 88sts88@mail.ru

Р. К. Кудерметов

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой

Кафедра компьютерных систем и сетей*

Контактный тел.: 8 (061) 220-28-90

E-mail: krk@zntu.edu.ua

*Национальный технический университет

1. Введение

Необходимость решения сложных задач с огромными объемами вычислений привели к появлению многопроцессорных вычислительных систем, что позволило значительно увеличить производительность в решении таких задач, однако стоимость каждого ядра или узла такой системы по-прежнему остается высокой. Анализ вычислительной мощности современных графических процессоров, которые появлялись в последние годы, показывает, что на текущий момент времени она в несколько раз выше мощности многоядерных процессоров и при этом – дешевле. Разница между CPU (central processor unit) и GPU (graphic processor unit) заключается в принципиальном различии их архитектур [1] (рис. 1).

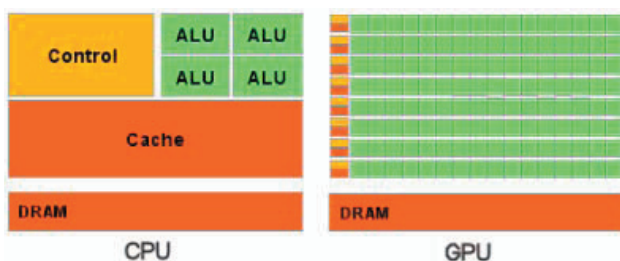


Рис. 1 Архитектуры CPU - слева и GPU - справа

Ядра CPU созданы для исполнения одного потока последовательных инструкций с максимальной производительностью, а GPU проектируются для быстрого исполнения большого числа параллельно выполняемых потоков инструкций. Разработчики CPU стараются добиться выполнения как можно большего числа инструкций параллельно, для увеличения производительности. Для этого, начиная с процессоров Intel Pentium, появилось суперскалярное выполнение, обеспечивающее выполнение двух инструкций за такт, а Pentium Pro "отличился" внеочередным выполнением инструкций. Но у параллельного выполнения последовательного потока инструкций есть определённые базовые ограничения: с увеличением количества исполнительных блоков кратного увеличения скорости не добиться. У видеочипов работа простая и распараллеленная изначально. GPU принимает группу полигонов, проводит все необходимые операции, возвращает пиксели. Обработка полигонов и пикселей независима, их можно обрабатывать параллельно, отдельно друг от друга. Поэтому, из-за изначально параллельной организации работы в GPU используется большое количество исполнительных блоков, которые легко загрузить, в отличие от последовательного потока инструкций для CPU. Кроме того, современные GPU также могут исполнять больше одной инструкции за такт (dual issue). Так, архитектура Tesla в некоторых условиях запускает на исполнение операции MAD+MUL или MAD+SFU одновременно. Не все центральные

процессоры имеют встроенные контроллеры памяти, а у всех GPU обычно есть по несколько контроллеров, вплоть до восьми 64-битных каналов в чипе NVIDIA GT-200. На видеокартах применяется более быстрая память, в результате видеочипам доступна в несколько раз большая пропускная способность памяти, что весьма важно для параллельных расчётов, оперирующих с огромными потоками данных. CPU исполняет 1-2 потока вычислений на одно процессорное ядро, а видеочипы могут поддерживать до 1024 потоков на каждый мультипроцессор, которых в чипе несколько штук. И если переключение с одного потока на другой для CPU стоит сотни тактов, то GPU переключает несколько потоков за один такт.

Таким образом, основой эффективного использования мощи GPU для неграфических расчётов является распараллеливание алгоритмов на множество исполнительных блоков, имеющихся на видеочипах.

2. Постановка задачи

Рассмотрим векторный алгоритм SAXPY (scalar $ax+u$), смысл которого заключается в вычислении скалярного произведения константы на один вектор и прибавление другого вектора, и который очень часто используется в линейной алгебре, в тестах высокопроизводительных вычислительных систем. Для экспериментальной оценки эффективности GPU в решении вычислительных задач разработаем SIMD-реализацию алгоритма, адаптированного под архитектуру ядра графического процессора. Проведем испытание этого алгоритма и измерим время его выполнения на CPU, на GPU и на GPU с учетом пересылок данных из ОЗУ в видеопамять и обратно.

3. Реализация векторного алгоритма SAXPY на GPU

Верхний уровень ядра GPU состоит из блоков, которые группируются в сетку размерностью $N_1 * N_2$ (рис. 2).

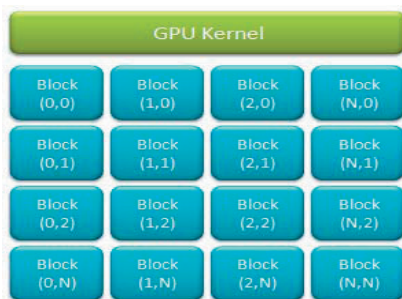


Рис. 2. Верхний уровень ядра GPU

Каждый кластер состоит из укрупнённого блока текстурных выборок и двух-трех потоковых мультипроцессоров, состоящих из восьми вычислительных устройств и двух суперфункциональных блоков. Все инструкции выполняются по принципу SIMD, когда одна инструкция применяется ко всем потокам.

Функция `__global__ void addVector(int N, float k, float* dev_vec1, float* dev_vec2)`

```
{ int idx = blockIdx.x * blockDim.x + threadIdx.x;
  if (idx < N) dev_vec2[idx] = k * dev_vec1[idx] + dev_vec2[idx]; }
```

Каждый блок состоит из нитей (легковесных потоков), которые являются непосредственными исполнителями вычислений. Нити в блоке сформированы в виде трехмерного массива (рис. 3).

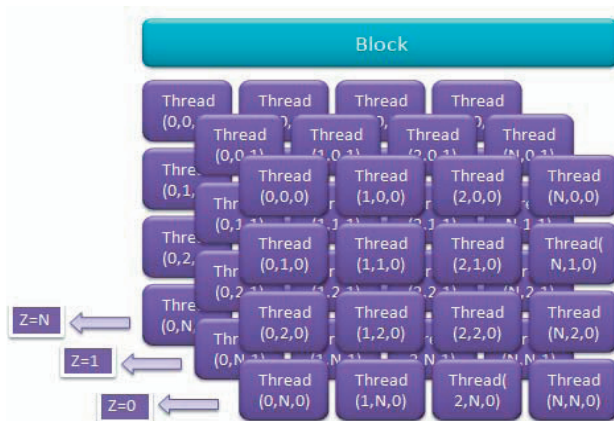


Рис. 3. Организация каждого блока GPU

Аппаратный менеджер потоков обрабатывает их автоматически. Автоматическое управление потоками важно, когда многопоточность масштабируется на тысячи выполняемых потоков. Каждый поток имеет свой собственный стек, файл регистра, программный счетчик и свою память. Связь GPU с памятью представлена на рис. 4.

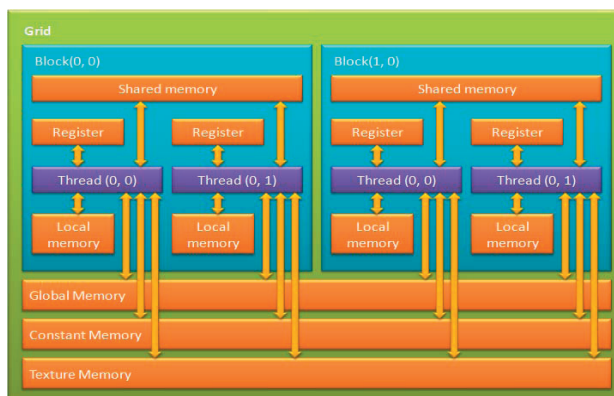


Рис. 4. Организация памяти GPU

Таким образом, в распоряжении разработчика имеется вычислительная система, оснащенная 128 или более (в зависимости от конкретной модели) 32-разрядными арифметико-логическими устройствами.

Программный код реализации SAXPY на GPU и на CPU написан на расширении языка C++, предоставленном компанией NVIDIA [2]. Блок-схема SIMD-реализации алгоритма SAXPY на GPU приведена на рис. 5.

вычисляет SAXPY на GPU параллельно. Здесь используются такие переменные:

- `blockIdx.x` - индекс текущего блока в вычислении на GPU, имеет тип `uint3`.
- `blockDim.x` - размерность блока, имеет тип `dim3`. Позволяет узнать размер блока, выделенного при текущем вызове ядра.

- `threadIdx.x` - индекс текущей нити в вычислении на GPU, имеет тип `uint3`.

Особое внимание следует уделить вызову функции ядра GPU в основной программе (рис. 6).

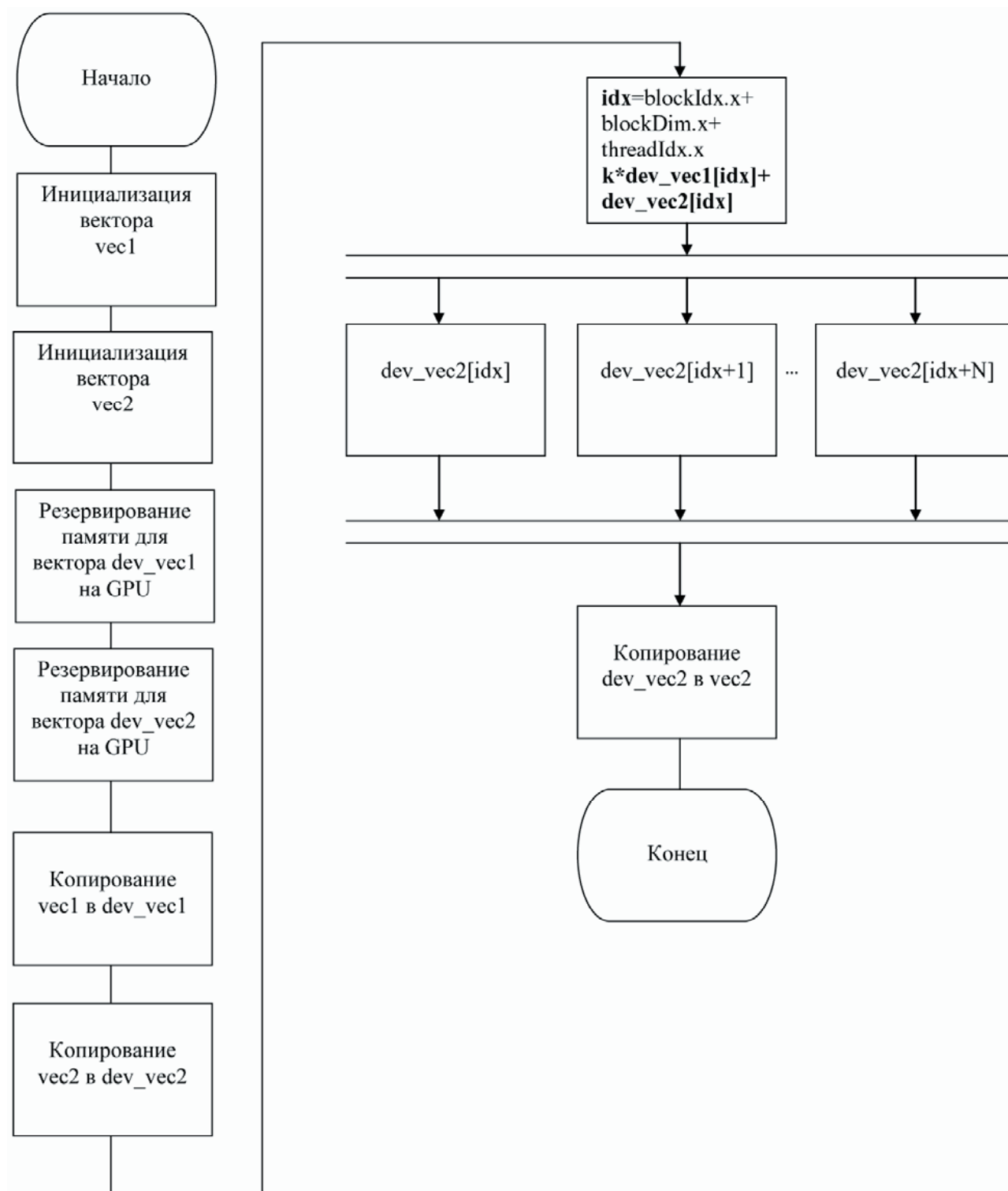


Рис. 5. Блок-схема SIMD-реализации алгоритма SAXPY на GPU

Вызов функции ядра GPU в основной программе:

```
dim3 threads = dim3(512, 1); //число нитей на блок
dim3 blocks = dim3(N / threads.x, 1); //число блоков в сетке
addVector<<<blocks, threads>>>(N, k, dev_vec1, dev_vec2); //вызов GPU
```

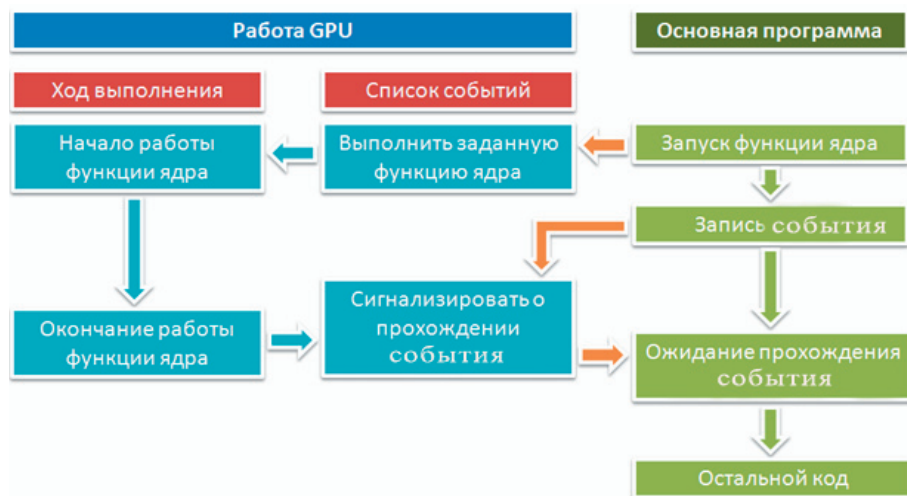


Рис. 6. Запуск функции ядра GPU

4. Результаты экспериментов

Замеры времени выполняются по событиям (events). Время выполнения функции ядра GPU – это разница между временем записи события до вызова функции ядра GPU и после ее выполнения. В процессе тестирования оценивалось время выполнения алгоритма на CPU, на GPU и на GPU с учетом времени пересылок данных из ОЗУ в видеопамять и обратно. Тестирование выполнялось на компьютере следующей конфигурации:

- Системная плата: ASUS P5B DELUX на Intel P965;
- CPU: Intel Core 2 DUO E6420, 2.13GHz;
- GPU: Nvidia 9800 GTX+, 765MHz;
- ОЗУ: DDR2 800MHz.

Результаты тестирования представлены на рис. 7.

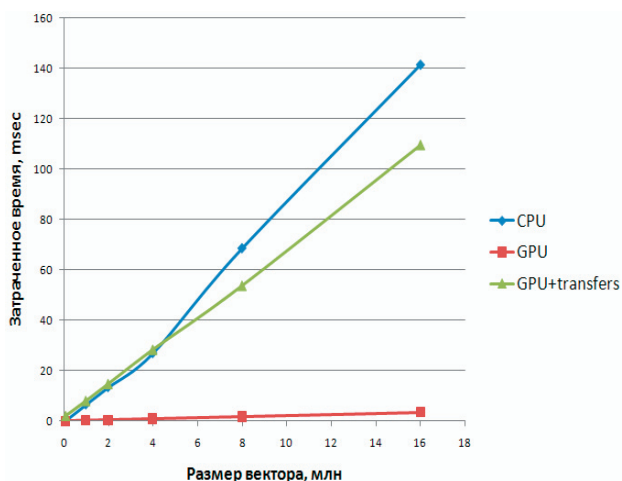


Рис 7. Результаты тестирования алгоритма на CPU и на GPU

Как видно из рисунка 7, время, затрачиваемое GPU на выполнение алгоритма SAXPY, значительно меньше времени, необходимого CPU для реализации того же алгоритма. Слабым местом системы с векторными вычислениями средствами GPU являются пересылки данных в цепочке ОЗУ → Северный мост → GPU → Северный мост → ОЗУ.

Время, затрачиваемое на такие пересылки, зависит от конкретной аппаратуры и тактовых частот проводников. Количество таких пересылок необходимо минимизировать.

Выводы

Таким образом, показана эффективность применения GPU для SIMD – реализации алгоритма SAXPY. Графический процессор может быть использован в качестве арифметического сопроцессора CPU для выполнения векторных вычислений.

В исследованиях применялась одноядерная видеокарта, характерная для обычных рабочих станций. Более трудоемкие задачи могут быть решены, например на четырех двухъядерных видеокартах по технологии 4-way SLI [2], которые позволят распараллелить задачу на 8 независимых потоков.

Литература

1. Берилло А. NVIDIA CUDA – неграфические вычисления на графических процессорах / А. Берилло. //ixbt.com. – 2008. - №4. – с. 18-25.
2. NVIDIA Corporation. NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture Programming Guide. Ver 2.1. / NVIDIA Corporation. – [S.I.] : NVIDIA, 2008. – 111 p.

УДК 658.012

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ НА УПРАВЛІНСЬКІ ФУНКЦІЇ ВИРОБНИЧОЇ ПІДСИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Ю.А. Бабіченко

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра управління та економіки підприємства
Національний фармацевтичний університет
вул. О. Невського, 18, м. Харків
Контактний тел. 8-097-439-01-26

У результаті досліджень проведено визначення основних функціональних підсистем підприємства та опис інформаційних потоків виробничої підсистеми за допомогою інформаційних матриць. Наведені результати досліджень щодо визначення та оптимізації витрат на проходження інформаційних потоків у виробничій підсистемі промислового підприємства, що дозволяє підвищити ефективність системи управління на виробничому підприємстві, не змінюючи структури управління, за допомогою управління інформаційними потоками

Ключові слова: оптимізація витрат, підсистеми підприємства, інформаційні потоки, управління

В результате исследований проведено определение основных функциональных подсистемы предприятия и описание информационных потоков производственной подсистемы с помощью информационных матриц. Приведенные результаты исследований относительно определения и оптимизации расходов на прохождение информационных потоков в производственной подсистеме промышленного предприятия, что позволяет повысить эффективность системы управления на производственном предприятии, не изменяя структуру управления, с помощью управления информационными потоками

Ключевые слова: оптимизация затрат, подсистемы предприятия, информационные потоки, управление

As a result of researches determination of basic functional is conducted subsystems of enterprise and description of informative streams of production subsystem by informative matrices. Resulted results of researches in relation to determination and optimization of charges on passing of informative streams in the production subsystem of industrial enterprise, that allows to promote efficiency of control system on a production enterprise, not changing a management structure, by a management informative by streams

Keywords: optimisation of expenses, enterprise subsystems, information streams, managements

Вступ і постановка завдання дослідження

Сьогодні завдання системи управління полягає в створенні адаптивних, швидко реагуючих управлінських механізмів, а керівників – в реалізації комплексних і системних підходів. Застосування системного підходу в управлінні промисловим підприємством дозволяє найкращим чином організувати процес ухвалення рі-

шень на всіх рівнях в системі управління та допомагає аналізувати будь-яку ситуацію в межах окремо взятої системи. Розгляд підприємства як складної системи багатофункціонального управління, дає змогу усвідомити внутрішні та зовнішні важелі регулювання усієї виробничої діяльності в цілому і, таким чином, досягати їх збалансованості в умовах мінливості ринкового оточення. Для створення сучасної системи менеджмен-

ту вітчизняних підприємств необхідний чіткий, науково обґрунтований методологічний апарат.

Проблеми удосконалення системи управління промисловим підприємством досить часто розглядаються в науці та практиці управління, але у зв'язку з динамічними змінами середовища функціонування підприємства та розвитком науково-практичної думки необхідно постійно вдосконалювати існуючі підходи та методики. Різноманітність системних методів виявлення та дослідження організаційних проблем викликає необхідність аналізу застосування системного підходу і, відповідно, постає завдання дослідження витрат, що припускаються через неефективність менеджменту, вивчення і створення типології організаційних проблем, для яких найефективніші ті чи інші види системного підходу [1].

Виробнича система та система управління в цілому являють собою складні системи, які в свою чергу підрозділяються на підсистеми та елементи: функції, структури, кадри, технічні засоби, інформація, методи організації управління, технологія, продукція системи. Результатом функціонування системи управління є управлінські рішення, які безпосередньо впливають на всі складові виробничої системи, а значить, на її продукцію. До того ж, на сучасному етапі розвитку вирішальну роль при організації управління стала відігравати інформація. Це пов'язано як з розвитком нових інформаційних технологій, так і зі змінами в технології управління. Відповідно, інформаційна складова витрат на здійснення управління стала більш значною. У зв'язку із цим, виникає необхідність підвищення ефективності системи управління в цілому, і інформаційної складової цієї системи зокрема.

Метою роботи є розробка механізму, що дозволяє підвищити ефективність системи управління на виробничому підприємстві, не змінюючи структури управління, за допомогою управління інформаційними потоками.

Для досягнення поставленої необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз існуючого підходу до управління на підприємстві;
- визначення основних функціональних підсистем підприємства;
- опис інформаційних потоків за допомогою інформаційних матриць;
- оптимізація витрат на розміщення інформаційних потоків для підвищення ефективності функцій системи управління підприємством.

Результати досліджень та їх обговорення

Наведені завдання вирішувались на прикладі промислового підприємства, що працює в галузі виробництва збірних бетонних та залізобетонних конструкцій.

Номенклатура представлена наступним переліком продукції: панелі перекриттів багатопустотні; фундаментні блоки; гараж; лотки; плити перекриття каналів; елементи пожежних резервуарів; плити перекриттів (ребристі); сходові марші й сходові площадки; кришки колодязя; тротуарна плитка; прогони; балконні плити; перемички; палі та ін. Із усього найменування випуску продукції, найбільшим попитом користуються панелі

перекриттів багатопустотні. Їхня питома вага від обсягу загальної реалізації становить 60%. Так само значну частку займають лотки з питомою вагою 30%. Питома вага продажу паль – 5%; перемичок – 1% та 4% становить інша продукція. При аналізі виробництва продукції було виявлено, що за три роки його обсяги зростали дуже швидкими темпами. Темпи приросту виробництва продукції за 2006 – 2008 рр. складав 207,6 %.

Якщо зіставити систему потоків з організаційною структурою підприємства, то можна виділити наступні підсистеми: фінансову, кадрову та виробничу.

Основний вид діяльності підприємства – виробництво, тому саме від функціонування виробничої підсистеми залежить стан інших підсистем зокрема і всього підприємства в цілому. Управлінські функції забезпечують процес управління, і визначають структуру, зміст системи управління, розподілу прав, повноважень і відповідальності окремих органів і посадових осіб. Для виробничої підсистеми були виділені основні управлінські функції за допомогою аналізу посадових інструкцій начальника цеху, заступника по обладнанню, заступника по виробництву та начальника планово-диспетчерського бюро. Саме витрати на реалізацію цих функцій розглядалися у подальшому.

На підприємствах сьогодні не приділяється достатньої уваги визначенню та оптимізації витрат на виконання управлінських функцій. Ці завдання можна вирішити завдяки більш ефективному розподілу інформаційних потоків та витрат на їх організацію. До таких витрат можна віднести витрати на інформаційну вартість комунікацій, які залежать від віддаленості джерела від приймача інформації, та витрати на відволікання ресурсів, які залежать від завантаженості підрозділу.

Теоретичною і методологічною основою дослідження інформаційних потоків і функцій системи управління підприємством і подальшим її вдосконаленням стали положення теорії сучасного менеджменту вітчизняних і закордонних фахівців, роботи вчених в області прикладної математики й інформатики [2, 3].

Інформаційні потоки є відбиттям всіх інших, тому, відстеживши інформаційні потоки, можна скласти уявлення про систему в цілому. Як інформаційний потік це не вектор, розташований у двовірному просторі, як це звичайно представляється при моделюванні. Це спрямований масив, розташований у більш складному просторі [2].

Для представлення масиву інформаційних потоків підсистеми зручно використовувати комунікаційні матриці. Спочатку інформаційні потоки розділяються на види інформації. Для кожного виду створюється матриця. При наявності потоку даного виду інформації від джерела до приймача у відповідній графі ставиться оцінка. Обробивши, таким чином, всі види інформації, ми одержуємо деяку кількість матриць. Накладенням матриць одержуємо одну тривимірну матрицю, у якій відбиті: приймачі інформації, джерела інформації й види інформації [3].

Таким чином було проаналізовано інформаційну матрицю виробничої підсистеми, оцінено кожен можливий шлях її проходження та визначено вартість кожного маршруту інформаційної системи (табл. 1 та табл. 2) на прикладі підприємства з виробництва збірних бетонних та залізобетонних конструкцій та на підставі методики, запропонованої Козловою Г.Г. для підприємств машинобудівної галузі.

За допомогою програмного забезпечення MathCAD при умові, що є n приймачів і m джерел інформації та на основі чотирьох матриць даних: потужності i -го джерела $a_i (i=1, m)$ відповідає (a_i) , потреби j -того приймача $(j=1, n) - (b_j)$, витрат на проходження одиниці інформації від i -го джерела до j -того приймача (c_{ij}) , кількість інформації, що проходить від i -го джерела до j -того приймача (x_{ij}) необхідно розрахувати загальну суму витрат на проходження даного виду інформації $(Total_C)$.

Обробляючи матрицю методами статистики за допомогою прикладного пакета MathCAD, з'ясовується, які підрозділи мають найбільш тісні комунікаційні контакти, до якої інформації найбільш часті звернення, яка інформація є внутрішньою для певної підсистеми та ін. Під назвою «транспортне завдання» об'єднується широке коло завдань з єдиною математичною моделлю, що відносяться до завдань лінійного програмування [4, 5].

Таблиця 1

Інформаційна матриця виробничої підсистеми підприємства

	головний інженер	відділ МТП	об'єднаний цех ЗБВ	РМЦ	транспортний цех	склад готової продукції	Сума b_j
головний інженер	0	30	28	20	9	121	208
відділ МТП	47	0	33	20	74	12	186
об'єднаний цех ЗБВ	78	41	0	11	91	105	326
РМЦ	39	22	26	0	8	16	111
транспортний цех	49	80	49	5	0	93	276
склад готової продукції	121	54	16	4	43	0	238

Таблиця 2

Витрати на розміщення інформаційних потоків виробничої підсистеми підприємства (грн.)

	головний інженер	відділ МТП	об'єднаний цех ЗБВ	РМЦ	транспортний цех	склад готової продукції
головний інженер	0	302	278	174	95	1618
відділ МТП	568	0	367	174	987	101
об'єднаний цех ЗБВ	994	511	0	89	1267	1431
РМЦ	377	208	245	0	64	122
транспортний цех	599	1138	594	49	0	1290
склад готової продукції	1618	733	128	40	514	0

Обмеження, необхідні для збереження основної спрямовуючої тенденції інформаційного потоку від джерела до приймача, мають наступний вигляд [3]:

1) обсяг вихідної інформації від i -того джерела не повинно перевищувати його потужність (пропускну здатність):

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i (i=1, m); \quad (1)$$

2) обсяг інформації що поставляється j -тому приймачу повинен дорівнювати його потребі:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq b_j (j=1, n); \quad (2)$$

3) сумарна потужність джерел не повинна бути нижчою сумарної потреби приймачів:

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j; \quad (3)$$

4) кількість інформації, що проходить i -того джерела до j -того приймача повинна виражатися від'ємним числом:

$$x_{ij} \geq 0; \quad (4)$$

5) загальна сума витрат на проходження даного виду інформації повинна бути мінімальною:

$$G = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{c_{ij}}{x_{ij}} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Сумарні витрати на проходження інформаційних потоків за допомогою пакету MathCAD. Необхідно дотримуватись умови, за якою сумарні потреби дорівнювали б сумарній потужності, тобто транспортне завдання мало правильний баланс і така модель є закритою після задавання функції сумарних витрат отримаємо: $Total_C = 1,667 \cdot 10^4$ грн. на рік. Таким чином, подальші обчислення спрямовані на мінімізацію саме цих витрат.

Мінімізація витрат може бути досягнута методом потенціалів або розподільним методом. У середовищі MathCAD цього можна досягти за допомогою вбудованої функції Minimize. Етапи розрахунку оптимальних витрат за допомогою програмного забезпечення MathCAD наступні:

1. Ввід матриць вихідних даних;
2. Доведення збалансованості матриць;
3. Задавання функції сумарних витрат (як функції від кількості інформації), в якій початкові значення задаються у вигляді вихідної матриці;
4. Формування блоку рішень з урахуванням всіх критеріїв та обмежень;
5. Задавання функції мінімізації витрат на розміщення інформаційних потоків:

$$opt_C := \text{Minimize}(Z, c). \quad (6)$$

Витрати після оптимізації дорівнюють: $C_{opt} = 1,286 \cdot 10^4$ грн. на рік.

Таким чином, оптимальне розміщення інформаційних потоків дозволить знизити витрати на здійснення процедур управління виробничої підсистеми на 3810 грн.

Висновки

На основі аналізу організаційної структури підприємства з виробництва бетонних та залізобетонних

виробів було виділено три основні підсистеми підприємства: виробничу, фінансову та кадрову, які і підлягали подальшому аналізу.

Теоретичне значення отриманих результатів полягає в можливості застосування методів, запропонованих у даній роботі для підвищення ефективності системи процедур і функцій управління на підприємствах галузі виробництва збірних бетонних та залізобетонних виробів. Практичне значення роботи полягає в тому, що підприємство одержує можливість знизити витрати на здійснення процедур і функцій управління.

Впровадження запропонованого механізму розміщення інформаційних потоків дозволяє знизити витрати системи управління, і відповідно підвищити ефективність її функціонування, без залучення значних додаткових витрат на його реалізацію. Підприємство також одержує можливість, виділити інформаційну складову функцій управління при нормуванні витрат. Проведені розрахунки дозволили встановити, що оптимальне розміщення інформаційних потоків дозволяє знизити витрати на здійснення процедур управління виробничої підсистеми.

Література

1. Мельник М.В. Анализ и оценка систем управления на предприятиях. – М.: Машиностроение, 1990. – 203 с.
2. Информационные системы в экономике: Учебник. / Под ред. проф. В.В. Дика. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 272 с.
3. Козлова Г.Г. Управление информационными потоками как средство повышения эффективности хозяйственной деятельности предприятия (на примере предприятий машиностроительной отрасли): Автореферат на соискание ученой степени кандидата экономических наук 8.00.05. – М., 2002. – 22 с.
4. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 272 с.
5. Исследование операций в экономике: Учеб. Пособие для вузов / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман. – М.: Юнити, 2001. – 407 с.

УДК 004.7

Розроблена класифікація промислових комп'ютерних мереж, яка дозволить здійснити вибір оптимальної промислової комп'ютерної мережі для конкретної технологічної ділянки, що забезпечить підвищення ефективності роботи підприємства

Ключові слова: промислова комп'ютерна мережа, класифікація

Разработана классификация промышленных компьютерных сетей, которая позволяет осуществить выбор оптимальной промышленной компьютерной сети для конкретного технологического участка, что обеспечит повышение эффективности работы предприятия.

Ключевые слова: промышленная компьютерная сеть, классификация

The classification of industrial computer networks is developed which allows to carry out a choice of an optimum industrial computer network for a concrete technological site, that will ensure (supply) increase of an overall performance of the enterprise

Key words: fieldbus, classification

КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

С.М. Бабчук

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, Україна, 76000

Контактний тел.: 8-099-157-84-11

E-mail: plumbumm@meta.ua

1. Вступ

Протягом багатьох років системи обміну даними будувалися по традиційній централізованій схемі, у

якій був один потужний обчислювальний пристрій і величезна кількість кабелів, за допомогою яких здійснювалося підключення датчиків і виконавчих механізмів. Такий стан був спричинений високою ціною на

електронно-обчислювальну техніку й відносно низьким рівнем автоматизації виробництва [1]. Сьогодні у цього підходу практично не залишилося прихильників. Такі недоліки централізованих автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП), як великі витрати на кабельну мережу й допоміжне устаткування, складний монтаж, низька надійність і складна реконфігурація, зробили їх у багатьох випадках абсолютно неприйнятними як економічно, так і технологічно.

В умовах бурхливо зростаючого виробництва мікропроцесорних пристроїв альтернативним рішенням стали промислові комп'ютерні мережі (fieldbus), що складаються з багатьох вузлів, обмін між якими здійснюється цифровим способом. В даний час на ринку представлено біля сотні різних типів промислових мереж, протоколів і інтерфейсів, застосовуваних у системах автоматизації, серед яких Modbus, PROFIBUS, Interbus, CAN, LON, Foundation Fieldbus, Ethernet і ін. Крім того, сьогодні використовуються тисячі кінцевих пристроїв від десятків виробників, що випускають апаратні засоби побудови промислових комп'ютерних мереж.

Наявність на ринку різноманітних наборів програмно-апаратних рішень дозволяє вирішити технологічні проблеми практично будь-якого виробництва. Тому для підприємств практично повністю втрачати зміст власні розробки в цій області. Спроба заощадити засоби за рахунок внутрішніх ресурсів у більшості випадків обертається створенням громіздких, ненадійних, несумісних і дорогих в обслуговуванні систем [2].

Різнорічність технологічних процесів, які необхідно автоматизувати, не дозволила створити промислову комп'ютерну мережу, використання якої можна б було встановити універсальним і економічно оптимальним рішенням [2, 3, 4]. В зв'язку з вищевказаним фахівцям служб АСУ ТП підприємств необхідно виконати структурування комплексу АСУ ТП і провести вибір оптимальних рішень для конкретних технологічних ділянок, які забезпечать прорив підприємства на новий рівень якості й ефективності виробництва. Не зважаючи на те, що на світовому ринку представлено біля сотні різних типів промислових мереж, протоколів і інтерфейсів, інформація про них в українських засобах інформації майже відсутня. Крім того, на даний час немає жодних методологічних напрацювань в цій сфері.

Метою описаних нижче досліджень було створення класифікації промислових комп'ютерних мереж, яка б допомогла фахівцям служб АСУ ТП підприємств швидко і правильно здійснити вибір типу промислової мережі для конкретних технологічних ділянок.

2. Класифікація промислових комп'ютерних мереж

Ієрархія АСУ промисловим підприємством можна представити у вигляді вертикалі:

- рівень керування підприємством;
- рівень керування технологічним процесом;
- рівень керування пристроями;
- рівень мережі кінцевих пристроїв.

На рівні керування підприємством розташовуються звичайні IBM-PC-сумісні комп'ютери й файлові сервери, об'єднані локальною мережею. Завдання обчислювальних систем на цьому рівні - забезпечення візуального контролю основних параметрів виробництва, побудова звітів, архівування даних. Обсяги переданих між вузлами даних вимірюються мегабайтами, а часові показники обміну інформацією не є критичними.

На рівні керування технологічним процесом здійснюється поточний контроль і керування або в ручному режимі з операторських пультів, або в автоматичному режимі по закладеному алгоритму. На цьому рівні виконується узгодження параметрів окремих ділянок виробництва, відпрацьовування аварійних і передаварійних ситуацій, параметризація контролерів нижнього рівня, завантаження технологічних програм, дистанційне керування виконавчими механізмами. Інформаційний кадр на цьому рівні містить, як правило, кілька десятків байтів, а допустимі тимчасові затримки можуть становити від 100 до 1000 мілісекунд залежно від режиму роботи.

На рівні керування пристроями розташовуються контролери, що здійснюють безпосередній збір даних від датчиків і керування виконавчими пристроями. Розмір даних, якими контролер обмінюється з кінцевими пристроями, звичайно становить кілька байтів при швидкості опитування пристроїв не більше 10 мс.

Поява інтелектуальних датчиків і виконавчих механізмів і інтерфейсів для зв'язку з ними фактично стала появою четвертого, найнижчого рівня АСУ ТП - рівня мережі кінцевих пристроїв.

Враховуючи ієрархію АСУ промисловим підприємством, описану вище, класифікація промислових мереж за областю застосування буде наступною:

- локальні та глобальні комп'ютерні мережі для інформаційного обміну (Ethernet, Ethernet IDA, Ethernet/IP);
- промислові мережі для автоматизації та управління (Ethernet, Ethernet/IP, Ethernet IDA, Profibus-FMS, ControlNet, Modbus, CANopen, Foundation Fieldbus H2);
- промислові мережі для інтелектуального розподіленого вводу-виводу (Profibus-DP, Profibus-PA, AS-інтерфейс, Interbus, CAN, Foundation Fieldbus H1, LON, EIB, SDS, HART).

Одним із визначальних критеріїв, який впливає на вибір промислової мережі, є її придатність до роботи у вибухонебезпечних умовах. Тому промислові мережі можна класифікувати наступним чином:

- промислові мережі призначені для роботи у вибухонебезпечній зоні (Profibus-PA, Foundation Fieldbus H1);
- промислові мережі, які не призначені для роботи у вибухонебезпечній зоні, але при певному вибухозахищеному виконанні окремих технічних засобів можуть бути використані в таких умовах (Industrial Ethernet, AS, HART, ControlNet);
- промислові мережі не призначені для роботи у вибухонебезпечній зоні (більшість промислових мереж).

Коли обговорюється питання про вибір типу промислової мережі, необхідно уточнювати, для якого об'єкту автоматизації, цей вибір здійснюється. Таким чином промислові мережі можна класифікувати за сферою застосування:

- для автоматизації виробництва (Profibus, Foundation Fieldbus, Industrial Ethernet);
- для автоматизації будівель (EIB, BACnet, LON);
- для автоматизації транспортної й верстатної автоматизації (CAN, CANbus, CANopen, ControlNet, DeviceNet, SDS);
- для автоматизації виконавчих пристроїв та датчиків (інтерфейс RS-485, AS-інтерфейс; HART-протокол).

Класифікація промислових мереж за максимальною довжиною магістралі (без повторювачів):

- до 100 м (AS);
- від 100 до 500 м (SDS);
- від 500 до 1000 м (DeviceNet, EIB);
- від 1000 до 2000 м (Profibus [вита пара], Foundation Fieldbus);
- від 2000 до 5000 м (HART);
- від 5000 до 12000 м (CAN [вита пара]);
- більше 12000 м (Interbus, Profibus [оптоволокну]).

Важливе значення має той факт, що промислова мережа затверджена відповідним стандартом, адже це говорить про її визнання і про привабливість розроблення для неї широкого асортименту технічних засобів та постійне їх вдосконалення в конкурентній боротьбі між незалежними виробниками. Промислові мережі в залежності від того як вони стандартизовані можна класифікувати:

- промислові мережі затверджені міжнародними стандартами (стандарт промислової управляючої мережі IEC61158: Foundation Fieldbus, ControlNet, Profibus, P-NET, SwiftNet, WorldFIP, Interbus);
- промислові мережі затверджені європейськими стандартами (стандарт промислової мережі EN50325: DeviceNet, SDS, CAN);
- промислові мережі затверджені стандартами окремих країн;
- промислові мережі не затверджені жодними стандартами (Modbus, DH-485, DH+).

Промислові мережі можна класифікувати за режимом обміну даними, який вони підтримують:

- промислові мережі, які підтримують режим “ведучий-ведений”;

- з одним ведучим пристроєм (RS-485, AS-інтерфейс);
- з двома та більше ведучими пристроями (Profibus-FMS, HART, P-NET);
- промислові мережі, які підтримують режим “клієнт-сервер” (Foundation Fieldbus);
- промислові мережі, які підтримують режим “підписки” (Foundation Fieldbus).

Висновки

Розроблена класифікація промислових мереж, яка дозволить швидко і правильно здійснити вибір оптимальної промислової мережі для конкретної технологічної ділянки, що забезпечить підвищення ефективності роботи підприємства.

Література

1. Сахнюк, А. А. Промышленные сети [Текст] / А. А. Сахнюк, А. М. Литвин // Передовые технологии и технические решения. – 2004. – № 2. – С. 6–8.
2. Кругляк, К. В. Промышленные сети: цели и средства [Текст] / К. В. Кругляк // Современные технологии автоматизации. – 2002. – № 4. – С. 6–17.
3. Наволочный, А. А. Средства обеспечения междууровневой связи АСУ электроэнергетического объекта [Текст] / А. А. Наволочный // Вестник ВОГТУ. – Вологда: 2004. – № 4.
4. Сахнюк, А. А. Межсетевое взаимодействие в промышленных сетях [Текст] / А. А. Сахнюк // Передовые технологии и технические решения. – 2004. – № 3. – С. 6–11.

УДК 681.51.01

УЧЕБНЫЙ СТЕНД НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ КОМПАНИИ HONEYWELL

Р. Б. Медведев

Кандидат технических наук, профессор*

Контактный тел.: 8 (044) 454-97-83

E-mail: kxtp@xtf.ntu-kpi.kiev.ua

А. А. Евтушенко

Инженер

Отдел главного энергетика

ОАО «Научно-производственное предприятие

«Большевик»

пр. Победы, 49/2, Киев, Украина, 03057

Контактный тел.: 8 (044) 454-97-83

E-mail: evtushenko.artem@gmail.com

О. В. Сангинова

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: 8 (044) 454-97-83

E-mail: kxtp@xtf.ntu-kpi.kiev.ua

*Кафедра кибернетики химико-технологических
процессов

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, Киев, Украина, 03056

Описана навчальна система для практичної підготовки спеціалістів у галузі автоматизації процесів керування. Наведені результати її випробування та перспективи використання у навчальному процесі

Ключові слова: СТАК, стенд, контролер

Описана учебная система для практической подготовки специалистов в области автоматизации процессов управления. Приведены результаты ее испытания и перспективы использования в учебном процессе

Ключевые слова: СТАУ, стенд, контроллер

This article represents educational system for practical training of specialists in the automation of control processes. Results of its test and use prospects are submitted

Key words: Modern Automatic Control Theory, stand, controller

Введение

Наряду с теоретической частью процесса обучения специалистов в области автоматизации технологических процессов важную роль, как и в любой другой сфере деятельности, играют практические занятия, дающие навыки работы с современным оборудованием.

Помимо теоретического исследования объекта регулирования и разработки системы автоматического управления [2], необходимо иметь возможность наглядно проследить за процессом регулирования реальным объектом по заданному закону, сравнить реальную картину поведения технологического комплекса с моделируемой, оценить степень адекватности модели, выявить неучтенные при моделировании зависимости.

Решать эти и другие смежные задачи в рамках лабораторных и практических занятий позволяет рассматриваемая в статье учебная система.

Постановка проблемы

Разрабатываемая учебная система должна удовлетворять следующим требованиям: простота, как с точки зрения наладки в условиях учебного класса вуза, так и в смысле освоения; удобный интерфейс пользователя, наглядно отображающий процесс регулирования; возможность сохранения результатов измерений; универсальность, возможность модификации под решение различных задач и модернизации в условиях современного темпа совершенствования аппаратуры и программного обеспечения.

Учебный комплекс должен позволить будущим специалистам получить необходимые навыки для работы в реальных производственных условиях.

Всем поставленным требованиям отвечают микропроцессорные контроллеры, которые широко используются в современном производстве. Они компактны, представляют собой законченный автономный аппарат, содержащий все необходимые блоки (питания, управления, связи, входов и выходов). Контроллер легко интегрируется с обычной локальной вычислительной сетью на базе сервера IBM PC и может реализовать практически любой закон регулирования. Прилагаемое программное обеспечение позволяет создавать различные алгоритмы управления технологическим процессом, интерфейс пользователя, сохранять сведения о процессе регулирования в базу данных, отображать графики изменения переменных процесса и многое другое.

Описание системы

Система предназначена для построения стратегий управления технологическими процессами и отработки навыков конфигурирования систем и их настройки. Предлагаемая система позволяет повысить уровень подготовки технологов и специалистов по автоматизации путем использования контроллера C200 Honeywell и специального программного обеспечения, которое используется на многих современных предприятиях. Структура разработанной микропроцессорной системы представлена на рис. 1.

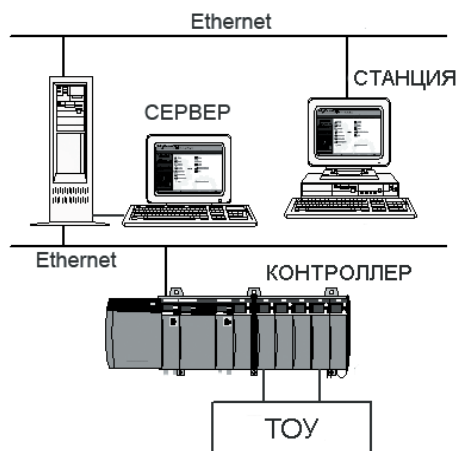


Рис. 1. Структура учебной системы

Система состоит из следующих основных частей:

Контроллера C200 компании Honeywell; сервера с операционной системой Windows Server 2000 и программного обеспечения Experion PKS; рабочей станции; технологического объекта управления (ТОУ).

Рассмотрим каждую часть системы отдельно.

Объект управления

ТОУ представляет собой емкость с двумя входными потоками вещества и одним выходным. Обра-

зованная смесь свободно вытекает из отверстия в дне емкости (рис. 2).

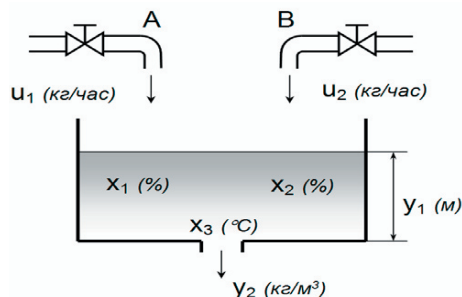


Рис. 2. Емкость с двумя входными потоками

Целью управления для таких объектов может быть:

- поддержание заданного уровня в емкости;
- поддержание заданного состава выходного потока;
- стабилизация одного из этих параметров;
- другое.

Для данного объекта разработана математическая модель в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений состояния и алгебраических уравнений выхода. Общий вид модели в векторной форме может быть представлен следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{\bar{X}} = \bar{F}(\bar{X}, \bar{U}), \bar{X}(0) = \bar{X}_0 \\ \bar{Y} = \bar{G}(\bar{X}) \end{cases}$$

где $\bar{X} = (x_1, x_2, x_3)^T$ - вектор параметров состояния;

$\bar{U} = (u_1, u_2)^T$ - вектор параметров управления;

$\bar{Y} = (y_1, y_2)^T$ - вектор выходных переменных [1].

Правые части этих уравнений являются компонентами нелинейных векторов-функций $\bar{F}(\bar{X}, \bar{U})$ и $\bar{G}(\bar{X})$.

Измеряемые выходные величины – уровень в емкости y_1 (м) и плотность выходного потока y_2 (кг/м³).

Управляющие воздействия – расходы компонентов А и В - u_1, u_2 (кг/час).

Параметры состояния: концентрация компонента А в смеси - x_1 (%); концентрация компонента В в смеси - x_2 (%); температура смеси - x_3 (°C).

Задача стабилизации уровня в объекте

Рассмотрим случай, когда целью управления является поддержание уровня в емкости. Модель состояния управляющего устройства представляет собой общеизвестный алгоритм ПИД-закона.

Начальные значения параметров модели: расход 1-го входного потока (кг/час); концентрация 1-го входного потока (%); расход 2-го входного потока (кг/час); концентрация 2-го входного потока (%); расход выходного потока (кг/час); концентрация выходного потока (%); диаметр отверстия (м); степень открытия клапана; скорость вытекания из выходного отверстия (м/с); плотность потока на выходе (кг/м³); уровень в емкости (м); площадь дна емкости (м²).

В разработанном комплексе управляющее устройство реализуется с помощью функциональных блоков встроенной библиотеки среды построения стратегий

Control Builder (CB). Расход вещества имитируется током, который устанавливается с помощью переменных резисторов во входной цепи контроллера. Сигналы входной цепи изменяются в стандартном диапазоне $4\div 20$ мА. Электрическая цепь на входе в контроллер содержит следующие элементы: блок питания 24 В (1), переменные (3) и постоянные (4) резисторы, миллиамперметр (5) и модуль аналогового входа (2) (рис. 3).

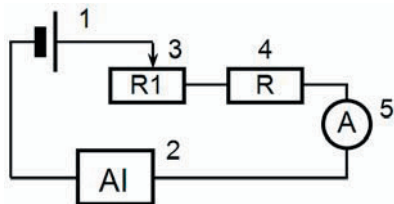


Рис. 3. Схема электрической цепи на входе в контроллер

Выходной сигнал из контроллера подается на амперметр через согласующий резистор R (см. рис. 4).

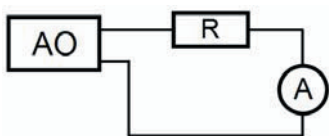


Рис. 4. Схема электрической цепи на выходе из контроллера

Контроллер C200

Управление объектом осуществляется контроллером C200 (рис. 5).



Рис. 5. Контроллер C200

1- модуль питания; 2 — модуль Ethernet; 3 — модуль процессора; 4÷ 10 — модули входа/выхода

На учебном C200 установлены:

- два модуля аналогового входа (AI);
- один модуль аналогового выхода (AO);
- два модуля цифрового выхода (DO).

Контроллер работает вместе с сервером Honeywell Experion PKS в операционной среде Windows Server 2000. Связь между сервером и контроллером обеспечивается сетевым протоколом TCP/IP по локальной сети Ethernet.

Среда программирования контроллера Control Builder

В качестве программных средств моделирования на стенде использован продукт Experion PKS компании Honeywell. Одной из основных программ, входящих в пакет Experion PKS, является среда программирования

контроллера, так называемый Построитель Управления — «Control Builder» (CB). В Построителе Управления программируется Среда реализации управления — «Control Execution Environment» (CEE), Модули управления — «Control Module» (CM) и Модули входа/выхода IOM. Необходимые модули управления и модули входа/выхода связываются со средой реализации управления, которая затем загружается в контроллер и формирует алгоритм управления объектом.

Алгоритм (стратегия) управления ТОУ содержится в модуле (модулях) управления. Модуль управления собирается из типовых функциональных блоков, расположенных в библиотеке блоков Построителя Управления. Программирование модуля управления сводится к выбору необходимых для решения поставленной задачи функциональных блоков, установлению связей между ними и заданию конкретных значений параметрам этих блоков.

Стратегия управления объектом

В рассматриваемом примере при создании модуля управления емкостью с двумя входами использованы следующие функциональные блоки.

Блок аналогового входного канала — «Analog Input Channel» - AICHANNEL, связан с модулем аналогового входа контроллера, принимающим сигнал в диапазоне $4\div 20$ мА и в оцифрованной форме передающим его в блок AICHANNEL, который, в свою очередь, переводит его в диапазон $0\div 100$ % шкалы.

Блок сбора данных — «Data Acquisition» - DATAACQ, позволяющий переводить сигналы, выдаваемые AICHANNEL в диапазоне $0\div 100$ %, в физические величины.

Блок вспомогательных вычислений — «Auxiliary Calculation» - AUXCALC, производящий со входными параметрами арифметические или логические операции, заданные пользователем.

Алгоритм решения математической модели ТОУ реализован с помощью блоков AUXCALC.

Блок пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора — «proportional-integral-derivative» - PID, осуществляющий регулирование по ПИД-закону. Он реализует идеальную форму вычисления частей алгоритма ПИД. Блок ПИД имеет два аналоговых входа: переменная процесса — «process variable» - PV и задаваемое значение — «set point» - SP. Разность между переменной процесса и задаваемым значением представляет собой ошибку, на основании которой в блоке ПИД вычисляется управляющий выход — «output» - OP, который должен свести ошибку к нулю.

Блок аналогового выходного канала — «Analog Output Channel» - AOCHANNEL, связанный с модулем аналогового выхода контроллера и выдающий сигнал в стандартном диапазоне $4\div 20$ мА.

Задача стабилизации уровня в емкости выполняется модулем управления, структурная схема которого дана на рис. 6.

На входы блоков AICHANNEL1 и AICHANNEL2 поступают токовые сигналы о степени открытия вентилей (начальные уровни).

Блоки AUXCALC1 и AUXCALC2 реализуют математическую модель рассматриваемого ТОУ [1].

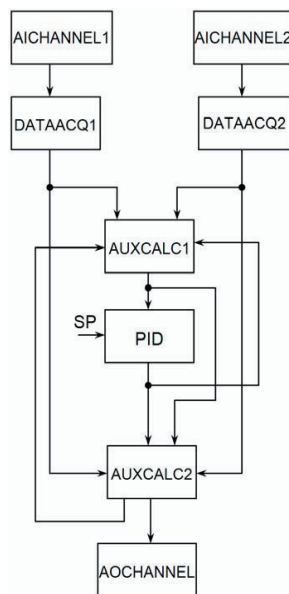


Рис. 6. Структура модуля управления

Результаты испытаний

Исходное состояние:

клапан В - без привода; объемная скорость входного потока постоянна; ток $i_1 = 7$ мА,
клапан А - с приводом; объемная скорость входного потока регулируется; ток $i_2 = 6$ мА.

AICHANNEL1 Выход: 18.90%

AICHANNEL2 Выход: 14.84%

1) Степень открытия клапана $SP = 30\%$.

Значение параметров PID: входные - $PV = 30.47$; $SP = 30$;

выходной - $OP = 33.24$ (управляющее воздействие).

2) $SP = 25\%$.

PID: $PV = 24.53$; $SP = 25$; $OP = 28.02$.

3) $SP = 35\%$.

PID: $PV = 35.29$; $SP = 35$; $OP = 37.10$.

Перспективы использования стенда в учебном процессе

Использование разработанного комплекса позволит студентам не только разобраться в принципах построения стратегий управления на базе микропроцессорной техники, но и эффективно действовать в рабочих условиях, которые постоянно изменяются.

Для удобства проведения практических и лабораторных занятий необходима организация мультистанционного (порядка десяти станций) управления имеющимся контроллером, для чего понадобится соответствующее программное обеспечение и участие представителя компании Honeywell.

Схема стенда предполагает возможность замены имитационной части реальными органами регулирования, измерительными приборами и т.д., например, введением серводвигателей, осуществляющих изменение тока во входных цепях путем изменения положения подвижных контактов переменных сопротив-

лений. Для реализации данного направления работы желательно сотрудничество с компанией Honeywell.

В ПО Experion PKS предусмотрена возможность обновления программ, что дает постоянно совершенствующуюся среду управления контроллером, отвечающую современным требованиям к средствам автоматизации.

Использование стенда и дальнейшее расширение спектра решаемых с его помощью задач позволит выйти на полное осуществление цикла лабораторных работ по современной теории автоматического управления (СТАУ), а именно [1]:

- Решение уравнений состояния методом Рунге-Кутты четвертого порядка (программа RRS).

Параметры состояния: масса первого вещества в смеси; масса второго вещества в смеси; уровень смеси в емкости; температура смеси.

Управление посредством изменения: объемной скорости входного потока первого вещества; объемной скорости входного потока второго вещества.

Параметры выхода: значение уровня в емкости; плотность смеси, вытекающей из емкости.

- Определение стационарного режима работы динамической системы путем определения стационарной рабочей точки с использованием метода последовательных приближений Ньютона (программа RRT).

Заданные параметры выхода: значение уровня в емкости; плотность смеси, вытекающей из емкости.

- Линеаризация модели состояния путем замены нелинейных функций, описывающих параметры системы, на линейные в окрестности рабочей точки, координаты которой отвечают конкретному технологическому режиму при отсутствии возмущений (программа LMS).

Стационарная точка находится с помощью программы RRT.

- Составление модели состояния для технологического объекта и регулирующего устройства, а также модели состояния замкнутого контура в линеаризованной форме (программа RSK).

Технологический объект характеризуется переменными состояниями, одной выходной величиной и двумя входными величинами (управление и возмущение).

Модель состояния регулирующего устройства описывается пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законом.

В качестве входных используются параметры модели технологического объекта, линеаризованной в окрестности рабочей точки с использованием программы RSK, и данные о законе регулирования, которые определяются известными инженерными методиками.

- Составление уравнения связи между моделью состояния и моделью «вход-выход» с использованием алгоритма Фадеева (программа SWW).

В качестве исходных данных используются: модель состояния объекта, линеаризованная в окрестности рабочей точки при помощи программы LMS, и модель состояния замкнутого контура регулирования, полученная с помощью программы RSK.

Рассчитываются коэффициенты полиномов числителя и знаменателя передаточной функции объекта регулирования при отсутствии возмущений и контура регулирования с пропорционально-интегральным законом.

- Расчет собственных значений динамической системы путем построения характеристического полинома и вычисления его корней (программа RHP).

В качестве исходных используются результаты, полученные с помощью программы LMS.

Программа RHP содержит подпрограмму для построения характеристического полинома из матрицы состояния. Координаты интервала, в котором находится корень характеристического полинома, определяются с помощью схемы Горнера. Точное значение корня вычисляется методом последовательных приближений Ньютона.

Для определения коэффициентов преобразованного полинома для комплексных корней используется схема Колатца.

- Решение дискретных уравнений состояния (программа DRS).

Для расчета используются начальные значения параметров состояния объекта регулирования, последовательность значений управляющих воздействий, интервал дискретизации.

Аналогично программе RSK для непрерывных моделей, находится обобщенная модель состояния замкнутого контура в линеаризованной форме.

- Составление дискретной модели «вход-выход».

Вследствие подобия дискретных и непрерывных систем, передаточные функции как объекта регулирования, так и замкнутого контура определяются с помощью алгоритма Фадеева, использованного в программе SWW, а характеристический полином – с помощью программы RHP.

В качестве исходных используются данные, полученные в программе DRS.

- Решение дискретного дифференциального уравнения модели «вход-выход» (программа DWW).

В качестве входных данных используются коэффициенты полиномов числителя и знаменателя передаточной функции процесса. Рассчитывается реакция системы на ступенчатое однократное, синусоидальное и случайное входное воздействие.

До сих пор рассматривался случай, когда целью регулирования являлось лишь поддержание уровня смеси в емкости.

В дальнейшем с помощью разработанного стенда возможно решение более приближенных к конкретным производственным условиям задач, например - поддержание заданными состава и уровня смеси путем введения в схему регулируемого клапана на втором трубопроводе. Упрощенная схема такого регулятора приведена на рис. 7.

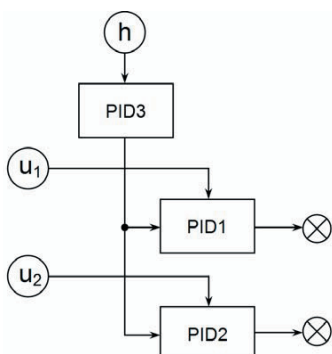


Рис. 7. Схема регулятора с двумя регулирующими клапанами

В этой схеме сигналы, соответствующие значениям объемных скоростей u_1 и u_2 поступают на ПИД-регуляторы PID1 и PID2, управляющие клапанами подачи первой и второй компоненты в бак. Сигнал, соответствующий значению уровня смеси h поступает на ПИД-регулятор PID3, который формирует задание для регуляторов PID1 и PID2.

Использование Построителя графических экранов Display Builder, входящего в состав пакета Experion PKS, позволит представить информацию о состоянии системы (стенда) в более доступной и наглядной форме, упрощая наблюдение за процессом регулирования.

Помимо программного обеспечения, предназначенного для управления технологическим процессом с помощью контроллера, компанией Honeywell разработаны мощные системы для моделирования технологического процесса, такие как Shadow Plant и UniSim. Такие системы позволяют создавать модели сложных технологических объектов, максимально приближенные к реальным системам. Кроме моделирования технологического процесса, Shadow Plant (профессиональная редакция) позволяет осуществить эмуляцию контроллера [3], обеспечивает возможность подключения к системе Experion PKS, позволяет синхронизировать параметры модели с данными реального процесса. Возможность интеграции (OLE-автоматизации) UniSim с Microsoft Excel и Visual Basic позволяет внедрять в разрабатываемую модель уже готовые объекты, созданные в других средах.

Проделанная на кафедре кибернетики химико-технологических процессов работа по созданию моделей химико-технологических объектов, современное программное и аппаратное обеспечение, сотрудничество с научными центрами в области автоматизации и предприятия позволят создать на базе кафедры мощный виртуальный тренажер для максимально объективного исследования реальных технологических процессов современных предприятий и способов регулирования такими процессами. Информация и опыт, которые можно будет получить на таком тренажере, станут существенным вкладом в обучение будущих специалистов в области автоматизации химико-технологических процессов и могут быть использованы на производстве.

Литература

1. Медведєв, Р.Б. Керування хіміко-технологічними процесами [Текст]: навч. посібник / Р.Б. Медведєв. - К.: ІСДО, 1994. - 160 с.
2. Земляк, Є.М. Автоматизоване моделювання безперервних та періодичних процесів і систем [Текст]: навч. посібник / Є.М. Земляк, Г.О. Стаюха. - К.: НМК ВО, 1992. - 144 с. - Бібліогр. : с. 139 - 140. - ISBN 5-7763-1282-5.
3. Компьютерный тренажер для обучения операторов установки производства аммиака [Текст] / В.М. Дозорцев, Р.А. Владов, Д.Ю. Федоренко, В.В. Янишпольский // Компьютерное моделирование в химии и технологиях: тез. докл. науч.-практ. конф. (май 2000) - Черкаси: Видавництво «Черкаський ЦНТЕІ», 2008 - С. 160-165.

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ І МОНІТОРИНГУ ОБСЯГІВ НАВЧАЛЬНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ І ВИКЛАДАЧІВ ВНЗ ІІІ-ІV РІВНЯ АКРЕДИТАЦІЇ

Запропонована схема управління обсягами навчальної роботи в ВНЗ 3-4 рівнів акредитації. Виділено прямий і зворотний методи розрахунку. Показано, що використання цих методів в одній системі дозволяє створити стійку до зовнішніх впливів збалансовану технологію управління обсягами навчальної роботи студентів і викладачів

Ключові слова: навчальна робота викладача, навчальна робота студента, моніторинг обсягів навчальної роботи студентів і викладачів

Предложена схема управления объемами учебной работы в ВУЗ 3-4 уровней аккредитации. Выделено прямой и обратный методы расчета. Показано, что использование этих методов в одной системе разрешает создать стойкую к внешним влияниям сбалансированную технологию управления объемами учебной работы студентов и преподавателей

Ключевые слова: учебная работа преподавателя, учебная работа студента, мониторинг объемов учебной работы студентов и преподавателей

The scheme of management in volumes of study in HIGH SCHOOL of 3-4 levels of accreditation is offered. It is allocated direct and return methods of calculation. It is shown, that use of these methods in one system allows to create the balanced technology of management proof to external influences in volumes of study of students and teachers

Keywords: study of the teacher, study of the student, monitoring of volumes of study of students and teachers

А.О. Білощицький

Кандидат технічних наук, доцент, заступник проректора з наукової роботи

Кафедра основ інформатики*

Контактний тел.: 8 (044) 241-54-37

E-mail: bao@knuba.edu.ua; bao1978@gmail.com

С.В. Білощицька

Асистент

Кафедра прикладної математики*

Контактний тел.: 8 (044) 241-54-02

E-mail: bsvetlana2007@ukr.net

*Київський національний університет будівництва і архітектури

пр. Повітрофлотський 31, м. Київ, Україна, 03680

1. Постановка проблеми

Для забезпечення ефективного функціонування вищих навчальних закладів України в умовах впровадження Болонського процесу необхідно удосконалити їх систему управління. Таке удосконалення в

першу чергу пов'язане з необхідністю впровадження ефективних інформаційних технологій і систем у всі сфери управлінської, навчальної, наукової, адміністративно-господарської та фінансово-економічної діяльності вищих навчальних закладів. У зв'язку з цим необхідне створення нових моделей, методів і засобів

побудови інформаційних технологій і систем, зданих ефективно функціонувати в умовах впровадження Болонського процесу. Наявність невирішених проблем із побудови орієнтованих на специфіку управління вищими навчальними закладами інформаційних технологій, і нагальна проблема їх розв'язання зумовили актуальність наукових досліджень і розробок, яким присвячена ця стаття.

2. Аналіз останніх досліджень

Останнім часом виконано чимало досліджень з питань визначення особливостей управління ВНЗ, аналізу умов їх функціонування, формалізації управлінських функцій тощо [1]. Не дивлячись на це, задача створення інформаційних систем управління навчальним процесом в повному обсязі ще не вирішена. Більшість наукових і практичних робіт в цій сфері присвячено питанням розрахунку навчального навантаження по існуючим навчальним планам, розрахунку раціонального розкладу занять, автоматизованим формам навчання і контролю знань студентів [2-9]. В умовах впровадження Болонського процесу існує потреба в створенні інформаційних систем та технологій, які дали б змогу швидко та оперативно планувати і адаптувати обсяги навчальної роботи студентів та викладачів до стану оточуючого середовища, в тому числі до умов реалізації навчального процесу у конкретному ВНЗ і досягнутому рівню знань студентів [10]. Це питання є передусім актуальним у зв'язку з впровадженням кредитно-модульної системи організації навчального процесу (КМСОНП) у вищих навчальних закладах та необхідністю ефективного планування всіх процесів розробки навчально-методичного забезпечення підготовки фахівців за цією системою з врахуванням вимог ECTS [11-13].

3. Невирішені раніше частини проблеми

Не дивлячись на значну кількість наукових досліджень і практичних розробок деякі аспекти реалізації управлінських функцій у відповідності до Болонського процесу, зокрема ті, що стосуються створення інформаційних технологій, орієнтованих на планування і моніторинг обсягів навчальної роботи студентів і викладачів висвітлена недостатньо. На цьому етапі розвитку наукових основ управління різними процесами в вищих навчальних закладах, а також впровадження нових методик навчання в умовах впровадження Болонського процесу виникає проблема створення принципіально-нових інформаційних технологій, реалізація яких давала б повну і своєчасну інформацію про необхідний для підготовки висококваліфікованих фахівців обсяг навчальної роботи студентів і викладачів. І контролювати виконання запланованого обсягу навчальної роботи. Саме інформація про будь який процес є запорукою ефективного управління цим процесом.

4. Постановка завдання

Побудова ефективного навчального процесу вимагає створення спеціальних методів і засобів обробки

інформації, які дозволили б автоматизувати різнобічні процедури управління ВНЗ, в першу чергу планування і моніторингу діяльності викладачів і студентів в процесі виконання ними своїх функціональних обов'язків. Ці обов'язки, в першу чергу, пов'язані з необхідністю виконання запланованого обсягу навчальної роботи. Оптимальний обсяг навчальної роботи в розрізі видів занять і завдань повинен бути таким, щоб з найменшими витратами часу і коштів забезпечити найвищу якість підготовки фахівців для народного господарства України. Недостатнє дослідження проблеми, її актуальність, висувають об'єктивні потреби в розробленні та впровадженні у вищих навчальних закладах України нових методів та засобів автоматизованого управління обсягами навчальної роботи. Існує потреба в створенні інформаційних технологій, які б дали змогу швидко та оперативно, планувати та управляти всіма видами навчальної діяльності студентів і викладачів [3,8-10].

З огляду на доцільність розробки та впровадження нових підходів до процесу реалізації управлінських технологій у ВНЗ, зокрема на створення інформаційних технологій планування обсягів навчальної роботи студентів та викладачів, постає завдання: визначити специфіку реалізації інформаційних технологій планування і моніторингу обсягів навчальної роботи студентів і викладачів у відповідності до кредитно-модульної системи організації навчального процесу. А також теоретично обґрунтувати та розробити структуру інформаційної технології планування і моніторингу обсягів навчальної роботи з врахуванням вимог ECTS [10].

5. Основний матеріал досліджень

Для побудови ефективної інформаційної технології планування і моніторингу обсягів навчальної роботи студентів і викладачів (ІТПМОНР) необхідно визначитися з цілями діяльності, які підлягають автоматизації в названій технології.

Визначення 1: Метою планування обсягів навчальної роботи викладачів є формування відповідного державним нормативам та відповідного класифікації викладачів навчального навантаження на вибраний термін (найчастіше – рік).

Визначення 2: Метою планування обсягів навчальної роботи студентів є отримання такого навчального навантаження, яке дозволяє органічно та послідовно формувати знання, вміння та навички студентів під впливом викладачів у відповідності з потребами держави в підготовці висококваліфікованих фахівців.

Визначення 3: Метою моніторингу обсягів навчальної роботи студентів і викладачів є отримання інформації про відповідність фактично виконаних обсягів навчального навантаження плановим для мотивації роботи викладачів та створення таких коригуючих впливів на навчальний процес, який призведе до його удосконалення.

Досягнення поставленої мети можливе тільки за рахунок розробки і впровадження ефективних систем управління процесом планування і моніторингу обсягів навчальної роботи. Розглянемо схему управління процесом планування і моніторингу обсягів навчаль-

ної роботи, в якій визначення вихідного стану базується на нормативах розрахунку навчального навантаження та навчальних планах ВНЗ, а кінцевий стан формується в інформаційній технології планування та моніторингу обсягів навчальної роботи через використання програмно-інформаційних засобів (рис. 1).

Звертає на себе увагу наявність двох зворотних зв'язків, походження та функції яких різні за своєю природою та характером впливу:

s_1 - цей зворотний зв'язок, який за природою виникнення, є наслідком аналізу розрахованого навчального навантаження та розкладу занять. За класифікацією це негативний зворотний зв'язок з періодичною дією. Впливаючи безпосередньо на об'єкт планування до і в процесі його використання він призводить до його змін;

s_2 - цей зворотний зв'язок, пов'язаний з оцінкою відповідності розрахованих обсягів навчальної роботи бажаному ходу навчального процесу. Він є негативним та стійким і реалізується в формі адміністративних дій, але тільки по відношенню до плану наступного навчального року. Потік інформації через зворотний зв'язок s_2 дозволяє внести зміни в навчальні плани, чи активізувати дії по збільшенню контингенту студентів.

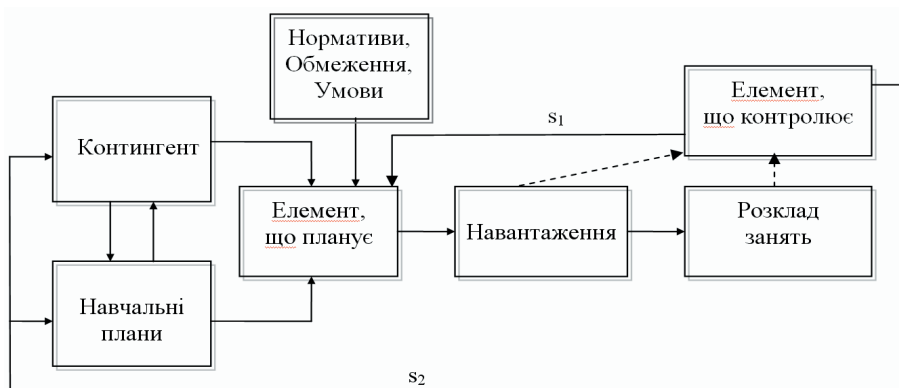


Рис. 1. Загальна схема управління обсягами навчальної роботи

Уніфікована форма планування обсягів навчальної роботи вимагає і уніфікованої форми подання інформації, що виникає завдяки дії зворотних зв'язків. Джерелом інформаційної дії в цих зворотних зв'язках є моніторинг навчального процесу. Для підвищення якості інформації, яка отримується в процесі моніторингу необхідне застосування автоматизованих форм обробки даних. Необхідна розробка структури інформаційного середовища та методів і засобів інформаційної технології планування та моніторингу обсягів навчальної роботи. Лише в цьому разі буде створено можливість ефективного планування обсягів навчальної роботи та достовірного аналізу його результатів, через зворотний зв'язок s_1 .

На основі наведеної схеми реалізації ІТПМОНР, а також з врахуванням того, що в схемі управління (див. рис. 1) існує зворотний зв'язок s_2 , пропонується два методи планування обсягів навчальної роботи – прямий (полягає в розрахунку обсягів) і зворотний (що відображає сутність зворотного зв'язку і забезпечує адаптацію навчальних планів до умов діяльності ВНЗ).

5.1. Метод прямого розрахунку обсягів навчальної роботи студентів і викладачів вищих навчальних закладів

Метод прямого розрахунку відображає наведену на рис. 1 схему і включає реалізацію наступних етапів переробки інформації:

1. *Формування інформаційного базису ІТПМОНР.* Полягає в наповненні вхідною інформацією бази даних ІТПМОНР. Вхідною інформацією є: навчальні плани, групи студентів, кафедри, викладачі, аудиторії, лабораторії, графік навчального процесу, нормативи розрахунків. На цьому етапі реалізуються забезпечуючі функції ІТПМОНР. Починаючи з етапу 2 в програмно-інформаційних засобах ІТПМОНР відображаються функції процесу планування і моніторингу обсягів навчальної роботи.

2. *Розрахунок робочих навчальних планів.* Виходячи з існуючих навчальних планів та графіку навчального процесу розраховуються робочі навчальні плани. Вхідною інформацією є: навчальні плани і графік навчального процесу. Реалізується шляхом автоматизації функції по розрахунку робочих навчальних планів:

$$B(A_i, R) = f_1(A_i, G(A_i, R)), \quad (1)$$

де f_1 – функція розробки і затвердження робочого навчального плану;

$G(A_i, R)$ – графік навчального процесу по навчальному плану A_i на навчальний рік R ;

$B(A_i, R)$ – робочий навчальний план на навчальний рік R ;

A_i – навчальний план.

$B(R) = \{B(A_i, R)\}, i = 1, n$ – множина робочих навчальних планів на навчальний рік R .

3. *Розрахунок навчального навантаження на навчальний рік.*

На основі робочих навчальних планів, з врахуванням контингенту студентів розраховується навантаження на навчальний рік. При цьому враховується розподіл груп на підгрупи для проведення лабораторних робіт. Формування потоків студентів на лекційні заняття (коли співпадають назви дисципліни і обсяги лекційних занять для різних груп студентів на одному факультеті). Обсяги годин на керівництво практикою, в тому числі педагогічною. Вхідними даними є – робочі навчальні плани (п.1 методу) і нормативи на розрахунок навантаження. Реалізується шляхом автоматизації функцій:

3.1. *Розрахунок контингенту студентів:*

$$Q_i(R) = \sum_{s \in I_{курс}} q_{si}(R) + f_2(A_i, R, \Phi, E, \Sigma), \quad (2)$$

де f_2 – функція прогнозування кількості студентів першого курсу;

$Q_i(R)$ – кількість студентів, що будуть навчатися по плану A_i в навчальному році R ;

$q_{si}(R)$ – кількість студентів, що навчаються по плану A_i в семестрі s в навчальному році R ;

Φ – впливи ВНЗ, орієнтовані на збільшення контингенту студентів;

E – ситуація в країні, пов'язана з кількістю населення, яке бажає навчатись в ВНЗ;

Σ – регіон країни.

Прогнозована загальна кількість студентів ВНЗ на навчальний рік R :

$$Q(R) = \sum_{i=1}^n Q_i(R),$$

де $Q(R)$ – прогнозована загальна кількість студентів ВНЗ на навчальний рік R ;

n – кількість навчальних планів.

3.2. Розрахунок навчального навантаження:

$$O_i(R) = f_3(B(A_i, R), Q_i(R)), \quad (3)$$

де f_3 – функція розрахунку навчального навантаження на навчальний рік;

$O_i(R)$ – навчальне навантаження по навчальному плану A_i на навчальний рік R .

Навчальне навантаження може бути представлене формальною трійкою:

$$O_i(R) = \langle v_i^{\text{заг}}, v_i^{\text{ауд}}, P_i^{\text{пл}}(R) \rangle,$$

де $v_i^{\text{заг}}(R)$ – загальне навантаження студента, який навчається по плану A_i на навчальний рік R ;

$v_i^{\text{ауд}}(R)$ – аудиторне навантаження студента, який навчається по плану A_i на навчальний рік R ;

$P_i^{\text{пл}}(R)$ – обсяг навчальної роботи викладачів по навчальному плану A_i на навчальний рік R .

Загальне навчальне навантаження ВНЗ на навчальний рік R :

$$O(R) = \sum_{i=1}^n O_i(R),$$

де $O(R)$ – загальне навчальне навантаження ВНЗ на навчальний рік R .

4. Планування обсягів навчальної роботи. Виходячи з отриманого в п.3 навчального навантаження та контингенту студентів, розраховується:

4.1. Нормативна штатна кількість викладачів:

$$P_i(R) = f_4(N_i^{\text{викл}}, Q_i(R)), \quad (4)$$

де f_4 – функція розрахунку нормативної кількості викладачів;

$P_i(R)$ – нормативна кількість викладачів по навчальному плану A_i на навчальний рік R ;

$N_i^{\text{викл}}(R)$ – норматив співвідношення кількості студентів і викладачів по навчальному плану A_i на навчальний рік R .

Функція реалізується як математична діленням кількості студентів на заданий норматив

$$P_i(R) = \frac{Q_i(R)}{N_i^{\text{викл}}(R)}.$$

Загальна нормативна кількість викладачів ВНЗ на навчальний рік R :

$$P(R) = \sum_{i=1}^n P_i(R),$$

де $P(R)$ – загальна нормативна кількість викладачів ВНЗ на навчальний рік R .

4.2. Плановий обсяг навчальної роботи викладачів. Функція планування обсягів навчальної роботи викладачів забезпечує розподіл розрахованого навчального навантаження між кафедрами і викладачами ВНЗ:

$$H^B(R) = f_5(P(R), X, O(R)), \quad (5)$$

де f_5 – функція планування обсягів навчальної роботи викладачів;

$H^B(R)$ – плановий обсяг навчальної роботи викладачів ($H^B(R) = \{H_d^B(R)\}, d = \overline{1, P(R)}$) в навчальному році R ;

$H_d^B(R)$ – планове навчальне навантаження викладача p_d в навчальному році R :

$$H^B(R) = \{H_d^B(R)\}, d = \overline{1, P(R)};$$

X – множина експертних оцінок можливості проведення видів занять викладачами

$$(X = \{x_{ikl}\}, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, P(R)}, l = \overline{1, y});$$

x_{ikl} – експертна оцінка можливості проведення виду занять l дисципліни d_i викладачем p_k ($0 \leq x_{ikl} \leq 1$). $x_{ikl} = 0$ – проведення виду занять l дисципліни d_i викладачем p_k неможливе; $x_{ikl} = 1$ – проведення виду занять l дисципліни d_i викладачем p_k можливе без ніяких застережень.

4.3. Плановий обсяг навчальної роботи студентів. Функція планування обсягів навчальної роботи студентів забезпечує розрахунок навчального навантаження студентів ВНЗ:

$$H^C(R) = f_6(G, W, O(R)), \quad (6)$$

де f_6 – функція планування обсягів навчальної роботи студентів;

$H^C(R)$ – плановий обсяг навчальної роботи студентів ($H^C(R) = \{H_d^C(R)\}, d = \overline{1, N^C}$) в навчальному році R ;

$H_d^C(R)$ – планове навчальне навантаження студента g_d в навчальному році R ;

N^C – кількість студентів;

W – множина предикатів, які визначають вивчення окремих дисциплін студентами:

$$W = \{w_{isk}\}, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, N^C}, s = \overline{1, T_i},$$

де $w_{isk} = 1$, якщо студент g_k вивчає дисципліну d_i в семестрі s ; 0 – якщо не вивчає;

T_i – кількість семестрів навчання по навчальному плану A_i .

5. Розрахунок розкладу занять. Виконується розрахунок ступені завантаження тих аудиторій і лабораторій, які є найбільш проблемним елементом при розрахунку розкладу. Ця інформація дозволяє в процесі моніторингу оцінити якість сформованого плану обсягів навчальної роботи студентів і викладачів.

6. Моніторинг планів. Виконується моніторинг планових обсягів навчального навантаження студентів і викладачів. Вхідною інформацією є плановий обсяг навчальної роботи студентів і викладачів ВНЗ (п.4), оцінка рівня знань студентів по дисциплінам та виконання навчального навантаження студентами і ви-

кладачами. Реалізується шляхом автоматизації дій по реалізації функції:

$$I(R,t)=f_7(H^C(R),H^B(R),\Theta(R),F(H^C(R),t),F(H^B(R),t),F(\Theta(R),t)), \quad (7)$$

де f_7 – функція моніторингу плану;

$I(R,t)$ – інформація про відповідність планових і фактичних обсягів навчальної роботи і розкладу проведених занять на момент часу t в навчальному році R ;

$\Theta(R)$ – планові час і місце проведення занять (розклад);

$F(H^B(R),t)$ – фактичний обсяг навчальної роботи викладачів на момент часу t в навчальному році R ;

$F(H^C(R),t)$ – фактичний обсяг навчальної роботи студентів на момент часу t в навчальному році R ;

$F(\Theta(R),t)$ – фактичні час і місце проведення занять (розклад) на момент часу t в навчальному році R .

Реалізація наведеного методу дозволить сформувати планові обсяги навчального навантаження студентів і викладачів ВНЗ і перевірити їх виконання. Але у випадку, коли результат розрахунку буде оцінено викладачами чи фахівцями підрозділу, що відповідає за організацію навчального процесу як незадовільний, необхідно вносити зміни у вхідні дані для ІТПМОНР. В першу чергу в навчальні плани. Для цього використовується метод зворотного розрахунку обсягів навчальної роботи – від бажаного навчального навантаження викладачів і студентів, до обсягів навчального навантаження, прописаного в навчальних планах. Розглянемо цей метод.

5.2. Метод зворотного розрахунку обсягів навчальної роботи студентів і викладачів вищих навчальних закладів

З позицій впливу на ефективність навчального процесу дуже важливо при плануванні обсягів навчальної роботи враховувати прогнозну інформацію, яка визначатиме те, наскільки «зручний» план в реальному навчальному процесі. При традиційному підході до планування (навчальний план → планування обсягів навчальної роботи → розклад занять) на кожному етапі не враховуються «можливості» ефективної реалізації наступних етапів, виходячи з прийнятих рішень. Тому в структурі інформаційної технології планування навчального процесу пропонується вирішувати поставлені задачі на основі прогнозування ефективності рішень задач на наступних етапах.

В традиційній схемі управління навчальним процесом навчальні плани визначають навчальне навантаження, яке використовується при розрахунку обсягів навчальної роботи. А обсяги навчальної роботи знаходяться в основі розрахунку розкладу занять. Такий підхід до розрахунку як розкладу, так і планового навчального навантаження не дозволяє регулювати обсяг аудиторного навантаження, яке задається навчальним планом під фактичний контингент студентів, штат викладачів і наявний аудиторний фонд. Тому пропонується реалізувати метод управління обсягами навчальної роботи студентів і викладачів через зворотній зв'язок, що забезпечує відображення інформації про обсяг навчальної роботи студентів і викладачів, та завантаженість аудиторій і лабораторій в компоненті

інформаційної технології, що виконує розрахунок планових обсягів навчальної роботи (зворотній зв'язок s_1 – див. рис. 1), а також в компоненті проектування навчальних планів (зворотній зв'язок s_2 – див. рис. 1).

Для цього, спочатку, по наявному аудиторному фонду, контингенту студентів, штату викладачів і бажаному середньому навчальному навантаженню розраховується оптимальний обсяг аудиторного навчального навантаження:

$$\overline{v^{ayd}} = f_8(\Psi, Q(R), P(R), H_{cp}^B(R)) , \quad (8)$$

де $\overline{v^{ayd}}$ – аудиторне навантаження навчальних планів;

f_8 – функція розрахунку оптимального аудиторного навантаження;

$H_{cp}^B(R)$ – оптимальний обсяг навчальної роботи викладачів ВНЗ;

Ψ – аудиторний фонд і інші обмеження на розклад занять.

Після цього розраховується аудиторне навантаження навчальних планів, яке дозволить отримати оптимальний обсяг навчальної роботи викладачів ВНЗ:

$$\overline{v^1} = f_9(\overline{v^{ayd}}, v^1) , \quad (9)$$

де $\overline{v^1}$ – новий обсяг лекційних занять, що задаються навчальними планами;

f_9 – функція розрахунку нового обсягу лекційних занять, що задаються навчальними планами;

v^1 – обсяг лекційних занять, що задаються навчальними планами.

$$\overline{v^2} = f_{10}(\overline{v^{ayd}}, v^2) , \quad (10)$$

де $\overline{v^2}$ – новий обсяг практичних занять, що задаються навчальними планами;

f_{10} – функція розрахунку нового обсягу практичних занять, що задаються навчальними планами;

v^2 – обсяг практичних занять, що задаються навчальними планами.

$$\overline{v^3} = f_{11}(\overline{v^{ayd}}, v^3) , \quad (11)$$

де $\overline{v^3}$ – новий обсяг лабораторних занять, що задаються навчальними планами;

f_{11} – функція розрахунку нового обсягу лабораторних занять, що задаються навчальними планами;

v^3 – обсяг лабораторних занять, що задаються навчальними планами.

$$\overline{v^4} = f_{12}(\overline{v^{ayd}}, v^4) , \quad (12)$$

де $\overline{v^4}$ – новий обсяг індивідуальної роботи студентів, що задається навчальними планами;

f_{12} – функція розрахунку нового обсягу індивідуальної роботи студентів, що задається навчальними планами;

v^4 – обсяг індивідуальної роботи студентів, що задається навчальними планами.

Метод зворотного розрахунку обсягів навчальної роботи студентів і викладачів вищих навчальних за-

кладів, в основі якого лежить адаптація навчальних планів до вимог ВНЗ включатиме етапи:

1. Розрахунок навчального навантаження по наявним навчальним планам.

2. Якщо розраховане навчальне навантаження відповідає вимогам: наявні аудиторії і лабораторії; бажане навчальне навантаження на одного викладача – закінчення оптимізації навчальних планів.

3. Розрахунок навчального навантаження, яке відповідає заданим вимогам. По суті визначається доля він наявного навчального навантаження з врахуванням пріоритетів в викладанні дисциплін (в яких можна зменшувати аудиторне навантаження, а в яких ні) та завантаженість аудиторій (вираз 8).

4. Розрахунок відповідних новому навчальному навантаженню обсягів аудиторних годин в навчальних планах (вирази 9-12).

5. Розрахунок, погодження та затвердження нових навчальних планів.

6. Розрахунок навчального навантаження по кафедрам ВНЗ.

7. Планування розкладу занять.

8. Закінчення оптимізації навчальних планів.

Реалізація цього методу дасть можливість сформулювати оптимальні та адаптовані до умов ВНЗ навчальні плани, що в свою чергу нормалізує навчальне навантаження викладачів, обсяг роботи студентів та завантаження наявних аудиторій і лабораторій.

6. Висновки

В статті розроблено формальні методи розрахунку навчального навантаження студентів і викладачів ВНЗ 3-4 рівня акредитації. Показано, що зв'язок між обсягами навчальної роботи студентів і викладачів задається функціями, які можуть бути реалізовані як в напрямку розрахунку – від навчальних планів до планових обсягів навчальної роботи, так і в напрямку – від оптимальних обсягів навчальної роботи до навчальних планів.

7. Перспективи подальших розвідок у даному напрямку

Розроблені методи потребують подальшого втілення в конкретних засобах інформаційної технології планування і моніторингу обсягів навчальної роботи в вищих навчальних закладах 3-4 рівнів акредитації. Подальшій розробці засобів планування навчальної роботи викладачів і студентів в рамках інформаційної технології управління ВНЗ будуть присвячені наступні роботи авторів.

Література

1. Биков В.Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти: Монографія.- К.: Атака, 2009. – 684 с.
2. Камінський О.Е. Нові інформаційні технології в управлінні багатofункціональними об'єктами (на практиці

системи управління вищими навчальними закладами). – К.: 1997, Київський національний економічний інститут. – 184 с.

3. Лізунов П.П., Білощицький А.О. Моделі та засоби формування комплексного інформаційно-освітнього середовища навчального закладу // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вип. 5(63). – С. 2-7.
4. Ямпольський В.З., Чуликов І.Л. Автоматизація управління вищою школою. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1987. – 267с.
5. Белощицкий А.О., Лизунов П.П., Мысник Л.Д., Тесля Ю.Н. Информационные технологии в управлении научно-образовательным процессом высшего учебного заведения // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Науковий журнал №8(126) Частина 1 – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2008. – С.287-293.
6. Білощицький А.О., Демченко В.В. Розробка інтегрованих інформаційних засобів для забезпечення впровадження кредитно-модульної системи в сфері навчання // Східно-Європейський журнал передових технологій. Українська державна академія залізничного транспорту. Технологічний центр. – Харків. – 2007. С. 20–28.
7. Ясенова І.С. Математична модель технології формування навчального плану відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу//Автоматизовані системи управління і прилади автоматики. Харків, ХНУРЕ. – 2007. Випуск 139. С.68-73.
8. Тесля.Ю.Н., Мисник Л.Д., Тесля Є.Ю., Придворна О.А. Інформаційна технологія автоматизованого навчання та контролю знань, як елемент системи управління учбовим процесом Вісник ВПІ, 2000 №3. С.96-99.
9. Щербина О.А. Використання web-платформи дистанційного навчання для комп'ютерного тестування та інформаційної підтримки навчального процесу. Нові технології навчання: Наук.-метод. зб. Спец. випуск / Кол. авт. К.: Ін-т інноваційних технологій і змісту освіти, 2006. С. 124-127.
10. Поліщук В.Т. Дослідження нормативів та управління розрахунками навчального навантаження у вищому закладі освіти / В. Поліщук, Ю. Тесля, Ю. Триус, К. Левківський // Вища шк. – 2006. – №1. – С. 35-52.
11. Вища освіта України і Болонський процес: Навчальний посібник / За редакцією В.Г Кременя. Авторський колектив: М.Ф. Степко, Я.Я. Болюбаш, В.Д. Шинкарук, В.В. Грубінко, І.І. Бабін. - Тернопіль: Навчальна книга -Богдан, 2004. – 384с.
12. Тимчасове положення про організацію навчального процесу в кредитно-модульній системі підготовки фахівців. Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 23.01.2004 р. № 48 “Про проведення педагогічного експерименту з кредитно-модульної системи організації навчального процесу”.
13. Наказ Міністерства освіти і науки України від 20.10.2004 р. № 812 “Про особливості впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу”.

Розроблені два однобайтові палітрові графічні формати даних, що використовують для кожного зображення свою адаптивну палітру. Це забезпечує стиснення зображення в 3 рази й більше із збереженням високої якості візуального сприйняття

Ключові слова: графічний формат, адаптивне квантування, стиснення

Разработаны два однобайтовых палитровых графических формата данных, которые используют для каждого изображения свою адаптивную палитру. Это обеспечивает сжатие изображений в 3 раза и более с сохранением высокого качества визуального восприятия

Ключевые слова: графический формат, адаптивное квантование, сжатие

Two bitmap image formats that use independent adaptive palette for every single image are developed. They provide image compression in more than 3 times and save the high image quality

Key words: image format, adaptive palette, compression

ОДНОБАЙТОВІ ПАЛІТРОВІ ГРАФІЧНІ ФОРМАТИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЦИФРОВИХ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

В.І. Загребнюк

Кандидат технічних наук, доцент, завідувачий кафедрою*

Контактний тел. : 8 (048) 723-12-84

E-mail: vampiter@rambler.ru

В.Ю. Кумиш

Старший викладач*

*Кафедра інформатизації та управління

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

вул. Ковальська, 1, м. Одеса, Україна, 65020

Контактний тел. : 8 (048) 720-77-06

E-mail: kumish@mail.ru

1. Вступ

При зберіганні цифрові зображення - це файли графічних форматів, в яких застосовують певні методи кодування кольорів та стиснення для зменшення обсягу файлу. У задачах цифрової обробки зображень, особливо у процедурах сегментації кольорових зображень актуальною є проблема попереднього суттєвого зниження надлишковості кольорів з метою зменшення обчислювальної складності алгоритмів сегментації. Як правило сегментацію кольорових зображень проводять у просторі RGB, а сегментовані зображення зберігають у форматі BMP для подальшого використання у системах аналізу та розпізнавання зображень, таких як системи медичної діагностики, системи візуального контролю якості у промисловості, тощо.

У цих системах необхідно накопичувати та зберігати значні обсяги відеоданих, що потребує значних ресурсів пам'яті. Тому задача розробки графічних форматів, які з урахуванням зниження кольорової надлишковості зображення забезпечують зменшення обсягів файлів статичних зображень без стиснення, є актуальною.

2. Аналіз існуючих палітрових графічних форматів

Розглянемо графічний формат BMP (від слова «Bitmap» - «бітова карта») [1]. Цифрове кольорове зображення в даному форматі зберігається у вигляді матриці з кількістю рядків, що дорівнює висоті зображення. Зображення в матрицю зчитується рядками. Елемент рядку матриці - це значення кольору відповідного пікселю. Інформація про колір пікселю наводиться у просторі кольорів RGB, тобто колір складається з компонентів: R - складова червоного, G - зеленого та B - синього кольору.

На кожний піксел відводиться від 1 до 32 біт, що дозволяє відтворювати від двох (монохромне зображення) до 4 294 967 296 кольорів, відповідно.

Повнокольорові зображення зберігаються в безпалітровому форматі BMP і для зберігання атрибуту кольору потребують мінімум 3 байти: по байту на кожний компонент кольору.

При такому підході необхідно мінімум 3 байти на піксел, навіть у випадку коли палітру кольорів на зображенні можна закодувати використовуючи лише

максимум один байт, що приблизно у три рази збільшує обсяг файлу BMP.

Палітрові різновиди формату BMP використовують від 1 до 8 біт на піксел та відтворюють зображення в кольорах системної палітри. Для стиснення в них застосовується алгоритм RLE.

Зберігання цифрових повнокольорових зображень в палітровому форматі BMP виконується шляхом перетворення повнокольорових зображень з глибиною кольору 24 біти на піксел у кольорові зображення з глибиною 8 біт на піксел. Аналіз стандартної бази [2] з 200 тестових зображень показав, що в форматі BMP таке перетворення неможливе без втрат та спотворень, внаслідок невідповідності кольорів зображення кольорам системної палітри (рис. 1. в), г)).

З точки зору зменшення кольорової надлишковості більш ефективним є використання растрового апаратно незалежного графічного формату GIF (Graphics Interchange Format) [3], в якому для зменшення надлишковості кольорів зображень використовуються таблиці посилань на кольори певної палітри. В даному форматі виконується кодування кольорів зображення з використанням від 2 до 256 кольорів однієї з визначеної множини палітр. Стиснення досягається з одного боку унаслідок однобайтного кодування характеристик кольору індексами кольорів палітри, а з іншого – за рахунок використання алгоритму стиснення без втрат LZW (Lempel-Ziv-Welch).



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Перетворення у форматі BMP повнокольорових зображень з глибиною кольору 24 біти на піксел у

кольорові зображення з глибиною 8 біт на піксел:
а) зображення 144067 з глибиною 24 біти на піксел;
б) зображення 145014 з глибиною 24 біти на піксел;

в) зображення 144067 з глибиною 8 біт на піксел;
г) зображення 145014 з глибиною 8 біт на піксел

Палітра зображення міститься в файлі формату GIF в блоці «Глобальна таблиця кольорів». Якщо в файлі зберігається більш ніж одне зображення, то в блоці «Локальна таблиця кольорів» зберігаються палітри кожного з них. Кожен елемент таблиці кольорів складається з трьох байт, значення яких описують відповідно відносну інтенсивність червоного, зеленого і синього кольорів.

Саме зображення зберігається в блоці «Растрові дані» у вигляді серії індексів кольорів пікселів, згідно палітри, які утворюють зображення.

Слід зазначити, що розмір палітри в форматі GIF обмежений значеннями $2^n \leq 256$, де n – цілі числа, $n \leq 8$, а для формування палітри використовується різні таблиці з 256 кольорів. Тому використання формату GIF доцільно при зберіганні зображень з малою кількістю кольорів, чіткими контурами між кольорами або при передаванні зображення у телекомунікаційних мережах з низькими швидкостями передачі.

При перетворенні у формат GIF повнокольорових зображень виникають втрати кольорів та спотворення, такі як градієнтні контури, із-за невідповідності кольорів зображення кольорам таблиці кольорів (рис. 2 а), б)).



а)



б)

Рис. 2. Перетворення повнокольорових зображень в формат GIF:

а) зображення 144067 в форматі GIF; б) зображення 145014 в форматі GIF

3. Однобайтовий палітровий графічний формат з постійною довжиною коду

Причиною спотворення повнокольорових зображень при їх зберіганні у згаданих вище форматах є невідповідність кольорів зображення кольорам палітри, що використовуються у цих форматах. Цього можна запобігти, якщо використовувати для зберігання кожного окремого зображення свою адаптивну палітру кольорів, отриману з використанням алгоритму адаптивного квантування кольорів.

В [4] розроблений метод квантування кольорових зображень, який дозволяє адаптивно зменшити кількість кольорів повнокольорового зображення від 51 до 911 разів в залежності від його характеру та сформулювати для кожного зображення свою незалежну адаптивну палітру. При цьому якість квантованого зображення у більшості випадків висока, а в окремих випадках – добра. Після квантування кількість кольорів у середньому зменшується в 314 разів.

В даній роботі пропонується усунути зазначені в розділі 2 недоліки графічних форматів BMP й GIF, а також розробити такий графічний формат [5], в якому використовується попереднє зменшення надлишковості кольорів, що забезпечує можливість використовувати для кодування кольору 8 біт на піксел та відповідну кожному зображенню таблицю кольорів (адаптивну палітру).

Аналіз стандартної бази з 200 тестових зображень [2] показав, що кількість кольорів в зображеннях зі зменшеною надлишковістю не перевищує 256. Тому для формування індексу адаптивної палітри, тобто для кодування характеристик кольору одного пікселу зображення, в просторі кольорів RGB, потрібно вже не 3 байти, а 1 байт (табл. 1).

Таблиця 1

Ім'я файлу	Кількість кольорів
8143	84
26031	110
28075	98
35091	76
87065	67
113044	86
117054	106
140055	49
140075	65
164074	69

Було розроблене програмне забезпечення [5] для зберігання зображень в запропонованому растровому апаратнонезалежному палітровому графічному форматі даних. В цьому форматі зображення містить в заголовку адаптивну палітру у вигляді чотирибайтових значень RGB кольорів, четвертий байт використовується для зберігання альфа-канала (прозорості). Основна частина файлу зображення містить інформацію про кольори пікселів зображення, закодовані відповідними номерами кольорів адаптивної палітри.

Виконання перетворення трибайтового зображення в однобайтове зменшує обсяг зображення в 2,96 рази (табл. 2).

Таблиця 2

Ім'я файлу	Розмір зображення в форматі BMP (24 біта на піксел), біт	Розмір зображення в розробленому форматі (8 біт на піксел), біт	Ступінь стиснення
8143	463 578	156 442	2,96
26031	463 738	156 922	2,96
28075	463 578	156 442	2,96
35091	463 578	156 442	2,96
87065	463 578	156 442	2,96
113044	463 578	156 442	2,96
117054	463 578	156 442	2,96
140055	463 578	156 442	2,96
140075	463 578	156 442	2,96
164074	463 578	156 442	2,96

При перегляді зображення виконується обернене перетворення: однобайтні коди замінюються на відповідні чотирибайтові значення кольору в палітрі.

При зберіганні цифрових кольорових зображень в запропонованому форматі з розширенням .bmr їх перегляд може здійснюватися існуючим програмним забезпеченням, тобто немає необхідності розроблювати окремий декодер (рис. 3).



а) б)
Рис. 3. Зберігання повнокольорових зображень в розробленому форматі:
а) зображення 144067 в розробленому форматі; б) зображення 145014 в розробленому форматі

4. Однобайтовий палітровий графічний формат зі змінною довжиною коду

У переважній більшості випадків зображення із зменшеною надлишковістю містять менше ніж 256 кольорів. В такому випадку немає необхідності для кодування індексу кольору з адаптивної палітри використовувати 8 біт (табл. 3).

Застосування коду зі змінною довжиною для таких зображень дозволить ще зменшити обсяг файлу та більш ефективно використовувати ресурси запам'ятовуючих пристроїв при зберіганні файлу.

Таблиця 3

Ім'я файлу	Кількість кольорів	Довжина коду
8143	84	7
28075	98	7
35091	76	7
87065	67	7
92059	42	6
117054	106	7
138032	59	6
130034	40	6
140055	49	6
164074	69	7

Тому був розроблений ще один растровий апаратнонезалежний палітровий графічний формат для зберігання цифрових кольорових зображень, в якому використовується схема кодування зображення з довжиною коду кольору менше 8 біт [6]. Кількість біт для формування індексу кольору з палітри п визначається відповідно до кількості кольорів в адаптивній палітрі

$k: n = \log_2 k$, де n, k – цілі числа, $n < 8, k < 256$. Взагалі довжина коду максимально може складати 7 біт.

Використання коду зі змінною довжиною зменшує обсяг зображення в 3 рази й більше (табл. 4).

Таблиця 4

Ім'я файлу	Розмір зображення в форматі BMP (24 біти на піксель), біт	Розмір зображення в розробленому форматі (менше 8 біт на піксель), біт	Ступінь стиснення
8143	463 578	135 436	3,42
28075	463 578	115 980	4,00
35091	463 578	135 355	3,42
87065	463 578	135 448	3,42
92059	463 738	115 965	4,00
117054	463 578	135 457	3,42
138032	463 738	116 016	4,00
130034	463 578	115 959	4,00
140055	463 578	115 986	4,00
164074	463 578	135 346	3,43

Також було розроблене програмне забезпечення [6] кодеру й декодеру для запропонованого графічного формату даних. Даний формат має наступну структуру (рис. 5).

Заголовок файлу	
Сігнатура ("VBMP")	4 байти
Об'єм файлу, байти	4 байти
Зсув зображення від початку файлу, байти	4 байти
Інформаційний заголовок	
Довжина заголовку, байти	4 байти
Ширина зображення, пікселі	4 байти
Висота зображення, пікселі	4 байти
Глибина кольору, біти на піксель	2 байти
Тип компресії (0 - нестиснене зображення)	4 байти
Об'єм зображення, байти	4 байти
Кількість кольорів, що використовується	4 байти
Таблиця кольорів (палітра)	
N елементів по 3 байти	N*3 байт
Дані зображення	

Рис. 5. Однобайтовий палітровий графічний формат даних зі змінною довжиною коду

В цьому форматі незалежно від характеристик кольору зображення забезпечується зменшення обсягу зображення в 3 рази й більше без використання алгоритмів стиснення без втрат.

5 Висновки

По роботі можна зробити наступні висновки:

- зберігання цифрових кольорових зображень в однобайтовому палітровому графічному форматі з постійною довжиною коду забезпечує скорочення об'єму зображення в 2,96 рази за рахунок кодування кольору пікселів однобайтовими індексами даного кольору в адаптивній палітрі;
- зберігання цифрових кольорових зображень в однобайтовому палітровому графічному форматі зі змінною довжиною коду забезпечує стиснення зображення в 3 рази й більше за рахунок його кодування зі змінною довжиною коду;
- обидва розроблені графічні формати забезпечують збереження достатньої якості візуального сприйняття за рахунок адаптивного зменшення кількості кольорів повнокольорового зображення;
- при використанні однобайтового палітрового графічного формату з постійною довжиною коду відсутня необхідність змінювати декодер.

Література

1. Bitmap storage. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd183391\(-VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd183391(-VS.85).aspx)
2. Berkeley Segmentation Dataset [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/grouping/segbench>
3. The GIF89a Specification. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.w3.org/Graphics/GIF/spec-gif89a.txt>
4. В.И. Загребнюк, А.М. Яворский Адаптивное цветное квантование изображений// К: Электроника и связь, 20-08.– №5 – С. 30
5. Заявка на корисну модель «Палітровий спосіб зберігання цифрових кольорових зображень із постійною довжиною коду» №u 2009 05 198 від 25.05.2009 р. авторів Воробієнко П.П., Загребнюка В.І., Кумиша В.Ю.
6. Заявка на корисну модель «Палітровий спосіб зберігання цифрових кольорових зображень із змінною довжиною коду» №u 2009 06 160 від 15.06.2009 р. авторів Воробієнко П.П., Загребнюка В.І., Кумиша В.Ю., Піднебесного І.А.